

Matti Niemi-Nikkola

RAKENNUSAUTOMAATION MALLIKAAVIOKIRJASTON LUOMINEN

RAKENNUSAUTOMAATION MALLIKAAVIOKIRJASTON LUOMINEN

Matti Niemi-Nikkola
Opinnäytetyö
Kevät 2023
Talotekniikan koulutusohjelma, YAMK
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
YAMK, talotekniikan koulutusohjelma

Tekijä: Matti Niemi-Nikkola

Opinnäytetyön nimi: Rakennusautomaation mallikaaviokirjaston luominen

Työn ohjaaja: Mikko Niskala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2023

Sivumäärä: 37 + 3 liitettä

Tämä työ toteutettiin Rejlers Rakentaminen Oy:n Tampereen toimipisteen toimeksiannosta. Rejlers Rakentaminen Oy:n Tampereen toimipisteessä tehdään LVIAS-suunnittelua. Työn tavoitteena oli luoda rakennusautomaation mallikaaviot sekä niille helppokäyttöinen kirjasto niin nykyisten kuin tulevien uusien rakennusautomaatiosuunnittelijoiden tueksi sekä laadun parantamiseksi ja varmistamiseksi. Kirjaston tavoitteena on myös vähentää automaatiosuunnitteluun kuluvaa aikaa parantaen näin toimipisteen taloudellista kannattavuutta sekä toimia helppona väylänä tutustuttamaan uudet suunnittelijat automaatiosuunnitteluun.

Rakennettavien ja saneerattavien kohteiden rakennusautomaatoratkaisut poikkeavat aina hieman toisistaan ja ala kehittyy jatkuvasti, joten täydellisen kirjaston luominen on käytännössä mahdotonta. Työn pohjana käytettiin yksikössä aikaisemmin suunniteltujen kohteiden automaatoratkaisuja, joista hyödynnettiin yleisimmin käytetyt ratkaisut mallikaaviokirjastoon. Erilaiset vaihtoehdot esitettiin kaavioissa siten, että suunnittelija poistaa kohteeseen tulemattomat ratkaisut mallikaaviosta ja muokkaa kaavion tämän jälkeen luettavaan muotoon.

Mallikaaviokirjasto otettiin käyttöön tammikuussa 2023 ja käyttäjiltä pyydettiin palautetta kyselylomakkeella, jossa pyydettiin kommentoimaan kirjaston käytettävyyttä, kaavioiden selkeyttä, huomioita mahdollisista puutteista sekä jatkokehitysideita kirjastoon lisättävistä kaavioista. Pääasiassa palaute oli hyvää ja kirjaston tuoma automaatiosuunnittelun toimintatavan muutos koettiin positiivisena kehityksenä eteenpäin, mutta palautteen mukana tuli myös useita ehdotuksia kirjastoon lisättävistä kaavioista.

Asiasanat: rakennusautomaatio, RAU-suunnittelu, mallikaavio

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Master's degree Programme in Building services, HVAC-Engineering

Author: Matti Niemi-Nikkola

Title of thesis: Creation of a file library for most used building automation's schematics

Supervisor: Mikko Niskala

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2023

Number of pages: 37 + 3 appendices

This thesis was made for a company called Rejlers Rakentaminen Oy and to its local HVAC-division in Tampere by their commission. The objective of this thesis was to create a file library for most used building automation's schematics. The library was created by studying their previous building automation (BAS) schematics that were done to their earlier projects. The goal of this library was to unify the BAS-schematics' appearance, decrease used planning time, faults in BAS-schematics and contradictions between BAS-schematics and HVAC plans. By achieving these goals, it was expected to have a positive influence on future projects' profitability as well as encourage current HVAC-designers to take up on BAS-designing.

The file library for most used building automation's schematics was introduced to the Tampere HVAC-division in January 2023 and it has been used in multiple new projects successfully. HVAC-designers were asked for feedback from the library three months later in April. In overall, feedback was highly positive and the changes the library brought was seen as an improvement for the division. The feedback also included several propositions how to enhance the library. These propositions were most welcome and will be taken in consideration in the future. After all a library of this kind will never be complete nor perfect due to building automation industry's constant development.

Keywords: building automation, automation, schematics

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	RAKENNUSAUTOMAATIO	7
2.1	Lait ja toiminta	7
2.2	Rakenne	8
3	AUTOMAATION VAIKUTUS ENERGIATEHOKKUUTEEN	11
3.1	Energiankulutus ja energiatodistus	11
3.2	Energiataloudellisen talotekniikan vaatimukset	12
3.2.1	Lämmitysjärjestelmiin liittyvät vaatimukset	13
3.2.2	Ilmanvaihtojärjestelmiin liittyvät vaatimukset	14
4	ESIMERKITAPAUKSIA RAKENNUSAUTOMAATION MERKITYKSESTÄ ENERGIATEHOKKUUDESSA	17
4.1	Mikko Hakasen tutkimus	17
4.2	Timo Lappeteläisen tutkimus	18
5	HANKE- JA SUUNNITTELUPROSESSI	20
5.1	Rakennusautomaation suunnitteluprosessi	21
5.2	Lähtötiedot	22
5.3	Tarkastukset ja käyttöönotto	25
6	RAKENNUSAUTOMAATION MALLIKAAVIOKIRJASTO	27
6.1	RAU-mallikaaviokirjaston käyttö	27
6.2	kaavioiden tulostus	27
7	PALAUTEKYSELY MALLIKAAVIOKIRJASTOSTA	27
7.1	Numeeriset palautteet	28
7.2	Kirjalliset palautteet	30
7.3	Palautteiden yhteenveto	31
8	YHTEENVETO	33
	LÄHTEET	34
	LIITTEET	38

1 JOHDANTO

Rakennusautomaatio on läsnä ihmisten arjessa enenevässä määrin, vaikka sitä välttämättä huomaakaan. Rakennusautomaatiojärjestelmillä ohjataan toimistorakennuksien lämmitystä, koulurakennuksien ilmanvaihtoa ja kauppakeskusten jäähdytystä. Useimmiten se on siis parhaimmillaan juuri silloin, kun sitä ei huomaa, sillä se on merkki siitä, että asiat toimivat halutulla tavalla. Älykkäästi suunniteltu ja toteutettu rakennusautomaatio mahdollistaa erinomaiset olosuhteet rakennuksien käytölle niin sisäilman kuin esimerkiksi ulkovalaistuksen kannalta.

Tämän työn tavoitteena on luoda erillinen rakennusautomaation suunnitelmien mallikaaviokirjasto, jossa esitetään eri järjestelmien parhaiksi todetut sekä yleisimmin käytetyt automaatoratkaisut. Luotavan kirjaston on tarkoitus olla rakennusautomaatiosuunnittelijan työkalu, jonka avulla suunnittelun aloittaminen on helppoa ja selkeää. Kirjastoa käyttämällä pystytään tuottamaan yhdenmuukaisia rakennusautomaatiosuunnitelmia, jotka eivät ole ristiriidassa muiden suunnittelualojen suunnitelmien kanssa.

Työ on toteutettu Rejlers Rakentaminen Oy:n Tampereen toimipisteen toimeksiannosta. Tampereen toimipisteen talotekniikkaosastolla on ollut tarkoituksenaan kehittää ja lisätä rakennusautomaatiosuunnittelua, minkä myötä rakennusautomaation mallikaaviokirjastolle on ilmentynyt selkeää tarvetta. Rejlers Rakentaminen Oy perustettiin 1.10.2022, ja on Rejlers Finland Oy:stä eriytetty, 100 % Rejlers Finland Oy:n omistama tytäryhtiö (Rejlers Suomi 2023a). Rejlers Finland Oy sen sijaan on osa Rejlers AB -yhtiötä, joka työllistää yhteensä 2 500 työntekijää Pohjoismaissa ja Yhdistyneissä Arabiemiirikunnissa (Rejlers Suomi 2023b). Rejlers Rakentaminen Oy käsittää arkkitehti-, sähkö- ja LVIA-suunnittelun, energiapalvelut sekä taloteknisen rakennuttamisen ja valvonnan (Rejlers Buildings 2023). Tampereen toimipisteessä on tällä hetkellä noin 30 työntekijää ja suunnittelukohteet koostuvat asuinrakennusten, koulujen ja päiväkotien uudiskohteista sekä vastaavien olemassa olevien kohteiden saneerauksista.

