



Rakennusautomaation säätökaavion toimintaselosteen standardointityökalun kehittäminen Renea Oy:ssä

Emilia Reiersen

Opinnäytetyö, AMK

Tammikuu 2024

Energia- ja ympäristötekniikan insinööri

Reiersen, Emilia

Rakennusautomaation säätökaavion toimintaselosteen standardointityökalun kehittäminen Renea Oy:ssä

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Tammikuu 2024, 48 sivua.

Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tehtiin Renea Oy:lle. Renea Oy on kiinteistöjen energiatehokkuuden parantamiseen ja rakennusautomaatioon erikoistunut asiantuntijayritys. Yritys tuottaa energiatehokkuuteen, uusiutuvaan energiaan ja älykkäisiin rakennuksiin liittyviä suunnittelu-, konsultointi- ja rakennuttamispalveluita.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa rakennusautomaation säätökaavion toimintaselosteeseen käytettävä standardointityökalu. Toimintaseloste on säätökaavion osa, joka sisältää toiminnallisen kuvauksen taloteknisen laitteen toiminnasta ja ohjaustavoista. Renea Oy on perustettu vuonna 2022 ja säätökaavioissa käytettävät suunnitelmakirjastot on luotu uutena perustamisvaiheessa. Toimintaseloste työkalu tulee täydentämään suunnitelmakirjastoa.

Työkalun tavoitteena on tehostaa rakennusautomaatiosuunnittelun prosessia ja parantaa suunnitelmien laatua yhtenäisillä selosteilla. Säätökaavioiden toimintaselosteet ovat tasalaatuisia tekijästä riippumatta, kun toimintaselosteiden tekstit ovat laadittu yhtenäisellä tekstikirjastolla Excel-työkalulla. Opinnäytetyön tuloksena syntyi Excel pohjainen työkalu, jolla voidaan luoda toimintaselosteet erilaisille ilmanvaihtokoneille, kaukolämmölle ja vedenjäähdytyskoneille.

Avainsanat (asiasanat)

Rakennusautomaatio, rakennusautomaatiosuunnittelu, energiatehokkuus, säätökaavio, toimintaseloste

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Liite 1 ovat salassa pidettävä, ja se on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon perusteena on viranomaisten toiminnan julkisuudesta annetun lain (621/1999) 24 §:n kohta 17: yrityksen liike- tai ammattisalaisuus. Salassapitoaika on kaksikymmentäviisi (25) vuotta. Salassapito päättyy 15.1.2049.

Reiersen, Emilia

Development of the standardization tool for Building Automation Systems Schematic Diagrams Functional Descriptions for Renea Ltd

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, January 2024, 48 pages.

Degree Programme in Energy and Environmental Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

The thesis was conducted for Renea Ltd. Renea Ltd is an expert company specializing in improving the energy efficiency of buildings and building automation. The company provides design, consulting, and project management services related to energy efficiency, renewable energy, and smart buildings.

The purpose of the thesis was to develop a standardization tool for the functional description in the schematic diagram of building automation for Renea Oy. The functional description is a part of the schematic diagram that includes an operational description of the function and control methods of the buildings automation system. Renea Oy was established in 2022 and the plan libraries used in control diagrams were created during the founding phase. The operational description tool will complement the plan library.

The goal of the tool is to streamline the building automation design process and improve the quality of plans with standardized descriptions. Functional descriptions in schematic diagrams are consistent regardless of the creator when the texts of the functional descriptions are drafted using a unified text library with an Excel tool. As a result of the thesis, an Excel-based tool was developed that can be used to create operational descriptions for various ventilation machines, district heating controls, and water-cooling machines.

Keywords/tags (subjects)

Building Automation, Building Automation Design, Energy Efficiency, Schematic Diagram, Functional Description

Miscellaneous (Confidential information)

Attachment 1 is classified and has been removed from the public document. The basis for classification is Section 17 of the Act on the Openness of Government Activities (621/1999), concerning business or professional secrets of a company. The classification period is twenty-five (25) years. The classification expires on January 15, 2049.

Sisältö

1	Johdanto	7
2	Opinnäytetyön taustat ja menetelmät	8
2.1	Tiedonhaku ja luotettavuus	10
3	Rakennusautomaatio	11
4	Rakennusautomaatiojärjestelmä	14
4.1	RAU järjestelmän elinkaari	17
4.2	Rakennusautomaation saneeraus.....	18
5	Lait ja säädökset	19
6	Rakennusautomaatiojärjestelmän suunnittelu	21
6.1	Suunnitelmien sisältö	24
6.1.1	Säätökaavio ja toimintaseloste	25
7	Energiatehokkuus	31
8	Rakennusautomaatio nyt ja tulevaisuudessa	34
9	Pohdinta	40
	Lähteet	41
	Liitteet	44
	Liite 1 (salassa pidettävä)	44
10	Työkalun suunnittelu ja toteutus	44

Kuviot

Kuvio 1. Rakennusautomaatiojärjestelmän vastaanottoa valmistelevat toimenpiteet ja vastaanotto (ST-käsikirja 17 2018, 211).	13
Kuvio 2. Keskitetyn rakennusautomaatiojärjestelmän yleinen rakenne (ST-käsikirja 17 2018, 60).	15
Kuvio 3. Esimerkki järjestelmäkaaviosta (ST-käsikirja 17 2018, 167)	25
Kuvio 4. IV-koneen säätökaavio, jonka laitteistojen nimeämisessä käytetty Talo 2000 mukaisia positiotunnuksia.....	26
Kuvio 5. Esimerkki koteloidun ilmanvaihtokoneen säätökaaviosta (ST-käsikirja 17 2018, 169)	29
Kuvio 6. Koteloidun ilmanvaihtokoneen toimintaselostus (ST-käsikirja 17 2018, 173)	30
Kuvio 7. Esimerkki hybridilämmitysjärjestelmän piha-alueen sulanapitojärjestelmän säätö- ja kytkentäkaaviosta (ST-käsikirja 17 2018, 171).....	31
Kuvio 8. Kioton pyramidi eli energiatehokkaan rakentamisen tasot ja esimerkkejä automaation vaikutuskeinoista eri tasoilla (ST-ohjeisto 20 2020, 6).	32
Kuvio 9. Rakennusautomaation kehityskaudet (ST-käsikirja 17 2018, 18).....	35

Taulukot

Taulukko 1. Rakennusautomaation energiatehokkuusluokittelu (ST-ohjeisto 20 2020, muokattu)	32
--	----

LYHENTEET JA SANASTO

RAU	Rakennusautomaatio
I/O	Signaalimoduuli eli tulo/lähtömoduuli. Laite, jolla ohjelmoitava logiikka liitetään kenttälaitteisiin.
VAK	Valvonta alakeskus. Laitteisto, joka ohjaa kaikkia rakennusautomaation prosesseja.
LTO	Lämmöntalteenotto
TIEDONSIIRTO	Automaatiojärjestelmän sisäinen laitteiden välinen tiedonsiirto ja ohjaus sekä ulkoinen järjestelmän hallinta ja tiedonkeruu.

1 Johdanto

Suomessa ja Euroopassa rakennusten energiankulutus on 40 % kaikesta energian loppukulutuksesta. Rakentamisesta sekä rakennusten sähkönkäytöstä ja lämmityksestä syntyy jopa 30 % kaikista kasvihuonekaasupäästöistä. (ST- ohjeisto 20 2020, 5.) Rakennusten energian säästöpotentiaali on siis mittava. Rakennuksen energiatehokkuuden ylläpitäminen on jatkuva prosessi, joka perustuu ajantasaiseen tietoon kiinteistön sisätilojen olosuhteista, taloteknisten laitteiden kunnosta ja mahdollisista vika- ja häiriötilanteista. Rakennusautomaation avulla voidaan ohjata, käyttää ja seurata kiinteistön taloteknisiä laitteita ja järjestelmiä yhdessä, saavuttaen energiatehokas talotekninen ohjaus. Rakennusautomaatiojärjestelmillä on huomattava vaikutus rakennusten energiankulutukseen ja kasvihuonekaasupäästöihin. Automaatiolla voidaan vaikuttaa jopa 50 % rakennuksen elinkaaren aikaisista kustannuksista. (ST-käsikirja 17 2018, 21, 133.)

Automaatio toimii rakennuksen elinkaaren aikaisena valvojana, jonka avulla voidaan tehokkaasti huolehtia sisäolosuhteiden pysyvyydestä ja rakennuksen toimivuudesta. Automaatiota hyödyntäen voidaan optimoida talotekniset prosessit, joilla saavutetaan viihtyisät, terveelliset ja turvalliset sisäolosuhteet, mahdollisimman pienellä energian kulutuksella. (ST-käsikirja 17, 28.) Automaatiojärjestelmä pidentää taloteknisten laitteiden ja osien elinikää, kun niitä käytetään tarpeen ja tarkoituksen mukaisesti. (ST 701.32 2022, 2.)

Laadukkaat rakennusautomaatio järjestelmät, jotka on suunniteltu hyvin, mahdollistavat toimivan ja energiatehokkaan kiinteistön. Huono rakennusautomaatiosuunnittelu aiheuttaa lisäkustannuksia kiinteistön omistajalle ja pahimmassa tapauksessa toimimattoman taloteknisen järjestelmän. ST-käsikirja 17 mukaan rakennusautomaatiosuunnittelijan olisi hyvä käyttää suunnittelun apuna valmiita työkaluja, kuten säätökaavio-, sijaintipiirustus-, työnseloste- ja hankintarajakaaviomalleja. Suunnittelijan tulisi varmistaa, että käytössä on aina uusimmat mallipohjat ja ohjaustavat. Käsikirjan mukaan mallikaavioiden käyttämisen hyötyinä on esitystyöliien korkeatasoisuuden takaaminen, virheiden poissulkeminen ja suunnitelmien laadun yhtenäisyys. (ST-käsikirja 17 2018, 133–134, 148.)

Opinnäytetyön tarkoitus oli rakentaa Renea Oy:n rakennusautomaatiosuunnitteluun Excel pohjainen standardoimist työkalu, jolla tehdään säätökaavion toimintaselosteet. Toimintaselostuksissa esitellään sanallisesti, yksiselitteisesti prosessin ja laitteiden toiminta:

- kuten käyntiaika ja -tavat
- käyntitoiminnot
- mitkä mittaukset ja raja-arvot aiheuttavat prosessissa lukituksia, varotoimia sekä hälytyksiä, kuten ristiriita-, raja-arvo- tai muut ohjelmalliset hälytykset
- ja mistä mittauksista saadaan järjestelmään pelkkä tilatieto.

ST-käsikirjan 17 luettelossa mallikaavioista ei erikseen mainita toimintaselosteen mallia, ne ovat osa säätökaaviota, jonka luonnissa valmiita työkaluja suositellaan käyttämään. Toimintaselosteet ovat olennainen osa rakennusautomaatiosuunnitelmia, sillä niiden perusteella toteutetaan järjestelmän toiminnanohjaus.

Tässä opinnäytetyössä käsitellään pääosin peruskorjattavia rakennusautomaatiojärjestelmiä ja vaatimuksia niiden suunnittelussa, vaikka monet samat lainalaisuudet pätevät myös uusiin rakennuksiin ja niiden automaatiojärjestelmiin. Uudiskohteissa rakennusautomaatiosuunnittelu on erottamaton osa LVIA-suunnittelua eli rakennuksen lämpö-, vesi-, ilmanvaihto- ja automaatiosuunnittelijat toimivat kiinteässä yhteistyössä. Muun LVI tekniikan elinkaari on kuitenkin RAU-järjestelmien elinkaarta pidempi, jolloin saneerauskohteissa rakennusautomaatiosuunnittelija työskentelee itsenäisemmin taatakseen terveelliset ja turvalliset sisäolosuhteet mahdollisimman energiatehokkaasti. Aiheen rajaus saneerauskohteisiin tehdään, jotta opinnäytetyö voi keskittyä taloteknisten järjestelmien energiatehokkaaseen ohjaukseen, sillä kyseessä on energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma.

2 Opinnäytetyön taustat ja menetelmät

Renea Oy on vuonna 2022 perustettu rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen ja rakennusautomaatioon erikoistunut asiantuntijayritys. Yritys tarjoaa palveluita isännöitsijöille, taloyhtiöille, liikekiinteistöjen käyttäjille ja niiden omistajille sekä rakennuskonsulteille. Idea toiminnallisen opinnäytetyön tekemisestä lähti Renea Oy:n perustajajäseneltä ja suunnittelupalveluiden yksikön-päälliköltä Jii Vanilta. Uutena yrityksenä Renea Oy:ssä on luotu uudet säätökaaviokirjastot rakennusautomaatiosuunnitteluun. Toimintaselostekirjasto työkalumuotoisena täydentää uuden yrityksen rakennusautomaatiosuunnittelun mallikirjastoja.

Toimintaselostekirjasto palvelee uusien rakennusautomaatiosuunnittelijoiden työtä ja yhtenäistää suunnitelmien laatua. Kirjasto päätettiin toteuttaa työkalumuotoisena, jolloin jo esisuunnittelu vaiheessa voidaan koneiden ja laitteiden ohjauksia suunnitella niitä palvelevien tilojen mukaan. Työkalun pohjaksi valikoitui Excel sen laajan käytettävyyden ja yleisyyden vuoksi. Excel mahdollistaa myös työkalun yhteisen jatkokehittelyn, kun ohjelma on helppokäyttöinen ja lähes kaikille tuttu. Edellä todettiin, että toimintaselosteiden tulee olla selkeitä ja yksiselitteisiä. Tässä toiminnallisessa opinnäytetyössä suurin fokus on ollut toimintaselostetekstien luomisella ja muokkaamisella. Teksteihin on saatu palautetta ja niitä on muokattu Renea Oy:n kahden omistajaosakkaan palautteiden perusteella. Työkalu ei ole valmistuessaan lopullinen, vaan sitä tullaan jatkokehittämään.

Opinnäytetyö toteutettiin toiminnallisena opinnäytetyönä, jonka tutkimusongelmana oli luoda toimintaseloste työkalu, jolla parannetaan ja yhtenäistetään toimintaselosteiden laatua suunnittelijasta riippumatta. Ongelman pienentämiseksi tuli luoda selkeät ja yksiselitteiset tekstit. Toiminnallisessa opinnäytetyössä tutkimusongelma on kehittämiskohde, joka pienentää tai poistaa ongelman (Kananen 2012, 12). Esimerkiksi vedenjäähdytyskoneen toimintaperiaate on muuttumaton, mutta koneessa voi olla erilaisia teknisiä ominaisuuksia kuten mahdollisuus dynaamiseen vapaajäähdytykseen tai lämpöpumppu- ja invertteritekniiikan käyttöön. Jotta konetta voidaan ohjata energiatehokkaasti ja uusimpien toimintatapojen mukaan, toimintaselosteilta vaaditaan useita variaatioita ja joustavuutta. Täysin samaa tekstiä jokaiseen koneeseen käyttämällä ei saada toteutettua energiatehokkaita ja nykyaikaisia koneen ohjauksia.

Opinnäytetyö mukailee muutokseen tähtäävää toiminnallista kehittämistutkimusta. Muutokseen tähtäävässä kehittämistutkimuksessa on pystyttävä näyttämään muutos toteen (Kananen 2012, 124). Jotta muutos ilman työkalua tehdyn ja työkalulla tehdyn toimintaselosteen yksiselitteisyydessä ja selkeydessä pystyttäisiin todistamaan, tulisi kerätä kattava data kummallakin tavalla laadituista toimintaselosteista. Ilman työkaluja laadittuja toimintaselosteita on laajasti saatavilla, mutta työkalulla tehtyjä selosteita, joiden saneerausprojekti on viety loppuun saakka ei ole saatavilla ainuttakaan. Jotta vertailu voitaisiin luotettavasti toteuttaa, toimintaselosteiden laadunarviointiin tulisi kehittää riippumaton tapa, esimerkiksi MSC- tekniikkaa tai osallistavaa arviointia jäljittelevä arviointi. Yksiselitteisyyttä ja selkeyttä ei myöskään ole helppo tarkastella objektiivisesti. Näistä syistä opinnäytetyötä ei voi kutsua puhtaasti muutokseen tähtääväksi toiminnalliseksi kehittämistutkimukseksi.

