



Petri Tynkkynen

# Rakennusautomaation toimenpide- ehdotuksien kehittäminen AFRY Monitor -järjestelmällä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

22.4.2024

# Tiivistelmä

Tekijä:	Petri Tynkkynen
Otsikko:	Rakennusautomaation toimenpide-ehdotuksien kehittämisen AFRY Monitor -järjestelmällä
Sivumäärä:	50 sivua + 10 liitettä
Aika:	22.4.2024
Tutkinto:	Insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma:	Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine:	LVI-tekniikka
Ohjaajat:	Yliopettaja Rauno Holopainen Tiimipäällikkö Jukka Ruuska

---

Rakennusautomaation järjestelmien määrä sekä monimutkaisuus kiinteistöissä kasvaa jatkuvasti talotekniikan kehittyessä. Tätä kasvua lisää myös jatkuvasti kiristyvät energiatehokkuuden vaatimukset. Monimutkaistuvia järjestelmiä tulisi pystyä ohjaamaan älykkäästi ja hallitusti kokonaisuutena, mikä tuo haasteita järjestelmien ylläpidolle sekä huoltohenkilöstölle.

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää AFRY Monitor -järjestelmän rakennusautomaatiomoduliin ohjelmisto-osiosta, joka reagoi automaatiosta saatavan datan poikkeamiin ja tulostaa niistä selkokielisiä toimenpide-ehdotuksia eri LVI-järjestelmien hallintapaneeleihin. AFRY Monitor on pilvivalvomojärjestelmä, joka tehostaa kiinteistöjen järjestelmien seuranta- ja optimointia.

Opinnäytetyö perustuu alan kirjallisuuteen ja Monitor-järjestelmän kehittämiseen. Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsitellään yleisesti säätöjärjestelmien toimintaa sekä erilaisia automaatiojärjestelmiä. Työssä on esitelty myös tyypillisimpiä rakennusautomaatioon liittyviä komponentteja toimintoihin. AFRY Monitor -järjestelmän sovellusalustana toimii Wapice Oy:n IoT Ticket, jonka ohjelmointia esitellään omassa osiossaan.

Työssä ohjelmoitiin eri LVI-järjestelmille toimenpide-ehdotuksia, joita päästiin testamaan pilvivalvomossa todellisten dataa tuottavien järjestelmien kanssa. Testeissä ohjelmat reagoivat automaattisesti LVI-järjestelmissä havaittuihin poikkeamiin ja antoivat niistä oikeanlaiset toimenpide-ehdotukset. Opinnäytetyöllä saavutettiin siis työlle asetetut tavoitteet.

Avainsanat: rakennusautomaatio, AFRY Monitor -järjestelmä pilvivalvomo, IoT Ticket

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author: Petri Tynkkynen  
Title: Action Proposals for Building Automation with AFRY Monitor System  
Number of Pages: 50 pages + 10 appendices  
Date: 22 April 2024

Degree: Master of Engineering  
Degree Programme: Building Services Engineer  
Professional Major: Building Services Engineering  
Supervisors: Rauno Holopainen, Principal Lecturer  
Jukka Ruuska, Team Manager

The aim of the final year project was to develop a software component for the building automation module of the AFRY Monitor system, a cloud-based monitoring system that enhances the monitoring and optimization of building automation systems. The software component was to react on deviations in data that was obtained from automation and generates proposals for action on various HVAC system dashboards.

The final year project was started with learning to program the IoT Ticket platform. Furthermore relevant literature about building automation systems was studied. Thresholds for the various HVAC systems were searched from relevant regulations and guidelines.

In the final year project, proposals for actions were programmed for various HVAC systems, and tested in the cloud monitoring system. During the tests, the programs reacted to deviations observed in the HVAC systems and provided appropriate action proposals. Thus, the final year project successfully achieved the goals set for it.

Keywords: building automation, cloud monitoring, IoT

# Sisällys

## Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimuksen tausta, aihe ja tutkimusongelma	1
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus	2
1.3	Tutkimusmenetelmät	2
2	Rakennusautomaatio ja säätötekniikka	2
2.1	Säätötekniikan perusteet	3
2.2	Säätötavat	4
2.3	Käyttö ja ylläpito	5
2.3.1	Hälytykset	6
2.3.2	Aikaohjelmat	6
2.3.3	Trendiseuranta	7
2.3.4	Kulutusseuranta	8
2.3.5	Automaation säädöt	8
2.4	Pilvivalvomojärjestelmään liitetyt kentälaitteet	8
2.4.1	Lämpötila-anturit	9
2.4.2	Paineanturit ja paine-eroanturit	9
2.4.3	Virtausanturit	10
2.4.4	Toimilaitteet	10
2.4.5	Säätöventtiilit	10
2.4.6	Pumput	11
2.4.7	Puhaltimet ja puhallinmoottorit	12
2.4.8	Vesi- ja energiamittarit	13
3	Käyttövesijärjestelmät	14
3.1	Kylmä käyttövesi	14
3.2	Lämmin käyttövesi ja lämpimän käyttövedenkierto	14
3.3	Järjestelmien optimointi	16
4	Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät	16
4.1	Lämmitysjärjestelmät	16
4.2	Jäähdytysjärjestelmät	18

4.3	Järjestelmien optimoinnit	19
4.3.1	Lämmitysverkoston tasapainotus	19
5	Ilmanvaihtojärjestelmät	20
5.1	Koneellinen poistoilmanvaihto	20
5.2	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä	21
5.3	Lämmöntalteenottojärjestelmät	21
5.4	Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteet	22
5.5	Ilmanvaihtosuodattimet	23
5.6	Lämmitys- ja jäähdytyspatterit	24
5.7	Ominaisähköteho eli SFP-luku	25
6	Pilvivalvomojärjestelmä Wapice Oy:n IoT Ticket	27
6.1	Pilvivalvomon päänäkymä	27
6.2	Interface designer -työkalu	28
6.3	Data-flow-editori	29
6.4	AFRY Monitor	30
6.5	Ohjelmoinnin perusblokit	31
7	Toimenpiderajojen määrittelyt toimenpide-ehdotuksiin	33
7.1	Lämmin käyttövesi	33
7.2	Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät	35
7.2.1	Tilojen olosuhteet	36
7.2.2	Patteriverkostot	37
7.2.3	Lattialämmitysverkostot	38
7.2.4	Jäähdytysverkosto	39
7.2.5	Maalämpöpumppujärjestelmät	40
7.3	Ilmanvaihtojärjestelmät	40
7.3.1	Poistoilmapuhaltimet	41
7.3.2	Ilmastointikoneet	41
8	Toimenpide-ehdotukset Monitor-järjestelmään	43
9	Pohdinta	44
10	Yhteenveto	45
	Lähteet	48

## Liitteet

Liite 1: Monitor-järjestelmän toimenpide-ehdotukset. Liite vain työn tilaajan käyttöön.

Liite 2: Käyttövesijärjestelmän ohjelman toiminta vaiheittain. Liite vain työn tilaajan käyttöön.

Liite 3: Käyttövesijärjestelmän toimenpide-ehdotuksien ohjelma. Liite vain työn tilaajan käyttöön.

Liite 4: Toimenpide-ehdotuksien tulostaminen hallintapaneelin taulukkoon. Liite vain työn tilaajan käyttöön.

Liite 5: Olosuhteet hallintapaneelin ohjelman toiminta vaiheittain. Liite vain työn tilaajan käyttöön.

Liite 6: Olosuhteet hallintapaneelin toimenpide-ehdotuksien ohjelma. Liite vain työn tilaajan käyttöön.

Liite 7: Patteri- ja lattialämmityksen ohjelman toiminta vaiheittain. Liite vain työn tilaajan käyttöön.

Liite 8: Patteri- ja lattialämmitys hallintapaneelien toimenpide-ehdotuksien ohjelma. Liite vain työn tilaajan käyttöön.

Liite 9: Maalämpöpumpun ohjelman toiminta vaiheittain. Liite vain työn tilaajan käyttöön.

Liite 10: Maalämpöpumppu hallintapaneelin toimenpide-ehdotuksien ohjelma. Liite vain työn tilaajan käyttöön.

## Lyhenteet ja käsitteet

- 0–10 V: Standardi jänniteviesti, jonka jännitealue on välillä 0–10 voltia.
- 4–20 mA: Standardi virtaviesti, jonka virta-alue on välillä 4–20 milliampeeria.
- AI: Analoginen sisääntulo, jonka tuloviestinä voi olla standardi jännite- tai virtaviesti.
- AO: Analoginen ulostulo, jonka lähtöviestinä voi olla standardi jännite- tai virtaviesti.
- Dashboard: Käyttöliittymän hallintapaneeli.
- DI: Digitaalinen sisääntulo, jonka signaali voi olla joko 1 tai 0.
- DO: Digitaalinen ulostulo, jonka signaali voi olla joko 1 tai 0.
- I/O: Automaatiojärjestelmän yleisnimitys tulo- ja lähtöporteille.
- IoT: Internet of Things, esineiden internet.
- LTO: Lämmöntalteenotto.
- LVK: Lämpimän käyttöveden kierto, jolla varmistetaan, että lämmintä käytöväettä on käytettävissä määräyksissä annetun ajan sisällä ja estetään terveydelle haitallisten bakteerien kasvu vedessä.
- Ni1000: Nikkelistä tehty lämpötila-anturi, jonka resistanssi kasvaa lämpötilan noustessa. Nimellisvastus on 1000  $\Omega$  (0 °C:ssa).
- NTC10k: Termistori, jonka resistanssi pienenee lämpötilan noustessa. Nimellisvastus on 10 k $\Omega$  (+25 °C:ssa).

PT100: Platinasta tehty lämpötila-anturi, jonka resistanssi kasvaa lämpötilan noustessa. Nimellisvastus on  $100 \Omega$  ( $0 \text{ }^\circ\text{C}$ :ssa).

PT1000: Platinasta tehty lämpötila-anturi, jonka resistanssi kasvaa lämpötilan noustessa. Nimellisvastus on  $1000 \Omega$  ( $0 \text{ }^\circ\text{C}$ :ssa).

VAK: Rakennusautomaation valvonta-alakeskus.

Widgets: IoT Ticketin ohjelmoinnissa käytettäviä vimpaimia, sovelluskomponentteja ja elementtejä.

# 1 Johdanto

Opinnäytetyön tilaajana oli älykkäät ja kestävät rakennukset -yksikkö AFRY Buildings Finland Oy:stä. Yksikössä kerätään kiinteistöistä käytönaikaista dataa Monitor-järjestelmän avulla, joka on kiinteistöjen ylläpitoon, hallintaan ja tulevaisuuden suunnitteluun kehitetty palvelu. Työssä kehitettiin AFRY Monitor -järjestelmään rakennusautomaatiosta saatavan datan poikkeamiin reagoivaa ja niistä selkokieliisiä toimenpide-ehdotuksia eri LVI-järjestelmien hallintapaneelisiin tuostavaa ohjelmisto-osiota.

## 1.1 Tutkimuksen tausta, aihe ja tutkimusongelma

AFRY Monitor on pilvivalvomojärjestelmä, joka kerää kiinteistöjen rakennusautomaatiosta käytönaikaista dataa. Palvelu on kehitetty kiinteistöjen ylläpitoon, hallintaan sekä tulevaisuuden suunnittelua varten. AFRY Monitor on jaettu kuuteen moduuliin, jotka ovat energiajohtaminen, huoneistokohtainen veden mittaaminen, olosuhdehallinta, rakennusautomaatio, jätteiden seuranta ja huoltokirja. Järjestelmä tarjoaa merkkiriippumattoman ratkaisun rakennusautomaation valvontaan ja hallintaan. Se kerää tietoa, havaitsee poikkeamat ja tarjoaa selkeät raportit jatkotoimenpiteitä varten. [1.]

AFRY Monitor-järjestelmän sovellusalustana toimii Wapice Oy:n IoT Ticket -järjestelmä. Järjestelmän kautta voidaan hoitaa rakennusautomaation antureiden tiedonkeruu, datan raportoinnin sekä analysoinnin. Käyttöliittymä rakennetaan järjestelmässä käyttäen hallintapaneeleja, joihin voidaan lisätä erilaisia elementtejä. Elementit voivat olla esimerkiksi kaavioita, taulukoita, mittareita, painikkeita, valintalistoja, tekstiä, kuvia ja grafiikkaa. Hallintapaneelien taustalla toimii graafinen ohjelmointityökalu Data-flow-editori. Editori on käyttäjäystävällinen vedä ja pudota -tyyppinen käyttöliittymä, joka sisältää yli 120 vimpainta sekä tietovirtablokkia. [2.]

Rakennuksien automaatio koostuu useista erilaisista osa-alueista, joita ovat esimerkiksi käyttöveden ja tilojen lämmitysjärjestelmät, maalämpöjärjestelmät sekä ilmanvaihtojärjestelmät. Rakennusautomaation tehtävänä on huolehtia, että eri järjestelmien säätöjärjestelmät seuraavat annettuja asetusarvoja. Rakennusautomaatio tuottaa eri tasoisia hälytyksiä raja-arvojen alituksista tai ylityksistä mutta ne eivät pääsääntöisesti reagoi huonosti toimiviin säätöpiireihin.

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on jatkokehittää käytössä olevaa rakennusautomaatiomodulin toimenpide-ehdotusosioita. Toimenpide-ehdotukset rakennetaan IoT Ticketin Data-flow-editorin avulla hyödyntäen rakennusautomaation dataa sekä erilaisia kriteerejä, kuten esimerkiksi rakentamismääräyksistä löytyviä raja-arvoja ja toimenpiderajoja. Työ rajataan koskemaan Monitor-järjestelmän rakennusautomaatio-moduulin toimenpide-ehdotuksien kehitystyötä.

## 1.3 Tutkimusmenetelmät

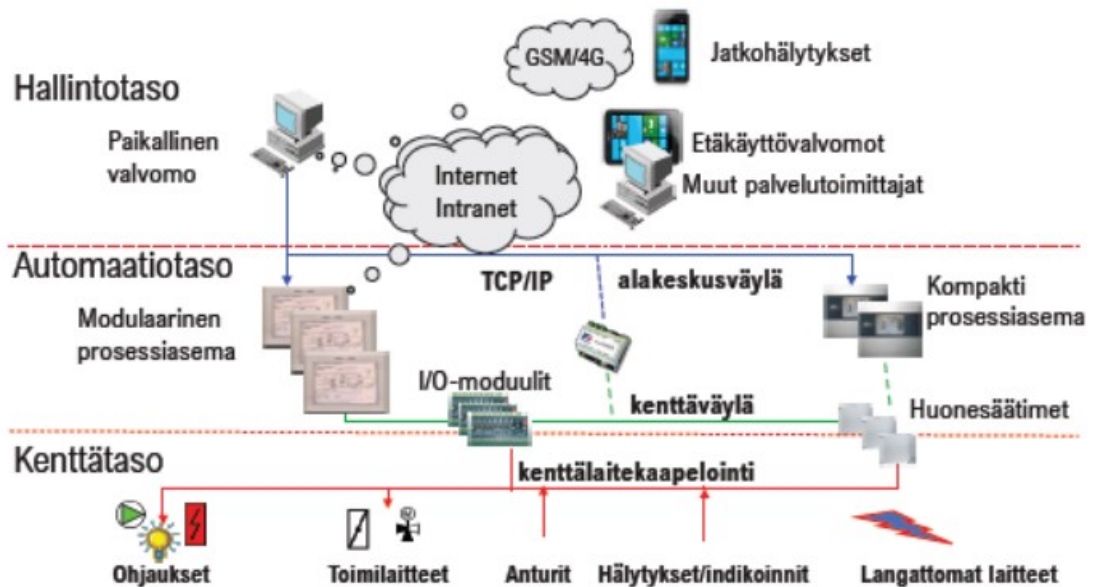
Opinnäytetyön tietoperustana toimii Suomen rakentamismääräykset ja RT-kortisto sekä muu alan kirjallisuus, joiden avulla haetaan tarvittavat raja-arvot ja toimenpiderajat säätöjärjestelmiin sekä järjestelmien optimointia varten.