2 RAKENNUSAUTOMAATIO

Automaatio on hyvin laaja käsite. Sillä voidaan kuvata esimerkiksi yksittäistä pientä logiikkalaitetta, jonka ainut tehtävä on avata ovi liiketunnistimen signaalin perusteella, tai se voi tarkoittaa kokonaisen paperitehtaan ohjaamiseen rakennettua monimutkaista järjestelmää (Valmistajat 2023). Kun puhutaan rakennusautomaatiosta eli RAU:sta, puhutaan yhdestä automaation omilla ominaispiirteillä varustetusta osa-alueesta, joka kattaa pääasiassa taloteknisiä järjestelmiä (Suomen automaatioseura Ry 2023).

2.1 Lait ja toiminta

Lähes poikkeuksetta nykyään rakennettavat uudisrakennukset sisältävät rakennusautomaatiota ja tiettyihin rakennustyyppeihin RAU-järjestelmä vaaditaan myös lain myötä. Vuonna 2020 ympäristöministeriö on julkaissut asetuksen 733/2020 ”Laki rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä”, joka velvoittaa varustamaan muun kuin asuinrakennuksen, eli rakennuksen pinta-alasta alle 50 % on asuinkäytössä, automaatio- ja ohjausjärjestelmällä, jos rakennuksen lämmitysjärjestelmän, ilmanvaihtojärjestelmän, ilmastointijärjestelmän tai näiden yhteenlaskettu nimellisteho on yli 290 kW. Laki koskee niin uudis- kuin saneerattavia rakennuksia sekä velvoittaa automaatio- ja ohjausjärjestelmän asentamisen myös nykyisiin rakennuksiin vuoden 2024 loppuun mennessä, vaikka rakennusta ei olisi muuten tarkoitus saneerata. (Laki rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä 733/2020 3:11–13 §.)

Rakennustiedon kokoamassa talotekniikkaa koskevassa aineistossa ”Rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset” eli talotekniikan RYL:ssä määritetään RAU-järjestelmien osille ja laitteille tarkkoja laatu- ja asennusvaatimuksia. RYL toimii osittain myös suunnittelu- ja asennusohjeena, sillä aineistossa on esimerkiksi maininnat säätöventtiilien ja toimilaitteiden esitettävistä tiedoista sekä ohje kaapeleiden merkitsemisestä molemmista päistä. Aineisto vaatii ja ohjeistaa hyvään rakentamistapaan sekä suoritettujen työvaiheiden oikeaoppiseen dokumentointiin ja laitetestaukseen. (Rakennustieto 2022.)

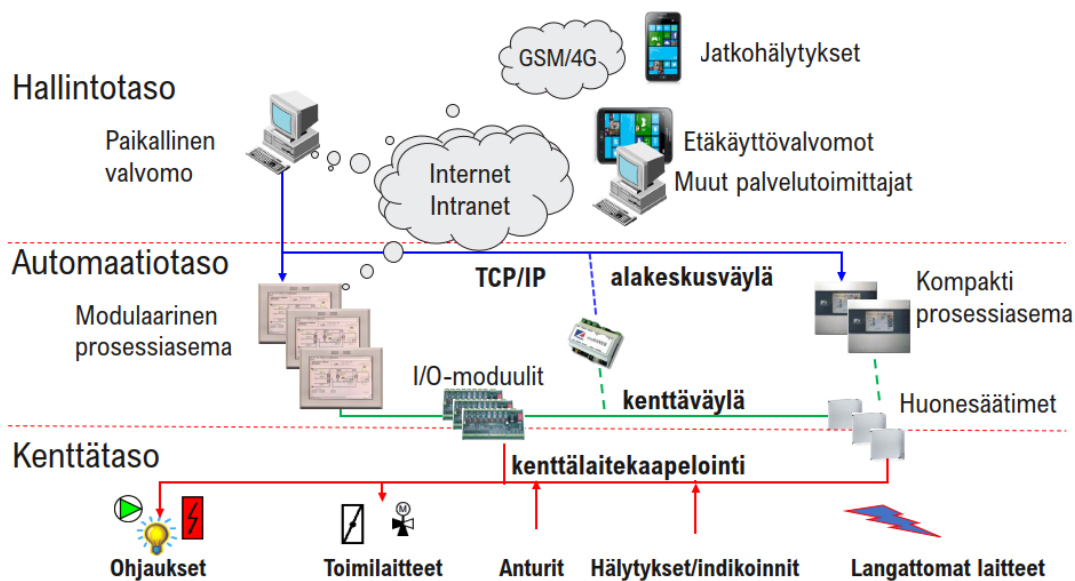
Rakennusautomaatio on järjestelmä, johon kuuluvat yleensä rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysverkostot, ilmastointi ja valaistus ja jolla voidaan ohjata rakennuksen talotekniikan käyttöä. Tämä tarkoittaa esimerkiksi rakennuksen lämmitysjärjestelmän ohjausta mitatun ulkolämpötilan mukaan, jolloin lämmitysjärjestelmä toimii hyvällä hyötysuhteella rakennuksen käyttömukavuudesta tinkimättä. (Heikkinen 2018.)

Kun taloteknisiä järjestelmiä ohjataan tarpeen mukaisesti, rakennuksen energiatehokkuus paranee huomattavasti sekä hiilijalanjälki pienentyy. Energiatehokkuuden parantaminen onkin rakennusautomaation yksi oleellisimmista tehtävistä. Muita rakennusautomaation tärkeitä tehtäviä on tuottaa luotettavaa tietoa laitteiden kunnosta, niihin tulevista mahdollisista vika- ja häiriötilanteista, rakennuksessa vallitsevista olosuhteista sekä ylläpitää seurantadataa esimerkiksi kulutusmittauksista ja mittausanturien tuloksista. Näiden lisäksi rakennusautomaatio voidaan liittää esimerkiksi audiovisuaalisen järjestelmän ohjaamiseen, viihde- ja esityspalveluihin tai parantaa rakennuksen turvallisuutta liittämällä kulunvalvonta-, palo- tai murtohälytysjärjestelmiin. (Härkönen ym. 2018, 21.)

Jotta sisäolosuhteet voidaan pitää yllä halutulla tasolla, vaikuttaa energiansäästöön ja saada tieto laitteiden vikatilanteista, tarvitaan nykyaikainen säätö- ja valvontajärjestelmä. Niiden, sekä oikein valittujen laitteiden ja antureiden avulla, ammattitaitoinen käyttökäyttäjä pystyy säätämään ja säilyttämään talotekniikan järjestelmät optimaalisilla säätöalueilla. (Härkönen ym. 2018, 21.) Etenkin hybridijärjestelmissä, kuten esimerkiksi aurinkolämpö-kaukolämpö-poistoilman lämmöntalteenotto-kytkennässä, tarkasti toteutetun ja säädetyn automaation merkitys korostuu, sillä lämmönlähteiden tehot vaihtelevat sään ja rakennuksen käytön mukaan (Kantaputki 2023).

2.2 Rakenne

Rakennusautomaation rakenne voidaan jakaa karkeasti hierarkkisesti kolmeen tasoon. Ylimpänä on hallintotaso, keskellä automaatiotaso ja alimpana kenttätaso. (Härkönen ym. 2018, 59.) Jaottelu on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Rakennusautomaation karkea hierarkkinen jaottelu (Härkönen ym. 2018, 59)

Hallintotaso koostuu paikallis- ja etävalvomoista ja sen pääasiallinen tarkoitus on toimia rajapintana käyttäjän ja RAU-järjestelmän välillä. Useimmiten rajapinta muodostuu nykyisin TCP-IP-protokollan eli internetin välityksellä etänä käytettävään pc-valvomoon. Etävalvomon selkeimpänä etuna on valvomoiden keskittäminen, sillä samalta tietokoneelta on mahdollista hallita useiden kiinteistöjen automaatiojärjestelmiä. Valvomosta voidaan muuttaa automaatioon määritellyjä aika- ja raja-arvoasetuksia, tarkistaa mittaus- ja kulutustietoja sekä saada laitteilta tulevat hälytykset. (Härkönen ym. 2018, 59–60.)