Kehittämistutkimuksen vaiheet ovat nykytilan kartoitus, tavoitetilan analyysi ja kuvaaminen, parannusehdotus, kehittäminen, tulosten arviointi ja seuranta (Kananen 2012, 52). Nykytilan kartoituksen mukaan toimintaselosteet luotiin talotekninen laite kohtaisesti, rakennusautomaatiosuunnittelijan toimesta. Tavoitetilassa toimintaselosteen tekstit syntyisivät työkalun avulla, jolloin toimintaselosteiden tekstien yksiselitteisyys on arvioitu. Parannusehdotus syntyi opinnäytetyö ehdotuksen muodossa. Kehittäminen tehtiin toimintaselostusten tekstejä muokkaamalla ja arvioimalla sekä työkalun kehittämisellä. Tulosten arviointi toteutettiin opinnäytetyön kirjallisessa tuoksessa. Seuranta tulee olemaan arviointia ja muutoksia työkalun toimintaan ja teksteihin.

2.1 Tiedonhaku ja luotettavuus

Opinnäytetyön teoriaosuus pyrittiin rakentamaan rakennusautomaatiosuunnittelijan ammatillista kasvua peilaten. Teoreettinen viitekehys lähtee liikkeelle rakennusautomaation perusteista, jota seuraa suunnittelun perusteet, energiatehokkuus ja rakennusautomaation tulevaisuus. Teoriapohja on suunniteltu antamaan lukijalle kattava kuva rakennusautomaatiosta, sen toimintaperiaatteista ja energiatehokkuudesta. Rakennusautomaation tulevaisuuden visiota on pyritty peilamaan suunnitteluun. Teoriapohjan sisältöä ja vastaavuutta kehittämishankkeeseen arvioitiin opinnäytetyön tilaajan kanssa.

Jokaisen suunnittelutoimiston toimintaselosteet ovat suunnittelutoimistojensa näköisiä ja niiden yksiselitteisyyttä ja selkeyttä ei voida arvioida täysin objektiivisesti. Työkalun toimintaselosteiden tekstien muokkaaminen alkoi tutustumalla erilaisiin taloteknisten laitteistojen toimintaan ja ohjaustapoihin valmistajien nettisivuilla olevien tietojen perusteella. Tekstien apuna käytettiin myös ST-käsikirjoja, ST-kortistoja, standardeja ja saatavilla olevia vanhoja säätökaavioita. Opinnäytetyön työkalussa käytetyt tekstit on rakennettu siten että asiaan perehtymätön, jolla ei ole aiempaa kokemusta rakennusautomaatiosuunnittelusta, ymmärtää ne. Ajatuksena on, että kun aiheeseen perehtymätön ymmärtää ohjaukset, ne ovat ymmärrettävissä selkeästi ja yksiselitteisesti. Tekstien sisältöihin saatiin palautetta pitkään rakennusautomaatiosuunnittelua tehneiltä Renea Oy:n edustajilta ja niitä muokattiin palautteen mukaan. Saneerattavien kohteiden vanhat toimintaselosteet, joita tutkittiin tekstien tiedonhakua varten ovat kohteiden omistuksessa. Niihin tekstejä peilamalla ei täten anastettu muiden suunnitteluyritysten älyllistä omaisuutta.

3 Rakennusautomaatio

Rakennusautomaatiolla tarkoitetaan talotekniikan ohjaamista siten, että saavutetaan hyvät sisäolosuhteet mahdollisimman pienellä energiakulutuksella, ilman ihmisen puuttumista säätöihin. Automaatiojärjestelmällä saavutetaan talotekniikan ohjauksissa sitä pienemmät elinkaarikustannukset, mitä automaattisemmin se toimii eli mitä vähemmän säätöjä ja asetusarvoja joudutaan muuttamaan. Rakennusautomaatiolla voidaan valvoa kiinteistön energian- ja veden kulutusta sekä laitteistojen toimintaa ja huolehtia kiinteistön päivittäisistä toiminnoista. Valvontaan ja ohjaukseen voidaan liittää ilmanvaihto- lämmitys- vesi-, viemäri-, jäähdytys-, kulunvalvonta-, sähkö-, murtohälytys-, palohälytys- sekä sammutusjärjestelmiä. Talotekniikan automaatioon liitetään usein myös rullaportaat, hissit ja muu erikoistekniikka. (Suomäki & Vepsäläinen 2013, 14–16.)

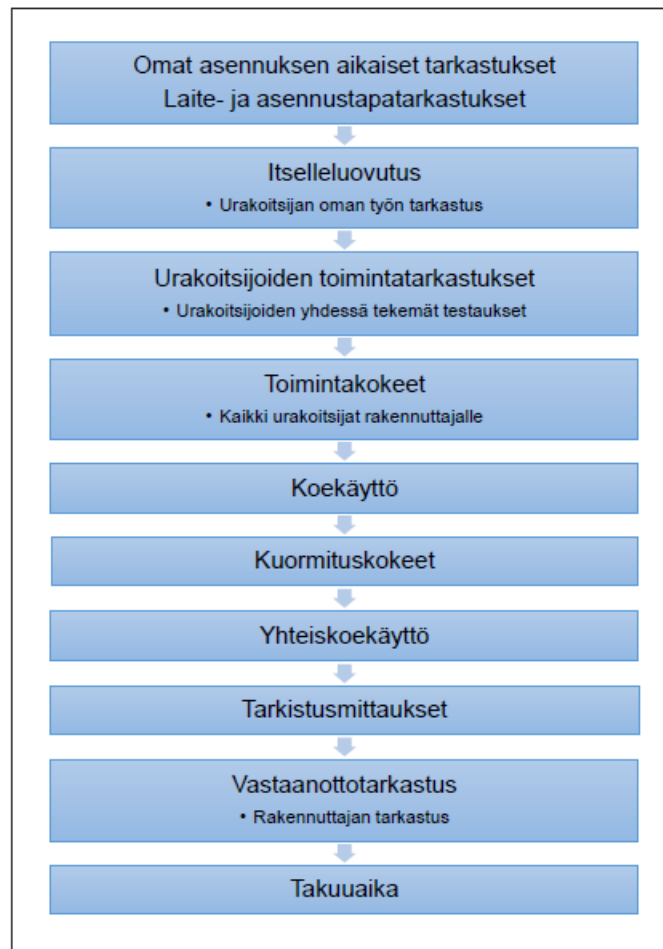
Rakennusautomaatiosta käytetään myös termejä kiinteistöautomaatio ja taloautomaatio. Näillä kaikilla termeillä tarkoitetaan koko rakennuksen taloteknisten järjestelmien kokonaisvaltaista ohjausta. Termillä kotiautomaatio viitataan huoneiston sisällä toimintoja ohjaavaan automaatioon. Kotiautomaatiolla ohjataan kiinteistötekniisten laitteiden lisäksi esimerkiksi viihde-elektroniikkaa, kaihtimia ja verhoja sekä keittiön kodinkoneita kuten älyuunia. Kotiautomaatio voidaan halutessa yhdistää kiinteistöautomaatiojärjestelmään. (Taloautomaation perusteet 2023.) Tässä opinnäytetyössä käsitellään rakennusautomaatiota, ei kotiautomaatiota.

Rakennusautomaatio, kuten kaikki automaatiojärjestelmät, on kehittynyt huomattavasti viime vuosikymmenten aikana. Automaatiolla ohjattavat järjestelmät eli talotekniikka itsessään taasen ei ole merkittävästi muuttunut viime vuosikymmeninä. Lämmityksen ja ilmanvaihdon jako- ja tuottotavat ovat pysyneet samoina ja niillä pyritään edelleen varmistamaan terveelliset ja turvalliset sisäolosuhteet. (Suomäki & Vepsäläinen 2013, 11.) Suuri osa nyt saneerattavista vanhojen rakennuksien automaatiojärjestelmistä on 10–30 vuotta vanhaa. Nyt uusittavalla automaatiolla ja järjestelmään lisättävillä olosuhdemittauksilla voidaan saada aikaan merkittävää energiansäästöä, jos verrataan esimerkiksi 20 vuotta vanhaan järjestelmään (ST-käsikirja 17 2018, 18).

Rakennusautomaation toiminta perustuu mittauksiin, säätöihin, ohjauksiin, hälytyksiin ja raportointiin. Automaatiolla voidaan ohjata järjestelmiä esimerkiksi aikaohjatusti ja tarpeenmukaisesti. Aikaohjelmalla voidaan ohjata muun muassa puhaltimien ja pumppujen käyntiaikoja sekä lukituk- sia ja valaistuksia. Yksi käytetyistä aikaohjelmista on yötuuletus eli kesällä tiloja jäähdytetään yöllä

viileällä ulkoilmalla. Yöllä tapahtuva tuuletus luo miellyttävämmät sisäolosuhteet ilman vedontunnetta, koska silloin tiloissa ei tavallisesti ole käyttäjiä. Tuuletus myös säästää päivällä käytettävää viilennysenergiaa. Tarpeenmukainen, läsnäoloon perustuva ohjaus voidaan toteuttaa esimerkiksi sosiaalituloissa, lämpötila ja kosteusmittauksien avulla. Sosiaalitulassa sijaitsevan poistopuhaltimen ei tarvitse tällöin käydä jatkuvasti täydellä teholla, vaan sen toimintaa voidaan ohjata tarpeen mukaan. Kun tilojen mittaukset havaitsevat asetusarvoa korkeamman lämpötilan ja/tai kosteusprosentin käynnistyvät puhaltimet täydelle teholle, kunnes lämpötila-/kosteusanturin tieto sallii puhaltimen palata pienemmälle teholle. Modernia rakennusautomaatiojärjestelmää ohjataan tarpeenmukaisesti. Kun lämmitystä ja ilmanvaihtoa ohjataan todellisen tarpeen mukaan, saadaan merkittäviä säästöjä myös kiinteistön energiankulutukseen. (Suomäki & Vepsäläinen 2013, 28–29.)

Kiinteistöautomaatiosta saadaan täysi energiansäästöhyöty silloin kun järjestelmä on suunniteltu, rakennettu, asennettu ja säädetty oikein. Järjestelmän käyttäjän ammattitaidolla on toki myös merkitystä, sillä suurin osa säätörajoista on käyttäjän aseteltavissa. Jos automaatiojärjestelmä on säädetty tai suunniteltu väärin, se on lähes hyödytön. (Suomäki & Vepsäläinen 2013, 12.) Rakennusautomaatiojärjestelmän vastaanottoon liittyy erilaisia tarkastuksia, testejä ja kokeita, joilla varmistetaan järjestelmän toimivuus. Urakan valmistuessa esimerkiksi automaatiourakoitsija tekee järjestelmään itselleluovutukset, joissa ohjausten ja säätöjen toimivuus tarkastetaan. Samanaikaisesti toimintatarkastuksia tekevät myös muut talotekniikan urakoitsijat, jos kiinteistössä saneerataan samanaikaisesti esimerkiksi ilmanvaihtoa tai lämmitystä. Yhtäaikaisten tarkastuksilla voidaan testata järjestelmien yhteisohjaukset. Urakoitsijoiden toimintatarkastusten jälkeen rakennuttaja järjestää toimintakokeet, joissa testataan koko järjestelmän toiminta pistekohtaisella simuloinnilla tai vaihtoehtoisesti pistokokein, rakennuttajan päätöksen mukaan. Toimintakokeet toteutetaan esim. asetusarvoja muuttamalla ja irrottamalla kaapeleita, jolloin järjestelmään tulee vikatilanne. Hälytyspisteet testataan hälyttävästä kojeesta häiriötilannetta vastaavalla tavalla. (ST 711.04 2020, 10.)



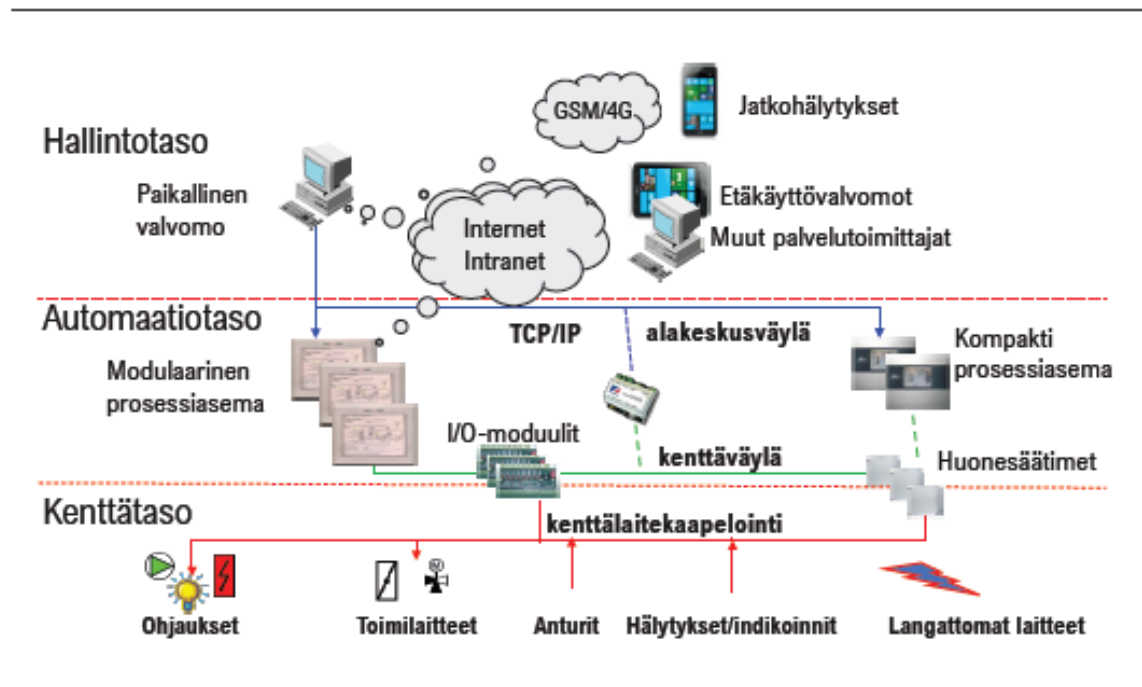
Kuvio 1. Rakennusautomaatiojärjestelmän vastaanottoa valmistelevat toimenpiteet ja vastaanotto (ST-käsikirja 17 2018, 211).

Rakennusautomaation säätöpiirejä ohjataan mittausten mukaan. Joidenkin verkostojen lämpötila, kuten lämpimän käyttöveden verkosto, pidetään aina vakiona. Säätöpiiriin voidaan käyttää ulkolämpötilakompensoitua säätöä, jolloin järjestelmä mittaa ulkolämpötilan, hakee ennakkoon asetellulta säätökäyrältä vastaavan ulkolämpötilan ja ohjaa lämmitystä säätökäyrää vastaavalla asetusarvolla. Ulkolämpötilakompensoitua säätöä energiatehokkaampi tapa on käyttää kaskadisäätöä eli sarjasäätöä. Kaskadisäädössä ulkolämpötilan lisäksi säätöpiirissä huomioidaan myös sisälämpötila. Huonemittaus muuttaa säätökäyrän korkeutta sen mukaan onko tila todellisuudessa ali- tai yli- lämpöinen. Ilmanvaihtokoneiden vesikiertoisissa lämmityspiireissä on yleisesti käytössä myös sekoitussäätö, lämmityspiirissä vaihtelee suljettu ja avoin kierto säätöventtiilin asennon mukaan. Sekoitussäädöllä saadaan energiatehokkaasti paljon lämpöä siirrettyä lämmitysvedestä tai jäähdytysvedestä tuloilmaan. (Suomäki & Vepsäläinen 2013, 38–40.) Rakennusautomaatiosuunnittelija suunnittelee energiatehokkaimmat ohjaustavat jokaisessa säätöpiirissä.