Kirjallisuuskatsauksessa käydään läpi yleisimmät rakennusautomaation säätöpiirit, kuten lämmin käyttövesi-, lämmitys-, jäähdytys- sekä IV-järjestelmien säätöpiirit sekä muita mahdollisia kiinteistöissä esiintyviä säätöpiirejä. Näistä seulotaan sellaiset säätöjärjestelmien toimenpide-ehdotukset, jotka tuovat asiakkaille eniten käytännön hyötyä säätöpiirien optimoinnissa.

## 2 Rakennusautomaatio ja säätötekniikka

Rakennusautomaatiojärjestelmä koostuu kolmesta eri tasosta eli hallinto-, automaatio- sekä kenttätasoista (kuva 1). Hallintotasoon kuuluvat paikallisvalvomo sekä etävalvomo. AFRY Monitor on kiinteistön järjestelmistä riippumaton

pilvalvomo eli etävalvomo. Automaatiotasoon kuuluvat alakeskukset I/O-moduuleineen. Alakeskukset sisältävät ohjelmat, jotka ohjaavat I/O-pisteiden välityksellä prosesseja. Kenttätasolla sijaitsevat anturit ja toimilaitteet. [3, s. 59–61.]



Kuva 1. Rakennusautomaatiojärjestelmän yleinen rakenne [3, s. 60].

## 2.1 Sääntötekniikan perusteet

Sääntötekniikka vaikuttaa olennaisesti rakennusautomaatiojärjestelmien toimivuuteen. Sääntöjärjestelmillä pyritään luomaan hyvät sisäolosuhteen sekä säästämään hyvä energiatehokkuus. Sääntöjärjestelmän tehtävänä on pitää säädettävän suureen arvo tavoitteenmukaisella tarkkuudella asetusarvossaan. Sääntöjärjestelmässä säädettävän suureen mittauksen ja asetusarvon erotuksella eli eroviestillä ohjataan prosessia. [3, s. 27.]

Sääntötekniikassa säätöön vaikuttavat useat ominaisuudet sekä termit, kuten asetusarvo, säätöpoikkeama, säätöalgoritmi, värähtely, huojunta sekä kuollut aika. Näiden ominaisuuksien esiintymiseen ei voida säädöllä paljon vaikuttaa, jos laitteisto on puutteellisesti suunniteltu, virheellisesti asennettu tai siihen on käytetty vääränlaisia komponentteja. Sääntöpiirien toimintaa on seurattava

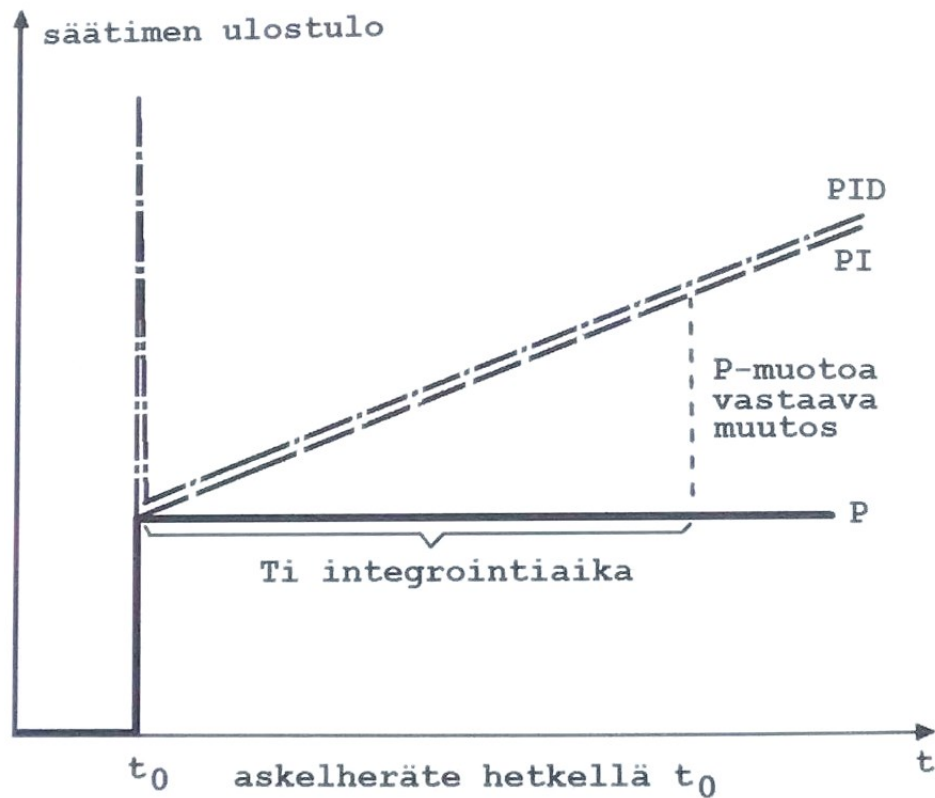
jatkuvasti, jotta järjestelmä toimii koko ajan optimaalisesti ja energiatehokkaasti. AFRY Monitor-järjestelmä seuraa jatkuvasti rakennusautomaation toimintaa ja reagoi automaattisesti, jos järjestelmissä tapahtuu poikkeavaa toimintaa. [4, s. 35.]

## 2.2 Säädetävät

Yleisimmät LVI-säätöpiireissä käytettävät säädetävät ovat P-, PI- ja PID-säädöt. P-säädin on suhteellinen säädin eli sen lähtöviesti on suoraan verrannollinen erosuureen arvoon. Lähtöviestin vahvistus määräytyy verrannollisuuskertoimen perusteella. [3, s. 29.]

PI-säätimessä on sekä suhteellinen säädin, että integroiva säädin. Säätimen integroiva osa muuttaa lähtöviestiä poikkeamaa korjaavaan suuntaan niin kauan, kunnes erosuure on nolla (0). Tällöin säätimen säätöpoikkeama on poistunut. [3, s. 30.]

PID-säätimellä voidaan PI-säätimen nopeutta kasvattaa. D-säädin siis derivoi (käyrän kulmakerroin) mittaussignaalia eli muutokset herättävät derivointiosan. [3, s. 31.] Kuva 2 esittää P-, PI- ja PID-säätimien toimintojen eroavaisuudet.



Kuva 2. P-, PI- ja PID-säätimien toimintojen havainnollistaminen [3, s. 32].

### 2.3 Käyttö ja ylläpito

Kiinteistöjen automaatiojärjestelmät ovat keskeisiä kiinteistöhuollon työkaluja, joiden käytöllä vaikutetaan kiinteistön energiatehokkuuteen ja hyviin sisäolosuhteisiin. Rakennusautomaatiojärjestelmän tehtäviin kuuluvat järjestelmien perussäätö sekä hälytyksien, ohjauksien ja aikaohjelmien hallinta. Rakennusautomaatiojärjestelmän avulla kiinteistöhuollon tehtävänä on ylläpitää sisäolosuhteet tavoitetasossa, seurata kulutustietoja sekä seurata järjestelmien toimintaa ja huoltaa tarvittaessa. Järjestelmiä voidaan seurata ja ohjata niin paikallisesta kuin etäohjattavastakin valvomosta käsin. [3, s. 221.]

### 2.3.1 Hälytykset

Rakennusautomaation hälytykset jaotellaan kiireellisyyden mukaan hälytysluokkiin A–D tai 1–4. Välittömiä toimenpiteitä vaativa hälytysluokka on A- tai 1-luokan hälytykset. Ne ovat luonteeltaan hengen tai terveyden vaaraan liittyviä tai taloudellisia seuraamuksia aiheuttavia turvallisuushälytyksiä. Tyypillisiä hälytyksiä ovat palo-, rikos-, hissi- ja pumppaamohälytykset. [5, s. 63.]

Kiireelliset hälytykset ovat B- tai 2-luokan hälytyksiä. Tyypillisiä hälytyksiä ovat lämmitysjärjestelmien pumppujen, ilmanvaihtokoneiden jäätymissuojien hälytykset sekä erilaiset pumppaamojen lämpösuoja- ja pinnankorkeushälytykset. C- tai 3-luokan hälytykset ovat yleisesti kiireettömiä hälytyksiä. Näitä ovat tyypillisesti raja-arvohälytykset, erilaiset ristiriitahälytykset ja erillispisteiden hälytykset. Huoltohälytykset ovat D- tai 4-luokan hälytyksiä. Yleisimpiä hälytyksiä ovat käytötuntihälytykset ja suodatinhälytykset. [5, s. 65.]

### 2.3.2 Aikaohjelmat

Automaatiossa yleisimmät toiminnot perustuvat erilaisiin aikaohjauksiin. Näitä ovat esimerkiksi valaistuksen ja ilmanvaihdon ohjaukset. Aikaohjauksilla säästetään energiaa ja pidennetään laitteistojen käyttöikää. Aikaohjelmia voidaan ohjelmoida päivittäin, viikoittain sekä vuosittain tapahtuviin ohjauksiin sekä yksittäisiin tapahtumiin, kuten esimerkiksi iltaikäyttöä tai arkipyhien tilaisuuksia varten. [5, s. 55–56.]

Aikaohjelmien ohjaustapoja ovat muun muassa suora ohjaus, käyntilupa, sammutuspulssi, hälytyslupa, hälytyksen esto sekä ajastetut toiminnot. Suoralla ohjauksella automaatio ohjaa suoraan laitteen toimintaa. Tällainen ohjaus on esimerkiksi ilmanvaihtokoneen tehostuksen kytkeminen aikaohjelman mukaisesti päälle.

Käyntilupaa voidaan käyttää esimerkiksi kanavapuhaltimen ohjauksessa, mutta puhaltimen käynnistyminen edellyttää, että käyntiluvan lisäksi sisälämpötila

ylittää ennalta määrätyn raja-arvon. Toisin sanoen puhaltimen käynnistymiseen liittyy myös muita ohjauksia ja ehtoja. Sammutuspulssilla automaatio antaa sammutuskäskyn jollekin järjestelmälle, jonka käynnistyminen on tapahtunut jollain muulla ohjauksella, esimerkkinä vaikka valaistuksen illalla sammuttaminen. Hälytysluvalla ja -estolla aikaohjelmalle voidaan antaa lupa lähettää hälytys, esimerkiksi tilanteessa, jossa käyttöveden virtaama on yhtäjaksoisesti kestänyt määritellyn ajan. Ajasteluilla toiminnoilla voidaan tulostaa esimerkiksi raportit automaattisesti ajastetuin väliajoin. [5, s. 56–58.]

### 2.3.3 Trendiseuranta

Trendiseurannalla voidaan seurata automaatiojärjestelmän jonkin toiminnan muutoksia joko reaaliaikaisesti tai historiatietoon perustuen. Reaaliaikaista seuranta kutsutaan dynaamiseksi trendiseurannaksi ja historiatietoon perustuvaa historiatrendiksi. Dynaamista trendiseurantaa käytetään yleensä järjestelmien virityksen yhteydessä, kun taas historiatrendejä käytetään automaation häiriöiden ja hälytyksien seurantaan ja analysointiin. [5, s. 67.]

Kuva 3 esittää Monitor-järjestelmässä olevan kohteen lämpimän käyttöveden trendin tallennetuista historiatiedoista. Trendistä näkee muun muassa säätöventtiilin asentotiedot, kiertovesipumpun indikoinnin ja meno- sekä paluueden lämpötilat. Kuvasta voi nähdä järjestelmän toiminta valitulta aikajaksolta.



Kuva 3. Esimerkki lämpimän käyttöveden trendiseurannasta Monitor-järjestelmässä [1].

### 2.3.4 Kulutusseuranta

Kulutusseuranta luo edellytykset kiinteistön energiankäytön hallinnalle. Kulutusta seurataan yleensä lämmityksen, sähkön ja vedenkulutuksen osalta. Tarkempaan kulutusseurantaan voidaan seurannat jakaa osakulutuksiin, kuten esimerkiksi LVI-, valaistus- ja jäähdytysjärjestelmien kulutuksien seurantaan. [3, s. 236.]

Lämmityksen kulutuksen seurannassa tulee ottaa huomioon sään vaihtelu. Tämän takia kiinteistön lämmitysenergiankulutus vaihtelee eri vuosina. Apuna voidaan käyttää normeerausta, jossa vuosittaiset tilojen lämmitysenergian kulutukset korjataan lämmitystarveluvulla. [5, s. 72.]

### 2.3.5 Automaation säädöt

Automaation säätöjärjestelmän tehtävänä on pitää säädettävän suureen arvo tarkoituksenmukaisella tarkkuudella asetusarvossaan. Näiden tekijöiden vaikutusta voidaan ehkäistä hyvällä suunnittelulla ja tekemällä asennukset oikein. Puutteellisesti suunniteltua tai tehtyä säätöpiiriä ei saa pelkästään säätämällä toimimaan kunnolla. Hyvin toimiva säätöjärjestelmä näkyy rakennuksen energiankulutuksessa ja tilojen olosuhteissa. [4, s. 35.]

## 2.4 Pilvivalvomojärjestelmään liitetyt kenttälaitteet

Kiinteistöautomaation alimpaan tasoon kuuluvat kenttälaitteet. Kenttälaitteisiin kuuluvat anturit ja toimilaitteet eli venttiilit, pumput, moottorit ja kaikki laitteet, jotka ohjaavat toimilaitteita. Tähän lukuun on kerätty tyypillisemmät rakennusautomaatiossa esiintyvät kenttälaitteet, ja luvussa esitellään lyhyesti niiden toiminta.

### 2.4.1 Lämpötila-anturit

Yleisimmät lämpötila-anturit ovat vastuksia, joiden resistanssi muuttuu lämpötilan mukaan. Anturit voivat olla joko passiivisia tai aktiivisia. Passiivinen anturi on vastus ja sen lähdöstä on luettavissa vastuksen lämpötilan mukaan muuttuva resistanssi. Resistanssi eri lämpötiloissa määräytyy anturin vastuksen tyypin mukaan, joita ovat muun muassa PT100, PT1000, Ni1000 ja NTC10k. Aktiivisissa lämpötila-antureissa on vastus anturikomponenttina, mutta ne sisältävät myös muuntimen, jonka avulla anturin lähtöviesti muutetaan, joko 0–10 V tai 4–20 mA viestisignaaleiksi vastuksen resistanssin sijasta. Lämpötila-antureita valittaessa on tärkeää ottaa huomioon anturin mitta-alue. [3, s. 82.]

Lämpötila-antureiden rakenne ja asennustavat vaihtelevat paljon käyttökohteen mukaan. Anturit voidaan asentaa esimerkiksi putkien pintaan tai suojataskun avulla säiliöön tai ilmanvaihtokanavaan. Lämpötila-alueet vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan esimerkiksi välillä 0–60 °C, -50–+50 °C tai 0–600 °C. Anturit liitetään rakennuksen automaatioon AI-tulojen kautta. Rakennusautomaatiosta lämpötilatieto on luettavissa Monitor-järjestelmään. [3, s. 83.]