Hallintotasolta ohjataan keskellä olevaa automaatiotasoa, johon kuuluvat itsenäisesti toimivat alakeskukset ja niihin liitetyt In/Out- eli I/O-moduulit. Itsenäisillä alakeskuksilla voi olla myös valmiiksi kiinteä määrä liitettäviä I/O-pisteitä. (Härkönen ym. 2018, 60–61.) Itsenäinen alakeskus hallitsee RAU-järjestelmän toimilaitteita ja venttiileitä mitattujen arvojen perusteella ja säilyttää sisäolosuhteet ja esimerkiksi ulkovalaistukset määritellyissä asetusarvoissaan, ilman valvomohenkilön erillistä komentoa. Tällainen alakeskus voi olla esimerkiksi DDC (Direct Digital Control) -pohjainen eli suoraan digitaaliseen säätöön pohjautuva, joka sisältää tarvittavat mikroprosessorit itsenäiseen ohjaukseen. DDC -alakeskukset ovat vapaasti ohjelmoitavia ja käyttäjän halutessa, ne tukevat myös avointa kommunikaatiota muiden protokollien kuten Modbusin, BACnetin ja Lonworksin kanssa. (DPS Telecom 2021.) Alakeskukset luovat siis automaatiojärjestelmän perustan (Härkönen ym. 2018, 60).

RAU-järjestelmä voi sisältää useita alakeskuksia. Suurissa rakennuksissa niitä voi olla kymmeniä, jotta yksittäisten alakeskuksien fyysinen koko ei kasvaisi liian suureksi tai niihin kaapeloitavien laitteiden kaapelipituudet eivät olisi kohtuuttoman pitkiä. Alakeskusten välinen kommunikointi tapahtuu paikallisesti yleensä Ethernet-verkon kautta CAT6 standardin kaapeleilla. Kommunikointi on mahdollista toteuttaa myös langattomana verkkona eli WLANin avulla, etenkin, jos järjestelmään kuuluu siirreltäviä säätölaitteita. Keskusten välinen tiedonsiirto on oleellista järjestelmän toimivuuden kannalta, sillä esimerkiksi huonetilan lämpötila-anturi voi olla kytkettynä toiseen alakeskukseen, mutta huoneen lämpötilaa säätävät laitteet on kytketty toiseen alakeskukseen kaapelointien helpottamiseksi. Normaalisti rakennuksiin tulee myös vain yksi ulkolämpötila-anturi tai pihavalaisituksen tarvitsema valoisuusanturi, joten niiden mittauksien tiedot tulee välittyä kaikille alakeskuksille, jotka ohjaavat rakennuksen lämmitystä tai valaistusta. (Härkönen ym. 2018, 61.)

Hierarkian alimmalla tasolla eli kenttätasolla viitataan ensisijaisesti alakeskuksien ohjaamiin toimilaitteisiin ja mittausantureihin. Näillä laitteilla ei yleensä ole omaa älyä, esimerkiksi mittausanturit välittävät vain mitattavasta suureesta saadun signaalin eteenpäin, tai se on keskittyneenä vain kyseisen laitteen toimintaan, esimerkiksi taajuusmuuttajalla ohjattu kiertovesipumppu, joka pitää verkoston paineen vakiona kierroslukuaan säätämällä omien paineantureiden perusteella. Poikkeuksena on mahdolliset yksittäiset hajautetut I/O moduulit, jotka kommunikoivat alakeskuksen kanssa kenttäväylän, esimerkiksi Modbusin välityksellä. (Härkönen ym. 2018, 61.)

3 AUTOMAATION VAIKUTUS ENERGIATEHOKKUUTEEN

Ilmastonmuutoksesta on puhuttu jo vuosia ja sen vaikutus on kasvanut jatkuvasti. Ilmastonmuutoksella tarkoitetaan luonnollisen ilmaston lämpenemisen kiihtymistä ihmisen toimien aiheuttamana. (WWF 2023.) Ilmastonlämpenemisen hillitsemiseksi niin kansallinen lainsäädäntö kuin EU ovat asettaneet määräykset, joissa määritellään kiinteistöille energiankulutuksen tavoitearvot. Määräyksen mukaisiin arvoihin pääseminen vaatii rakennusten energiatehokkuuden parantumista, jossa rakennusautomaatiolla on oleellinen rooli. (Härkönen ym. 2018, 221.)

3.1 Energiankulutus ja energiatodistus

Yksi konkreettisimmista vaatimuksista on uusien rakennusten pakollinen energiatodistus, jossa esitetään rakennuksen energiatehokkuutta kuvaava E-luku. Energiatodistus vaaditaan myös nykyisiltä rakennuksilta, kun niitä myydään tai vuokrataan. (Motiva 2022.) E-luku kuvaa rakennuksen vuotuista ostoenergian kulutusta lämmitettyä nettoalaa kohti, joka on painotettu tuotantomuodon mukaisilla kertoimilla. Kertoimia käytetään energiamuotojen ympäristövaikutuksien huomioimiseen sekä hyvittämään rakennuksen omat energiatuotannot kuten esimerkiksi aurinkopaneelit. (Härkönen ym. 2018, 22.) Kertoimet on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Käytettävät energiamuotojen kertoimet energiatodistuksen E-luvun laskennassa (Härkönen ym. 2018, 22)

Käytettävän energian tuotantotapa:	Kerroin:
Sähkö	1,20
Kaukolämpö	0,50
Kaukojäähdytys	0,28
Fossiiliset polttoaineet	1,00
Rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,50

E-lukujen raja-arvot asuinrakennuksille on esitetty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Asuinkerrostalojen Energiatohokkuusluokkien E-lukujen raja-arvot (Ympäristöministeriö 2018a, 15)

Energiatohokkuusluokka	E-luku (kWh _e /m ² a)
A	E-luku ≤ 75
B	76 ≤ E-luku ≤ 100
C	101 ≤ E-luku ≤ 130
D	131 ≤ E-luku ≤ 160
E	161 ≤ E-luku ≤ 190
F	191 ≤ E-luku ≤ 240
G	241 ≤ E-luku

Vuonna 2021 Suomen asumisen energiankulutus oli 68 810 GWh, josta tilojen lämmitykseen käytettiin 67,5 % ja valaistukseen 2,2 % eli yhteensä 69,7 %. Loput 30,3 % kului käyttöveden lämmitykseen, kodin sähkölaitteisiin, saunojen lämmitykseen ja ruuan valmistukseen. (Tilastokeskus 2023.) Suuri osa energiankulutuksesta riippuu ihmisten valinnoista, kuten haluttu sisälämpötila tai kuuman suihkun pituus, mutta tästä huolimatta rakennusautomaatiolla on keskeinen rooli kulutuksen pienentämisessä.

3.2 Energiataloudellisen talotekniikan vaatimukset

Ympäristöministeriön asetuksessa 718/2020 veloitetaan järjestelmän kokonaisenergiatohokkuudesta:

Erityissuunnittelijan on suunniteltava rakennuksen automaatio- ja ohjausjärjestelmä siten, että sillä pystytään ohjaamaan ja valvomaan rakennuksen energiankulutuksen kannalta keskeisiä teknisiä järjestelmiä ja laitteita energiankäytön optimoimiseksi. Ohjaus on toteutettava siten, että rakennus ja sen tekniset järjestelmät toimivat käyttötarkoituksensa mukaisesti. Rakennuksen automaatio- ja ohjausjärjestelmän tulee omalta osaltaan varmistaa hyvän, terveellisen ja turvallisen sisäilmaston aikaansaaminen energiatohokkaasti. (Ympäristöministeriön asetus eräiden rakennuksen teknisten järjestelmien energiatohokkuuden vaatimuksista 718/2020, 5 §.)

Jotta energiatohokkuus voidaan varmistaa, laissa veloitetaan myös seuraavasti:

Erityissuunnittelijan on huolehdittava, että rakennuksen automaatio- ja ohjausjärjestelmän toiminnoissa on tapa, jolla esitetään tieto rakennuksen energiatohokkuudesta ja tieto mahdollisista poikkeamista rakennuksen olosuhteiden tavoitearvoista. (Ympäristöministeriön asetus eräiden rakennuksen teknisten järjestelmien energiatohokkuuden vaatimuksista 718/2020, 9 §.)

Tämän mukaan rakennuksen energiankulutukset sekä mahdolliset energiantuotot tulee mitata ja mittausdatan pitää olla hyödynnettävissä energiatehokkuuden analysointiin.