4 Rakennusautomaatiojärjestelmä

Rakennusautomaatiojärjestelmän keskeisimpinä tavoitteina on: prosessien säätöjen ja ohjausten toteuttaminen suunnitelmien edellyttämällä tavalla, taloteknisten toimintojen, hälytysten ja mitausten valvominen sekä tilatietojen tuottaminen. Rakennusautomaatiojärjestelmän avulla mahdollistetaan kiinteistön energiatehokas ja toiminnallinen ylläpito sekä tuotetaan kulutus-, olosuhde-, energiatehokkuus- ja tilastomateriaalia. Järjestelmää tulee voida käyttää selkeän ja ymmärrettävän sekä päivittäistä käyttöä tukevan käyttöliittymän avulla. (ST-käsikirja 17 2018, 21.)

Rakennusautomaatiojärjestelmä koostuu valvomosta, ohjelmistosta, tiedonsiirrosta, alakeskuksesta ja moduulikoteloista, huonesäätimistä, kenttälaitteista ja etähallinnasta. Valvomolla hallitaan rakennusautomaatiojärjestelmää, se toimii linkkinä järjestelmän ja käyttäjän välillä. Valvomografiikoista nähdään kaikki automaatiojärjestelmään liitetyt laitteet, niiden sijainti prosessissa sekä laitteiden tilatiedot. Valvomografiikan vaateet määritellään tilaajan tarpeiden mukaisesti rakennusautomaatiosuunnitelmissa. Valvonta-alakeskuksissa on usein omat kosketusnäytölliset käyttöliittymät, joista on pääsy valvomografiikoihin. Valvomoon kirjaudutaan aina henkilökohtaisella käyttäjätunnuksella ja kullakin tunnuksella tulee olla määriteltynä käyttäjätaso. Laajimmat oikeudet on ohjelmointitason käyttäjällä, jonka tulee voida tehdä muutoksia koneiden toimintaan ja suppeimmat oikeudet ovat ”katseluoikeudet”, jolloin käyttäjä näkee muun muassa laitteiden tilan ja asetusarvot, mutta ei pääse muuttamaan asetusarvoja tai kuittaamaan hälytyksiä. (ST 701.32 2022, 4–8.) Rakennusautomaatiosuunnittelijan vastuulla on, Ympäristöministeriön asetuksen 718/2020 mukaan, huolehtia että automaatiojärjestelmässä on rakennukseen kuuluvat eri käyttäjätasojen soveltuvat käyttöliittymät.



Kuvio 2. Keskitetyn rakennusautomaatiojärjestelmän yleinen rakenne (ST-käsikirja 17 2018, 60).

Valvonta-alakeskukset (VAK) ohjaavat rakennusautomaatiolla ohjattavia järjestelmiä ja kenttälaitteita ja ottavat kentältä tulevat viestit vastaan. Kaikki tieto ja toimintakäskyt kulkevat VAK:ien kautta I/O-pisteiden välityksellä. I/O pisteet liitetään I/O liityntäkorteille väylän kautta tai ne voivat olla ohjelmallisia pisteitä. Alakeskukset sijoitetaan usein kiinteistön teknisiin tiloihin, joissa suurin osa valvontaan liitettävistä taloteknisistä laitteistoista sijaitsee. Alakeskusten tulee toimia myös paikallisesti ilman valvomoyhteyttä. (ST 98.17 2018, 2.) Moduulikotelot ovat alakeskuksesta erillään ja sisältävät säätö- ja ohjauslaitteita. Moduulikotelot välittävät keräämänsä tiedon alakeskukseen, joista ohjaus ja säätö tapahtuu. Kotelointia käytetään usein kohteissa, joissa talotekniikka on hajautettu ympäri kiinteistöä. Moduulikotelot suunnitellaan usein sijoitettavaksi ohjattavien laitteiden lähelle, jolloin kaapelointitarve vähenee. (ST 701.32 2022, 7–9.)

Suunniteltava rakennusautomaatiojärjestelmä voi olla keskitetty tai hajautettu. Keskitetyssä järjestelmässä alakeskukset ovat suurempia ja niissä on enemmän I/O pisteitä, mutta keskusten numeraalinen määrä on pienempi. Hajautetussa järjestelmässä käytetään usein moduulikotelointia ja alakeskukset sijaitsevat lähempänä ohjattavia laitteita, jolloin säästetään kaapelointitarpeessa.

Rakennusautomaatiosuunnittelija suunnittelee alakeskuskotelot, moduulikotelot ja niiden sijainnin. Saneerauskohteissa käytetään usein olemassa olevia koteloita. I/O korttien tyypit valitsee järjestelmän toimittaja suunnitelmien perusteella. (ST 701.32 2022, 7–9.)

Kenttälaitteet ovat rakennusautomaatiojärjestelmään liitettäviä laitteita, kuten mittausanturit ja toimilaitteet. Antureilla tarkkaillaan muun muassa lämpötilaa, kosteutta ja painetta. Antureita on taloteknisessä prosessissa ja niitä voidaan sijoittaa myös vaikutusalueen huonetiloihin. Toimilaitteet ovat esimerkiksi pelti- ja venttiilitoimilaitteita, joiden avulla taloteknisiä prosesseja ohjataan. Toimilaitteet ovat joko kaksiasentoisia, päälle/pois, tai suhteellisesti eli portaattomasti 0–100 % välillä ohjattavia. Rakennusautomaatiosuunnittelija suunnittelee laitteiden vaaditut ominaisuudet, paikat ja sijoitukset. Taloteknisen prosessin, kuten ilmanvaihtokoneen laitteiden sijoitukset esitetään säätökaaviossa. Prosessien ulkopuoliset laitteet, kuten huoneanturit ja alakeskukset, suunnittelija esittelee sijaintipiirustuksissa. Suunnittelija tekee myös laitevalinnat. Urakoitsija voi muuttaa laitevalintoja, jos suunnittelija hyväksyy muutokset (ST 701.32 2022, 5.)

Tiedonsiirto on viestien välitystä, joka tapahtuu valvomon, valvonta-alakeskusten ja huonesäätimien välillä. Tiedonsiirto tapahtuu kahden tai useamman instanssin välillä. Yksinkertaisin yhteys on kaksipisteyhteys, jossa kaksi päälaitetta on yhdistetty toisiinsa. Monipisteyhteydessä taasen useat päälaitteet yhdistetään haaroitetulla yhteydellä kaikki toisiinsa. Tiedonsiirron osapuolet voivat lähettää tai vastaanottaa tietoa tai tehdä molempia vuorotellen tai samanaikaisesti. Siirtoon käytetään joko kaapeloituja väyläyhteyksiä tai mobiiliverkkoa. Käytettäessä langatonta tiedonsiirtoa, tulee huolehtia kuuluvuuden riittämisestä vastaanottimien ja lähettimien välillä. Kenttäkaapelien valinnassa tulee huomioida mittausperiaatteet, toimilaitteiden käyttöjännitteet sekä toimilaitteiden toimintaperiaatteet. Rakennusautomaatiosuunnittelija suunnittelee, käytetäänkö tiedonsiirrossa langattomia vai kaapeloituja yhteyksiä sekä mitä kaapelia tiedonsiirtokaapeloinnissa käytetään. (ST-käsikirja 17 2018, 103–104, 107.)

Saneeraus kohteissa käytetään olemassa olevia tiedonsiirtoväyliä, johon lisäksi tehdään tarpeen mukaan. Yleisimpiä käytössä olevia tiedonsiirtoväyliä ovat Modbus, M-bus ja Bacnet, joilla on jokaisella optimaalisimmat käyttökohteensa. Modbus väylä toimii kaksipisteyhteyksissä yhden primäärilaitteen ja yhden sekundäärilaitteen välillä. Monipisteyhteyksissä Modbus väylä toimii yhden primäärilaitteen ja sarjaan kytkettyjen sekundäärilaitteiden kesken. M-bus väylällä taasen saadaan

toteutettua oksakytkenä eli kaikki sekundäärilaitteet ja päälaite voidaan kytkeä haaroitetulla yhteydellä toisiinsa. M-bus tiedonsiirtoväylä on kehitetty erityisesti mittaustietojen siirtoon. Bacnet on avoin tiedonsiirtoprotokola, jota käytetään yleisimmin ilmanvaihto-, lämmitys-, jäähdytys ja ilmanvaihtojärjestelmien toimintojen hallintaan. (ST-käsikirja 21 2022, 72–80.)

Ohjelmistot, tarkemmin sanottuna sovellusohjelmistot ovat ohjelmarunkoja, joissa määritetään ohjattavien taloteknisten prosessien toimintaperiaatteet ja niihin liittyvät I/O pisteet sekä riippuvuudet aliohjelmamoduuleista ja kirjasto-ohjelmista. Rakennusautomaatiosuunnittelija suunnittelee prosessin toiminnallisuuden, mutta itse ohjelmoinnin toteuttaa urakoitsija säätökaavioiden toimintaselosteiden mukaisesti. (ST- käsikirja 17 2018, 76.) Koko rakennusautomaatiojärjestelmää voidaan hallinnoida uusissa järjestelmissä myös etänä internetin välityksellä. Etähallinnassa on erityisen tärkeää huomioida tietoturvaluottisuus. Tietoturvaluottuussyistä kaikissa kohteissa ei etähallintaa hyväksytä. Etähallinnasta sovitaan aina erikseen tilaajan kanssa. Rakennusautomaatiosuunnittelija esittää mahdollisen etähallinnan järjestelmäkaaviossa. (ST 701.32 2022, 9.)

4.1 RAU järjestelmän elinkaari

Rakennusautomaatiojärjestelmän eri osien elinkaari vaihtelee 3 vuodesta 20 vuoteen tai jopa 50 vuoteen. Valvomolaitteiden ja -ohjelmistojen elinkaari on tavallisesti noin 3–5 vuotta päivityksiin. Laitteiden käyttöikä on liitännäinen tietokoneiden ohjelmistojen ja käyttöjärjestelmien käytökelpoiseen elinikään. Alakeskusten ja niiden ohjelmistojen sekä huone- ja yksikkösäätimien elinkaari on tavallisesti 10–15 vuotta. Kenttälaitteiden ja muiden rakennusautomaatiolaitteiden kuten paineenalennus- ja jakolaitteiden teknisesti luotettava käyttöikä on 15–20 vuotta, lukuun ottamatta kompressoreja, joiden käyttöikä riippuu suoraan käyntiajoista. Kenttälaitteet tulisi kuitenkin kalibroida aika ajoin, jos ne eivät ole itse kalibroituja. Kaapeloinnin elinkaari on 40–50 vuotta. Kaapeloinnin elinkaari on riippuvainen käytetystä kaapeloinnista ja saneerauksen yhteydessä asennettavan tekniikan kaapelointivaatimuksista. Vanhat kaapeloinnit saattavat olla käyttökuntoisia, mutta niitä pitkin saadaan kulkemaan vain yhden olosuhdemittauksen esimerkiksi huonelämpötilan tieto. Jos ohjaus vaatii kaksi mittausta esimerkiksi hiilidioksidimittauksen lämpötilan lisäksi, saatetaan käyttökuntoiset kaapelit vaihtaa uusiin. (ST 98.17 2018, 3–6.)

4.2 Rakennusautomaation saneeraus

Rakennusautomaatiojärjestelmän elinkaari eli teknisesti luotettava käyttöikä on tavallisesti n. 15–20 vuotta. Peruskorjaustarpeen voi aiheuttaa vanhentunut järjestelmä, jota ei pysty laajentamaan ja johon ei ole saatavilla enää varaosia rikkoutuneiden komponenttien tilalle. Peruskorjauksen syynä voi olla myös vanhentuneet valvonta- ja tietoturvajärjestelmät, joita ei pysty pyörittämään uudemmilla Windows alustoilla ja joihin ei ole saatavilla tietoturvapäivityksiä. Tällaisia järjestelmiä ei pystytä myöskään liittämään etävalvontaan ja pilvipalveluun vaan kaikki ohjaus tehdään kiinteistön valvomosta. Peruskorjaus saatetaan myös suorittaa, jos vanhassa järjestelmässä ei pystytä toteuttamaan energiaoptimoiteja. (ST 710.12 2015, 1–2.)

Rakennusautomaation saneeraustarve huomataan usein taloteknisten prosessien toimimattomuutena. Rakennuksen käyttäjät kokevat, ettei ilmanvaihto toimi ja tila koetaan liian kuumana tai vetoisena. Saneerauksen tarpeessa oleva järjestelmä saattaa antaa hälytyksiä tavallista tiuhemmin tai hälytykset jäävät kokonaan tulostumatta, jolloin on vaarana esim. ilmanvaihtokoneen toimilaitteiden ja komponenttien vikaantuminen. Automaatiojärjestelmästä kerättävää dataa vertailemalla saadaan kattava kuva järjestelmän nykykunnosta. (Rakennusautomaation saneeraus 2023.)

Automaatiojärjestelmän saneeraus voidaan aloittaa järjestelmän kuntotutkimuksella. Kuntotutkimuksen tuloksena kiinteistön omistaja saa käsityksen järjestelmän elinkaaren vaiheesta, yleisestä kunnosta ja energiatehokkuusluokasta. Kuntotutkimuksen avulla voidaan parantaa järjestelmän kunnossapitoa ja ohjata kiinteistön omistajaa oikea-aikaisiin investointeihin ja korjaustoimiin. Tutkimuksesta laaditaan raportti, josta selviää järjestelmän puutteet ja millaisilla korjauksilla ne saadaan vastaamaan nykyisiä vaatimuksia. Raportissa tulisi olla selvitys rakennusautomaation nykyisestä vaikutuksesta kiinteistön energiatehokkuuteen ja miten sitä voidaan kunnostuksella parantaa. (ST 98.17 2018, 3–4.)

Saneeraukset voivat olla eri tasoisia. Kaksi yleisintä rakennusautomaation peruskorjausta ovat pelkän mikroprosessorin eli älyn uusinta tai laajempi VAK-saneeraus. Uusittaessa pelkkä mikroprosessori järjestelmästä uusitaan suorittimen lisäksi grafiikat sekä käyttöliittymä, joka mahdollistaa nykyaikaisen käytettävyyden, kun järjestelmä on liitetty nykyaikaiseen valvomoon. VAK-saneerauksessa mikroprosessorin lisäksi uusitaan valvonta-alakeskusten I/O kortit sekä pelkät rikkinäiset, tai kaikki kenttälaitteet Pelkkä mikroprosessorin uusinta ei takaa toimintavarmuutta, jos

rakennusautomaatiojärjestelmä on teknisesti luotettavan elinkaarensa päässä. Siksi useimmin toteutetaan saneeraus, jossa uusitaan suorittimen lisäksi valvonta-alakeskusten sisältö ja osa toimilaitteista. (ST 710.12 2015, 4–6.)

Rakennusautomaation saneeraussuunnitelmat vastaavat lähes uudisrakennuksen suunnitteluprosessia. Suunnittelun alussa olisi hyvä saada rakennuksen ja järjestelmän keskeisiä lähtötietoja, jotta saadaan tehtyä taloteknisten ohjausten toiminnallinen muunneltavuus saneerattavien tilojen ja tilaajan toiveiden mukaisesti. Rakennusautomaation saneeraussuunnittelua helpottavia tietoja ovat:

- Erilaisten huonetilojen lämpötilan, paine-eron, kosteuden jne. tavoitetasot. Huonearvojen tavoitetasot määritellään jäähdytykselle ja lämmitykselle erikseen (talvi/kesä).
- Patteriverkoston ja ilmastoinnin toiminta-ajat ja vaikutusalueet.
- Paloteknisten laitteiden ja järjestelmien fyysinen sijainti (ilmastointikoneet, -kanavistot ja -patterit sekä lämmönsiirtimet, venttiilit).
- Vesivirtojen ja ilmapurkujen mitoitusarvot ja painehäviöt kiertopiireissä.
- Automatisoitavien prosessien toimintaperiaatteet ja säädettävyyden sekä säätötekniset tekijät.
- Ulkopuolisten tekijöiden kuten auringon, valaistuksen, sähkölaitteiden, ihmisten ym. yllämmön tuottajien vaikutus prosessin hallittavuuteen sekä toteutukselle asetettaviin vaatimuksiin.
- Nykyisten käyttöliittymien tyypit.
- Rakennusautomaation jatkohälytysten järjestelytapa.
- Lämmitys- ja sähkötariffien vaikutus kiinteistössä.
- Talotekniikan erikoistilanteiden aikainen ja jälkeinen toimintatapa.
- Mahdollisimman tarkoituksenmukainen hoito- ja huolto-organisaation määrittely.