### 2.4.2 Paineanturit ja paine-eroanturit

Paineanturit voidaan jakaa viiteen eri osa-alueeseen. Antureilla mitattavaa painetta verrataan aina johonkin muuhun paineeseen, kuten ilmakehän paineeseen tai muuhun vertailupaineeseen. Osa-alueet ovat absoluuttisen paineen anturit, ylipaineen- ja alipaineen anturit, paine-eroanturit sekä suljetut paineanturit. Lähtökohtaisesti käytetään vertailupaineena normaali-ilmakehän painetta merenpinnan tasolla, joka on 101,325 kPa. [6, s. 394.]

Absoluuttisen paineen anturi vertaa paineen suhdetta täydelliseen tyhjiöön. Yli- ja alipaineanturit vertaavat puolestaan ilmakehän paineeseen. Paine-eroanturi vertaa kahden eri paineen välistä erotusta, ja suljettu paineanturi ilmaisee mitattavan paineen suhteessa ilmakehän paineeseen merenpinnan tasolla.

Paineanturit lähettävät yleensä joko virta- tai jänniteviestiä. Tavallisimmat ulos-tulosignaalit ovat 4–20 mA tai 0–10 V.

### 2.4.3 Virtausanturit

Virtausantureita on olemassa muun muassa mekaaniseen tunnusteluun perustuvat anturit eli esimerkiksi pyöriväsiipiset virtausanturit. Muita anturityyppejä ovat esimerkiksi induktiiviset-, ultraääni- ja, paine-eroanturit sekä termiset mitausanturit. Virtausantureiden yleisesti lähettämät signaalit ovat jännite-, virta- tai pulssisignaaleja. [7.]

### 2.4.4 Toimilaitteet

Toimilaitteet ohjaavat verkostojen venttiileitä joko on/off-tyyppisesti tai portaattomasti standardiviestien (0–10 V tai 4–20 mA) avulla. Toimilaitteen ohjaus voidaan toteuttaa myös automaatiöväylän kautta. Tärkeitä säätöön vaikuttavia tekijöitä toimilaitteissa ovat muun muassa ajoaika, ohjausliikkeen resoluutio, hystereesi sekä häiriöherkkyys. Myös toimilaitteen laadulla on suuri vaikutus toimintaan, koska laitteet ovat mekaanisina laitteina alttiina kulutukselle. [3, s. 92–96.]

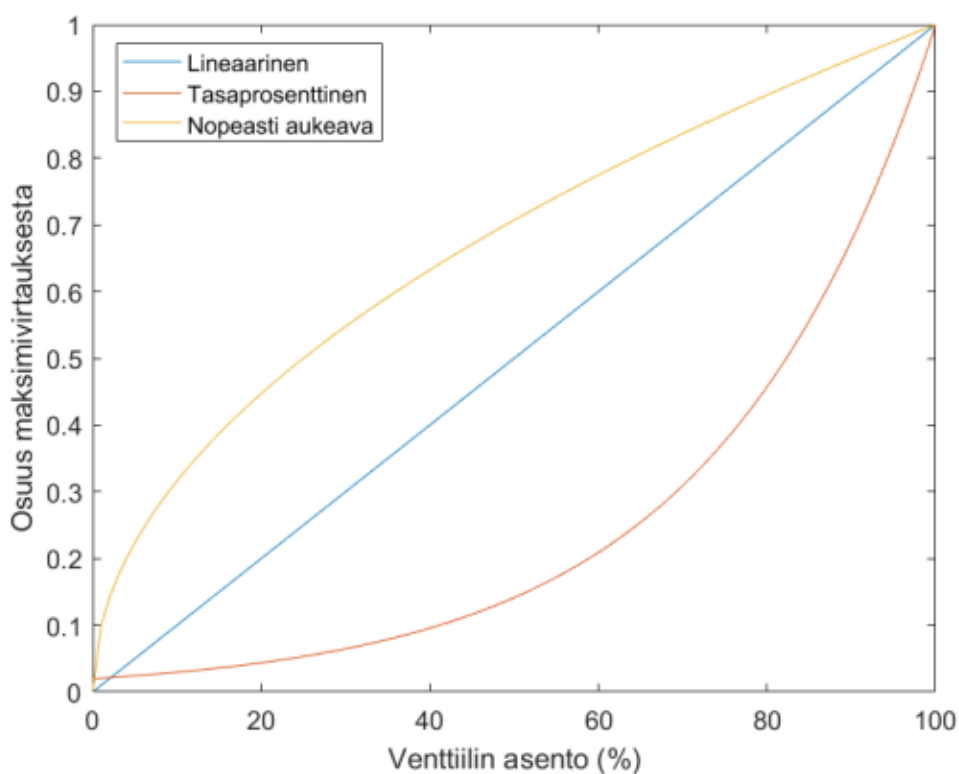
### 2.4.5 Säätöventtiilit

Säätöventtiileillä säädetään prosessin painetta, lämpötilaa tai virtauksen määrää. Säätöventtiili voi olla tyypiltään istukka-, pallo-, magneetti-, läppä- tai pienventtiili. Venttiilejä voidaan ohjata joko lineaarisella liikkeellä tai kiertämällä venttiilin karaa. Toimilaitetta valittaessa on tärkeää tietää venttiilin koko ja tyyppi, sillä venttiileillä on koon mukaan muuttuvat iskupituudet. [3, s. 92–95.]

Istukkaventtiilit soveltuvat hyvin LVI-säätöpiireihin sekoitus- ja jakoventtiileiksi. Jakoventtiiliksi kutsutaan 2-tie venttiiliä ja sekoitusventtiiliksi 3-tie venttiiliä. Ominaiskäyrä istukkaventtiilissä on lineaarinen tai tasaprosenttinen (kuva 4). Palloventtiilit soveltuvat myös hyvin LVI-prosesseihin. Niillä on tyypillisesti tasaprosenttinen ominaiskäyrä ja etuna istukkaventtiileihin nähden on pienempi

virtauspiikki venttiilin avautuessa sekä hyvät virtausominaisuudet osakuormilla. [3, s. 93–94.]

Magneetti- ja läppäventtiilit soveltuvat on/off-ohjauksiin. Magneettiventtiileitä käytetään pienissä venttiileissä (DN10–15), kun taas läppäventtiileitä käytetään venttiilien kokoluokassa DN150–250. Pienventtiileitä (DN10–15) käytetään tyyppillisesti lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien jälkisäädöissä. [3, s. 94.]



Kuva 4. Yleisimpien säätöventtiileiden ominaiskäyriä [8, s. 10].

#### 2.4.6 Pumput

Pumppujen tehtävänä on siirtää erilaisia nesteitä paikasta toiseen tai kierrättää niitä suljetussa piirissä (paineen nosto). Pumput jaetaan yleisesti kolmeen ryhmään,

- turbopumput
  - o keskipako-, puoliaksaali- ja aksiaalipumput
- syrjäytyspumput
  - o mäntä- ja kiertopumput
- muut pumput
  - o suihku- ja paineilmapumput. [9, s. 2.]

Pumpun valintaan vaikuttavat muun muassa pumpattavan nesteen liikekitkan häviöt, tarvittava nostokorkeus sekä paineen korotustarve. Pumpun energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa esimerkiksi suunnittelemalla väljä putkisto sekä mitoittamalla pumppu oikein. Pumpun kustannukset koostuvat pääosin energia- ja kunnossapitokustannuksista, sillä ne ovat monikertaiset pumpun hankintahintaan nähden. [9, s. 3–4.]

Nykyaikaiset pumput pystytään usein liittämään väylien avulla rakennusautomaatioon, jolloin niitä pystytään hallitsemaan, säätämään ja lukemaan etänä. Tällaisia pumppuja käyttämällä pystyttäisiin Monitori-järjestelmän avulla optimoimaan muun muassa pumppujen energiatehokkuutta. Yleensä pumpuista indikoidaan automaatiossa vain käyntitila.

#### 2.4.7 Puhaltimet ja puhallinmoottorit

Puhaltimen tehtävänä on siirtää ilmaa. Puhallin saa aina aikaan myös paineen muutoksen. Puhaltimelta saatavaa ilmavirtaa ja paineen korotusta voidaan säädellä puhaltimen pyörimisnopeutta muuttamalla. Pyörimisnopeutta voidaan muuttaa hihnavetoisessa puhaltimessa välityssuhdetta muuttamalla tai taajuusmuuttajaohjauksella. Hihnavetoisella puhaltimella, jossa pyörimisnopeutta muutetaan välityssuhdetta muuttamalla, ei saada aikaiseksi kovin tasaista säätöä,

sillä hinnapyörien halkaisijat muuttuvat noin 6 % portaittain. Taajuusmuuttajalla pyörimisnopeutta voidaan säätää portaattomasti. [8, s. 174–175.]

Puhaltimissa käytetään yleisesti kolmea eri moottorityyppiä:

- oikosulkumoottori
- EC-moottori eli elektronisesti ohjattava moottori
- Kestomagneettimoottori (PM-moottori). [8, s. 174.]

Oikosulkumoottorit ovat perinteisiä sähkömoottoreita, joita ohjataan joko releohjauksella tai taajuusmuuttajan kautta. Oikosulkumoottoreissa hyötysuhde normaaleilla ja suurilla tehoilla on suhteellisen korkea. Euroopan Unioni on asettanut direktiivin EY640/2009, joka asettaa tiukat hyötysuhdevaatimukset uusille sähkömoottoreille. [8, s. 174–175.]

EC-puhaltimet ovat yleistyneet voimakkaasti muun muassa energiatehokkuutensa vuoksi. EC-moottori on harjaton tasavirtamoottori, jota ohjataan elektronisesti hall-antureiden avulla (kommutointi). Moottorin pyörimisnopeutta pystytään säätämään laajalla pyörimisnopeusalueella hyvällä hyötysuhteella. [8, s. 175.]

Kestomagneettimoottorit eli PM-moottorit ovat mekaaniselta rakenteeltaan samanlaisia kuin oikosulkumoottorit. Hyötysuhde on huomattavasti oikosulkumoottoria korkeampi ja hyötysuhteen ero on suurin pienillä moottoritehoilla. Kestomagneettimoottori vaatii aina säätimen tai se kytketään taajuusmuuttajan kautta sähköverkkoon. [8, s. 175.]

#### 2.4.8 Vesi- ja energiamittarit

Vesimittareita käytetään käyttöveden kulutuksen mittaamiseen. Mittarit voivat olla joko paikan päällä luettavia tai etäluettavia. Kiinteistöissä on yleensä yksi päävesimittari, jota hallinnoi paikallinen vesilaitos, sekä kiinteistön sisällä on alamittareita, joita hallinnoi taloyhtiö. [11.]

Energiamittareita käytetään muun muassa vesikiertoisten lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien energiamäärien mittaamiseen. Energiamittari pitää sisällään virtausanturin, lämpötila-antureita sekä laskentayksikön. Nämä anturit ja yksikkö voivat olla yhdessä integroidussa komponentissa tai suuremmissa mittareissa erillisinä johdotettavina komponentteina. [12.]

### 3 Käyttövesijärjestelmät

Käyttövesijärjestelmät koostuvat kylmästä ja lämpimästä käyttövedestä sekä myös usein lämpimän veden kiertojärjestelmästä. Yleensä kiinteistöön toimitetaan ainoastaan kylmä käyttövesi, josta valmistetaan kiinteistön käyttöön myös lämmin käyttövesi esimerkiksi kaukolämmön tai sähkön avulla. Kiinteistöissä on kylmälle ja lämpimälle käyttövedelle omat putkiverkostot.

#### 3.1 Kylmä käyttövesi

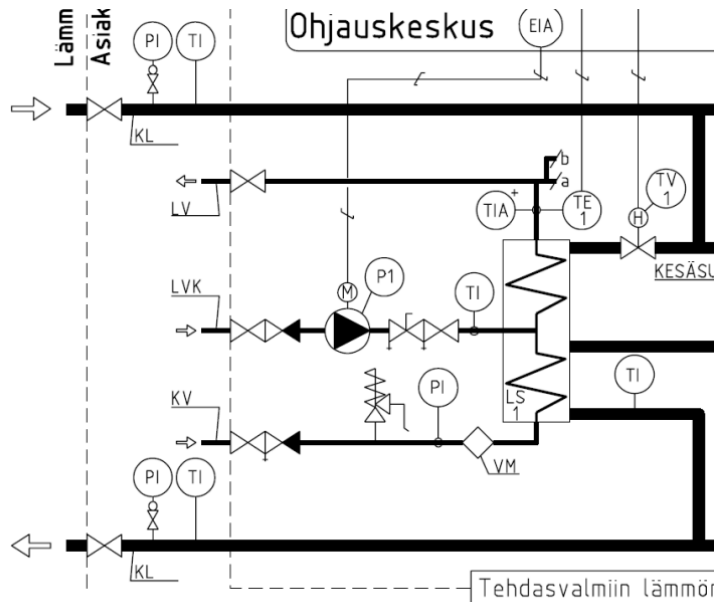
Käyttövesi tulee rakennukseen joko kiinteistön kaivosta tai kunnallisesta vesijohtoverkostosta. Tonttijohdon tullessa kunnallisesta vesijohtoverkostosta rakennukseen, ensimmäisenä komponenttina on sulkuventtiili sekä vesilaitoksen vesimittari. Vesimittarit ovat nykyään etäluettavia mittareita, joten niistä pystytään keräämään kulutustietoja etänä kiinteistön vedenkulutuksesta.

Ympäristöministeriön asetuksen 6 § mukaan, kylmän käyttöveden lämpötila saa olla enintään 20 °C ja vähintään kahdeksan tunnin käyttämättömän jakson jälkeen enintään 24 °C. [15.]

#### 3.2 Lämmin käyttövesi ja lämpimän käyttövedenkierto

Lämmin käyttövesi voidaan valmistaa lukuisilla eri tavoilla kylmästä käyttövedestä. Yleisimpiä järjestelmiä käyttöveden lämmittämiseen ovat kaukolämpö, sähköinen vesivaraaja tai erilaiset lämpöpumppuratkaisut. Kuva 5 esittää tyypillisen kaukolämpöjärjestelmän kytkennän. Kytkennässä säätökeskus ohjaa säätöventtiiliä TV1 käyttöveden lämpötila-anturin, TE1:n mittausarvon perusteella

pitäen käyttöveden lämpötilan säätökeskuksen asetusarvon mukaisena. Ympäristöministeriön asetuksen 6 § mukaan, lämpimän käyttöveden lämpötilan on oltava vähintään 55 °C ja korkeintaan lämpötila lämminvesilaitteissa saa olla 65 °C. [15.]



Kuva 5 Lämpimän käyttöveden ja kierron kytkentä kaukolämpöjärjestelmässä [13].