Energiataloudellisella RAU-järjestelmällä voidaan saada energiasäästöjä lämmityksestä, ilmanvaihdosta, jäähdytyksestä, valaistuksesta ja jopa räystäiden sulanapidostakin. Osa ratkaisuista voi vaatia antureita, joita ei ole uudisrakennusten nykyisessä normaalissa automaatiotasossa. RAU-järjestelmän osuus rakennushankkeen kokonaiskustannuksista on kuitenkin pieni ja vaikutus elinkaarikustannuksiin merkittävä. (Härkönen ym. 2018, 21.)

3.2.1 Lämmitysjärjestelmiin liittyvät vaatimukset

Yksi yksinkertaisimmista ja nykyisin lähes poikkeuksetta käytetyistä energiansäästötavoista on tarpeenmukainen lämmityksen ohjaus. Kaukolämpökytkennöissä tämä on pakollinen, sillä kaukolämpönlön K1/2021 velvoittaa esittämään lämmitysverkoston käytettävät lämpötilat ulkolämpötilan funktiona kytkentäpiirustuksessa (Energiateollisuus 2021). Vastaava tapa on käytössä myös maalämpö- ja vesi-ilmalämpöpumppu lämmitteisissä järjestelmissä.

Ympäristöministeriön asetuksessa 718/2020 veloitetaan asentamaan uudis- sekä saneerattaviin rakennuksiin, joissa lämmitystapa lisätään tai vaihdetaan, tilakohtaiset itsesäätyvät laitteet lämpötilan ohjaukseen (Ympäristöministeriön asetus eräiden rakennuksen teknisten järjestelmien energiatehokkuuden vaatimuksista 718/2020, 3 §). Radiaattorilämmitteisissä rakennuksissa vaatimuksen täyttämiseen riittää radiaattorikohtaiset termostaatit, mutta jos tilassa on myös jäähdytyslaitteisto, tilakohtainen lämpötilan säätö on syytä toteuttaa huonesäätimellä. Kun lämmitys- ja jäähdytyslaitteet ovat varustettu toimilaitteilla ja kytketty samaan säätimeen tai automaation alakeskukseen, vältetään tilanteelta, jossa tilaa lämmitetään ja jäähdytetään samanaikaisesti. Jos säätölaitteet sekä huonetermostaatti on kytketty automaatioon, tarjoutuu mahdollisuus energian säästämiseksi, säätämällä rakennuksen lämpötilaa alemmas käyttöaikojen ulkopuolella esimerkiksi aikaohjelman tai läsnäoloantureiden avulla. Tällaiset säädöt ovat kohdekohtaisia ja lämmitysjärjestelmän on suositeltavaa olla nopeasti reagoiva, esimerkiksi radiaattorilämmitys, jotta rakennuksen käyttökävyys ei kärsi (Purmo 2023). Lattialämmitys reagoi hitaammin, sillä lämpö varastoituu lattiarakenteisiin, mutta markkinoilla on tarjolla automaatiojärjestelmiä, jotka voivat esimerkiksi ennakoita lämmitystehontarpeen sääennusteiden perusteella (Ouman 2020).

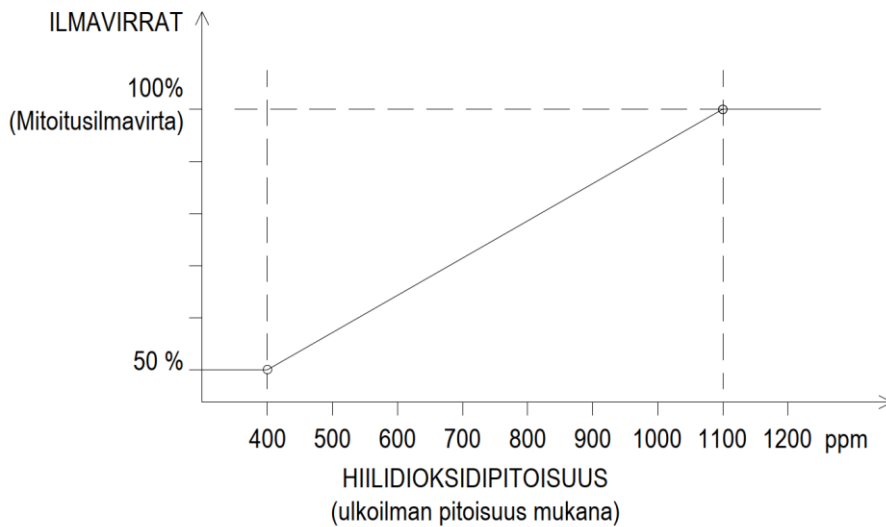
3.2.2 Ilmanvaihtojärjestelmiin liittyvät vaatimukset

Ilmanvaihdon energiansäästötapana riippuu kohteesta sekä toteutetusta ilmanvaihtojärjestelmästä, mutta siinäkin oleellisin tulokulma on tarpeenmukaisuus. Ilmanvaihto voi olla mitoitettu käyttötarpeen mukaisesti ilman erillisiä ohjauksia, mutta etenkin suurissa rakennuksissa kuten toimistoissa ja kauppakeskuksissa hiilidioksidi- (CO_2) ja VOC- (Volatile organic compounds eli haihtuvat orgaaniset yhdisteet) pohjaiset ohjaustavat ovat mahdollisia (Sisäilmasto ry 2008). Oli ohjaustapa mikä tahansa, ilman hyvin säädettyä ja tarkasti mittaavaa rakennusautomaatiota energian säästäminen on haastavaa.

Vakioilmanvaihdolle mitoitetuissa kohteissa ilmanvaihtoa ei voida säätää mitatun suureen mukaan, vaan energiansäästöä on syytä hakea käyttöajan ulkopuolisilta hetkiltä. Kuntien Sisäilmaverkosto, missä on mukana Espoo, Helsinki, Jyväskylä, Kuopio, Lahti, Oulu, Tampere, Turku ja Vantaa, julkaisi vuonna 2019 erillisen yleisohjeen, jossa opastetaan pitämään julkisten palvelurakennusten ilmanvaihto osateholla, kun rakennus ei ole käytössä. Oppaan mukaan ilmanvaihto säädetään mitoitussilmamäärälle 2 tuntia ennen kuin rakennuksen käyttöaika alkaa ja siirtyy osateholle 1–2 tuntia käyttöajan päättymisen jälkeen. Energiasäästö haetaan siis automaation näkökulmasta ainoastaan aikaohjelman kautta. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019.)

Hiilidioksidipitoisuuden mukaan ohjattavassa ilmanvaihdossa tilan hiilidioksidipitoisuutta mitataan yleensä tilan poistoilmakanavasta, jolloin saadaan koko tilan pitoisuuden keskiarvo. Tilakohtaiselle hiilidioksidipitoisuudelle on asetettu rajaksi mittausarvo 800 ppm + ulkoilman CO_2 (ppm) pitoisuus, jota ei saa ylittää pitkäkestoisesti (FINVAC 2019, 5). Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus vaihtelee 380 ja 440 ppm arvojen välillä, mutta jos sitä ei tunneta tarkkaan, oletusarvona voidaan käyttää 400 ppm pitoisuutta (Ympäristöministeriö 2018b). Kun tilan hiilidioksidipitoisuus nousee, ilmanvaihtoa tehostetaan sen mukaisesti. Vastaavasti hiilidioksidipitoisuuden laskiessa myös ilmanvaihtoa voidaan pienentää. Kuvassa 2 on esitetty periaatteellinen säätökäyrä ilmanvaihdon tehostamisesta hiilidioksidipitoisuuden mittausarvon mukaan. 100 % mitoitussilmavirta on asetettu 1100 ppm mitaustuloksen kohdalle tavoitteena estää pitoisuuden nousu yli sallitun rajan.