(ST 710.12 2015, 5.)

5 Lait ja säädökset

Rakennusten energiankäyttö on huomattava osuus valtakunnallisesta kokonaisenergiankulutuksesta. Tästä syystä kiinteistöjen energiatehokkuutta ohjataan lainsäädännöllä sekä EU-tasolla, että sisäpoliittisesti. Uusissa rakennuksissa rakennusluvan liitteeksi vaaditaan selvityksiä, todistuksia ja laskentaa kiinteistön energiankulutuksesta ja -tehokkuudesta. Rakennusautomaatiolla on merkittävä vaikutus kiinteistön elinkaaren aikaisiin sisäolosuhteisiin ja energiankäyttöön. Suomessa ensimmäinen laki, joka velvoittaa rakennusautomaation käyttöön hyväksyttiin 2020. Suoranaisesti rakennusautomaation kohdistuvia viranomaismääräyksiä oli sitä ennen rajallisemmin, mutta lähes

kaikki talotekniikkaa koskeva lainsäädäntö koskee epäsuorasti myös automaatiota. Kiinteistön automaatioon liittyviä standardeja ja ohjeita on tullut EU direktiivien ja uuden lain innoittamina enenevässä määrin. (ST 710.00 2020, 1.)

Suomen laki 733/2020 rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä on ensimmäinen laki, joka teki rakennusautomaatiojärjestelmät pakollisiksi. Lain mukaan muut kuin asuinrakennukset, joiden yhdistetty tilojen lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän tai pelkän lämmitysjärjestelmän nimellisteho on yli 290 kW tulee varustaa rakennusautomaatiojärjestelmällä vuoden 2024 loppuun mennessä. Velvoite rakennusautomaatiolle syntyy myös, jos yhdistetyn ilmastointi- ja ilmanvaihtojärjestelmän tai pelkän ilmastointijärjestelmän nimellisteho on yli 290 kW. Maaliskuusta vuonna 2021 alkaen saadaksesen rakennus- tai toimenpideluvan uuteen tai peruskorjattavan rakennuksen lämmitys-, ilmastointi- tai ilmanvaihtojärjestelmän korjaus- ja muutostyöhön, tulee hakijan huolehtia että kiinteistöön suunnitellaan ja rakennetaan myös automaatio- ja ohjausjärjestelmä, jos sellaista ei vielä rakennuksessa ole. Vuoden 2024 loppuun mennessä myös kiinteistöihin, joihin ei suoriteta lämmitys-, ilmastointi- tai ilmanvaihtojärjestelmän korjaus- ja muutostöitä, tulee varustaa rakennuksen ohjaus- ja automaatiojärjestelmällä. Lain noudattamista valvoo kunnan rakennusvalvontaviranomainen.

Lain mukaan rakennuksen automaatio- ja ohjausjärjestelmän on kyettävä vähintään:

- Analysoimaan, seuraamaan ja kirjaamaan jatkuvasti kiinteistön energian käyttöä sekä mahdollistaa käytön mukauttaminen.
- Toteuttamaan vertailevaa tarkastelua rakennuksen energiatehokkuudesta eli tunnistamaan teknisten järjestelmien tehokkuuden heikentyminen ja ilmoittamaan kiinteistön teknisestä hallinnoinnista vastaavalle taholle energiatehokkuuden parantamiseen liittyvistä mahdollisuuksista sekä
- mahdollistamaan kiinteistön teknisten järjestelmien sekä muiden rakennuksen sisäisten laitteiden välinen viestintä ja yhteen toimivuus riippumatta valmistajasta, laitteista tai valmistajakohtaisesta teknologiasta.

Euroopan unioni tavoitteli energiatehokkuusdirektiivillä 2010/31/EU kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä vähintään 40 prosentilla vuoteen 2023 mennessä verraten vuoden 1990 tasoon.

EU:n laajuista rakennusten energiatehokkuusdirektiiviä 2010/31/EU on sen säätämisen jälkeen

muutettu direktiivillä 2018/844/EU ja uusin muutosehdotus 2021/0426(COD) on julkaistu

15.12.2021. Uusimman ehdotuksen mukaan uudisrakennusten tulisi olla päästöttömiä vuodesta 2030 alkaen ja olemassa olevan rakennuskannan energiatehokkuutta tulisi tehostaa. Ehdotuksen

mukaan kiinteistön automaatio- ja ohjausjärjestelmien pakollisen asentamisen kynnsarvoa tulisi alentaa 290 kW nimellistehosta 70 kW nimellistehoon 31.12.2029 mennessä. Ehdotuksessa mainitaan myös, että uudet ja laajamittaisen korjauksen kohteena olevat asuinrakennukset tulisi varustaa määrätyillä seuranta- ja säätötoiminnoilla talotekniikan hallinnan ja toiminnan parantamiseksi ja optimoimiseksi. Neuvottelut EU- parlamentin, -neuvoston ja -komission välillä direktiivimuutoksen sisällöstä ja voimaantulosta on aloitettu keväällä 2023. Direktiivin voimaantulon jälkeen jäsenmaat vievät sen velvoitteet kansalliseen lainsäädäntöön eli Suomessa muutokset tulisivat todennäköisesti voimaan 2026 alkupuolella. (Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin uudistus n.d.)

Tällä hetkellä voimassa olevan rakennusten energiatehokkuusdirektiivin 2010/31/EU, muutetun direktiivin 2018/844/EU, artiklan 2a mukaisen Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategian 2020–2050 tavoitteena on erittäin energiatehokas ja mahdollisimman hiilivapaa rakennuskanta vuoteen 2050 mennessä. Suomen pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategiassa 2020–2050 esitetään haasteet markkinoiden toimintapuutteista, jotka viivästyttävät rakennuskannan muuntamista. Yhtenä haasteena mainitaan osaajapula talonrakentamisen erikoisaloilla ja erityisesti rakennusautomaatiosuunnittelussa, jossa uusien tuotteiden markkinoille tuleminen ja teknologinen kehitys on nopeaa. Valtion huolena siis on, että energiatehokkuuden tavoittelua jarruttaa osaajapula, johon strategiassa vastataan koulutuksen kehittämällä ja lisäämisellä ammattikorkeakouluissa ja ammattikouluissa. (Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020–2050 Suomi 2020.)

Rakennusautomaatioala tulee siis strategian mukaan kehittymään ja useampia ammattilaisia tulee työskentelemään jatkossa kiinteistöjen energiatehokkuuden parissa. Esimerkiksi Hämeen ammattikorkeakoulu aloitti syksyllä 2023 15 opintopisteen opintokokonaisuuden, jonka tavoitteena on osaamistason kehittäminen ja nostaminen. Koulutuksen rahoitus on saatu Euroopan unionin elpymis- ja palautumistukivälineellä (RRF), joka on EU:n elpymisvälineen (Next Generation EU) suurin ohjelma (Rakennusautomaatiolla energiatehokkuutta 15 op n.d.)

6 Rakennusautomaatiojärjestelmän suunnittelu

Rakennusautomaatiosuunnittelussa tulisi suunnitella järjestelmän sijasta tiloja. Rakennusautomaatiojärjestelmän toiminta tulisi suunnitella turvalliseksi, energia- ja kustannustehokkaaksi, toimivaksi, helppokäyttöiseksi ja tarpeen mukaan laajennettavaksi. Rakennusautomaatiosuunnitelmien

tavoitteena on määrittää taloteknisten järjestelmien tekniset ja toiminnalliset vaatimukset sekä tarjota yksiselitteiset tiedot rakennuttajalle /urakoitsijalle tarjouksen laskentaa ja urakkasopimusta varten. Valmiit RAU-suunnitelmat tarjoavat riittävät tiedot laitehankintoja, toteutussuunnitelmaa, asennusta ja käyttöönottoa varten. Loppupiirustusten eli korjattujen suunnitelmien on tarkoitus toimia päivitetynä käytön ja ylläpidon dokumenttina sekä osana huolto- ja käyttösuunnitelmaa. Huono rakennusautomaatiosuunnittelu aiheuttaa lisäkustannuksia kiinteistön omistajalle niin rakennusvaiheessa kun elinkaarensa aikana ja pahimmassa tapauksessa toimimattoman taloteknisen järjestelmän. RAU-suunnitelmien tulisi olla yksiselitteisiä, suunnittelijan tulisi esittää asiat ennemmin kaavioina ja luetteloina monitulkintaisen selostusten sijaan. Esitystapojen tulee olla johdonmukaisia eli jokainen asia tulisi esittää vain yhdessä kohdassa ristiriitojen välttämiseksi. Hyvä ja huolellinen suunnittelu sujuvoittaa rakennusvaihetta ja helpottaa järjestelmän käyttöönottoa. (ST-käsikirja 17 2018, 133–134.)

Saneerauskohteissa on erityisen tärkeää huomioida miten olemassa olevalla laitteistolla, kanavistolla ja ilman sekä lämmön jaolla pystytään automaation avulla palvelemaan olemassa olevia tiloja terveellisesti ja turvallisesti. ST 701.32 (2022, 2) ja ST 710.12 (2015, 2) mukaan rakennusautomaation peruskorjausta toteutettaessa tulisi kiinnittää erityistä huomiota huolelliseen suunnitteluun. Jos tilaaja keskittyy vain saneerauksen halpaan hankintahintaan ja ostaa suunnittelun automaatiojärjestelmää huoltavalta liikkeeltä ilman ennakkosuunnittelua, saatetaan päätyä vain vanhan järjestelmän päivitykseen. Pelkässä päivityksessä ei useinkaan korjata järjestelmän toiminnallisia ongelmia eikä hyödynnetä uuden järjestelmän ominaisuuksia. Rakennusautomaatiojärjestelmän hankintakustannukset ovat suhteessa pienet kiinteistön kokonaishankintaan verrattuna, mutta rakennusautomaatiojärjestelmällä vaikutetaan merkittävästi rakennuksen elinkaaren aikaisiin ylläpito-, käyttö- ja huoltokustannuksiin, koska automaatiojärjestelmä pidentää taloteknisten laitteiden ja osien elinikää, kun talotekniikka toimii tarpeen ja tarkoituksen mukaisesti.

ST-käsikirja 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät (2018, 148), mukaan rakennusautomaatiosuunnittelijan olisi hyvä käyttää suunnittelun apuna valmiita työkaluja, kuten säätökaavio-, sijaintipiirustus-, työseloste- ja hankintarajakaaviomalleja. Suunnittelijan tulisi varmistaa, että käytössä on aina uusimmat mallipohjat ja ohjaustavat. Käsikirjan mukaan mallikaavioiden käyttämisen hyötyinä on, että esitystyylit saadaan mahdollisimman hyväksi, virheiden määrä mahdollisimman pieneksi ja suunnitelmat laadukkaiksi.

Jos mahdollista, rakennusautomaatiojärjestelmän saneeraukseen on hyvä osallistaa kiinteistön huoltohenkilöstö. Huoltohenkilöillä on usein paljon hiljaista tietoa kiinteistöstä ja sen laitteista, jota ei löydy vanhoista suunnitelmista. Rakennuksen hoitohenkilöstöllä ei kuitenkaan välttämättä ole kokemusta nykyisten rakennusautomaatiojärjestelmien ominaisuuksista, joten suunnittelijan tehtäväksi jää määritellä uuden järjestelmän ominaisuudet. Vanhojen suunnitelmien ja kiinteistöhuollon osallistamisen avulla ei voida vielä valmiita suunnitelmia tehdä, vaan uusi suunnitteluprosessi vaatii aina perehtymisen suunnittelun kohteena olevaan kiinteistöön ja järjestelmään paikan päällä. (ST 710.12 2015,2.)

Rakennusautomaatiosuunnitteluun liittyvät viisi suunnitteluvaihetta ovat:

- hankesuunnitelma
- ehdotussuunnitelma
- yleissuunnitelma
- urakkasuunnitelma ja
- toteutussuunnitelma

Hankesuunnitelmassa esitetään tarkennetut tavoitteet, joiden pohjalta tilaaja tekee investointipäätöksen. Hankesuunnitelma voi olla myös tarjouspyynnön ja energiakatselmuksen tai katselmusta kevyemmän energiaselvityksen yhdistelmä joissain kohteissa. Ehdotussuunnitelma sisältää vaihtoehtoiset toteutussuunnitelmat tilaajan tavoitteiden täyttämiseksi. Yleissuunnittelussa tarkennetaan hanke- ja ehdotussuunnitelmaa. Urakkasuunnitelmat sisältävät kaiken laitteista toiminnallisuuksiin, kaapelointeihin ja I/O vaateisiin. Niiden pohjalta urakoitsijat laskevat tarjouksensa. Suunnitelmien tulee olla yksiselitteisiä, jotta tarjouksissa otetaan kaikki vaiheet huomioon ja tarjouksia voidaan vertailla keskenään. Viimeinen suunnitteluvaihe on toteutussuunnittelu, jossa luodaan lopulliset suunnitelmat ja joissa näkyy toteutuneet laitehankinnat. Jokainen rakennusautomaatiosuunnittelu ei sisällä kaikkia vaiheita ja joissakin tapauksissa suunnitteluprosessi saattaa sisältää vain esimerkiksi urakkasuunnittelun. (ST 701.32 2022, 10–11.)

Suunnitelmien pohjina tulisi käyttää yrityksen mallikirjaston laatutarkastettuja mallipiirustuksia. Kun käytössä on tarkastetut piirustukset mahdolliset virheet ja epätarkkuudet saadaan eliminoidua eivätkä ne toistu projektista toiseen. Sääntökaavioiden piirtäminen kokonaisuudessaan kannattaa

harvoin. Prosessin piirtäminen alusta asti vie paljon aikaa ja piirustus ei välttämättä mukaile yrityksen yhteistä ilmettä, vaan näyttää enemmänkin tekijänsä näköiseltä. Tavallisesti suunnitteluyritys pyrkii laadussaan yhteneväisyyteen eli kaikki symbolit ovat samannäköisiä, toimintaselostukset samantyyllisiä ja laitemääritykset yhteneviä. Yrityksen sisäisessä laadunvarmistuksessa jokaisella suunnitelmalla on nimetty projektin ulkopuolinen tarkastaja. Tarkastus tehdään joko osakokonaisuuksille tai projektin lopussa. RAU-suunnittelija saa tarkastajalta kommentit, joiden mukaan suunnitelmia parannetaan. (ST-käsikirja 17 2018, 152, 154–155.)