Lämpimän käyttövedenkierron lämpöhäviöinä kuluttama energia saadaan laskettua yhtälöllä 1, kun tiedetään virtaama sekä lähtevän ja palaavan käyttöveden lämpötilat [6, s. 195].

$$Q = \rho C_p q_v (t_2 - t_1) \Delta t \quad (1)$$

jossa

- Q on kierrossa lämpöhäviöinä kuluva energia (kWh)
- $\rho$  on veden tiheys (1 kg/dm<sup>3</sup>)
- $C_p$  on veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/kg°C)
- $q_v$  on lämpimän käyttövedenkierron virtaama (dm<sup>3</sup>/s)
- $t_2$  on lähtevän lämpimän käyttöveden lämpötila (°C)
- $t_1$  on palaavan lämpimän käyttöveden lämpötila (°C)
- $\Delta t$  on ajanjakson pituus (h).

### 3.3 Järjestelmien optimointi

Lämpimän käyttövedenkierto mitoitetaan yleensä lämpötiloilla 58–55 °C eli 3 °C lämpötilaerolla ja oletuksena, että putkiston eristystaso on 0,5D, jolloin lämpöhäviöt ovat noin 10 W/m. Lisäksi mitoituksessa on varmistettava, ettei kupari-putkissa virtausnopeus ylitä 0,5 m/s. Nykyään asennukset tehdään pääsääntöisesti käyttäen komposiittiputkia, joissa virtausnopeus voi olla kupariputkia suurempi. Esimerkiksi Uponor-komposiittijärjestelmällä ei ole virtausteknisiä rajoituksia nopeuden suhteen mutta mitoituksessa kannattaa noudattaa alhaista painetasoa sekä pientä virtausnopeutta, jotta ei syntyisi ääniongelmia [16, s. 14].

Optimoinnin kannalta tärkeintä on pitää palaavan veden lämpötila mahdollisimman lähellä 55 °C:ta. Paluueden lämpötilaan voidaan vaikuttaa lähtevän veden lämpötilalla sekä kiertovesipumpun kierrosnopeutta säätämällä. Säätojärjestelmällä pystytään optimoimaan vain paluulämpötila mutta kiertopiirin todellisten lämpöhäviöiden optimointiin voidaan vaikuttaa vain eristystä ja ympäristöolosuhteita parantamalla.

Säätojärjestelmän suurin hetkellinen poikkeama asetusarvosta saa olla kaukolämmön K1/2021 määräyksien mukaan käyttöveden säätojärjestelmissä +7/-10 °C ja sallittu jatkuva huojunta  $\pm 2$  °C. [13, s. 15.]

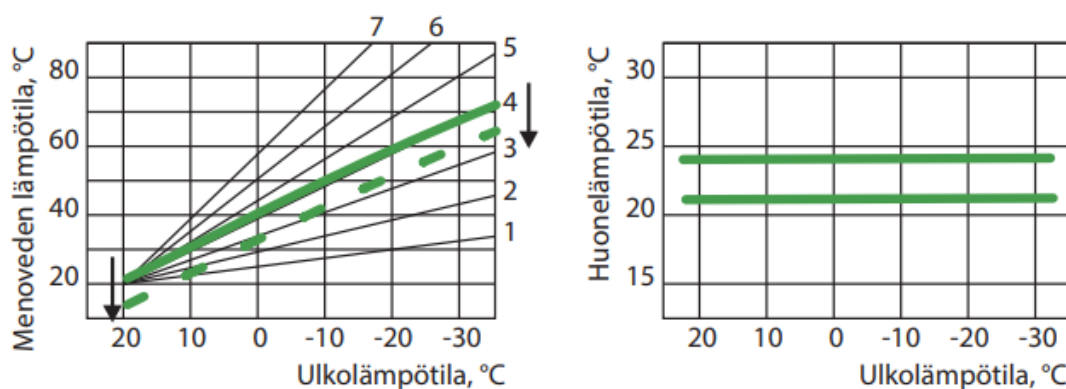
## 4 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät

### 4.1 Lämmitysjärjestelmät

Radiaattori- ja lattialämmitykset ovat vesikiertoisia lämmitysjärjestelmiä ja niiden tarkoituksena on ylläpitää suunniteltuja tilakohtaisia lämpötiloja. Vesikiertoisten lämmitysjärjestelmien lämmöntuottotapoina voidaan käyttää öljy- ja maakaasulämmitystä, kaukolämmitystä, lämpöpumppulämmitystä, puulämmitystä sekä varaavaa ja osittain varaavaa sähkölämmitystä [17, s. 1]. Kuva 6 esittää kattilalämmitysverkoston kytkentäkaavion, jossa P1 on pumppu ja TV1 menoveden



Säätöjärjestelmään asetetaan säätökäyrä, jonka avulla tilojen lämpötilat pyritään pitämään vakiona ulkolämpötilasta riippumatta. Menoveden lämpötila säädetään säätökäyrän mukaisesti ulkolämpötilan muuttuessa. Jokaisella kiinteistöllä lämmitysjärjestelmän säätökäyrä on yksilöllinen. Kuva 8 on esimerkki säätökäyrästä, jossa käyrä (nro 4) on oikea, mutta huonelämpötilat ovat liian korkeita. Suuntaisiirolla eli laskemalla tässä esimerkissä koko käyrää alaspäin saadaan menoveden lämpötila vastaamaan rakennuksen lämpöhäviöitä.



Kuva 8. Esimerkki lämmitysjärjestelmän säätökäyrästä, jossa näkyy myös suuntaisiirollon vaikutus huonelämpötiloihin [19, s. 3].

## 4.2 Jäähdytysjärjestelmät

Kiinteistön jäähdytys voidaan toteuttaa ilmakiertoisilla tai vesikiertoisilla järjestelmillä. Tyypillisimpiä toteutustapoja tilan jäähdytyksen toteuttamiseksi ovat tuloilman jäähdytys ilmastointikoneen lämmönsiirtimellä ja tilassa olevilla puhallin-konvektoreilla tai jäähdytyspalkeilla. Jäähdytysenergia voidaan toteuttaa usealla eri tekniikalla, kuten esimerkiksi vapaajäähdytyksellä, kaukokylmällä tai lämpöpumpuilla.

Kuva 9 esittää periaatteellisen konvektoriverkoston kytkennän kaukojäähdytysjärjestelmässä. Kytkennässä säätöohjelma pitää konvektoriverkoston menoveden lämpötilan 421TE51 asetusarvossa (+10 °C) ohjaamalla lämmönsiirtimen 421LS01 säätöventtiileitä 421FV01 ja 421FV02. [14, liite 4.]





Kuva 10. Lämmitysverkoston tasapainotuksen tavanomainen tilanne vasemmalla ja optimitilanne oikealla [20, s. 4].

## 5 Ilmanvaihtojärjestelmät

Erilaiset ilmanvaihtojärjestelmät jaetaan toimintaperiaatteen mukaan. Näitä ovat muun muassa painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä, koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä sekä koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä. Koneelliset ilmajähtöjärjestelmät voidaan varustaa lämmöntalteenottojärjestelmällä.

### 5.1 Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä rakennuksen poistoilma poistetaan koneellisesti joko paikallisena poistona tai keskitettynä järjestelmänä. Puhaltimina käytetään huippuimureita, kanavapuhaltimia tai poistoilmaventtiilin tilalle asennettavia poistopuhaltimia.

Poistoilman tilalle tulee ulkoilmaa koneellisessa poistoilmajärjestelmässä rakenteiden vuotoilmareittien tai erilaisten ulkoilmaventtiileiden kautta. Ulkoilmaventtiileissä on yleensä säätöosa, jolla pystyy asettamaan venttiilin kesä- tai talvi-asentoon tai venttiilissä voi olla automaattinen säätö ulkolämpötilan mukaan.

Tyypillisesti koneelliset poistoilmanvaihtojärjestelmät toimivat kello-ohjauksella, jolloin puhallin toimii täydellä teholla vain muutamia tunteja päivässä. Yleensä täyden tehon ohjaus on asetettu muutamiksi tunneiksi aamuisin ja iltapäivisin. Kovilla pakkasilla puhallin ohjataan toimimaan vain puoliteholla.

## 5.2 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmä

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmässä sekä tuloilma että poistoilma hoidetaan koneellisesti. Kone on yleensä varustettu lämmöntalteenotolla, jolla saadaan poistoilmasta energiaa talteen sekä lämmitettyä tuloilmaa ennen sisään puhallusta. Lämmöntalteenotto voidaan toteuttaa erityyppisillä lämmönsiirtimillä.

## 5.3 Lämmöntalteenottojärjestelmät

Poistoilman lämmöntalteenotto (LTO) voidaan toteuttaa ristivirta- ja vastavirtalevylämmönsiirtimillä, pyörivällä lämmönsiirtimellä (regeneratiivinen) sekä nestekiertoisilla lämmönsiirtimillä (rekuperatiivinen). Näiden tehokkuutta mitataan lämpötilahyötysuhteella, jolla tarkoitetaan montako prosenttia ulko- ja sisäilman lämpötilaerosta, saadaan siirrettyä tuloilmaan. [21.]

Lämpötilahyötysuhde erilaisilla lämmönsiirtimillä on tyypillisesti,

- ristivirtalevylämmönsiirtimillä 50–70 %
- vastavirtalevylämmönsiirtimillä 60–80 %
- pyörivillä lämmönsiirtimillä 60–80 %
- nestekiertoisilla lämmönsiirtimillä 40–60 % [22, s. 45].

## 5.4 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton lämpötilahyötysuhteet

Lämpötilahyötysuhde kuvaa lämmöntalteenoton kykyä siirtää lämpöä poistoilmasta tuloilmaan. Lämpötilahyötysuhteet voidaan laskea sekä tulo- että poistoilmalle. Standardin SFS-EN 308:1997 mukaan tuloilman hyötysuhde määritetään niin, että tulo- ja poistoilman massavirrat ovat yhtä suuria, lämmönsiirtimien ollessa kuivia sekä ilman jäätymisen estoja ja lämpötilarajoituksia. Tuloilman lämpötilahyötysuhde lasketaan yhtälöllä 2. [22, s. 50.]

$$\eta_t = \frac{(t_{tLTO} - t_u)}{(t_s - t_u)} \quad (2)$$

$\eta_t$  on tuloilman lämpötilahyötysuhde (%)

$t_{tLTO}$  on tuloilmanlämpötila LTO:n jälkeen (°C)

$t_u$  on ulkoilman lämpötila (°C)

$t_s$  on sisäilman lämpötila (°C).

Poistoilman lämpötilahyötysuhde lasketaan yhtälöllä 3 [22, s. 50].

$$\eta_p = \frac{(t_s - t_{up})}{(t_s - t_u)} \quad (3)$$

$\eta_p$  on poistoilman lämpötilahyötysuhde (%)

$t_{up}$  on ulospuhallusilman lämpötila LTO:n jälkeen (°C)

$t_u$  on ulkoilman lämpötila (°C)

$t_s$  on sisäilman lämpötila (°C).

Joskus valmistajat ilmoittavat lämmöntalteenottolaitteiden tuloilman lämpötilahyötysuhteen epäsuhteisilla ilmavirroilla, jolloin lämpötilahyötysuhteen laskeaan tuloilman osalta yhtälöllä 4 ja poistoilman osalta yhtälöllä 5. Näissä yhtälöissä oletetaan, että tulo- ja poistoilmavirtojen ominaislämpökapasiteetit ja tiheydet ovat yhtä suuria. [22, s. 51.]

$$\eta_t = \frac{(1 + \frac{q_{tLTO}}{q_{pLTO}}) (t_{tLTO} - t_u)}{2 (t_s - t_u)} \quad (4)$$

$\eta_t$  on tuloilman lämpötilahyötysuhde (%)

$q_{tLTO}$  on tuloilmavirta ( $\text{dm}^3/\text{s}$ )

$q_{pLTO}$  on poistoilmavirta ( $\text{dm}^3/\text{s}$ )

$t_{tLTO}$  on tuloilmanlämpötila LTO:n jälkeen ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_u$  on ulkoilman lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_s$  on sisäilman lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$$\eta_p = \eta_t \frac{q_{tLTO}}{q_{pLTO}} \quad (5)$$

$q_{tLTO}$  on tuloilmavirta ( $\text{dm}^3/\text{s}$ )

$q_{pLTO}$  on poistoilmavirta ( $\text{dm}^3/\text{s}$ ).

## 5.5 Ilmanvaihtosuodattimet

Ilmanvaihtosuodattimien likaantumista mitataan suodattimen yli olevalla paine-erolla. Suodattimen yli olevaan paine-eroon vaikuttaa suodattimen puhtaus, erotusaste sekä suodattimen läpi kulkeva ilmavirta. Standardin ISO 16890 erotusasteet mitataan kolmessa eri hiukkaskokoluokassa. Hiukkaskokoluokat ovat

- PM1 (0,3–1,0  $\mu\text{m}$ )
- PM2,5 (0,3–2,5  $\mu\text{m}$ )
- PM10 (0,3–10  $\mu\text{m}$ ). [23.]

Suodatinluokat ovat ePM1, ePM2,5, ePM10 ja Coarse eli karkeasuodin. Suodattimien luokituksessa luokka määräytyy sen erotusasteen mukaan, jossa erotusaste on yli 50 %. Jos suodattimen erotusaste on PM10 luokassa alle 50 %, niin sen luokitus on karkeasuodatin. [23.]

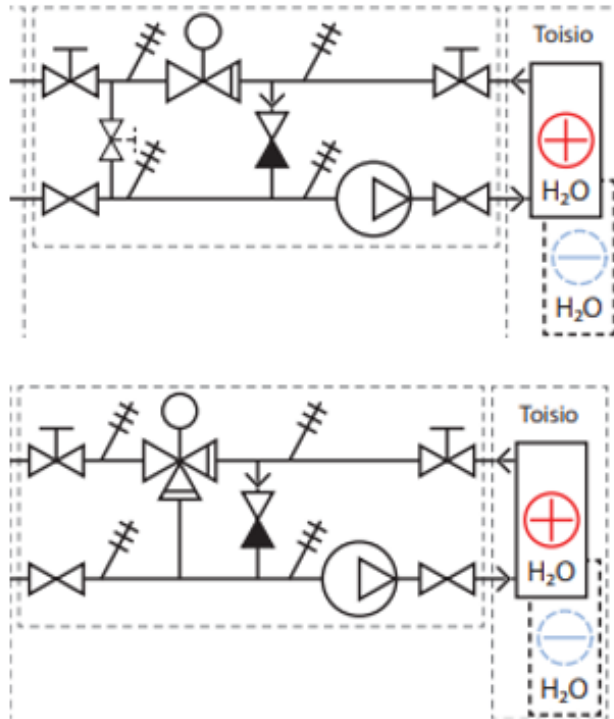
Ilmanvaihtosuodattimen optimoinnissa on tärkeää kiinnittää huomiota suodattimen energiatehokkuuteen. Suodattimen valinta on aina kompromissi, eli energiatehokkuus paranee suodatinalaa kasvattamalla. Silloin myös

hankintakustannukset nousevat mutta toisaalta energiakustannukset pienenevät. Energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa myös suodattimien puhtautta tarkkailemalla paine-eron avulla ja vaihtamalla likaantunut ilmanvaihtosuodatin, kun paine-ero kasvaa ennalta määritettyyn optimoituun asetusarvoon.

## 5.6 Lämmitys- ja jäähdytyspatterit

Ilmanvaihtokoneiden lämmitys- ja jäähdytyspattereiden optimoinnissa tärkeää on säädön pysyvyys säätökäyrällä sekä se, että säätökäyrä on asetettu seuraamaan tarkasti haluttua tuloilman lämpötilaa. Säädöllä lämmityspatteri otetaan käyttöön tuloilman lämmittämiseksi, kun lämmöntalteenoton lämmityskapasiteetti ei enää riitä. Vastaavasti jäähdytyspatteri otetaan käyttöön tilanteessa, kun tuloilman lämpötila ylittää määritellyn asetusarvon. Päällekkäistä lämmitystä ja jäähdytystä on vältettävä.