CO2-PITOISUUDEN MUKAINEN SÄÄTÖ

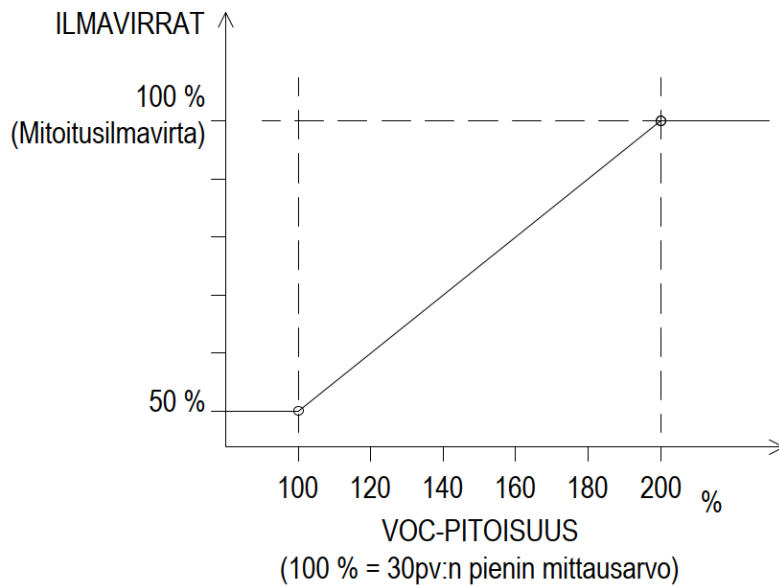


KUVA 2. Esimerkki ilmanvaihdon mitoitusilmavirtojen säätökaaviosta hiilidioksidipitoisuuden funktiona

VOC viittaa noin 5 000–10 000 erilaiseen ympäristössämme esiintyvään aineeseen. Niitä ovat muun muassa ruuansulatuksen tuottama metaani, liimojen aldehydit, maalit ja alkoholit. VOC-anturi havaitsee nämä kaikki ja niitä voisi kuvata ilman epäpuhtauksiksi, sillä ne poikkeavat normaalista huoneilmasta. VOC-pitoisuuden mukaan ohjatun ilmanvaihdon etu hiilidioksidiohjattuun nähden on se, että VOC-anturi havaitsee myös hengittämisestä vapautuvan asetonin, joten ilmanvaihto tehostuu samassa suhteessa kuin hiilidioksidianturikin tehostaisi, mutta tämän lisäksi VOC-anturi tehostaa ilmanvaihtoa muiden epäpuhtauksien mukaan. Jos esimerkiksi koulun kuvaamataidon luokassa käytetään vahvoja liuottimia mutta oppilaita ei ole paikalla kuin kaksi, VOC-anturi näkee aiheelliseksi tehostaa ilmanvaihdon, kun taas hiilidioksidianturi ei. (Swegon 2022.)

Toisin kuin hiilidioksidipitoisuudelle, VOC-yhdisteille ei voida antaa yksiselitteistä numeraalista raja-arvoa niiden monimuotoisuuden takia (Swegon 2022). Sen sijaan VOC-anturin alaraja-arvo, jolla kone on osateholla, voidaan asettaa esimerkiksi koulurakennuksissa pienimmäksi mitatuksi arvoksi viimeisen 30pv aikana. Kun uuden koulun tiloissa olevat VOC yhdisteet laimenevat ajan myötä ilmanvaihdon seurauksena, VOC-anturi sopeutuu muuttuneeseen tilanteeseen ja pystyy ohjaamaan ilmanvaihtoa paremmin tarpeen mukaisesti ja täten energiatehokkaammin. Kuvassa 3 on esitetty periaatteellinen säätökäyrä VOC-ohjatusta ilmanvaihdosta.

VOC-PITOISUUDEN MUKAINEN SÄÄTÖ



KUVA 3. Esimerkki ilmanvaihdon mitoitusilmavirtojen säätökaaviosta VOC-pitoisuuden funktiona

Ilmanvaihtokoneilla voidaan saavuttaa energiansäästöä myös jäähdytyksen suhteen yöviilennyksen kautta. Rakennukset varaavat kuumilla kesähelteillä lämpöenergiaa runkoonsa, minkä myötä sisälämpötila voi nousta mukavuusalueen yli. Yöviilennys perustuu yöllä olevaan viileämpään ilmaan ja sen hyödyntämiseen rakennuksen jäähdytyskäytössä. (Härkönen ym. 2018, 79.) Tällöin tarve koneelliselle jäähdytykselle päivisin vähenee. Esimerkiksi kun ulkoilman lämpötila on 3°C viileämpää kuin rakennuksen poistoilman lämpötila, ilmanvaihto ohjataan mitoitusilmavirroille ja tiloja saadaan jäähdytettyä. Tämän toiminnon aikana ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenotto ei saa olla toiminnassa, ettei poistoilmalla lämmitettäisi sisään puhallettavaa ilmaa. (Kuntien sisäilmaverkosto 2019.)

4 ESIMERKKITAPAUKSIDA RAKENNUSAUTOMAATION MERKITYKSESTÄ ENERGIATEHOKKUUDESSA

Tarpeenmukainen ja toimiva talotekniikka on oleellinen osa energiatehokasta toimintaa, ja rakennusautomaatio on se, joka tuo talotekniikan toimintaan älyn. Uudiskohteisiin pyritään suunnittelemaan luonnollisesti energiataloudelliset talotekniikkajärjestelmät jo rakennusvaiheessa parhaan hetkisen tietämyksen mukaan. Teknologian kehittyessä, järjestelmien energiataloudellisuuden erot ovat nähtävissä erityisen selvästi saneerauskohteissa, kun talotekniikka uusitaan nykypäivän tuotteilla ja lisätään mahdollisesti uusia lämmöntalteenottojärjestelmiä. Ilman toimivaa rakennusautomaatiota, uusista laitteista saatava säästö jää puolittiehen.

4.1 Mikko Hakasen tutkimus

Keväällä 2022 Mikko Hakanen on tehnyt Seinäjoen ammattikorkeakoulussa ylemmän ammattikorkeakoulututkimuksen opinnäytetyön ”Rakennusautomaation avulla saavutettava energiatehokkuus ja pienempi hiilijalanjälki”. Hänen tutkimuskohteenaan oli kolmen liiketilarakennuksen kiinteistökompleksi, mihin pyrittiin löytämään energiasäästöratkaisuja simuloimalla erilaisia muutoksia, jotka ovat toteutettavissa älykkäämmällä rakennusautomaation ohjauksella. (Hakanen 2022, 1, 8.)

Suunnitellut energiansäästövaihtoehdot kustannuksineen simuloitiin MOBO (multi objective building performance optimization) eli monitavoiteoptimointi -ohjelmalla. MOBO simuloi kaikkien syötettyjen ratkaisujen eri yhtenäisvariaatiot, saavutettavat hyödyt ja koituvat kustannukset. Työkalu on VTT:n ja Aalto yliopiston yhteistyössä kehittämä. (Niemelä 2020.)

Simulointien tuloksilla saatiin valittua neljä kannattavinta muutostoimenpidettä, jotka osoittautuivat erittäin tehokkaiksi energiansäästön kannalta ja ilman suuria investointikustannuksia. Tehokkain energiansäästötoimenpide simuloinnin perusteella on tarpeenmukaisen lämmitysverkostojen menoveden säätö. Muutoksen myötä menoveden lämpötila määräytyy mitattavien huonelämpötilojen mukaan ja mittauksilla huomioidaan myös tiloissa nykyisellään olevat lämpöä tuottavat laitteet kuten tietokoneet. (Hakanen 2022, 30, 32, 33.)

Kaikkien ilmanvaihtokoneiden aikaohjelmat tarkistetaan nykyisten käyttäjien kanssa ja erillispoistojen ilmavirrat puolitetaan yöaikana sekä käyttöaikojen ulkopuolella. Liiketiloihin palvelevien ilmanvaihtokoneiden ohjaus päivitetään lisäämällä poistokanaviin lämpötila- ja hiilidioksidianturit. Näin ilmanvaihtoa voidaan tehostaa tarpeenmukaisesti, kun määritelty raja-arvo lämpötilassa tai hiilidioksidissa ylittyy. (Hakanen 2022, 32, 34.)

Valitut muutokset ovat hyvin tavanomaisia rakennusautomaation ohjauksen ratkaisuja, kohteen automaatiota ei vain ole käytetty energiatehokkaasti. Kustannusarvio muutoksille oli työn tekohetkellä 50 300 € ja potentiaalinen rahallinen säästö ensimmäisenä vuotena 26 500 €. Takaisinmaksu aika on siis alle kaksi vuotta. Kohteessa kuluu kaukolämpöä 574 MWh, kaukojäähdytystä 160 MWh ja sähköä 45 MWh vuodessa vähemmän, jolloin energiasäästöä saadaan 7,6 %. Samalla laskennalliset hiilidioksidipäästöt pienenevät kiinteistökompleksissa lähes 109 tonnia/vuosi. (Hakanen 2022, 30–31.)