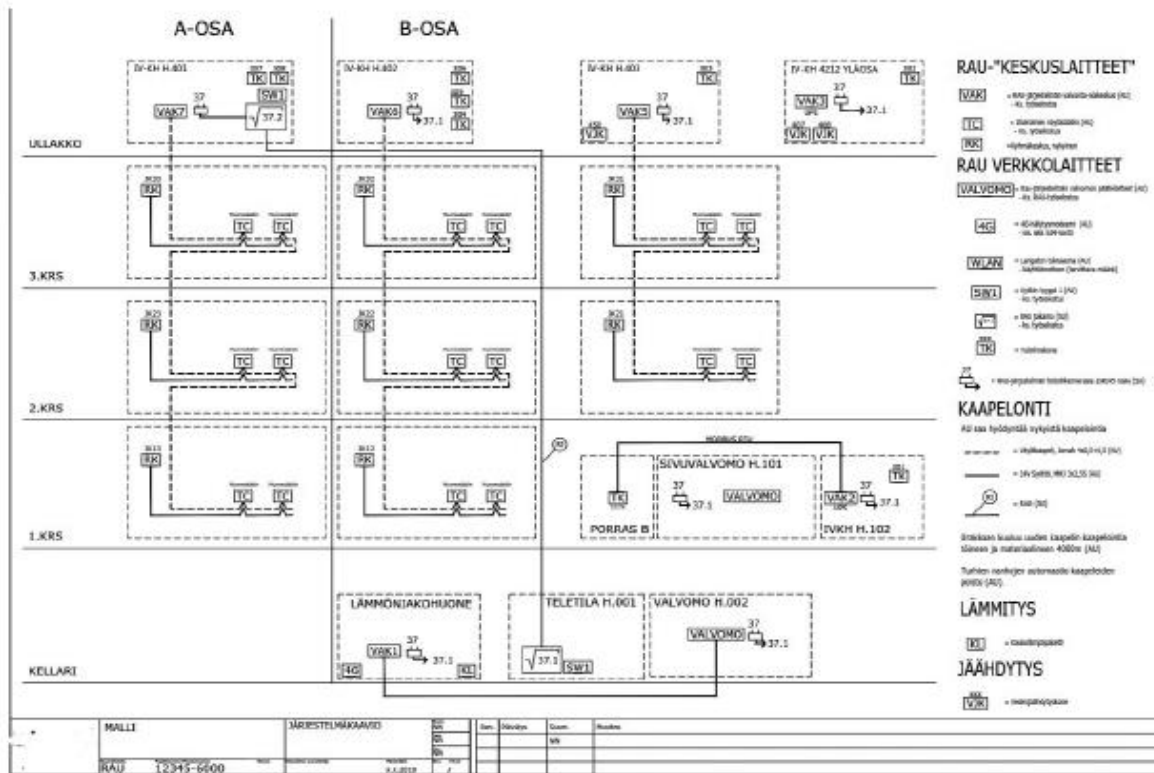
6.1 Suunnitelmien sisältö

Rakennusautomaatiosuunnitelmat sisältävät hankesuunnitteluasiakirjat, tekniset asiakirjat urakalaskentaa ja toteutusta varten sekä loppupiirustukset. Hankesuunnitteluasiakirjoissa esitetään kohteen perustiedot, järjestelmäkaavio eli taloteknisten järjestelmien rakenne sekä sijaintipiirustukset eli alustavat rakennusautomaatiolaitteiden sijainnit ja tarvittavat tilavaraukset. Tekniset asiakirjat urakalaskentaan sisältävät:

- Työselosteen, jossa eritellään muun muassa RAU- järjestelmän nykytila, kuvaus ja vaatimukset rakennettavalle järjestelmälle sekä urakkaan liittyvät velvoitteet
- Urakkarajoitukset eli mitkä suunnitelmat tulee olla eri urakoitsijoiden saatavilla. Sähköurakoitsija ei tarvitse yhtä montaa asiakirjaa kuin automaatiourakoitsija toteuttaakseen työnsä perusteellisesti.
- Laiteluettelon eli uusittavien kenttälaitteiden tekniset vaatimukset sekä käyttöön jäävien nykyisten laitteiden tekniset tiedot.
- Pisteluettelon eli järjestelmän I/O pisteiden tyyppi ja määrä sekä mihin alakeskukseen ne liitetään. Pisteluettelon pistemäärä on vallitseva verrattuna esimerkiksi säätökaavion pistemäärään.
- Järjestelmäkaavion, jossa kuvitetussa kaaviossa esitellään järjestelmän rakenne eli alakeskukset, moduulikotelot, valvomo ja kaikki tiedonsiirtoväylillä alakeskukseen liitetyt laitteet. Kaavio havainnollistaa tiedonsiirtoverkoston rakenteen sekä laitteiden sijainnin tiedonsiirtoverkossa sekä niiden tarvitsemat sähkön syötöt.
- Säätökaaviot, joissa esitetään tarkasti prosessin toiminta, prosessiin liittyvät laitteet, niiden sijainnit ja tunnuksiset sekä niiden liittyminen valvonta alakeskuksiin. Säätökaaviossa kuvataan myös laitteiden hankintarajat, laitteiden ja mittauksien kaapelointi, ryhmäkeskuksen kytkennälliset lukitukset ja hälytykset
- Toimintaselostukset, joissa esitellään sanallisesti, yksiselitteisesti prosessin ja laitteiden toiminta, kuten käyntiaika ja -tavat, käyntitoiminnot, sekä mitkä mittaukset ja raja-arvot aiheuttavat prosessissa lukituksia, varotoimia sekä hälytyksiä, kuten ristiriita-, raja-arvo- tai muut ohjelmalliset hälytykset.
- Sijaintipiirustukset, johon merkitään vähintään prosessin ulkopuoliset automaatiourakan vastuulla olevat hankinnat eli kiinteistön pohjapiirustus, johon on merkitty huonemittausanturien paikat.

- Asiakirjojen pätevyysjärjestyksen. Asiakirjat saattavat sisältää ristiriitoja tai ne voidaan tulkita monella tavalla. Pätevyysjärjestys takaa, että koko saneeraus tai rakennusprosessi etenee samojen ohjeiden mukaan.

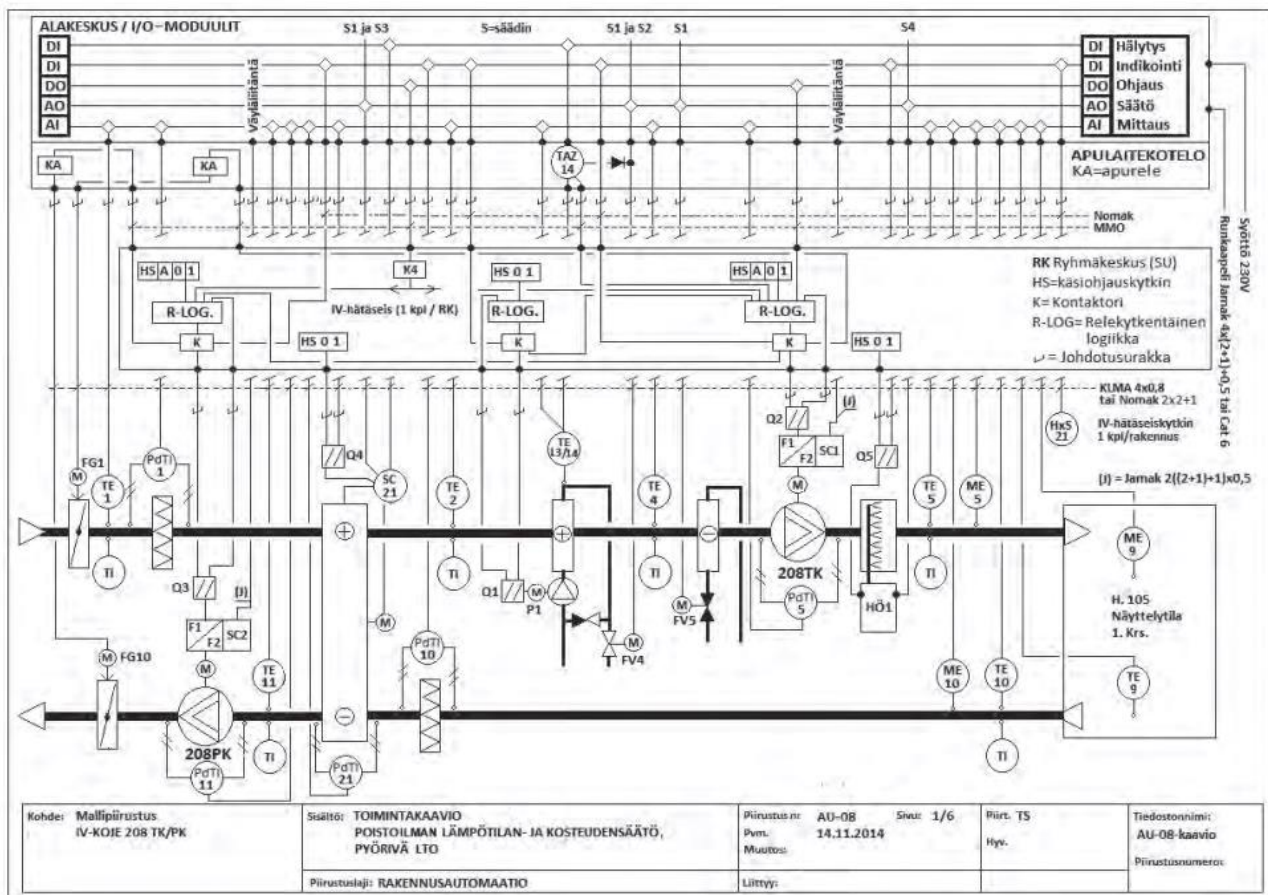
(ST 701.32 2022, 2–4.)



Kuvio 3. Esimerkki järjestelmäkaaviosta (ST-käsikirja 17 2018, 167)

6.1.1 Sääntökaavio ja toimintaseloste

Sääntökaaviossa kuvataan talotekninen prosessi, jonka piirrosmerkit esitetään standardeissa SFS-ISO 14617-5 ja SFS-ISO 14617-6. Lisäksi suunnittelu yrityksissä käytetään kumotussa rakentamismääräyskokoelmassa D4 esitettyjä ja siitä modernisoituja merkkejä. Merkkien tulee kuitenkin olla yksiselitteisiä, jotta piirrosesitys on yksiselitteinen. (ST-käsikirja 17 2018, 168.) Kaaviossa jokaisella laitteella on yksilöllinen laitenumero ja laitekoodi eli positio. Looginen laitetunnusjärjestelmä helpottaa suunnittelua, käyttöä ja järjestelmän toteutusta. (ST-käsikirja 17 2018, 186.) Rakennusautomaatiossa onkin suositeltavaa käyttää Talo 2000-nimikkeistön mukaisia positiotunnuksia. Nimikkeistön mukaan esimerkiksi tulokanavan mittaukset numeroidaan numeroilla 1-9 ja poistokanavan mittaukset numeroilla 10-20, sijainnista riippuen.



Kuvio 4. IV-koneen säätökaavio, jonka laitteistojen nimeämisessä käytetty Talo 2000 mukaisia positiotunnuksia.

Säätökaaviossa esitetään prosessissa käytettävät kaapelityypit. Kaaviossa näkyy valvonta-alakeskusenttä, jossa esitetään automaatiojärjestelmään liitettävät ohjelmalliset sekä fyysiset pisteet sekä tieto mihin valvonta-alakeskukseen mittaukset, tilatiedot, ohjaukset, säädöt, hälytykset ja käyntitiedot liitetään. Alakeskusentän piirrososaan liitetään myös apulaitteet, kuten väyläkortit ja jäätymissuojat. Piirroksessa esitetään ryhmäkeskusenttä, jossa näkyvät esimerkiksi pakkotoiminnot. Säätökaavioihin lisätään aina toimintaselostus, jossa kirjoitetaan auki kytkentä-, laite- ja järjestelmäkohtaiset toiminnot, joita ei yksiselitteisesti voi kuvata piirrosmerkein. (ST-käsikirja 17 2018, 168.)

Toimintaselostus voi sisältää esimerkiksi seuraavat asiat:

- Laitteiden tai koneistojen ohjaukset.
- Koneiston säätötoiminnot (kuten paine-ero- lämpötila ja ilmanlaatu). Laitteiden säätöjärjestys, minkä mittaustuloksen mukaisesti säädetään mitäkin laitetta, asetusravot sekä yleensä myös asetusravokäyrät.
- Monimutkaisimmista prosesseista on hyvän tavan mukaista selittää, minkä vuoksi säätö toimii suunnitellulla tavalla, jotta ylläpito, urakoitsija sekä omistaja ymmärtää suunnitteluratkaisun tavoitteet ja lähtökohdat.
- Prosessin lukitukset ja varatoiminnot.
- Hälytyksien osalta esitetään, mistä hälytys muodostuu (fyysinen hälytys, ohjelmallinen raja-arvo- tai -ristiriitahälytys), hälytyksien oletushälytysviiveet ja -luokat sekä hälytysten kuittausmekanismit. Hälytysviiveet saatetaan esittää myös työselostuksessa, joka kattaa koko projektin. Päällekkäisiä esityksiä tulisi kuitenkin pyrkiä välttämään, niiden mahdollisten ristiriitojen vuoksi, joten yksinkertaisinta on esittää hälytykset säätökaaviossa.

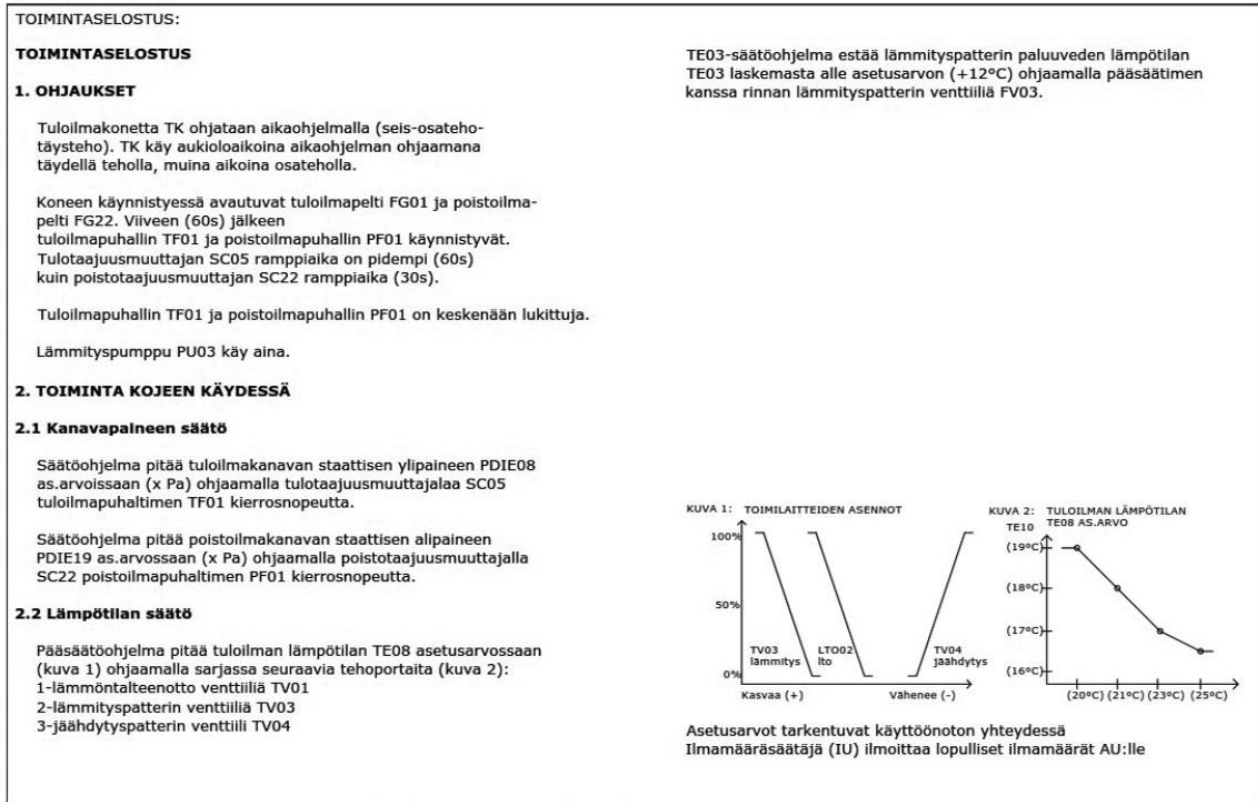
Toimintaselostuksessa esitetään usein myös esimerkiksi käyntiajat, ilmamäärät ja venttiilien kv-arvot laitteiden toiminnan mukaan. Saneerauskohteissa ilmamäärät on hyvä tarkistaa urakan yhteydessä. (ST-käsikirja 17 2018, 172.)