Kuva 11 esittää lämmitys- ja jäähdytyspattereiden säätöpiirien kytkennät kaukolämpö ja -jäähdytysjärjestelmissä. Säätöpiirit toimivat niin, että lämmityspattereiden läpi kiertää pumppujen avulla vakiovirtaamat ja säätöventtiileillä kiertoon ohjataan lisää lämmintä vettä asetusarvojen mukaisesti. Säätöpiirit voidaan toteuttaa myös kolmitieventtiileillä, jolloin sekä ensiö- että toisiopiiri toimivat vakiovirtaamilla.



Kuva 11. Sekoitusryhmät lämmitys- ja jäähdytyspatteille kaukolämpö- ja jäähdytysjärjestelmissä [24, s. 3].

### 5.7 Ominaissähköteho eli SFP-luku

Ominaissähköteho eli SFP ottaa huomioon koko ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuuden. SFP-luku pitää sisällään järjestelmien painehäviöt, puhaltimien, moottoreiden ja käytön hyötysuhteet sekä liitänthäviöt. SFP-luku tarkoittaa tehoa, joka tarvitaan ilmakehän kuljettamiseen sekunnissa rakennuksen läpi. SFP-lukuun lasketaan koko rakennuksen kaikkien tulo- ja poistoilmapuhaltimien yhteenlasketut sähkötehot jaettuna niiden läpi kulkevilla ilmavirroilla. Jakajana käytetään aina suurinta ilmavirtaa (tulo- tai poistoilmavirran). Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmien ominaissähköteho lasketaan yhtälöllä 6,

$$SFP_{BUILD} = \frac{\Sigma P_{tulo} + \Sigma P_{poisto} + \Sigma P_{apulaatteet}}{\Sigma q_{max}} \quad (6)$$

jossa  $SFP_{BUILD}$  on ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho (kW/m<sup>3</sup>/s)  
 $\Sigma P_{tulo}$  on tuloilmapuhaltimien yhteensä ottama sähköteho (kW)

$\Sigma P_{\text{poisto}}$  on poistoilmapuhaltimien yhteensä ottama sähköteho (kW)

$\Sigma P_{\text{apulaitteet}}$  on taajuusmuuttajien ja muiden säätölaitteiden sekä mahdollisten LTO-pumppujen ja -moottorien ottama sähköteho (kW)

$\Sigma q_{\text{max}}$  on mitoittava ulospuhallusilmavirta tai ulkoilmavirta ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). [25, s. 2.]

Yksittäisen ilmapuhaltimen tai puhaltimen ominaissähkötehon lasketaan yhtälöllä 7,

$$SFP_{AHU} = \frac{P_{tulo} + P_{poisto} + P_{apulaitteet}}{q_{max}} \quad (7)$$

jossa  $SFP_{AHU}$  on ilmapuhaltimen ominaissähköteho ( $\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}$ )

$P_{tulo}$  on tuloilmapuhaltimen ottama sähköteho (kW)

$P_{poisto}$  on poistoilmapuhaltimen ottama sähköteho (kW)

$P_{apulaitteet}$  on taajuusmuuttajien ja muiden säätölaitteiden sekä mahdollisten LTO-pumppujen ja -moottorien ottama sähköteho (kW)

$q_{max}$  on mitoittava ulospuhallusilmavirta tai ulkoilmavirta ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). [25, s. 2.]

Yksittäisen puhaltimen ominaissähköteho lasketaan yhtälöllä 8,

$$SFP_{FAN} = \frac{P_{poisto} + P_{apulaitteet}}{q} \quad (8)$$

jossa  $SFP_{FAN}$  on puhaltimen ominaissähköteho ( $\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}$ )

$P_{poisto}$  on puhaltimen ottama sähköteho (kW)

$P_{apulaitteet}$  on taajuusmuuttajien ja muiden säätölaitteiden sekä mahdollisten LTO-pumppujen ja -moottorien ottama sähköteho (kW)

$q$  on puhaltimen ilmavirta ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). [25, s. 2.]

SFP-luvulle on asetettu vaatimuksia rakentamismääräyksissä vuodesta 2003 lähtien. Eri ajanjaksojen asetukset ja ominaissähkötehot esitetään taulukko 1. Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho voi olla myös suurempi kuin määräyksissä esitetyt arvot, jos rakennuksen käyttötarkoitus niin edellyttää. [26.]

Taulukko 1. Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaiset SFP-luvut eri vuosina [25].

Suomen rakentamismääräyskokoelma	Tulo- ja poistoilmajärjestelmä	Poistoilmajärjestelmä
D2 (2003)	2,5 kW/m <sup>3</sup> /s	1,0 kW/m <sup>3</sup> /s
D5 (2007)	2,5 kW/m <sup>3</sup> /s	1,0 kW/m <sup>3</sup> /s
D5 (2012)	2,0 kW/m <sup>3</sup> /s	1,0 kW/m <sup>3</sup> /s
1010/2017	1,8 kW/m <sup>3</sup> /s	0,9 kW/m <sup>3</sup> /s

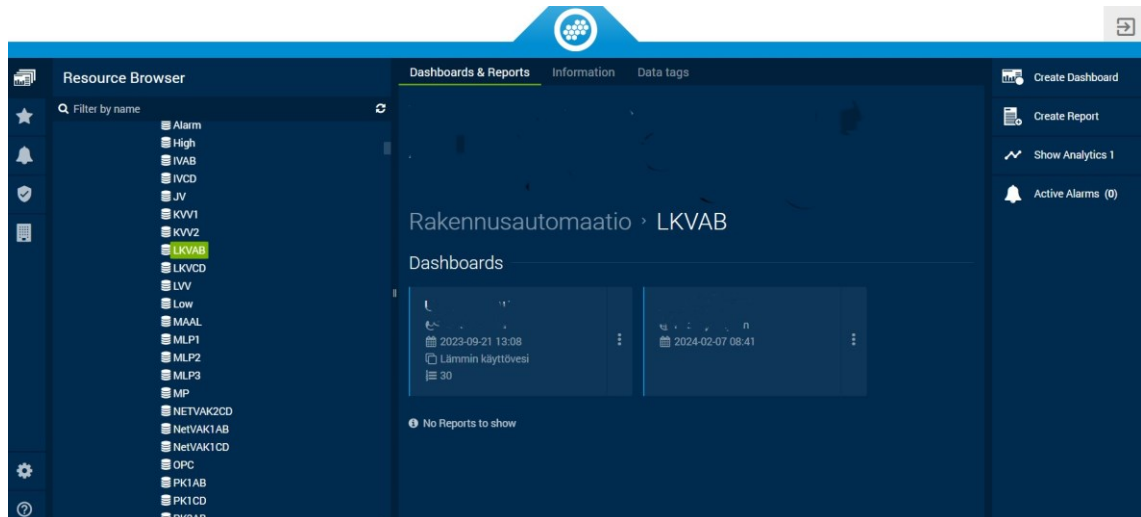
## 6 Pilvivalvomojärjestelmä Wapice Oy:n IoT Ticket

IoT Ticket -järjestelmän avulla voidaan kerätä, analysoida ja raportoida kiinteistöjen rakennusautomaatiojärjestelmistä saatua dataa. Pilvivalvomojärjestelmän avulla voidaan rakennusautomaatioita hallita ja seurata etänä. IoT Ticket -järjestelmä koostuu päänäköymästä, Interface Designer -työkalusta sekä Data-flow-editorista. [2.]

### 6.1 Pilvivalvomon päänäköymä

Ohjelman päänäköymässä (kuva 12) voidaan muun muassa,

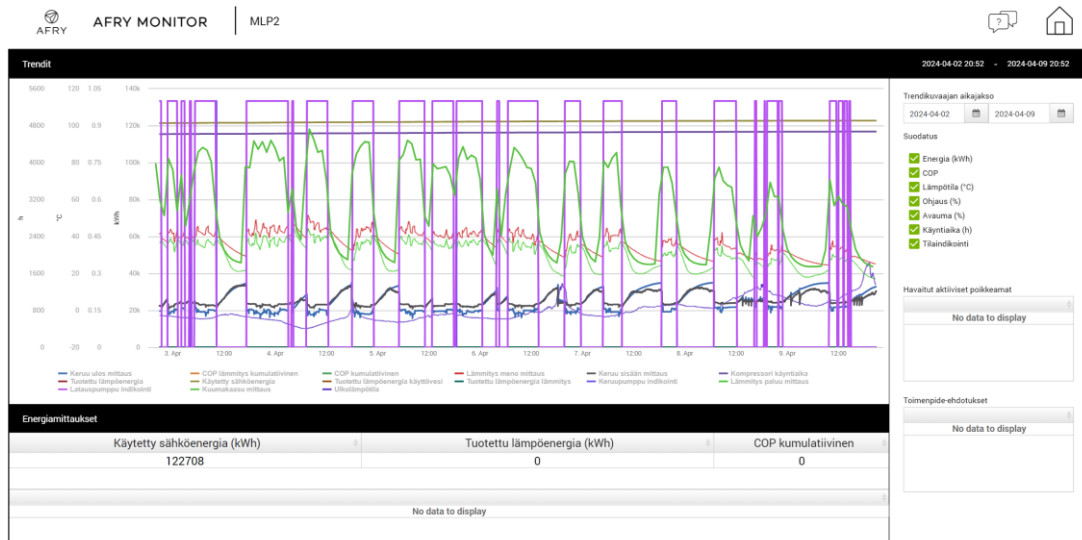
- luoda ja rekisteröidä IoT-laitteita
- luoda hallintapaneeleita ja raportteja
- hälytyksiä ja tapahtumia
- hallita käyttäjätietoja. [2.]



Kuva 12. IoT Ticket -järjestelmän päänäkymä, jossa hallitaan muun muassa asiakkaita ja rakennetaan hallintapaneeleita [1].

## 6.2 Interface designer -työkalu

Hallintapaneeleita tehdään käyttäen IoT Ticket -järjestelmän Interface Designer -työkalua (kuva 13). Työkalussa on vedä ja pudota -tyyppinen käyttöliittymä ja se sisältää yli 120 vimpainta sekä tietovirtablokkia. vimpaimet ja blokit voivat olla esimerkiksi erilaisia mittareita, kaavioita, taulukoita, painikkeita, valintalistoja, tekstiä, kuvia ja grafiikkaa. [2.]

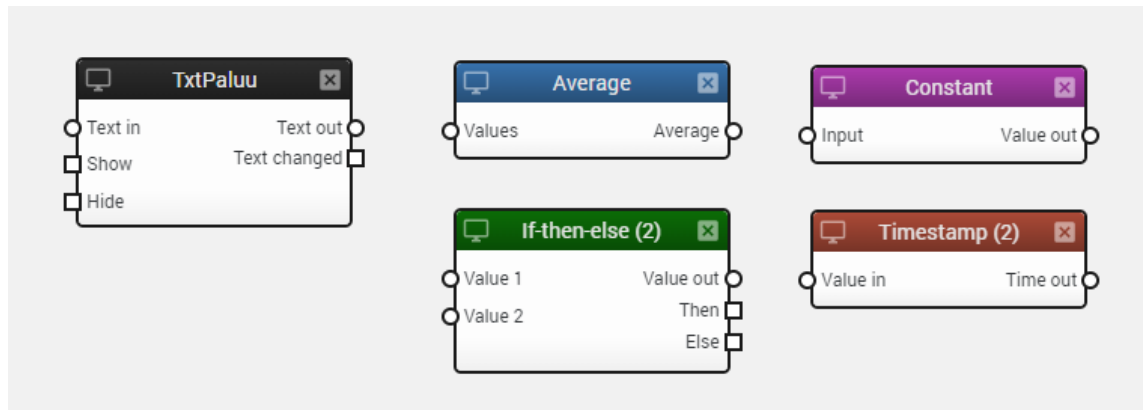


Kuva 13. IoT Ticket -järjestelmän Interface designer -työkalu, jolla rakennetaan hallintapaneelien (kojelautojen) näkymät [1].

### 6.3 Data-flow-editori

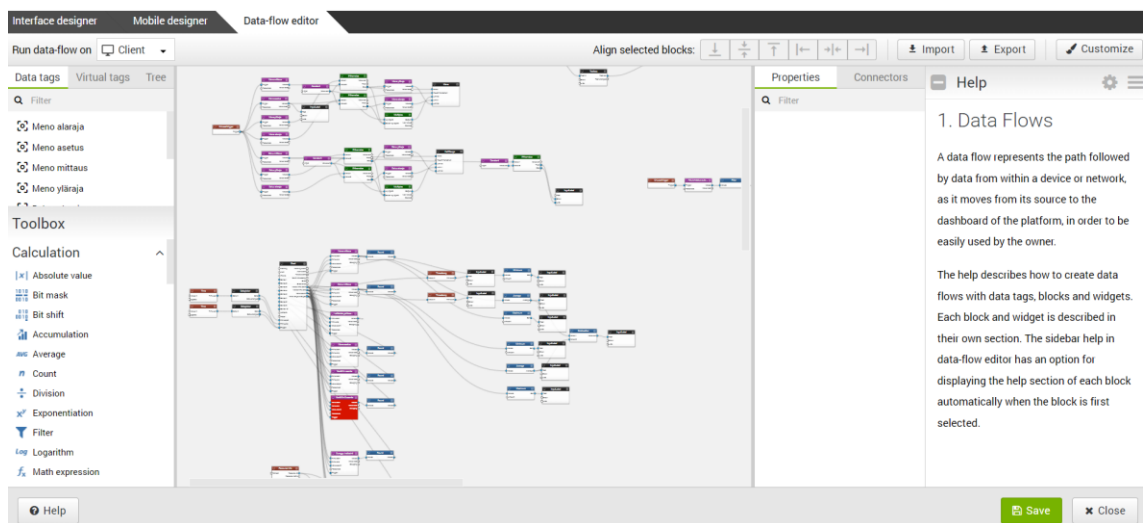
Varsinainen ohjelmointi tapahtuu Data-flow-editorilla (kuva 15). Interface Designeriin liitetyt käyttöliittymäelementit tulevat automaattisesti näkyviin Data-flow-editoriin datablokkeina. Blokit ovat työkalussa jaoteltu toimintojen mukaisiin ryhmiin eli laskentaan, loogisiin operaatioihin, datan käsittelyyn sekä sekalaisiin blokkeihin.

Interface Designeristä automaattisesti tuodut käyttöliittymäelementtien datablokit ovat väriltään mustia. Muita käytössä olevia värejä ovat muun muassa sininen (laskenta), lila (data), oranssi (sekalaiset) ja vihreä (logiikka). Kuva 14 esittää blokkien värit eri blokkityyppien mukaisesti.



Kuva 14. Värit blokkien tyypin mukaan [2].

Kuva 15 on yleisnäkymä Data-flow-editorista. Kuvassa vasemmalla on työkalurivi, josta valitaan haluttu blokki. Editori toimii samalla tavalla kuin Interface Designer -työkalukin eli vedä ja pudota -tyyppisesti.



Kuva 15. Data-flow-editorin näkymä lämpimän käyttöveden hallintapaneelin ohjelmasta [1].