4.2 Timo Lappeteläisen tutkimus

Timo Lappeteläinen on tehnyt Metropoliasa ylemmän ammattikorkeakoulun opinnäytetyön syksyllä 2021 aiheenaan ”Hukkalämmön hyödyntäminen kaupan kiinteistöissä – parhaat käytännöt saneerauskohteissa”. Työssä käsitellään viiden erikokoisen kauppakiinteistön saneerattuja lauhdelämmöntalteenottolaitteistoa, niiden toimivuutta ja saavutettavia energiasäästöjä. (Lappeteläinen 2021, 4.)

Kylmälaitteiden lauhdelämpöä voidaan nykyään käyttää hyödyksi moniin eri järjestelmiin ja parhaimmillaan uudempien hiilidioksiditälteisten kylmäjärjestelmien kaasunjäähdyttimien talteenotto-sovelluksilla voidaan kattaa jopa 40–80 % rakennuksen lämmitysenergian tarpeesta, vaihdellen rakennuksen koon mukaan. Jotta lauhdelämmöstä saadaan talteen mahdollisimman paljon energiaa ja kohdennettua se oikeisiin verkostoihin, tarvitaan laadukas, älykäs ja hyvin viritetty rakennusautomaatio mittaamaan ja ohjaamaan verkostojen säätöventtiilejä tarjolla olevien ja pyydettyjen menoverkostojen lämpötilojen mukaisesti. Järjestelmää suunniteltaessa täytyy myös muistaa, että mitä monimutkaisempi ja -tahoisempi järjestelmä aiotaan rakentaa, sitä monimutkaisempi se on myös automaation kannalta ja sitä haastavampi se on saada toimimaan optimaalisella tavalla kaikissa olosuhteissa. Ilman toimivaa automaatiota voidaan päätyä tilanteeseen, jossa esimerkiksi

lauhdelämmön energia kierrätetään keskellä kesää lattialämmityksen kautta takaisin kiinteistöön, jota pyritään samaan aikaan jäähdyttämään. (Lappeteläinen 2021, 23, 35.)

Työssä analysoitujen tulosten perusteella, parannetun lauhdelämmöntalteenoton ja älykkään ohjauksen myötä kiinteistöissä on saavutettu huomattavia energiansäästöjä. Aiempaan tilanteeseen verrattuna talteen otettavan energian määrä on kasvanut tutkituissa rakennuksissa 62–294 %, minkä myötä sillä saadaan katettua 54–78 % kiinteistön tarvitsemasta lämmitysenergiasta. Tehdyt saneeraukset osoittautuivat myös taloudellisesti kannattaviksi, sillä niiden takaisinmaksuajat vaihtelivat kohteiden välillä 2,6 vuodesta 5,1 vuoteen. (Lappeteläinen 2021, 76–77.)

5 HANKE- JA SUUNNITTELUPROSESSI

Ryhdyttäessä rakennus- tai saneeraushankkeeseen projekti jaetaan pieniin hankekokonaisuuksiin, jotta projektin hallinta on selkeämpää, kustannukset hallittavissa ja päästään parempaan lopputulokseen vähemmällä virheillä. Ensimmäisenä tehdään tarveselvitys, jossa perustellaan hankkeen tarve ja selvitetään alustavasti eri ratkaisumahdollisuudet ja niiden edullisuus. Jos hankkeelle nähdään riittävä tarve ja taloudelliset edellytykset, tehdään hankepäätös ja jatketaan hankesuunnitteluun. Hankesuunnittelussa syvennetään tarveselvityksessä tehtyjä alustavia suunnitelmia tarkemmilla määritelmillä laadusta, laajuudesta, kustannuksista, ajoituksesta ja ylläpidosta. Näistä muodostuu hankesuunnitelma, johon kuuluu projekti- ja hankeohjelma ja lopuksi tehdään investointipäätös. Investointipäätöksen myötä voidaan aloittaa suunnitteluprosessi, jossa ensimmäinen askel on valmistelu. Suurissa hankkeissa voidaan järjestään suunnittelukilpailuja valmisteluvaiheessa, pienemmissä valitaan hankkeen suunnittelijat esimerkiksi tarjouskilpailun perusteella. Oleellista kuitenkin on, että suunnittelijat saadaan valittua ja tehtyä tarvittavat sopimukset neuvotteluiden myötä. Täten saadaan suunnittelupäätös ja hankkeen suunnittelu voi virallisesti alkaa. (Rakennustieto 2017, 1.)

Suunnitteluprosessin ensimmäinen vaihe on ehdotussuunnittelu, jossa suunnittelijat laativat erinäiset ratkaisuvaihtoehdot hankesuunnittelussa määriteltujen tavoitteiden mukaan. Vaihtoehdot käydään läpi ja valitaan ratkaisut, joilla edetään yleissuunnitteluvaiheeseen. Yleissuunnittelussa ehdotussuunnitelmia kehitetään pidemmälle, lähemmäs toteutuskelpoisia yleissuunnitelmia ja pyritään lukitsemaan pääpiirustusten ratkaisut. Seuraavaksi siirrytään rakennuslupatehtäviin, joissa pääpiirustukset käydään läpi paikallisen rakennusvalvonnan kanssa, varmistetaan suunnittelijoiden kelpoisuus hankkeeseen ja tutkitaan mahdolliset erikoisluvat, joita hankkeeseen tarvitaan. Kun nämä on varmistettu, rakennusvalvonnan edustaja myöntää hankkeelle rakennusluvan ja siirrytään suunnitteluprosessin viimeiseen vaiheeseen, toteutussuunnitteluun. Toteutussuunnitteluvaiheessa aiemmat yleissuunnittelussa päätetyt ratkaisut tehdään lopulliseen muotoonsa, koko kohteen kattaviksi toteutuskelpoisiksi suunnitelmiksi. Suunnitelmien tulee olla mitoitettu kauttaaltaan ja tuote- ja järjestelmäosasuunnittelu kuuluvat myös tähän vaiheeseen. (Rakennustieto 2017, 1.)

Kun suunnitelmat ovat valmiit ja yhteensovitettu eri suunnittelualojen välillä, siirrytään rakentamisen valmisteluun, jonka aikana rakentaminen organisoidaan, sen tehtävät ja osa-alueet kilpailutetaan, käydään sopimusneuvottelut ja tehdään niiden pohjalta tarvittavat sopimukset. Seuraavat

vaiheet ovat rakentaminen suunnitelmien ja määräyksien mukaan, rakennuksen vastaanottaminen, jossa käydään läpi järjestelmien toiminta ja varmistetaan, että ne toimivat suunnitelmien mukaan sekä annetaan käytönopastus loppukäyttäjille. Viimeisenä on takuu-aika, johon kuuluvat esimerkiksi takuuajan säädöt, tehdään tarvittavat tarkastukset ja korjataan näissä ilmenneet mahdolliset viat. (Rakennustieto 2017, 1.)