Toimintaselostus siis kertoo, miten taloteknistä järjestelmää ohjataan. Automaatioasentaja käyttää toimintaselostuksia järjestelmän asennuksessa ja ohjelmoinnissa. Selostusten pohjalta saadaan ymmärrys säätöpiirien toiminnasta ja säätimien virittämisestä. Toimintaselosteiden tulee olla yksiselitteisiä ja selkeitä, jotta talotekniset ohjaukset toteutetaan suunnitellulla tavalla. Toimintaselosteeseen liitetään usein myös havainnollisia kuvaajia, miten esim. kaskadisäädön asetuskäyrä tai ilmanvaihtokoneen toimilaitteiden asento vaihtelee lämmöntarpeen muuttuessa. (ST-käsikirja 17 2018, 56, 110, 172.) Mittausarvojen pohjalta tehdyt ohjaukset esitetään selostuksessa, mutta ohjauksarvot jätetään usein käyttäjän tai huollon aseteltaviksi.

Toimintaselostuksessa esitetään mahdolliset tapahtumaohjelmat, joilla saadaan energiatehokkaasti luotua paremmat sisäolosuhteet. Tällaisia ohjelmia ovat esim. yölämmitys ja yötuuletus, joilla voidaan tehokkaasti ja halvemmilla sähkönhinnoilla muuttaa sisäolosuhteita häiritsemättä kiinteistön käyttäjiä. Usein käytetty energiatehokkuuteen tähtäävä säätö on puhallintehojen pakkaspudotus, jossa ulkoilman laskiessa alle aseteltavan arvon, puhallintehojen rajoitus säästää lämmitysenergiassa. Pakkaspudotusta ei kuitenkaan tule tehdä sisäilmaolosuhteiden kustannuksella eli se ei sovi kaikille tiloille. (ST-käsikirja 17 2018, 234, 309.)

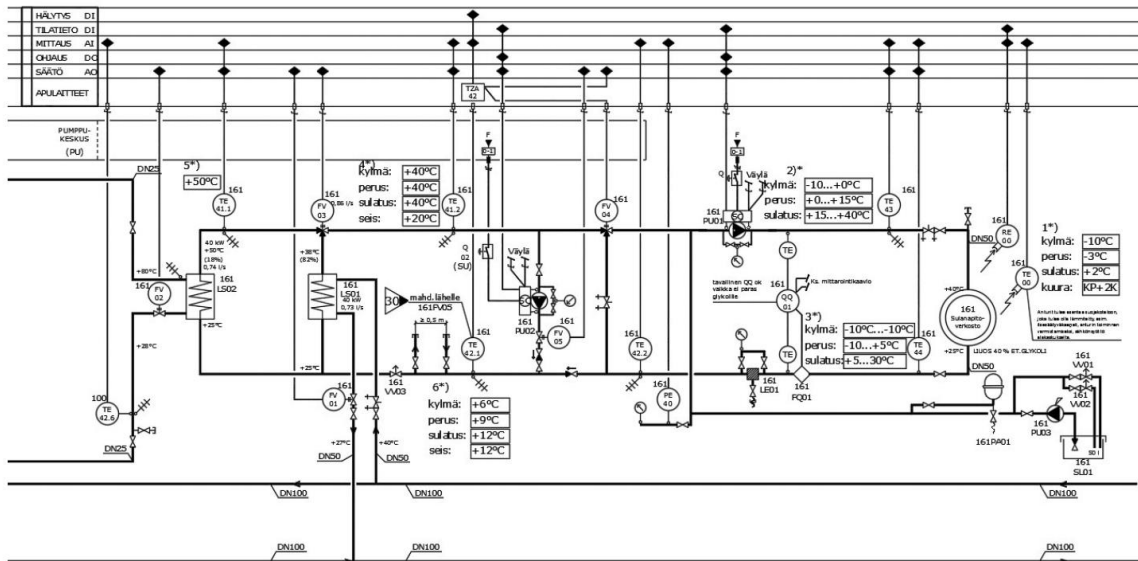
Toimintaselosteessa esitetään myös rakennuksen tarpeenmukaisen lämmityksen, ilmanvaihdon ja valaistuksen ohjaus kiinteistön käyttöaikoina. Jos tiloissa on lämpötila ja hiilidioksidi antureita, voidaan ilmanvaihtoa ja lämmitystä ohjata mittauksien mukaan. Kun lämpötila ja hiilidioksidi mittaukset eivät vaadi ilmanvaihdolta ja lämmitykseltä täyttä tehoa, saadaan energiansäästöä olosuhteista säästämättä. Jos kiinteistössä on läsnäolotunnistimia, voidaan tilojen olosuhteita hallitusti muuttaa energiansäästön nimissä, kun niissä ei ole käyttöä. Nämä ohjaukset esitetään toimintaselosteessa. (ST-käsikirja 17 2018, 232–236.)

Toimintaselosteen tärkeimpiä asioita ovat lukitus ja varotoimet/hälytysohjelmat, ne suojaavat laitteistoja, kiinteistöä ja käyttäjiä. Lukitukset voivat olla yksittäisiä kuten poistoilmapuhaltimen käynnin lukitsemisesta tuloilmapuhaltimen käyntiin tai lukitusten sarjoja, kuten tuloilmapuhaltimen käyntiehtona on, ettei jäätymissuojatermostaatti hälytä, palohälytys ei ole voimassa ja lämmityspatterinkiertopumppu käy. Varotoimet ja hälytysohjelmat listaavat ristiriitahälytykset, mittausten ylä- ja alarajahälytykset sekä säätövikahälytykset. Toimintaselosteessa huomioidaan usein myös lämmöntalteenoton hyötysuhdelaskenta, jonka alarajasta saadaan hälytys järjestelmään. (ST-käsikirja 17 2018, 78, 231, 236.)



Kuvio 6. Koteloidun ilmanvaihtokoneen toimintaselostus (ST-käsikirja 17 2018, 173)

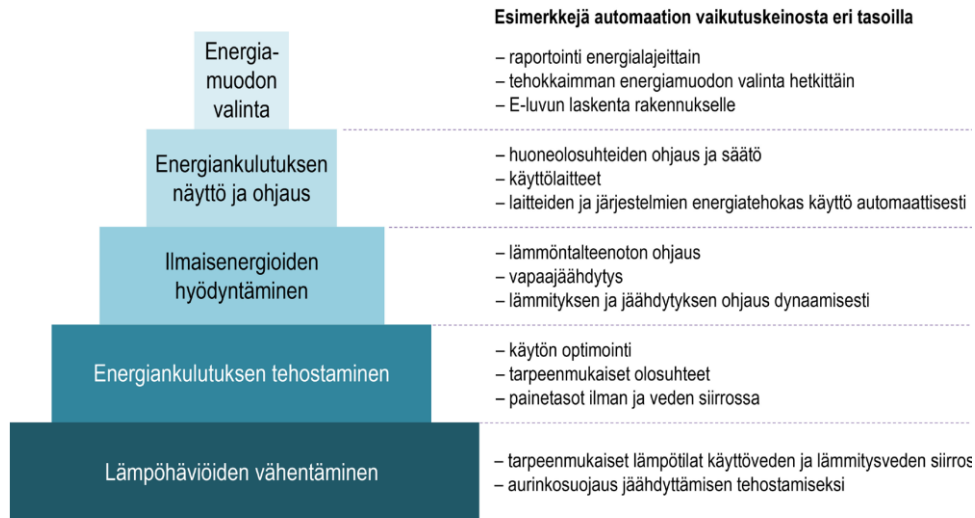
Säätökaaviot tulee esittää siinä muodossa, kuin niiden halutaan näkyvän valvomografiikalla, sillä valvomografiikka kopioidaan usein säätökaavion kuvasta. Suunnittelijan on suositeltavaa tehdä yksinkertainen järjestelmäkuvan tyyppinen valvomografiikkasuunnitelma monimutkaisista ja laajoista järjestelmistä. Alla olevassa säätö- ja kytkentäkaaviosta esitetään piha-alueen sulanapitojärjestelmä, joka toteutetaan kauko- ja maalämpö hybridijärjestelmän avulla. Järjestelmän säätö ja kytkentä on moninainen, mutta se on esitetty graafisesti yksinkertaisessa muodossa. (ST-käsikirja 17 2018, 170–172.)



Kuvio 7. Esimerkki hybridilämmitysjärjestelmän piha-alueen sulanapitojärjestelmän säätö- ja kytkentäkaaviosta (ST-käsikirja 17 2018, 171).

7 Energiätehokkuus

Rakennuksen ilmanvaihto voidaan toteuttaa energiätehokkaasti ja sen lämmitys voidaan toteuttaa energiätehokkaasti, mutta todelliseen tehokkuuteen energian käytössä päästään hallitsemalla kiinteistön tekniikkaa kokonaisuutena. Vuonna 2005 voimaan astuneen Kioton ilmast sopimuksen yhteydessä esiteltiin Kioto-pyramidi eli energiätehokkaan rakentamisen pyramidi, jossa energiansäästökeino esitetään siten että vaikuttavin keino muodostaa pyramidin perustukset ja loput keinoit seisoivat perustuksen päällä tärkeysjärjestyksessä. Pyramidin perustana toimii lämpöhäviöiden vähentäminen. Rakennusautomaatiolla yksin ei pystytä poistamaan kaikkia lämpöhäviöitä, jos rakennusmateriaalit ja laitevalinnat ovat sopimattomia, mutta automaatiolla voidaan ohjata käytöveden ja lämmitysveden lämpötiloja, jolloin lämpöhäviöt pienenevät, kun vältetään yllilämmittämistä. (Hyvärinen 2012.)



Kuvio 8. Kioton pyramidi eli energiatehokkaan rakentamisen tasot ja esimerkkejä automaation vaikutuskeinoista eri tasoilla (ST-ohjeisto 20 2020, 6).

Rakennusautomaation energiatehokkuutta käsitellään standardissa SFS-EN 15232/2020. Standardi jaottelee kiinteistön automaation neljään tehokkuusluokkaan: A, B, C ja D. Huonoin näistä on D-luokka ja paras on A. C-luokka kuvastaa tavanomaista automaation tasoa. Tehokkuusluokat ovat esitelty alla olevassa taulukossa 1.

Taulukko 1. Rakennusautomaation energiatehokkuusluokittelu (ST-ohjeisto 20 2020, muokattu)

A-luokka	<ul style="list-style-type: none"> • Talotekniikan hallintajärjestelmä • Energiatehokas järjestelmä, joka on varustettu laajoilla kiinteistöhallinnan toiminnoilla • Huonesäätimet pystyvät tarpeenmukaiseen lämmityksen, ilmanvaihdon ja ilmastoinnin ohjaukseen • Järjestelmä ottaa huomioon myös lämmityksen, ilmanvaihdon ja ilmastoinnin sekä muiden taloteknisten toimintojen monimutkaiset riippuvuussuhteet
B-luokka	<ul style="list-style-type: none"> • Rakennuksen automaatiojärjestelmä, joka on varustettu muutamilla teknisen kiinteistöhuollon toiminnoilla • Energiatehokkuus C-luokkaa parempi • Voidaan optimoida automaattisesti rakennusten eri järjestelmien toimintaa tarpeenmukaisen ohjauksen toteuttamiseksi • Huonesäätimet ovat liitetty rakennuksen automaatiojärjestelmään tiedonsiirtoyhteydellä

C-luokka	<ul style="list-style-type: none"> • Järjestelmä sisältää automaattiset säätö ja ohjaustoiminnot, toiminnot saatetaan toteuttaa myös erillisillä laitteilla • Tavanomainen minimiratkaisu, joka vastaa tavanomaista nykyratkaisua
D-luokka	<ul style="list-style-type: none"> • Järjestelmä usein käsikäyttöinen • Automaatiossa ei ole huomioitu kiinteistön energiatehokkuutta • Vanhat järjestelmät tulisi peruskorjata ja uusia ei rakentaa luokan D mukaan

Koko kiinteistön rakennusautomaation tehokkuusluokka määräytyy alimman energiatehokkuusluokan mukaan. Jos osa kiinteistön järjestelmistä on C-luokan tasolla ja osa A-luokan tasolla, tulkitaan että rakennusautomaatio on kokonaisuudessaan tehokkuusluokassa C. Luokitusten soveltaminen vaatii kuitenkin hieman yksinkertaistuksia ja tulkitsemista. Jotta automaatiojärjestelmä olisi A-luokan tasolla, tulisi kaikissa tiloissa olla yhtä energiatehokkaat järjestelmät eli kellaritilojenkin valaistusta tulisi ohjata päivänvalon mukaan. Tällaisissa tilanteissa olisi hyvä määritellä kokonaisuusluokitusta heikentävän tilan automaation tavoitetaso sekä kyseisen tilan tehokkuusluokka ja peilata tasoa tilan tavoitetasoon. Tällöin kiinteistön rakennusautomaation energiatehokkuus ei tipu alempaan luokkaan, vaikka kellarin valaistusohjausta ei toteuteta päivänvalon mukaan. (ST-ohjeisto 20 2020, 7–8.)

Rakennusautomaation luokka määritellään kerroinmenetelmällä, jossa pystytään yksinkertaisella ja karkealla tavalla arviomaan rakennusautomaation energiatehokkuutta. Kertoimet on määritelty simuloimalla ja ne vaihtelevat rakennustyypeittäin. Jokaisella rakennustyypillä on oma profiilinsa, joka koostuu käyttöajoista ja ihmisten sekä laitteiden lämpökuormista. Jokaiselle rakennustyypille on määritelty jokaista energiatehokkuusluokkaa kohden korjattu kulutusarvio lämmitysenergian, jäähdytysenergian, lämpimän käyttöveden kuluttaman energian sekä valaistuksen ja laitesähkön kuluttaman energian osalta. (ST-ohjeisto 20 2020, 9.)

Toinen standardissa SFS-EN 15232/2020 esitelty rakennusautomaation energiatehokkuusluokan määrittelymenetelmä on yksityiskohtainen tapa, jossa huomioidaan nimenomaan arvioinnin kohteena olevan kiinteistön ominaisuudet. Yksityiskohtaisen menetelmän käyttö vaatii tarkat tiedot rakennuksesta ja sen järjestelmistä. Yksityiskohtaisessa laskennassa lähestymistapana on tavallisesti korjauskertoimiin perustuva, ohjearvopohjainen, aikariippuvainen, suora tai käyttöjaksoihin perustuva tapa arvioida rakennuksen automaation energiatehokkuutta. (ST-ohjeisto 20 2020, 9.)