## 6.4 AFRY Monitor

AFRY Monitor -järjestelmään on luotu useita erilaisia hallintapaneeleita. Ohjelmallisesti ne ovat hyvin joustavia, joten niitä pystytään käyttämään hyvin erilaisissa kiinteistöissä rakennusautomaation seurantaan ja ohjaukseen.

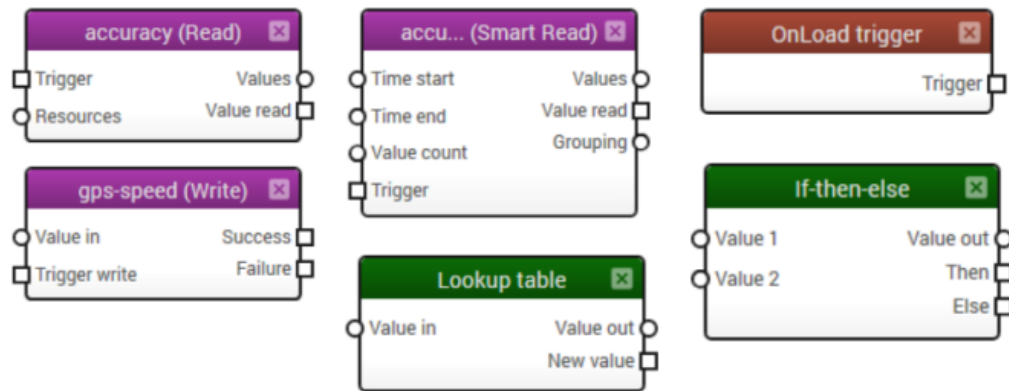
Hallintapaneeleita löytyy käyttöveden, lämpimän käyttöveden, lämmityksen, jäähdtyksen, ilmanvaihdon, maalämpöjärjestelmien sekä moniin muihin järjestelmiin liitettäväksi. Kuva 16 näyttää esimerkiksi lämpimän käyttöveden seurantaan tehtyä hallintapaneelia. [1.]



Kuva 16. Esimerkki lämpimän käyttöveden seurantaan tehdystä hallintapaneelistä [1].

## 6.5 Ohjelmoinnin perusblokit

Ohjelmoinnissa yleisimpiä blokkeja ovat muun muassa datatagit, laskentablokit sekä ehto- ja logiikkablokit. Kuva 17 esittää joitain yleisimpiä blokkeja.



Kuva 17. Ohjelmoinnissa yleisimmät käytössä olevat blokit [2].

"OnLoad trigger"-blokin ulostulo aktivoituu, kun hallintapaneeli on ladattu ja alustettu.

Datageja voidaan käyttää sekä etäohjattavana, että etäluettavana tagina. Tagilla on kolme moodia eli "read", "write" ja "smart read". Lukumoodissa (read) datatagin ulostulosta saadaan luettua tagin tieto ja älykkäässä lukumoodissa (smart read) tietoja voidaan optimaalisesti ryhmitellä ajanjakson ja enimmäisarvojen mukaisesti. Kirjoitusmoodissa datatagiin voidaan kirjoittaa (write) tietoa.

"If-then-else"-blokilla verrataan kahta arvoa keskenään ja ulostulo annetaan valitun ehdon mukaan. "Value out" antaa ehtolauseen tuloksesta boolean arvon eli joko "true" (tosi) tai "false" (epätosi). "Then" ja "else" -ulostulot aktivoituvat, jos ehtolause on tosi tai epätosi.

"Lookup table" muuttaa sisään tulevan arvon "Fields"-editorilla luotuihin teksteihin tai numeroarvoihin. Editorilla voidaan myös määrittää, tuleeko arvojen olla täysin vastaavia tai suurempia kuin tai pienempiä kuin taulukkoon merkityt arvot (value). "New value" aktivoituu, kun arvo blokissa muuttuu.

## 7 Toimenpiderajojen määritykset toimenpide-ehdotuksiin

Toimenpide-ehdotukset ohjelmoitiin Monitor-järjestelmään Data-flow-editorilla. Toimenpide-ehdotuksien ohjelmat tehtiin omille sivuilleen käyttövesijärjestelmien, lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien sekä ilmanvaihtojärjestelmien hallintapaneeleihin. Jokaiseen järjestelmään ohjelma on kirjoitettu sille tarkkaan valittujen toimenpide-ehdotuksien pohjalta (liite 1) mutta kaikille hallintapaneeleilla näkyvät ehdotukset tulostetaan taulukkoon käyttäen koodia, joka on suunniteltu tätä tarkoitusta varten (liite 3).

### 7.1 Lämmin käyttövesi

Käyttövesijärjestelmän perusteet uusien rakennusten ja kiinteistöjen osalta käytiin läpi luvussa 3. Monitor-järjestelmässä on kiinteistöjä useilta eri vuosikymmeniltä, joten raja-arvojen on vastattava kyseisten aikakausien määräyksiä. Taulukko 2:ssa esitetään eri aikakausien määräykset ja oppaat sekä käyttövesijärjestelmien raja-arvot. Vuosina 1976 ja 1987 voimaan tulleet D1 kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot määräyksissä ja ohjeissa ei määritelty kylmän veden lämpötilaa numeerisena arvona vaan tekstinä. Vuoden 1976 määräyksessä esitettiin: ”Kylmävesijohdot on asennettava siten, ettei veden lämpötila kohoa liikaa matkalla vesijohtokalusteeseen.” [27, s. 6]. Vuoden 1987 määräyksessä ohjeistetaan: ”Kylmävesijohdot on asennettava siten, ettei veden lämpötila niissä kohoa liikaa.” [28, s. 7]. Vuoden 2017 määräykseen (1047/2017) on lisätty veden lämpötilan (6 §) osalta teksti: ”Vähintään kahdeksan tunnin käyttämättömän jakson jälkeen veden lämpötila saa olla enintään 24 celsiusastetta.” [15].

Monitorissa kiinteistöjen käyttövesijärjestelmiä seurataan hallintapaneelilla ”Lämmin käyttövesi”. Kylmälle käyttövedelle ei ole tällä hetkellä mittausta, joten siihen liittyvät toimenpide-ehdotukset rajataan tämän opinnäytetyön ulkopuolelle. Kylmän käyttöveden toimenpide-ehdotukset ja raja-arvot pystytään myöhemmin lisäämään ohjelmaan, jos näitä aletaan tulevaisuudessa mittaamaan.

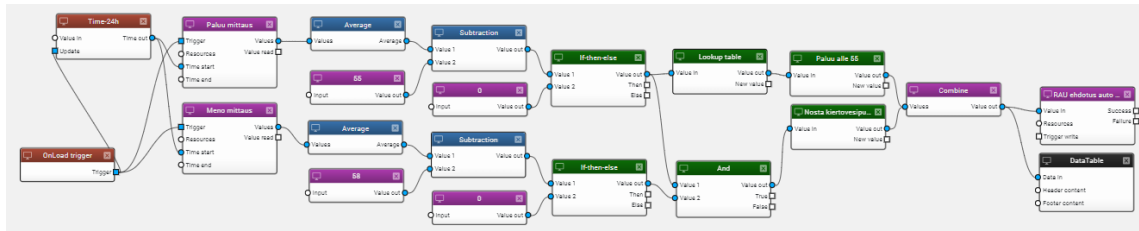
Taulukko 2. Suomen rakentamismääräyskokoelmassa ilmoitetut raja-arvot kylmän ja lämpimän käyttövedenlämpötiloille eri vuosina [15; 27; 28; 29].

Suomen rakentamismääräyskokoelmat	Julkaisu-vuosi	Kylmäkäyttövesi lämpötilat		Lämmin käyttövesi lämpötilat	
		enintään	8 h:n jäl-keen	vähintään	korkein-taan
D1	1976	-	-	-	65 °C
D1	1987	-	-	50 °C	65 °C
D1	2007	20 °C	-	55 °C	65 °C
1047/2017	2017	20 °C	24 °C	55 °C	65 °C

Käyttövesijärjestelmään ohjelmoitiin toimenpide-ehdotukset Suomen rakentamismääräyskokoelmasta saatujen raja-arvojen mukaan. Monitor-järjestelmän historiadatasta luetut lämpötilat lasketaan vuorokauden keskiarvoina, jolloin järjestelmien nopeat muutokset eivät aiheuta turhia toimenpide-ehdotuksia. Poikkeuksena on menoveden ylärajan mittaus, jonka keskiarvo lasketaan 15 minuutin välein. Ohjelma toimintoinen esitellään liitteessä 1, ja koko ohjelman koodi löytyy liitteestä 2. Liitteessä 1 oleva taulukko 1 näyttää Monitor-järjestelmään ohjelmoitavat toimenpide-ehdotukset sekä raja-arvot, joilla ehdotuksien aktivointuminen tapahtuu.

Edellisten toimenpide-ehdotuksien lisäksi niitä on laadittu ohjelmassa myös säätöpiirin säätöventtiilille. Säätöventtiilin asentoa seurataan ja annetaan toimenpide-ehdotus, jos venttiili on 24 tunnin keskiarvona ollut joko liian paljon auki tai kiinni. Ylä- ja alarajat venttiilin asennolle prosentteina voidaan antaa toimenpide-ehdotuksien oman sivun käyttöliittymässä.

Kuva 18 esittää lämpimän käyttövedenkierron pelkistetyn toimenpide-ehdotuksen ohjelman. Ohjelman toiminta on kerrottu tarkemmin liitteessä 2.



Kuva 18. Ohjelma, jolla vertaillaan lämpimän käyttövesikierron edellisen 24 tunnin paluun lämpötilan keskiarvoa asetusarvoon (55 °C) [1].

## 7.2 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät

Monitor-järjestelmästä löytyy hallintapaneeleita erilaisille lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmille, kuten patteriverkostoille, lattialämmitysverkostoille sekä maalämpöjärjestelmille. Näillä hallintapaneeleilla pystytään seuraamaan rakennuksien ja siellä olevien tilojen sisäilmaston olosuhteita. Hallintapaneeleista seurataan jonkin osa-alueen laitteistojen säätöpiirien toimintaa esimerkiksi ulkolämpötilan suhteen.

Rakennus- ja talotekniseen suunnitteluun on laadittu RT-kortti sisäilmastoluokitus 2018 (LVI 05-10629) auttamaan sisäympäristön suunnitteluarvojen valitsemiseksi. Ohje on tehty uudisrakentamisen kohteisiin, mutta arvoja voidaan käyttää jossain määrin myös korjausrakentamisen kohteissa. Sisäilmaluokituksia on kolme: S1, S2 ja S3. Näistä S1 on paras sisäilmaluokka. [30, s. 3.]

Talotekniikkajärjestelmiä koskevia määräyksiä ja asetuksia ovat muun muassa maankäyttö- ja rakennuslaki (MRL132/1999), ympäristöministeriön asetus rakennuksen vesi- ja viemärlaitteistoista 1047/2017, asetus uuden rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017 sekä asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017. Lisäksi alaa koskee myös sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista, ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimukset 545/2015 sekä lukuisat muut ohjeet ja määräykset. [13, s. 1.]

### 7.2.1 Tilojen olosuhteet

Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta asetuksen 1009/2017 pykälän 4 mukaan huonelämpötilan on oltava lämmityskaudella 21 °C ja se voi vaihdella lämmityskaudella välillä 20–25 °C sekä lämmityskauden ulkopuolella välillä 20–27 °C. Näitä arvoja voidaan käyttää toimenpide-ehtotuksien ohjelmoimisessa, kun kyseessä on uusi rakennus. Toimenpide-ehtotuksien omalla sivulla tulee pystyä valitsemaan rakennuksen tyyppi eli onko kyseessä uusi vai olemassa oleva rakennus. [33.]

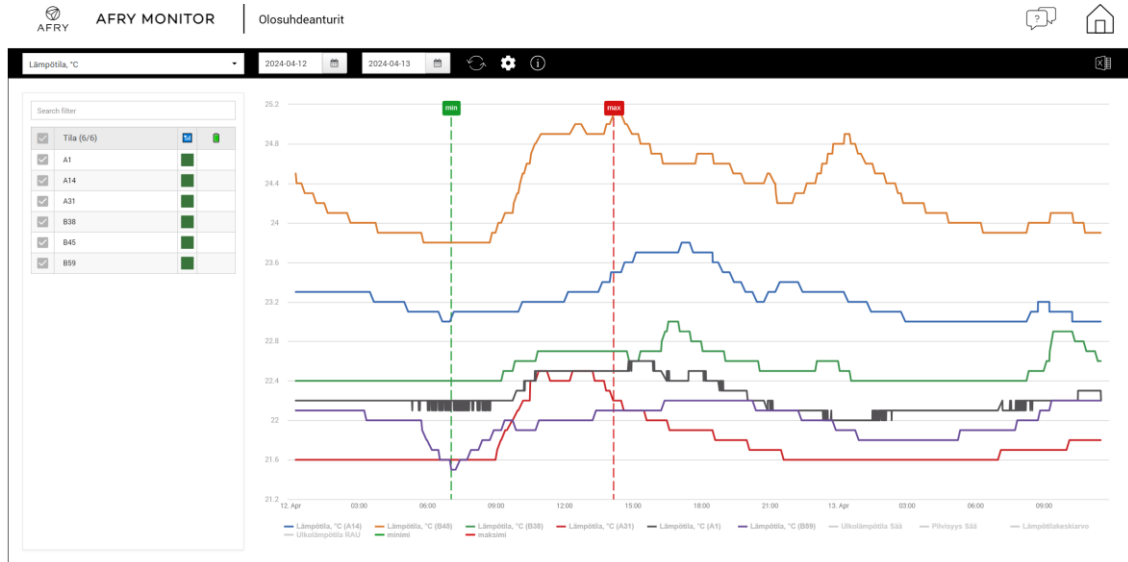
Asumisterveysasetuksen 545/2015 liitteessä 1 on annettu toimenpiderajat lämpötiloille ja ilman virtausnopeuksille erityyppisille kiinteistöille. Taulukko 3 esittää erityyppisille kiinteistöille annettuja lämpötilojen toimenpiderajoja, joita voidaan käyttää ohjelmoitaessa toimenpide-ehtotuksia Monitor-järjestelmään.

Taulukko 3. Lämpötilojen toimenpiderajat [31, liite 1].

	<b>Lämpötilojen toimenpiderajat</b>
<b>Asunnossa</b>	
Huoneilman lämpötila lämmityskaudella	18–26 °C
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella	18–32 °C
<b>Palvelutaloissa, vanhainkodeissa, lasten päivähoitopaikoissa, oppilaitoksissa ja vastaavissa tiloissa</b>	
Huoneilman lämpötila lämmityskaudella	20–26 °C
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella lasten päivähoitopaikat, oppilaitokset ja muut vastaavat tilat	20–32 °C
Huoneilman lämpötila lämmityskauden ulkopuolella palvelutalot, vanhainkodit ja muut vastaavat tilat	20–30 °C

Tilojen olosuhteita seurataan osassa Monitor-järjestelmään liitetyissä kiinteistöissä. Kuva 19 esittää erään kohteen olosuhteiden hallintapaneelin. Kuvasta nähdään, että kyseisen rakennuksen tilat pysyvät sekä ympäristöministeriön

että asumisterveysasetuksen raja-arvojen sisäpuolella. Tilojen lämpötilat ovat tarkastelujaksolla välillä 21,6–25,1 °C. Tilojen välisiin lämpötilaeroihin vaikuttaa antureiden sijoituspaikat, tilojen sijainnit ilmansuuntiin nähden ja se, missä kerroksessa tilat sijaitsevat. Lisäksi tilan käyttäjä pystyy myös itse säätämään jonkin verran sisälämpötilaa.



Kuva 19. Monitor-järjestelmän olosuhde hallintapaneelin näkymä [1].

Toimenpide-ehdotuksina Monitor-järjestelmän olosuhde hallintapaneeliin ohjelmoitiin määräyksien mukaiset raja-arvot ja toimenpiderajat. LVI 05-10629 -ohjekortin mukaan lämpötila lasketaan yhden tunnin liukuvana keskiarvona, jonka aikana sisälämpötila ei saa alittaa tai ylittää enimmäisarvoja. Toimenpide-ehdotukset ja raja-arvot, joilla ehdotukset aktivoituvat ovat liitteen 1 taulukossa 2.

Olosuhde-hallintapaneeliin lisätään myös tekstikenttä, jossa pystytään määrittelemään kyseisen kohteen lämmityskauden rajalämpötila.

## 7.2.2 Patteriverkostot

Monitor-järjestelmässä patteriverkosto-hallintapaneelissa seurataan verkoston säätöpiirin toimintaa sekä säädön pysymistä asetetulla lämpökäyrällä. Mitattavia parametrejä ovat muun muassa meno- ja paluuvien lämpötila, säätöventtiilien

asetotiedot, pumpun käyntitila sekä ulkolämpötilatiedot. Kuva 20 esittää patteriverkosto-hallintapaneelin erään kohteen patteriverkostosta.

Lämmityspatterit luovuttavat lämpöä epälineaarisesti ja tämän takia patteri- ja radiaattoriverkoston säätökäyrän tulee olla epälineaarinen, jotta sisätilan lämpötila saadaan pidettyä säätöarvossaan eri ulkolämpötiloilla. Säätöventtiilin epälineaarisen säätökäyrän lisäksi myös säätökäyrän kaltevuuden tulee olla oikea, jotta säätöarvo saadaan pidettyä arvossaan ulkolämpötilasta riippumatta. [19, s. 3.]



Kuva 20. Monitor-järjestelmän patteriverkosto-hallintapaneeli [1].

Patteriverkosto-hallintapaneeliin ohjelmoitiin toimenpide-ehdotukset säätökäyrän seurantaan sekä venttiilien asetotietoihin liittyen. Liitteen 1 taulukko 3 näyttää Monitor-järjestelmään ohjelmoitavat toimenpide-ehdotukset sekä raja-arvot, joilla ehdotuksien aktivoituminen tapahtuu.

### 7.2.3 Lattialämmitysverkostot

Lattialämmitys luovuttaa lämpöä lähes lineaarisesti, joten lattialämmityksen säätökäyrä voi olla suora. Lattialämmityksen säätökäyrä ja sen kaltevuus asetetaan niin, että saavutetaan optimaalinen sisälämpötila ulkolämpötilasta riippumatta.

Lattialämmityksessä tulee ottaa huomioon myös lattiamateriaalit, jottei niiden maksimilämpötiloja ylitetä. [19, s. 4.]

Monitor-järjestelmässä lattialämmitysverkosto-hallintapaneeli on toiminnoiltaan hyvin samanlainen patteriverkosto-hallintapaneelin kanssa. Mitattavat parametrit ovat samat sekä myös hallintapaneelin ulkonäkö. Liitteen 1 taulukossa 4 on esitetty lattialämmitys-hallintapaneelille ohjelmoidut toimenpide-ehdotukset.

#### 7.2.4 Jäähdytysverkosto

Jäähdytysverkostoista ei ole vielä tehty hallintapaneelia, joten opinnäytetyössä rajattiin niiden toimenpide-ehdotukset työ ulkopuolelle. Verkostojen datatagien parametreja pystytään kylläkin nykyisellään lukemaan, mutta käyttöliittymä niihin on vielä työn alla. jäähdytysjärjestelmiin liittyy toimenpiderajoja ja raja-arvoja, joiden perusteella voidaan tulevaisuudessa toteuttaa toimenpide-ehdotukset jäähdytysverkko-hallintapaneeliin.

Jäähdytysjärjestelmien suunnitteluarvoja käydään läpi muun muassa RT-kortissa LVI 05-10629 ja ympäristöministeriön asetuksessa 1009/2017. Taulukko 4 esittää suunnitteluarvot sisäilmaluokituksen mukaisille lämpötiloille. Ympäristöministeriön asetus 1009/2017 määrittelee, että lämmityskauden ulkopuolella huonelämpötila ei saa ylittää 27 °C, eli tätä voidaan pitää jäähdytysjärjestelmän suunnitteluarvona [33, s. 3].

Taulukko 4. Jäähdytysjärjestelmien suunnitteluarvoja eri sisäilmaluokissa [30, s. 15].

	S1	S2	S3
Jäähdytysjärjestelmän suunnitteluarvo LVI 05-10629	24,5 °C	25,5 °C	27 °C

### 7.2.5 Maalämpöpumppujärjestelmät

Monitor-järjestelmästä löytyy maalämpöpumpuista hallintapaneeli. Hallintapaneelista nähdään trendit järjestelmän energiatasoista, COP-arvoista, lämpötiloista ja monista muista parametreista. Maalämmöllä hyödynnetään maahan sekä kallioon varastoitunutta energiaa. Putkisto mitoitetaan siten, että liuoksen virtausnopeus on 0,5–0,8 m/s ja nesteen lämpötilan muutos on noin 2–3 °C. Lisäksi on hyvä huomioida, että virtauksen tulee olla turbulენტista, sillä laminaarisessa virtauksessa lämmön siirtyminen on huomattavasti pienempää. [32, s. 351.]

Maalämpöjärjestelmään ohjelmointiin mitattavien suureiden lisäksi myös ajatettuja toimenpide-ehdotuksia, kuten milloin olisi aika esimerkiksi puhdistaa piirien sihdit. Maalämpö-hallintapaneeliin ohjelmoidut toimenpide-ehdotukset löytyvät liitteen 1 taulukosta 5.

### 7.3 Ilmanvaihtojärjestelmät

Monitor-järjestelmästä löytyy omat hallintapaneelit poistopuhaltimille, ilmastointikoneille ja ilmanvaihtoverkostoille. Toimenpide-ehdotukset tehdään poistoilmapuhallin- sekä ilmastointikone-hallintapaneeleille, sillä ilmanvaihtoverkosto hallintapaneelissa käsitellään ilmastointikoneosion dataa. Toimenpide-ehdotukset tehdään noudattaen ympäristöministeriön ohjeistuksia ja asetuksia.

Ympäristöministeriön asetuksista ilmanvaihtoa koskee asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (1009/2017) sekä asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta (1010/2017). Vanhoista asetuksista ilmanvaihtoa käsittelee ympäristöministeriön asetus, Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto D2. Asetuksesta D2 on julkaistu versiot vuosina 1976, 1987, 2003, 2010 sekä 2012. Myös RT-kortti Sisäilmastoluokitus 2018 LVI 05-10629 sisältää ilmanvaihdon ohjeistuksia ja tavoitearvoja.

Ympäristöministeriön asetuksessa 1009/2017 on määritetty poistoilmaluokat, joita on neljä:

1. Poistoilma sisältää vain vähän epäpuhtauksia ja epäpuhtaudet ovat pääasiallisesti lähtöisin ihmisistä ja rakennuksista.
2. Poistoilma sisältää jonkin verran epäpuhtauksia.
3. Poistoilma sisältää epäpuhtauksia, kosteutta, kemikaaleja tai hajuja, jotka oleellisesti huonontavat poistoilman laatua.
4. Poistoilma sisältää huomattavasti pahanhajuisia tai epäterveellisiä epäpuhtauksia tai kemikaaleja. [33, s. 5.]

### 7.3.1 Poistoilmapuhaltimet

Poistoilmapuhaltimet voivat olla pelkkiä huippuimureita mutta myös lämmöntalteenotolla varustettuja poistopuhaltimia. Tämän takia poistoilmapuhaltimet hallintapaneelissa kerätään dataa monilta datatageilla. Näitä ovat esimerkiksi puhaltimen käyntitila, poistokanavan paine ja lämpötila, suodattimen paine-ero ja CO<sub>2</sub>-pitoisuus. Poistoilmapuhaltimia käytetään monien erityyppisten tilojen poistona, kuten porrashuoneissa, lämmönjakohuoneissa, alapohjissa ja keittiön poistoilmahuuvissa.

Poistoilmapuhaltimet-hallintapaneeliin ohjelmoitiin toimenpide-ehdotukset muun muassa suodattimen paine-erolle, poistoilmakanavan lämpötilalle ja muille parametreille, joiden toimenpide-ehdotukset löytyvät liitteen 1 taulukosta 6.

### 7.3.2 Ilmastointikoneet

Ilmastointikone koostuu useista erilaisista toiminto-osista, joita ovat muun muassa sulkupelti, säätö- ja sekoituspelti, suodatinosa, lämmitys- ja jäähdytyspat-terit, puhallinosa, lämmöntalteenotto-osa sekä äänenvaimenninosa. Koneet voivat olla valmiiksi automaatiojärjestelmän sisältäviä pakettikoneita tai ne ovat

varustettuna vain toiminto-osilla (modulaarinen ilmastointikone), jotka yhdistetään erikseen rakennuksen automaatiojärjestelmään. [10.]

Ympäristöministeriön asetuksessa 1009/2017 asetetaan sisäilman laadulle kriteerit, ettei sisäilmassa saa esiintyä terveydelle haitallisessa määrin hiukkasmaisia epäpuhtauksia, fysikaalisia, kemiallisia tai mikrobiologisia tekijöitä eikä viihtyvyyttä jatkuvasti heikentäviä hajuja. Lisäksi sisäilman hiilidioksidin hetkellinen pitoisuus sisäilmassa suunniteltuna käytönaikana voi olla enintään 1450 mg/m<sup>3</sup> (800 ppm) suurempi kuin ulkoilman pitoisuus. Laskennoissa voidaan käyttää tällä hetkellä ulkoilman hiilidioksidipitoisuutena arvoa 400 ppm [33, s. 3.]

Hiilidioksidipitoisuudelle sisäympäristön laadun tavoitearvoiksi on annettu myös RT-kortissa LVI 05-10629 (taulukko 5). Taulukossa olevat hiilidioksidilisä tarkoittaa sitä, että taulukon arvo lisätään ulkoilman hiilidioksidipitoisuuteen. [30, s. 7.]

Taulukko 5. Sisäympäristön laadun tavoitearvot [30, s. 7].

	S1	S2	S3
Hiilidioksidipitoisuuslisä (ppm)	< 350	< 550	< 800

Monitor-järjestelmässä on datatagi hiilidioksidin mittausta varten, joten toimenpide-ehdotuksen sivulle tehdään vaihtoehdot, joiden mukaan hiilidioksidin maksimiarvo määritellään.

Ilmanvaihtosuodattimien perusteita käsiteltiin kappaleessa 5.5. Monitor-järjestelmässä seurataan paine-eroa suodattimien yli ja suodattimien loppupaineiden raja-arvoille tehdään toimenpide-ehdotuksen sivulle omat kentät. Standardin EN ISO16890:2016 mukaan suodattimen loppupaine on karkeasuodattimilla 200 Pa ja ePM<sub>x</sub> suodattimilla 300 Pa [34, s. 4].

Monitor-järjestelmässä mitataan lämmöntalteenottoa monin eri parametrein. Toimenpide-ehdotuksien määrittämiseen käydään läpi määräyksiä, asetuksia sekä ohjeistuksia. LTO-järjestelmiä on käsitelty luvuissa 5.3 ja 5.4.

Lämmöntalteenottojärjestelmien lämpötilahyötysuhteen tulee olla EU 1253/2014 direktiivin mukaan 73 % ja nestekiertoisissa LTO-järjestelmissä 68 % [35]. Näille arvoille tehdään ehdotuksien sivulle tallennettavat tekstikentät, joissa määritellään lämpötilahyötysuhteiden toimenpide-ehdotuksien rajat.

Ilmastoin kone-hallintapaneeliin ohjelmoitiin toimenpide-ehdotukset esimerkiksi lämpötilasuhteille, ominaissähköteholle, suodattimien paine-eroille sekä muille parametreille, joiden toimenpide-ehdotukset löytyvät liitteen 1 taulukosta 7.

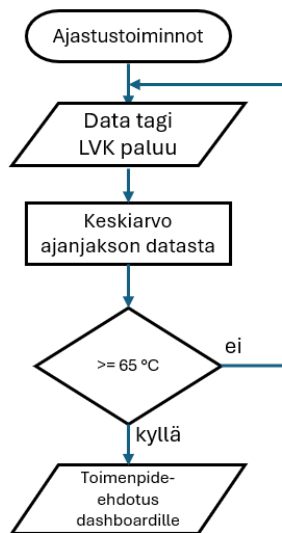
## **8 Toimenpide-ehdotukset Monitor-järjestelmään**

Toimenpide-ehdotukset käydään järjestelmittäin läpi liitteessä 1. Ehdotukset aktivoituvat eri LVI-järjestelmissä luvussa 7 määriteltyjen toimenpiderajojen perusteella. Toimenpiderajat saatiin Suomen rakentamismääräyskokoelman asetuksesta, määräyksistä sekä ohjeistuksista, mutta myös muita ohjeistuksia käytettiin apuna toimenpiderajoja määriteltäessä.

Opinnäytetyöprosessin aikana tutkittiin AFRY Monitor -järjestelmän eri rakennusautomaatiojärjestelmien hallintapaneeleille tehdyt ohjelmat, jotta pystyttiin määrittelemään järjestelmiin ohjelmoitavia toimenpide-ehdotuksia. Määrittelyjen jälkeen näille toimenpide-ehdotuksille luotiin selkokielliset tekstit, jotka tulostetaan toimenpiderajojen ylittyessä tai alittuessa järjestelmien hallintapaneeleille.

Kuva 21 näyttää vuokaaviona esimerkin lämpimän käyttövesikierron lämpötilan ylärajan toimenpide-ehdotuksen toteutustavan opinnäytetyössä tehdyllä ohjelmalla. Ohjelma toimii server-tilassa, jolloin aluksi tulee määritellä ajastustoiminnot eli miten usein ohjelma antaa eri ohjelman osioille herätteitä. Ohjelman toimissa server-tilassa, ei käyttäjältä tarvita erikseen herätettä ohjelman suorittamiseen vaan se toimii itsenäisesti järjestelmän taustalla. Ohjelman antama heräte pystytään valitsemaan esimerkiksi minuutin, tunnin tai vuorokauden välein. Tässä esimerkissä herätteen anto tapahtuu minuutin välein, jonka jälkeen muun muassa lämpimän käyttövesikierron data kerätään edeltävältä 15 minuutin ajankaksolta. Edeltävän 15 minuutin jakson datasta luetaan keskiarvo, jota verrataan

toimenpiderajana toimivaan 65 °C:seen. Jos lämpötila pysyy toimenpiderajan alapuolella, luetaan minuutin kuluttua uudelleen edeltävän 15 minuutin ajanjakso. Jos toimenpideraja ylitetään, ohjelma tulostaa käyttövesijärjestelmän hallintapaneelin toimenpide-ehdotustaulukkoon tekstin ”*Menovesi 65 °C tai yli. Laske menoveden lämpötilaa ja tarkasta ohjaavan venttiilin toiminta.*”.