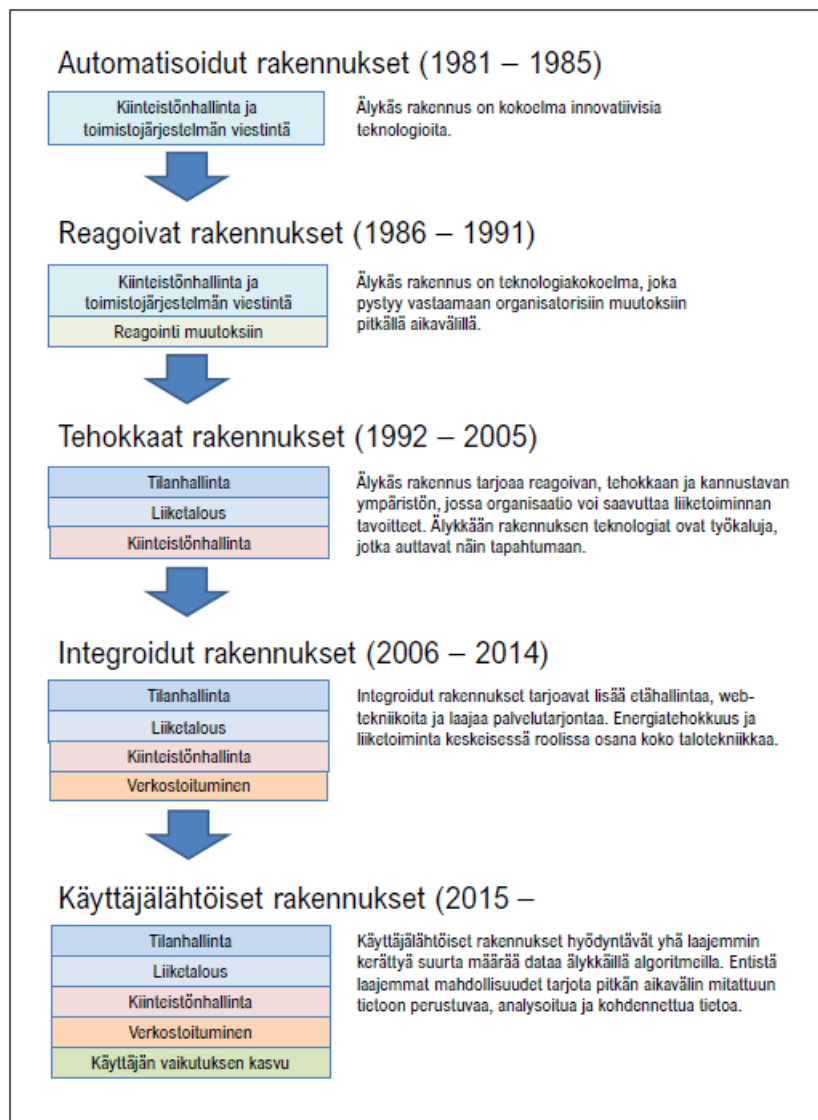
Usein rakennusautomaatiosaneerauksissa pyritään lakia 733/2020 parempaan energiatehokkuuteen ja sitä tuetaan myös valtion toimesta. Yritykset ja yhteisöt voivat hakea energiatehokkuushankkeisiin tarkoitettua tukea Työ- ja elinkeinoministeriöltä lain 733/2020 ylittävään rakennusautomaatiosaneeraukseen, jos niiden investointikustannukset ovat vähintään 10 000 €. Business Finlandilta saatavan tuen määrä on esimerkiksi energiatehokkuussopimukseen liittyneelle kiinteistöosakeyhtiölle 20 % investointihankkeen loppusummasta. Suunnittelu ja valvontakustannuksiin tukea myönnetään enintään 20 % tuenalaisten kustannusten osuudesta. (Energiajärjestelmä vähähiilisemmäksi n.d.) EU-komission muutosehdotuksessa rakennusten energiatehokkuusdirektiiviin kannustetaan jäsenmaita tukemaan energiakorjauksia rahoituksella ja muilla tukikeinoilla (Komissio täydentää EU:n ilmastopakettia – rakennusten energiatehokkuutta parannetaan laajalla keinovalikoimalla 2021). Jäsenmaiden päätettäväksi jää, kuinka tukikeinot toteutetaan jatkossa.

8 Rakennusautomaatio nyt ja tulevaisuudessa

Rakennusautomaatiota on käytetty kiinteistöissä jo 1950-luvulta saakka, jolloin LVI- automaatiota toteutettiin analogisilla säätimillä ja hälytykset kulkivat pienjännitekaapeleita pitkin. Yleisemmin rakennusautomaatio levisi 1950–1960 luvuilla, kun kiinteistöjen ilmanvaihto koneellistui ja tarvittiin luotettava tapa säätää ja valvoa ilmanvaihtokoneen lämmityspattereita. Säädot toteutettiin automaation alkuaikoina analogisella säätöjärjestelmällä. Vuonna 1962 kehitettiin joustava DDC-digitaalinen säätöjärjestelmä, jota pystyttiin uudelleen ohjelmoimaan. Rakennusautomaation kehitystä vauhditti seuraavan kerran 1970 luvun energiakriisi, joka kannusti kiinteistöjen omistajia säästämään energiaa. Lämmitysenergian säätöön kehitettiin talovalvontajärjestelmä, joka liitettiin valvomoon. Siitä lähtien automaatiojärjestelmät ovat kehittyneet ja monipuolistuneet. Ensimmäisiä rakennusautomaatiojärjestelmien parametrejä muutettiin käyttäjän toimesta rakennuksen sisältä, nyt ohjaus toteutetaan usein internetin välityksellä etäkäyttönä. (ST-käsikirja 17 2018, 12–14.)

Kiinteistöautomaation historiassa voidaan nähdä kehityskausia uusien teknologioiden käyttöönottojen myötä. Vuoteen 1985 saakka käsitteenä oli automatisoidut rakennukset, joissa oli kokoelma innovatiivisia teknologioita. Vuosina 1986–1991 suunnittelu keskittyi reagoiviin rakennuksiin, joissa rakennus nähtiin teknologiakokoelmana, joka pystyy reagoimaan ympäristössä muutoksiin pitkällä aikavälillä. Vuosina 1992–2005 puhuttiin tehokkaista rakennuksista eli rakennusautomaatiolla pyrittiin luomaan älykäs rakennus, joka tarjoaa tehokkaan ja reagoivan rakennuksen käyttäjän

tarpeisiin. Integroitujen rakennusten aika oli vuosina 2006–2014, kun rakennusautomaatiossa otettiin käyttöön etähallinta ja webteknikat. Tällöin energiatehokkuus alettiin näkemään aiempaa keskeisemmässä osassa talotekniikkaa. Vuodesta 2015 lähtien on kehitetty käyttäjälähtöisten rakennusten kiinteistöautomaatiota, jossa tavoitteena on ohjata rakennuksen toimintaa rakennuksen käyttäjien toiminnasta kerätyn datan perusteella. (ST-käsikirja 17 2018, 18.)



Kuvio 9. Rakennusautomaation kehityskaudet (ST-käsikirja 17 2018, 18)

Älykkäällä sisäolosuhteiden hallinnalla on paljon energiansäästömahdollisuuksia. Esimerkiksi toimistotiloissa voidaan kulunvalvonnan ja olosuhdemittausten avulla optimoida lämmitystä, ilmanvaihtoa ja valaistusta. Sisävalaistuksessa voidaan huomioida ikkunoista tuleva luonnon valo ja ilmanvaihtoa sekä lämmitystä voidaan säätää pienemmälle, kun tilassa ei havaita käyttöä.

Älykkäiden sisäolosuhteiden hallinnan avulla rakennuksilla on paremmat edellytykset osallistua sähkön kysyntäjoustoon. (Chasta, Singh, Gehlot, Misra & Choudhury, 2016, 92.) Tulevaisuudessa kerätyllä datalla rakennuksen käyttäjistä ja mallintamalla taloteknisiä prosesseja voidaan esimerkiksi ilmanvaihdolla vaikuttaa virusten leviämiseen avokonttorissa tai julkisessa rakennuksessa (Himeur, Elnour, Fadli, Meskin, Petri, Rezgui, Bensaali & Amira, 2022, 5000).

Rakennusautomaation keräämää suurta datan määrää voidaan hyödyntää esimerkiksi rakennuksen digitaalisen kakson avulla. Digitaalinen kakson on kiinteistön virtuaalinen mallinnus, joka käy jatkuvaa tiedon vaihtoa todellisen rakennuksen kanssa. Talotekniikan ohjausta voidaan simuloida digitaalisesti ja toteuttaa ohjaukset optimaalisimman simulaation mukaan saavuttaen energiatehokas ja viihtyisä sisäympäristö. (Himeur ym. 2022, 5001). Digitaalinen kakson voi esimerkiksi havaita jaetusta kalenterista, että toimistorakennuksen kokoushuonetta käyttää 8 ihmistä klo 9–12 ja luoda sen perusteella optimaaliset sisäolosuhteet kokoushuoneeseen koko käytön ajaksi. Kaksonen simuloi digitaalisesti muun muassa kauanko optimaalisten olosuhteiden luomiseen kokoushuoneessa menee ja toimii simulointinsa pohjalta. Kaksosta voitaisiin hyödyntää myös taloteknisten järjestelmien mallinnuksessa, jos kiinteistön käyttäjällä on tarvetta tilamuutoksille. (Dooley & Composano 2020, 17.)

Teollinen internet (IoT) on nyt jo osa monia rakennusautomaatioratkaisuja ja sen merkitys tulee todennäköisesti tulevaisuudessa korostumaan. Teollisen internetin avulla rakennusautomaatiolla voidaan tehostaa energian säästöä entisestään. IoT:n avulla voidaan esimerkiksi lukea tilanvarauksen kalenterimerkintä, jonka mukaan toimistorakennuksen kokoushuone ei ole käytössä klo 12–16. Tiedon perusteella voidaan huoneen lämmitystä, ilmanvaihtoa ja valaistusta huonontaa ja säästää samalla energiaa. Älykkäällä rakennusautomaatiolla voidaan myös luoda käyttäjälle henkilökohtainen käyttökokemus. Tiloihin sijoitettavien anturien avulla havaitaan käyttäjän läsnäolo ja säädetään esimerkiksi tilan lämpötilaa käyttäjän mieltymyksen mukaan. (Frakiewicz 2023.) IoT:n yleistyessä myös älykkäiden säätömenetelmien käyttö yleistyy. Nykyjärjestelmissä aikaohjelmat ja asetusarvot sekä muut parametrit ovat käyttäjän aseteltavissa. Teollisen internetin yleistyessä

käyttäjä määrittelee tavoitteet järjestelmän toiminnalle ja järjestelmä valitsee parametrit. (ST-käsikirja 21 2022, 8.)

Automaatio kerää paljon dataa kiinteistöstä ja talotekniikan toiminnasta. Kerättyä dataa voitaisiin hyödyntää nykyistä laajemmin rakennuksen olosuhteiden hallinnassa. Talotekniikan ohjauksessa on yleistymässä käyttäjälähtöinen älykäs ohjaus. Rakennusautomaatioon erikoistuneen yrityksen energiapäällikkö Luka Heinonen uskoo, että esimerkiksi lämmitystä tullaan jatkossa ohjaamaan vain sisäolosuhteiden ja ulkoilman ennusteiden mukaan. Nykyään lämmitys on monissa rakennusautomaatiojärjestelmissä sidottu mitattuun ulkolämpötilaan tai sisälämpötilan ja mitatun ulkolämpötilan yhteislämpötilaan. Heinosen mukaan ohjaamalla lämmitystä sisälämpötilan mukaan ja ennustamalla kerätystä datasta ja sääennusteista lämmitystarvetta, päästään energiaoptimoidumpaan ja kustannustehokkaampaan kiinteistön lämmitykseen. (Heinonen 2023.)

Teollisen internetin avulla voidaan tehostaa rakennusten energiankäyttöä suuressa mittakaavassa. Kiinteistöihin on tarjolla useita tekoälyavusteisia palveluja, jotka käyttävät avointa järjestelmää eli järjestelmä on yhteensopiva monien laitteistojen kanssa. Erityisesti kaukolämmön tehojoustossa hyödynnetään teollisen internetin ja itseoppivan älyn hyötyjä Heinosen kuvaamalla tavalla. Lämmitettäviin tiloihin lisätään anturi, jonka avulla tarkkaillaan tilojen käyttöä ja kaukolämmön anturilla tarkkaillaan lämpimän käyttöveden kulutusta. Sisätilojen lämpötila-anturin ja sääennusteiden avulla lämmitystä säädetään tarpeen mukaan ja ennakoidaan mahdollisia pakkasjaksoja. Järjestelmä oppii, milloin lämpimän käyttöveden kulutus on kiinteistössä suurimmillaan ja aloittaa tilojen lämmittämisen ennen ennakoitua lämpimän käyttöveden kulutuspiikkiä. Kun kulutuspiikki tulee, lämmitysverkostoon menevän veden lämpötilaa pudotetaan hetkellisesti, kuitenkin sisäolosuhteet säilyttäen. Tekoälyn leikatessa kulutuspiikkiä säästyy sekä rahaa että energiaa. (Asuntosäätiö: Leanheat-järjestelmästä säästöjä hoitovastikkeessa 2017.)

Tekoälyn ja koneoppimisen käytöllä saadaan tehostettua kiinteistön energiankäyttöä. Parempia tuloksia, kuin pelkällä raakaa luokittelematonta dataa prosessoivalla tekoälyllä, on saatu käyttämällä ohjatusti opetettua tekoälyä. Ohjatusti opetettua tekoälyä opetetaan harjoitusdatan avulla tekemään valintoja kiinteistössä tuotettavasta datasta. Energiankulutuksen ennustaminen, sisäolosuhteiden valvonta ja järjestelmien vika- ja poikkeushavainnot onnistuivat paremmin, kun tekoälyä

harjoitetaan ja valvotaan, koska harjoitettu äly poimii todennäköisemmin oleellisen tiedon kiinteistön toiminnasta verrattaessa tekoälyyn, joka on oppinut luokittelemattomasta datasta. Erot korostuivat erityisesti suurissa kiinteistöissä, silloin kun rakennusautomaatio suorittaa useita tehtäviä, kuten läsnäolohavainnointia, sisäolosuhdemuutoksia lämmitykseen ja ilmanvaihtoon sekä vika- ja poikkeushavainnointia, samanaikaisesti. Aiemmissä tutkimuksissa on todettu, että kaksi suurinta syytä rakennusten energiahukkaan rakennuksen käytössä ovat kiinteistön huono hallinta- ja säätelyjärjestelmä sekä järjestelmän viat ja laitteiden toimintahäiriöt. Havaitsemalla toimintahäiriöt nopeasti säästetään siis energiaa. (Himeur ym. 2022, 4993, 5004.)

Jotta tekoälyä ja koneoppimista voidaan hyödyntää energia ja olosuhdeoptimoinneissa, tulee talotekniikan ja rakennusautomaation olla tarpeeksi modernia. Rakennuksessa tulee olla kattavasti olosuhdeantureita ja tiedonsiirron tulee olla kaksisuuntaista, verrattuna analyyttiseen ohjaukseen, jossa tiedonsiirto on yksisuuntaista. (ST-käsikirja 22 2022, 82.) EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiivissä 2018/844/EU on ensimmäinen kirjaus kiinteistöjen älyvalmiutta (SRI) koskevan luokittelujärjestelmän rakentamisesta. Joulukuussa 2021 julkaistussa muutosehdotuksessa 2021/0426(COD) tarkennetaan että jäsenvaltioiden on perustettava kansallinen tietokanta, johon kerätään muun muassa kiinteistöjen älyvalmiusindikaattoreihin liittyviä tietoja. SRI menetelmää suositellaan erityisesti suurissa rakennuksissa, joiden energiatarve on suuri. Älyvalmiusindikaattori (Smart Readiness Indicator) on laskentamenetelmä, jolla arvioidaan kiinteistön taloteknisten järjestelmien älyvalmiuksia energian kysyntäjouston sekä rakennuksen käyttäjän näkökulmasta. Laskentamenetelmä antaa prosentuaalisen tuloksen 0–100 %, jossa 100 % saanut rakennus on optimaalinen energiatehokkuuden parantamisessa, vastaa täysin käyttäjiensä tarpeisiin ja kykenee reagoimaan energiaverkon jousto tarpeisiin. Suomessa kiinteistöjen älyvalmiuden testaus SRI-tekniikalla aloitettiin syksyllä 2022. (SRI-älyindikaattorin testaus alkaa Suomessa 2022.)