Kuva 21. Vuokaavio lämpimän käyttövesikierron toimenpide-ehdotuksen ohjelmasta, jossa seurataan LVK paluu datatagin mittausdataa.

## 9 Pohdinta

Opinnäytetyöaiheen ehdotus tuli AFRY Buildings Finland Oy:n älykkäät ja kestävät rakennukset yksikön operatiiviselta johtajalta. Työn tekeminen lähti tämän jälkeen liikkeelle yksikön tiimipäällikön pitämällä Monitor-järjestelmän esittelyllä ja tunnusten saamisella IoT Ticket -pilvivalvomojärjestelmään. Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää AFRY Buildings Finland Oy:ssä käytössä olevaan Monitor-pilvivalvomojärjestelmään rakennusautomaation toimintaan liittyviä toimenpide-ehdotuksia.

Opinnäytetyössä päästiin työn alussa määriteltyihin tavoitteisiin eli toimenpide-ehdotuksien ohjelmoimiseen useampaan eri hallintapaneeliin. Kirjallisuusosuudessa saatiin kattavasti tuotua automaatiojärjestelmien ja komponenttien

perusteet esille. Lisäksi kerättiin kaavioita erilaisten säätöpiirien kytkennöistä sekä käytiin niiden toimintaa lävitse. IoT Ticket -valvomoalustasta saatiin kerättyä riittävästi tietoa omaan osioonsa, vaikka tietoa olikin suhteellisen vähän julkisesti tarjolla.

Ohjelmointiosuudessa oli haasteita aikataulullisesti, sillä järjestelmän ohjelmointia opiskeltiin samalla opinnäytetyön kirjoitustyön edetessä. Ennen ohjelmoinnin aloitusta Monitor-järjestelmästä käytiin läpi erilaisten järjestelmien hallintapaneelit. Tämän jälkeen tutkittiin, millaisia toimenpide-ehdotuksia näihin voitaisiin kehittää. Ehdotuksiin haettiin ratkaisuja ympäristöministeriön sekä muiden tahojen asetuksista, määräyksistä ja ohjeistuksista.

Monitor-järjestelmää kehitetään aktiivisesti, joten myös toimenpide-ehdotuksia kehitetään lisää järjestelmän laajentuessa. Opinnäytetyössä ihan kaikkia ehdotuksia ei ehditty ohjelmoimaan opinnäytetyön kireän aikataulun takia mutta näiden ohjelmointia jatketaan työn valmistumisen jälkeenkin.

## 10 Yhteenveto

Opinnäytetyössä tutkittiin laajasti LVI-järjestelmiä koskevia lainsäädännön määräyksiä ja asetuksia, joiden avulla pystyttiin hahmottelemaan tarvittavien toimenpide-ehdotuksien kehittelyä. Määräyksistä ja asetuksista kerättiin vertailutaulukoita eri aikakausien osalta ja näiden avulla pystyttiin tekemään eri osa-alueiden toimenpide-ehdotuksien omille hallintapaneeleille valintataulukoita, joista voidaan valita kuhunkin kiinteistöön sopivat asetus- ja toimenpiderajat.

Tavoitteena oli mahdollisimman laaja valikoima erilaisia toimenpide-ehdotuksia, joiden raja-arvot ja toimenpiderajat pohjautuvat rakennuksen järjestelmien iänmukaiseen lainsäädäntöön. Tutkimustuloksena saatiinkin laaja tilannekatsaus eri aikakausien lainsäädännöstä. AFRY Monitor-järjestelmään sekä IoT Ticket -sovellusalustan käytössä ja ohjelmoinnissa oli suurena apuna osaston tiimipäällikkö, jonka avustuksella työ voitiin toteuttaa suunnitellulla aikataululla.

Opinnäytetyön edetessä kävi ilmi, kuinka monipuolisia ja laaja-alaisia kiinteistöjen rakennusautomaatiojärjestelmät todellisuudessa ovat. Järjestelmistä tallennettavan tiedon suuri määrä mahdollistaa järjestelmien toimintojen laaja-alaisen analysoinnin mutta samalla asettaa myös haasteita muun muassa tiedonhallinnalle. Opinnäytetyön rajaamisen haasteena oli pitää käsiteltävä alue mahdollisimman kattavana mutta kuitenkin niin, että työ oli vielä järkevällä aikataululla toteutettavissa.

Toimenpide-ehdotuksia opinnäytetyössä tehtiin lämpimän käyttöveden, tilojen olosuhteiden, patteri- ja lattialämmityspiirien, maalämmön, poistoilman ja ilmastointikoneiden järjestelmiin. Lämpimän käyttöveden toimenpide-ehdotuksien toimenpiderajat löydettiin Suomen rakentamismääräyskokoelmista. Ensimmäinen käyttöveteen liittyvät määräykset ja ohjeet julkaistiin vuonna 1976. Tämän jälkeen määräyksiä ja ohjeita päivitettiin kaksi kertaa, jonka jälkeen se muutettiin asetukseksi 1047/2017. Toimenpiderajat muuttuivat määräyksiensä päivittyessä kylmän sekä lämpimän käyttöveden osalta. Nämä toimenpiderajat löytyvät työn luvusta 7.1 ja taulukosta 2.

Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmiin liittyvät toimenpide-ehdotukset löytyivät Suomen rakentamismääräyskokoelmasta sekä RT-korteista. Talotekniikkajärjestelmiin löytyi toimenpiderajoja asetuksista 1047/2017, 1009/2017, 1010/2017 ja 545/2015 sekä RT-kortista LVI 05-10629. Toimenpiderajoja käytiin läpi luvussa 7.2.1 ja tulokset kerättiin taulukkoon 3. Toimenpide-ehdotuksia näistä saatiin yhteensä 12 erilaista, kuten esimerkiksi uudisrakennuksen huonelämpötilan alarajan ( $<20\text{ °C}$ ) toimenpide-ehdotuksen ”*Huonelämpötila alle  $20\text{ °C}$  yhden tunnin liukuvana keskiarvona. Tarkasta tila sekä lämmitysjärjestelmän toiminta.*”.

Patteri- ja lattialämmitysverkostojen toimenpide-ehdotukset eivät eroa toisistaan. Niitä käsiteltiin opinnäytetyössä erillisinä järjestelminä, koska esimerkiksi patterilämmityksessä lämmönluovutus tapahtuu epälineaarisesti, kun taas lattialämmityksessä lämmönluovutus on lähes lineaarista. Toimenpide-rajat

poikkeavat toisistaan, sillä lattialämmitysjärjestelmissä tulee ottaa huomioon myös lattiamateriaalin lämmönkestävyys.

Jäähdytysjärjestelmissä toimenpiderajat löytyivät ympäristöministeriön asetuksesta 1009/2017 sekä RT-kortista LVI 05-10629. Toimenpide-rajana jäähdytykselle voidaan pitää huonelämpötilaa 27 °C, jota ei saa ylittää lämmityskauden ulkopuolella. RT-kortissa on tosin määritelty myös tiukempia lämpötilarajoja riippuen mitoituksessa käytettävästä sisäilmaluokituksesta.

Maalämpöjärjestelmien toimenpide-ehdotukset ohjelmoitiin suunnitteluohjeistuksista poimittujen raja-arvojen perusteella. Näitä oli muun muassa optimaalisen keruupiirin lämpötilaeron seuranta.

Poistoilmapuhaltimen ja ilmastointikoneiden toimenpiderajat löytyivät Suomen rakentamismääräyskokoelmasta, EU:n direktiiveistä sekä RT-korteista. Toimenpiderajoja löydettiin muun muassa suodattimien paine-eroille, hiilidioksidipitoisuuksille ja lämpötilahyötysuhteille. Näitä käsiteltiin opinnäytetyön luvussa 7.3.1 ja 7.3.2.

Kehitystyön tulokset kerättiin järjestelmittäin opinnäytetyön liitteisiin ja niitä käsiteltiin myös esimerkkien avulla työn eri luvuissa. Kiinteistöihin liittyvien rakennusautomaatiojärjestelmien, lakien ja asetusten kehitys on jatkuvaa ja opinnäytetyön tulosten perusteella ohjelmistoa onkin helppo laajentaa ja kehittää myös tulevaisuuden tarpeita varten.

## Lähteet

- 1 AFRY Monitor. Verkkoaineisto. AFRY Oy. <<https://afry.com/fi-fi/palvelu/afry-monitor>>. Luettu 09.02.2024.
- 2 IoT-Ticket. Verkkoaineisto. Wapice Oy. <<https://iot-ticket.com/>>. Luettu 09.02.2024.
- 3 Liedes, Riikka (toim.). 2018. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Tietotekniset järjestelmät. ST-käsikirja 17. 6., uudistettu painos. Espoo: Sähkötiety ry.
- 4 Suomäki, Jorma; Vepsäläinen, Sami. 2023. Talotekniikan automaatio. Käyttäjän opas. 7., uudistettu painos. Kiinteistömedia Oy.
- 5 Liedes, Riikka (toim.). 2023. Rakennusten automaation valvomot. Tietotekniset järjestelmät. ST-käsikirja 22. 2., uudistettu painos. Espoo: Sähkötiety ry.
- 6 Valtanen, Esko. 2013. Tekniikan taulukkokirja. 20., uudistettu painos. Mikeli: Genesis-Kirjat Oy.
- 7 Virtausanturit ja virtausmittarit. Verkkoaineisto. Ifm electronics Oy. <[https://www.ifm.com/fi/fi/category/200\\_020\\_030](https://www.ifm.com/fi/fi/category/200_020_030)>. Luettu 14.03.2024.
- 8 Mäkitalo, Matti. 2017. Säättöpiirien systemaattinen suorituskykyökalun kehitys. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Trepo-tietokanta.
- 9 Energiatehokas pumppausjärjestelmä. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/files/2419/Energiatehokas\\_pumppausj\\_rjestelm\\_.pdf](https://www.motiva.fi/files/2419/Energiatehokas_pumppausj_rjestelm_.pdf)>. Luettu 14.03.2024.
- 10 Sandberg, Esa (toim.). 2016. Ilmastointitekniikka osa 1. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. 2., uudistettu painos. Tampere: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 11 Vesimittarit. Verkkoaineisto. Koka Oy. <<https://koka.fi/tuotekategoria/vesimittarit-etaluettavat-vesimittarit/>>. Luettu 14.03.2024.
- 12 Energiamittarit. Verkkoaineisto. Koka Oy. <<https://koka.fi/tuotekategoria/energiamittarit/>>. Luettu 14.03.2024
- 13 Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet. 2021. K1/2021. Energiatieteollisuus ry.

- 14 Rakennusten kaukojäähdytys, yhtenäiset laatuvaatimukset, suositukset ja ohjeet. 2023. J1/2023. Energiateollisuus ry.
- 15 Ympäristöministeriön asetus 1047/2017 rakennusten vesi- ja viemärlaitteistoista. 2017. Helsinki: Suomen säädöskokoelma.
- 16 Komposiittijärjestelmä, käsikirja. 2019. Uponor Oy.
- 17 Vesikiertoinen patterilämmitys. 2002. LVI 12-10343. Rakennustieto Oy.
- 18 Nestekiertoiset lämmitys- ja jäähdytysverkot, Virtauksien säätö. 2022. RT 103452. Rakennustieto Oy.
- 19 Nestekiertoiset lämmitys- ja jäähdytysverkot, Huonelämpötilojen säätö. 2022. RT 103453. Rakennustieto Oy.
- 20 Lämmitysverkoston perussäätö säästää rahaa ja luo terveellisen sisäilmaston. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/files/7976/Lammitusverkoston\\_perussaato.pdf](https://www.motiva.fi/files/7976/Lammitusverkoston_perussaato.pdf)>. Luettu 27.03.2024.
- 21 Lämmöntalteenotto. Verkkoaineisto. Nilan Oy. <<https://www.nilan.fi/lammontalteenotto/>>. Luettu 16.03.2024.
- 22 Tasauslaskentaopas, Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen. 2018. Suomen rakentamismääräyskokoelma, energiatehokkuus. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 23 Yleisilmanvaihdon kansainvälinen testistandardi ISO 16890. Verkkoaineisto. Camfil Oy. <<https://www.camfil.com/fi-fi/insights/standardeja-ja-asetuksia/yleisilmanvaihdon-kansainv%C3%A4linen-testistandardi-iso-16890>>. Luettu 1.4.2024.
- 24 Tekniset ohjeet, Shunttiryhvät ja jäätymissuojaus. 2013. IV Produkt AB.
- 25 Ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho SFP. 2013. LVI 30-10529. Rakennustieto Oy.
- 26 Ympäristöministeriön asetus 1010/2017 uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017. Helsinki: Suomen säädöskokoelma.
- 27 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot. 1976. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D1. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 28 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot. 1987. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D1. Helsinki: ympäristöministeriö.

- 29 Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot. 2007. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D1. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 30 Sisäilmastoluokitus 2018. 2018. LVI 05-10629. Rakennustieto Oy.
- 31 Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 545/2015 asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. 2015. Helsinki: sosiaali- ja terveysministeriö.
- 32 Aittomäki, Antero (toim.). 2012. Kylmäteknikka. 4., uusittu painos. Helsinki: Suomen Kylmäyhdistys ry.
- 33 Ympäristöministeriön asetus 1009/2017 uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 34 Energy classification for general ventilation air filters based on EN ISO 16890 standard. Verkkoaineisto. Camfil Oy. <[https://www.camfil.com/damdocuments/30230/30187/brochure\\_eurovent\\_new\\_standard\\_12pg\\_eng.pdf](https://www.camfil.com/damdocuments/30230/30187/brochure_eurovent_new_standard_12pg_eng.pdf)>. Luettu 14.4.2024.
- 35 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi ilmanvaihtokoneiden ekologisen suunnittelun vaatimusten osalta. 2014. Direktiivi 2009/125/EY. Verkkoaineisto. Euroopan unionin virallinen lehti 25.11.2014. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R1253>>. Luettu 14.4.2024.

## **Monitor-järjestelmän toimenpide-ehdotukset**

Liite vain työn tilaajan käyttöön.

## **Käyttövesijärjestelmän ohjelman toiminta vaiheittain**

Liite vain työn tilaajan käyttöön.

## **Käyttövesijärjestelmän toimenpide-ehdotuksien ohjelma**

Liite vain työn tilaajan käyttöön.

## **Toimenpide-ehdotuksien tulostaminen hallintapaneelin tauluk- koon**

Liite vain työn tilaajan käyttöön.

## **Olosuhteet hallintapaneelin ohjelman toiminta vaiheittain**

Liite vain työn tilaajan käyttöön.

## **Olosuhteet hallintapaneelin toimenpide-ehdotuksien ohjelma**

Liite vain työn tilaajan käyttöön.

## **Patteri- ja lattialämmityksen ohjelman toiminta vaiheittain**

Liite vain työn tilaajan käyttöön.

## **Patteri- ja lattialämmitys hallintapaneelien toimenpide-ehdotuksien ohjelma**

Liite vain työn tilaajan käyttöön.

## **Maalämpöpumpun ohjelman toiminta vaiheittain**

Liite vain työn tilaajan käyttöön.

## **Maalämpöpumppu hallintapaneelin toimenpide-ehdotuksien ohjelma**

Liite vain työn tilaajan käyttöön.