Älyvalmiusindikaattorin soveltuvuutta erityisesti kylmässä ilmastossa on tutkittu Aalto yliopistossa vuonna 2019. Tutkimuksen mukaan menetelmään tulisi lisätä Pohjois-Euroopan rakentamista ja ilmastoa kuvaavia piirteitä, kuten kaukolämmön hyödyntämistä. Kaukolämpöä käytetään noin puolessa kiinteistöistä pohjoisessa Euroopassa, mutta kaukolämmön energiatehokkuutta ja kysyntäjousto valmiutta ei huomioida rakennuksen optimaalisena energiatehokkuutta parantavana toimenpiteenä SRI menetelmässä. SRI-laskenta antaa A energialuokan uudelle rakennukselle vain 52 % tuloksen, jos rakennuksessa ei ole mahdollisuutta paikallisesti tuotetun energian varastointiin ja

kulutusjousto. Vuosikymmeniä vanhempi kauppakeskusrakennus sai tuloksen 92 %, koska siinä oli mahdollisuus energian varastointiin ja laaja valmius kysyntäjousto virtuaalivoimalan vuoksi. (Janhunen, Pulkka, Säynäjoki & Junnila 2019.) Italiassa SRI:stä tehdyn tapaustutkimuksen mukaan taas rakennusten SRI-vertailu on informatiivista vain, jos rakennuksissa on sama määrä älykkäitä valmiuksia ja palveluja. Tapaustutkimus toteaa, että suoritustavoitteiden ja vertailuarvojen asettaminen on vaikeaa, jos rakennusten älyvalmius vaihtelee. Laskentamallissa kysyntäjousto arvioidaan manuaalisella, kvalitatiivisella palveluarviointitavalla, joka myös rajoittaa suorituserusteisten mitattavissa olevien indikaattoreiden rakentamista. (Vigna, Perneti, Pernigotto & Gasparella 2020.)

EU direktiivin muutosehdotuksessa 2021/0426(COD) rakennusten energiatehokkuudesta on kirjaus innovatiivisten ja kilpailukykyisten älytalo palveluiden markkinoinnin helpottamisesta. Keinoksi mainitaan asianosaisten pääsy rakennuksen järjestelmän tietoihin, jolloin palveluiden ja tiedonvaihdon yhteistoimivuus mahdollistuisi. (2021/0426(COD)) Avoin Euroopan laajuinen tiedonvaihto älytalo palveluiden tuottajien kesken vaatii erityistä huomiota tietoturvaan. Automaatiojärjestelmien tärkeimmiksi suojaustoimiksi nimetään verkkotason suojaus ja järjestelmän pääsynhallinta. Pääsynhallinnalla viitataan siihen, että järjestelmään pääsevät tahot, kuten ihmiset ja muut tietojärjestelmät, voidaan todentaa ja heidän oikeuksiaan rajoitetaan tarpeen mukaisiksi. Verkkotason suojauksella tarkoitetaan muun muassa häiriöiden kulkeutumisen estämistä verkkoympäristöjen välillä. (Heinäaro 2021, 74.)

Edellisen kappaleen tärkeimmät suojaustoimet koskevat kaikkia automaatiojärjestelmiä, mutta kiinteistöautomaation hallinnan menetys kriittisissä kohteissa, voi aiheuttaa paljon haittaa. Esimerkiksi sairaaloiden tai laboratorikohteiden rakennusautomaatioon kohdistuvat kyberhyökkäykset saattavat aiheuttaa vaaratilanteita. Ajatus EU:n laajuisesta tiedonvaihdosta on hyvä, mutta saattaa olla haasteellinen toteuttaa tietoturvan näkökulmasta.

Tekoälyn käyttö rakennusautomaatiossa on keskittynyt energiaoptimointiin, mutta rakennusautomaation suunnittelu on toistaiseksi ihmisen toteuttamaa. Teemu Forsten automatisoi Fidelix Oy:lle tekemässään opinnäytetyössä rakennusautomaatiojärjestelmissä käytettävien grafiikkakuvien piirtämisen tekoälypohjaisen kuvantunnistussovelluksen avulla. Opinnäytetyössä tekoälylle syötettiin

valmiiksi suunniteltuja säätökaavioita. (Forsten 2021.) Generatiivisen tekoälyn eli hyperautomaation uskotaan optimoivan suunnitteluprosesseja rakennusalalla (Ala-Mutka 2023). Ehkä tulevaisuudessa myös rakennusautomaatiota suunnitellaan generatiivisen tekoälyn avulla.

9 Pohdinta

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa toimintaselosteita standardoiva työkalu Renea oy:ssä. Työkalun toteutus oli ajankohtainen yrityksessä, sillä uutena yrityksenä säätökaavio- ja toimintaseloste kirjastot luotiin yrityksen perustamisvaiheessa ja työkalu täydensi suunnitelmakirjastoja. Opinnäytetyöntekijä on aloittanut vuonna 2023 rakennusautomaatiosuunnittelijana Renea oy:ssä. Pidempään toimineissa suunnittelu yrityksissä on olemassa olevat kirjastot, jolloin työkalu ei välttämättä olisi ollut yhtä ajankohtainen. Työkalun suunnittelu oli kannattavinta aloittaa tekstien sisältöjä luomalla. Tekstien luominen ja muokkaus veivät suurimman osan työkaluun käytetystä ajasta. Samalla tekstien ja ohjaustapojen ymmärtäminen ja tekstien muokkaus helposti ymmärrettäväksi opetti tekijälleen paljon rakennusautomaation toiminnasta ja ohjauksista.

Työkalu ei ole kaikenkattava, vaan jos kohteen lämmitysjärjestelmänä on esimerkiksi maalämpö, pääsee RAU-suunnittelija suunnittelemaan toistaiseksi järjestelmän toimintaa alusta saakka. Työkalua on toki mahdollista jatkokehittää myös maalämpöjärjestelmän ohjaukseen. Työkalun avulla saadaan kuitenkin tehostettua RAU- suunnittelua ja valmiiden suunnitelmien laatu on tasaisempaa. Työkalun ansiosta myös virheiden mahdollisuus pienenee. Työkalussa käytetyssä Excel pohjassa haasteeksi ilmeni tekstien siirrettävyys AutoCAD suunnitteluohjelmistoon. Tekstit tulee kopioida Excelistä AutoCAD:iin Word tiedoston kautta, jotta otsikot ja kappalejaot säilyvät alkuperäisessä muodossaan. Työkalua voidaan jatkokehittää niin että Excelin tekstit siirtyvät Wordiin ilman erillistä kopiointia, jolloin ne saadaan helpommin siirrettyä suunnitteluohjelmistoon.

Jotta työkalun ja opinnäytetyön onnistumista voitaisiin arvioida luotettavasti, tulisi arviointiin olla etukäteen määritellyt laadulliset mittarit. Jotta toimintaselosteiden tekstien yksiselitteisyydestä ja selkeydestä olisi saatu parempia takeita, olisi niitä tullut arvioida automaatiourakoitsijoiden avustuksella. Työkalun tekstejä on tarkoitus muokata ja päivittää ajantasaisimpiin ohjauksiin ja säätöihin tulevaisuudessa.

Lähteet

Ala-Mutka, J. 2023. Tekoäly rakennusalalla: ratkaisuja, jotka ylittävät ihmisten kyvyt. Artikkelit Rakentamisen ja talotekniikan maailma – asiakaslehdessä. Viitattu: 12.12.2023 <https://admi.com.fi/asiakaslehti/rakentamisen-talotekniikan-maailma-2-2023/tekoaly-rakennusalalla/>

Asuntosäätiö: Leanheat-järjestelmästä säästöjä hoitovastikkeessa. 2017. Julkaisu Danfoss Leanheat Building www-sivuilla. 9.10.2017. Viitattu: 19.11.2023. <https://leanheat.fi/2017/10/09/asunto-saatio-leanheat-jarjestelmasta-saastoja-hoitovastikkeessa/>

Chasta, R., Singh R. Gehlot A., Misra R. G., & Choudhury, S. 2016. A Smart Building Automation system. International Journal of Smart Home. Vol. 10 No. 8. (2016). Viitattu: 17.10.2023. https://www.researchgate.net/publication/307637969_A_Smart_Building_Automation_System

Dooley, K., & Composano, J. C. 2020. Building digital twins. Issuu. Granlund, LUT. Viitattu: 16.10.2023. https://issuu.com/granlundoy/docs/building_digital_twins?fr=sZWU1YjI1ODIyNg

Ehdotus Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiiviksi 2021/0426/(COD) (52021PC0802). 15.12.2021. Viitattu: 17.11.2023. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021PC0802&from=FI>

Energiajärjestelmä vähähiilisemmäksi. N.d. Viitattu: 26.10.2023 <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2018/844/EU (32018L0844) 30.5.2018. Viitattu: 18.11.2023. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.156.01.0075.01.FIN&toc=OJ:L:2018:156:TOC

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU (32010L0031) 19.5.2010. Viitattu: 12.10.2023. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:fi:PDF>

Forsten, T. 2021. Rakennusautomaatio ja koneoppinen: säätökaavioiden automaattinen tulkinta. Opinnäytetyö. Viitattu: 12.11.2023. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-202201111204>

Frackiewicz, M. 2023. IoT rakennusautomaatioon: kuinka se auttaa parantamaan energiatehokkuutta ja mukavuutta. Teknologiaviestintäpalvelun blogi. Julkaistu 14.6.2023. Viitattu 19.11.2023. <https://ts2.space/fi/iot-rakennusautomaatioon-kuinka-se-auttaa-parantamaan-energiatehokkuutta-ja-mukavuutta/#gsc.tab=0>

Heinonen, L. 2023. Tällainen on toimisto-olosuhteiden hallinnan uusi normaali. Fidelix Oy:n blogiteksti. Julkaistu: 11.10.2023. Viitattu: 15.10.2023. <https://news.fidelix.fi/ajankohtaista/tallainen-on-toimisto-olosuhteiden-hallinnan-uusi-normaali>

Heinäaro, T. 2021. Ensimmäiset asiat jotka pitää saada kuntoon – perustan rakentaminen. Automaation tietoturva. Kriittisen tuotannon turvaaminen. 2022. SAS julkaisusarja nro 51. Ensimmäinen painos. Grano: Helsinki.

Himeur, Y., Elnour M., Fadli F., Meskin N., Petri, I., Rezgui, Y., Bensaali, F. & Amira, A. 2022. AI-big data analytics for building automation and management systems: a survey, actual challenges, and future perspectives. Springer. Artificial Intelligence Review. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10462-022-10286-2>

Hyvärinen, J. 28.9.2012. Ympäristöministeriön uudet ohjeet. Rakennusautomaation vaikutus energiatehokkuuteen. VTT Expert Service Oy. Viitattu 10.10.2023. https://www.knx.fi/doc/Seminaari_28_09_2012/Rakennusten-automaation-vaikutus-energiatehokkuuteen-20120928.pdf

Janhunen, E., Pulkka, L., Säynäjoki, A. & Junnila, S. 2019. Applicability of the Smart Readiness Indicator for Cold Climate Countries. Buildings 2019, 9, 102. <https://doi.org/10.3390/buildings9040102>

Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä: kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Tampere: Tampereen Yliopistopaino – Juvenes Print.

Komissio täydentää EU:n ilmastopakettia – rakennusten energiatehokkuutta parannetaan laajalla keinovalikoimalla. 16.12.2021. Ympäristöministeriön tiedote. Viitattu: 13.11.2023. <https://ym.fi/-/komissio-taydentaa-eu-n-ilmastopakettia-rakennusten-energiatehokkuutta-parannetaan-laajalla-keinovalikoimalla>

Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020–2050 Suomi. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin (2010/31/EU), muutettuna direktiivillä 2018/844/EU, artiklan 2a mukainen ilmoitus. 10.3.2020. Viitattu 3.11.2023. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Suomen-EPBD-2a-ilmoitus_final_10-03-2020-242AE19E_F497_4A38_8DF2_95556530BA53-156573.pdf/37a549e9-b330-5f8c-d863-2e51f2e8239a/Suomen-EPBD-2a-ilmoitus_final_10-03-2020-242AE19E_F497_4A38_8DF2_95556530BA53-156573.pdf/Suomen-EPBD-2a-ilmoitus_final_10-03-2020-242AE19E_F497_4A38_8DF2_95556530BA53-156573.pdf?t=1603259873424

Rakennusautomaatiolla energiatehokkuutta 15 op. N.d. Tiedot koulutuksesta. Hämeen ammattikorkeakoulun verkkosivu. Viitattu: 10.11.2023. <https://www.hamk.fi/taydennyskoulutus/rakennusautomaatiolla-energiatehokkuutta-15-op/>

Rakennusautomaation saneeraus 2023. Webinaari, julkaistu 29.11.2023. Youtube – verkkopalvelu. Viitattu: 1.12.2023. <https://www.youtube.com/watch?v=Nf6Xy-hAjUM>

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin uudistus. N.d. Ympäristöministeriö. Viitattu: 28.10.2023. <https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuusdirektiivin-uudistus>

SRI-älyindikaattorin testaus alkaa Suomessa. 2022. Artikkelit Talotekniikka- lehden www-sivuilla. Viitattu 17.11.2023. <https://talotekniikka-lehti.fi/sri-alyindikaattorin-testaus-alkaa-suomessa/>

ST- käsikirja 17, Rakennusautomaatiojärjestelmät. Tietotekniset järjestelmät. 2018. Kuuden uudistettu painos. Sähkötieto ry. Espoo: Grano Oy. Viitattu: 18.10.2023. <https://janet.finna.fi/>, ST-kortisto.

ST-käsikirja 21, Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto. 2022. Kolmas uudistettu painos. Sähkötieto ry. Espoo: Grano Oy. Viitattu: 18.10.2023. <https://janet.finna.fi/>, ST-kortisto.

ST-käsikirja 22, Rakennusten automaation valvomot. 2023. Toinen uudistettu painos. Sähkötieto ry. Espoo: Grano Oy. Viitattu: 18.10.2023. <https://janet.finna.fi/>, ST-kortisto.

ST-ohjeisto 20, Automaation vaikutus rakennusten energiatehokkuuteen. 2020. Toinen uudistettu painos. Sähkötieto ry. Espoo: Grano Oy. Viitattu: 19.10.2023. <https://janet.finna.fi/>, ST-kortisto.

ST 98.17, Rakennusautomaatiojärjestelmän kuntotutkimusohje. 2018. Sähkötieto ry. Viitattu: 8.10.2023. <https://janet.finna.fi/>, ST-kortisto.

ST 701.32, Rakennusautomaatiojärjestelmän suunnittelu. 2022. Sähkötieto ry. Viitattu 20.10.2023. <https://janet.finna.fi/>, ST-kortisto.

ST 710.00, Rakennusautomaatiojärjestelmän säädökset, määräykset, standardit ja ohjeet. 2020. Sähkötieto ry. Viitattu: 14.10.2023. <https://janet.finna.fi/>, ST-kortisto.

ST 710.12 Rakennusautomaation peruskorjauksen toteutus. 2015. Sähkötieto ry. Viitattu 20.10.2023. <https://janet.finna.fi/>, ST-kortisto.

ST 711.04, Rakennusautomaatiourakan laadunvarmistus-, valvonta- ja vastaanottomenettelyohjeita. 2020. Sähkötieto ry. Viitattu 23.10.2023. <https://janet.finna.fi/>, ST-kortisto.

Suomäki, J. & Vepsäläinen, S. 2013. Talotekniikan automaatio. Käyttäjän opas. Seitsemäs, uudistettu painos. Punamusta Oy.

Taloautomaation perusteet 2023. Motivan Taloyhtiöt - yhdessä energiatehokkaasti www-sivuilta. Viitattu 15.9.2023. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiöt_-_yhdessä_energiatehokkaasti/taloautomaatio/taloautomaation_perusteet

Vigna I., Pernetti R., Pernigotto G. & Gasparella A. 2020. Analysis of the Building Smart Readiness Indicator Calculation: A Comparative Case-Study with Two Panels of Experts. Energies. 13(11):2796. <https://doi.org/10.3390/en13112796>

A 718/2020. Ympäristöministeriön asetus eräiden rakennuksen teknisten järjestelmien energiatehokkuuden vaatimuksista. Viitattu: 12.10.2023. <http://www.finlex.fi> ajantasainen lainsäädäntö.

L 733/2020. Laki rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä. Viitattu 1.10.2023. <http://www.finlex.fi> ajantasainen lainsäädäntö.

Liitteet

Liite 1 (salassa pidettävä)

10 Työkalun suunnittelu ja toteutus