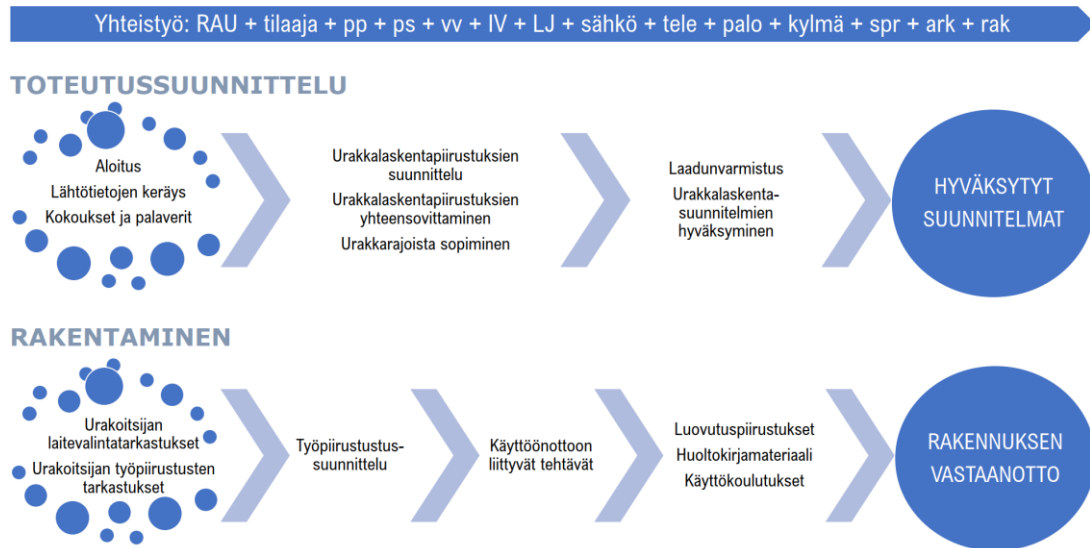
5.1 Rakennusautomaation suunnitteluprosessi

RAU-suunnittelun päätavoite on tuottaa kohdetta palvelevat suunnitelmat, joiden mukaan ohjattu talotekniikka on turvallinen, helppokäyttöinen, kustannus- ja energiatehokas, toimiva ja laajennettavissa myöhemmin tarpeen mukaan. Tämä edellyttää, että suunnitelmissa on esitetty kohteeseen tulevien järjestelmien tekniset ja toiminnalliset vaatimukset. Suunnitelmissa tulee olla esitetty tarvittavat tiedot rakennuttajalle ja urakoitsijalle, jotta tarjouslaskenta ja urakkasopimukset ovat tehtävissä vaivattomasti. Kaaviot ja luettelot ovat tässä avainasemassa, sillä niihin esitetyt vaatimukset ja laitteet mitoitussarvoineen ovat yksiselitteiset. Sen sijaan sanallisia selostuksia halutuista laitteista tulisi välttää, sillä ne voivat olla monitulkintaisia ja johtaa suunnitelmista poikkeaviin lopputuloksiin. Ristiriitaisuuksien välttämiseksi jokainen asia olisi hyvä esittää vain kerran, jotta esitystapa on johdonmukainen. Jos käytetään kaavioita ja luetteloita sekä sanallisia selityksiä yhdessä, tulee olla erityisen tarkka, ettei suunnitelmien positiot ja laitetypitykset ole ristiriidassa suunnitelmien välillä. (Härkönen ym. 2018, 133–134.)

Hyvät suunnitelmat ovat tärkeässä osassa kiinteistön tervetaloajattelussa ja helpottavat rakentamisvaiheen urakointia sekä ennen luovutusta tapahtuvaa käyttöönottoa. Ne palvelevat myös käyttöönoton jälkeen osana kiinteistön käyttö- ja huoltosuunnitelmaa sekä toimivat käytön ja ylläpidon loppudokumentteina, kunhan mahdollisia päivitystarpeita ei laiminlyödä. Jos suunnitelmat ja toteutus on erityisen laadukasta, kohteen järjestelmä voi esimerkiksi oppia optimoimaan talotekniikkaa läsnäolotunnistimien ja mittausarvojen myötä rakennuksen käytön mukaan. (Härkönen ym. 2018, 133.) Tällöin pystytään parantamaan kiinteistön energiatehokkuutta tinkimättä käyttäjä- ja kiinteistöystävällisistä sisäolosuhteista.

Rakennusautomaation suunnitteluprosessiin vaikuttaa osittain suunniteltavan kohteen koko. Suurissa ja monimutkaisemmissa kohteissa RAU-suunnittelu voi olla vahvemmin mukana jo luonnos-suunnitteluvaiheessa, kun käsitellään toteutettavia ratkaisuja. Sen sijaan pienissä ja automaation

kannalta yksinkertaisemmissa kohteissa, kuten omakotitalot ja asunto-osakeyhtiöt, RAU-suunnittelu on usein osana LVI-suunnittelua. Tällöin RAU-suunnittelu alkaa vasta toteutussuunnitteluvaiheen loppupuolella ja LVI-suunnittelun jälkeen, jolloin sitä tehdään myös eniten suuremmissa kohteissa. Kuvassa 4 on esitetty automaatio suunnittelun tehtävät ja vaiheet toteutussuunnittelun ja rakentamisen aikana. (Härkönen ym. 2018, 140.)

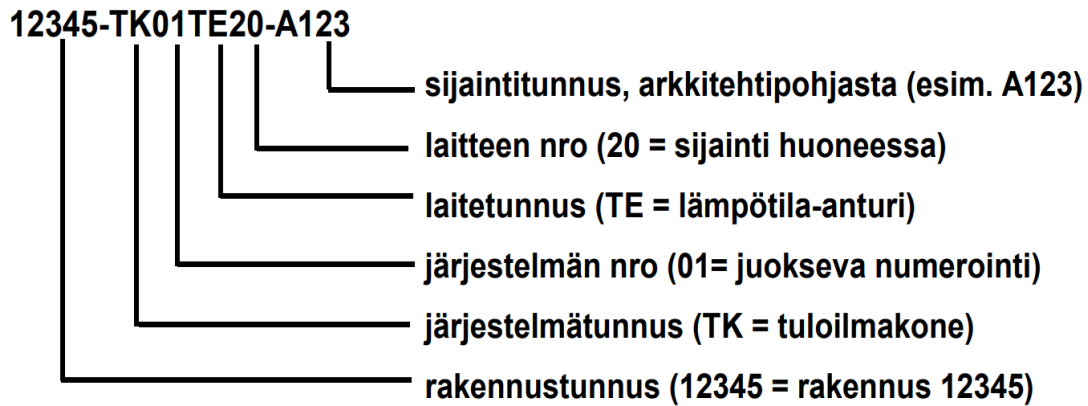


KUVA 4. Automaatio suunnittelun tehtävät ja vaiheet toteutussuunnittelun ja rakentamisen aikana (Härkönen ym. 2018, 141)

5.2 Lähtötiedot

Aloitusaikajohdasta riippumatta, yksi oleellinen vaihe suunnittelussa on lähtötietojen kerääminen. Ensimmäiset lähtötiedot tulevat yleensä tilaajalta ja suuremmissa hankkeissa ne voivat olla saatavilla jo hankeselvitys vaiheessa. Tällaiset lähtötiedot on usein kirjattu tilaajalta saatavaan suunnitteluohjeeseen. Ohjeessa voidaan määrittellä esimerkiksi liitetäänkö kohde keskitettyyn etävalvomoon vai kytketäänkö valvonta-alakeskukseen mobiilikortti, jonka avulla hälytykset ohjataan päivyttäjälle sähköpostilla tai tekstiviestillä. Myös RAU-järjestelmien energiatehokkuuteen, laajennettavuuteen, integrointitarpeisiin sekä muuntojoustavuuteen tulevaisuuden ja elinkaari palveluiden saatavuuden kannalta on voitu ottaa kantaa. Nämä kaikki vaikuttavat kohteeseen tulevan RAU-järjestelmän tasoon. (Härkönen ym. 2018, 136.) Konkreettisia lähtötietoja esitetyistä asioista ovat esimerkiksi käytetty automaatiovalmistaja ja sen myötä liitettävä etävalvomo sekä liitetäänkö laitteet modbus-väylällä automaatioon vai toimivatko ne itsenäisesti.

Suunnitelmissa käytettävät positiot voivat olla tilaajan ennalta määrittämiä, mikä tulee ottaa suunnitelmissa huomioon. Tämä on yleistä etenkin suurien toimijoiden kohdalla, kuten kaupunkien tilapalveluiden kanssa. Kuvassa 5 on esimerkki Tampereen kaupungin tilapalveluiden positiointitavasta laitteelle, joka sijaitsee teknisen tilan ulkopuolella.



KUVA 5. Esimerkki Tampereen kaupungin tilapalveluiden laitteiden positiointitavasta (Tampereen tilapalvelut 2020, 5)

Kun tilaajalta saatavat lähtötiedot vaikuttavat RAU-suunnitelmien yleiseen tasoon, LVI-suunnittelijalta saadaan suurin osa tarkemmista järjestelmien lähtötiedoista. Tärkein saatava lähtötieto on LVI-laiteluettelo, sillä siihen on esitetty kohteen kaikki LVI-suunnittelussa käytetyt sähköä tarvitsevat laitteet kuten esimerkiksi lämmitysjärjestelmän pumput ja ilmanvaihtokoneet. Laiteluettelon avulla saadaan selville yleinen käsitys siitä, millaisia kaavioita projektiin tarvitaan. Tyypitettyjen esimerkkilaitteiden myötä voidaan varmistaa, että niistä saadaan otettua sellaiset kytkentäpisteet automaatioon kuin on aikomuksena ollut, joko tilaajan tahtotilan mukaan tai hyvän rakentamistavan mukaan.

Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien RAU-suunnittelun lähtötietoja ovat esimerkiksi tulevien verkostojen lämpötilat, niiden paineet ja halutut ohjaustavat. Näiden perusteella saadaan määritettyä esim. lämmitysverkoston ulkolämpötilasta riippuvat menoveden lämpötilan ohjauskäyrät sekä verkostojen ala- ja ylärajahälytykset niin lämpötilalle kuin paineellekin. Haluttu lämmönjakotapa vaikuttaa myös automaatioon. Esimerkiksi asuntokohteissa patterilämmityksen termostaatteja liitetään harvoin automaatioon, kun taas lattialämmityksen ohjausyksikön liittäminen modbus-väylällä valvonta-alakeskukseen on yleistynyt.

Vesi- ja viemärlaitteista tarvitaan lähtötiedoiksi vesimittarien käyttökohteet ja liitäntätarpeet sekä mahdolliset erottimet ja pumppaamot. Asuntokohteissa asuntojen vesimittareissa käytetään usein

valmistajan omia mittaus- ja tiedonsiirtojärjestelmiä eikä niitä liitetä rakennuksen valvonta-alakeskukseen. Osalla valmistajista on oma tiedonkeruu palvelunsa, jonka kautta voidaan toimittaa valmiit raportit isännöitsijälle sekä asuntokohtaiset kulutustiedot laskutusohjelmiin. Tämä mahdollistaa myös vedenkulutuksen seurannan mobiilisovelluksen kautta, jolloin lukemia ei tarvitse käydä lukemassa mittarilta. (Koka Oy 2021.) Toimistorakennuksissa sen sijaan vesimittarit liitetään usein M-bus-väylällä tai pulssitiedolla valvonta-alakeskukseen, jotta kulutuslukemat voidaan lukea etävalvonnan kautta. Myös erottimilla ja pumppaamoilla on usein oma ohjauskeskuksensa, joihin on liitetty niiden toiminnalle välttämättömät pinnankorkeusanturit. Erottimien ohjauskeskuksilta kytketäänkin yleensä vain hälytys niiden täyttymisestä ja pumppaamoilta hälytys vikatilanteesta sekä mahdollinen tilatieto esimerkiksi kumulatiivista käyttöaikaa varten.

Ilmanvaihtojärjestelmien RAU-suunnittelu on usein RAU-suunnitelmien suurin osuus, sillä vaikutusalueita ja ratkaisutapoja on monia. Lähtötiedoiksi tarvitaan ilmanvaihdon ratkaisumalli eli onko kohteessa hajautettu vai keskitetty ilmanvaihto, erinäiset vaikutusalueet, ohjaustavat, mahdolliset liitokset valvonta-alakeskuksiin sekä mahdolliset kohdepoistot. Asuntokohteissa hajautettu ilmanvaihto tarkoittaa asuntokohtaisia pieniä ilmanvaihtokoneita, jotka sijaitsevat useimmiten asunnon kylpyhuoneessa palvellen vain sitä kyseistä asuntoa. Keskitetty ilmanvaihto sen sijaan tarkoittaa yhtä isompaa ilmanvaihtokonetta, joka sijaitsee normaalisti vesikatolla ja palvelee useita asuntoja ja rakennuksen yleisiä tiloja samanaikaisesti. (Motiva 2023.)

Hajautettu ilmanvaihto koskee pääasiassa asuntokohteita ja näissä päävastuu toimivasta ilmanvaihdosta on asukkaalla. Tästä huolimatta asuntokohtaisetkin ilmanvaihtokoneet liitetään yhä useammin valvonta-alakeskuksen kautta osaksi RAU-järjestelmää. Muunlaisissa rakennuksissa ilmanvaihtoratkaisu on lähes poikkeuksetta keskitetty ja tarvittavat ohjaus- ja säätömuutokset tehdään etävalvonnan kautta.

Keskitetyssä ilmanvaihdossa tarvitaan enemmän RAU-suunnittelua, jos saman ilmanvaihtokoneen vaikutusalueella on eri käyttöajoilla olevia tiloja. Riittävän ilmanvaihdon varmistaminen näille tiloille vaatii minimissään aikaohjauksen tai tehostuskytkimiä, mutta energiataloudellisempaan ratkaisuun päästään kanavakohtaisilla mittauksilla, esim. hiilidioksidin tai VOC-pitoisuuksien suhteen, moottoripelleillä sekä ilmamääräsäätimillä. Jos rakennuksessa on esimerkiksi kohdepoistoilla toimivia vetokaappeja, joiden ilmaa ei voida liittää keskitetyn ilmanvaihtokoneen kanavistoon, laitteiston yhteensovitus tulee huomioida RAU-suunnitelmissa, ettei tilan painesuhteet mene ali- tai ylipaineiseksi.

Sähkösuunnittelijalta tarvitaan tiedot valvonta-alakeskuksien ja ryhmäkeskuksien sijainneista sekä erillispisteluelletelo RAU- ja sähkösuunnitelmien yhteensovitusta varten. Erillispisteluelletelosta selviää kohteeseen tulevat valaistusryhmät, sulanapidot sekä muut erillisjärjestelmät, jotka tarvitsevat ohjausta valvonta-alakeskukselta. Luettelosta selviää myös mihin ryhmäkeskukseen ja valvonta-alakeskukseen järjestelmät liitetään.

RAU-suunnittelu on siis vaativaa asiantuntijatyötä, johon tarvitaan erityisosaamista sekä tiivistä yhteistyötä tilaajan ja muiden suunnittelutahojen kanssa. (Härkönen ym. 2018, 133.)

5.3 Tarkastukset ja käyttöönotto

Kun rakentaminen on loppupuolella ja talotekniset järjestelmät on kytketty ja toimintavalmiudessa, niille tulee tehdä erinäiset tarkastuskierrokset. Näin voidaan taata järjestelmien laatu sekä suunnitelmien mukainen toiminta. Tarkastukset on hyvä tehdä yhteistyössä suunnittelijan, valvojan ja urakoitsijan kesken, jolloin osapuolien ymmärrys niin omasta kuin toisten osapuolien tekemisestä kehittyi. Jatkossa yhteistyö on sujuvampaa, suunnitelmat virheettömämpiä ja ne palvelevat paremmin urakoitsijaa sekä kohdetta. (Härkönen ym. 2018, 160.)

Ennen toiminnantestaukseen keskittyvää käyttöönottoa, muut tarkastustehtävät tulee olla tehtynä. Näihin lukeutuu asennustapatarkastukset, joissa todetaan, että asennettu tekniikka on liitetty ja kannakoitu määräysten mukaan, sekä urakoitsijoiden itse tekemät järjestelmäkohtaiset toimintatarkastukset. Jos kohteeseen on tullut tekniikkaa, jonka käyttöönotto on laitetoimittajan vastuulla, laitetoimittajan ja vastaavan urakoitsijan tulee suorittaa kyseisen laitteen käyttöönotto erikseen. (Härkönen ym. 2018, 160.) Toiminnantarkastuksista tehdään tarvittavilta osin pöytäkirjat, joihin merkitään havaitut puutteet ja laaditaan aikataulu niiden korjaamiselle.

Järjestelmien käyttöönotto on testitilaisuus, jossa käydään läpi RAU-järjestelmien piirissä olevien laitteiden toiminta ja ohjaus testaten kaikki yksitellen. Käyttöönotto tehdään ennen kohteen virallista luovutusta. Käyttöönottotarkastuksen suorittaa valvoja, suunnittelija tai toiminnan varmistuksen vetäjä ja lopullisen hyväksynnän onnistuneesta käyttöönotosta tekee tilaajan edustaja. Käyttöönottotarkastuksessa suoritetaan rakennuttajan toimintakokeet, kaikkien LVIAS-järjestelmien yhtäaikainen koekäyttö, sähkökatkotesti sekä RAU-järjestelmän valvomon toimintojen tarkastus. Prosessi

on yksityiskohtainen ja laaja, mutta sillä taataan tilaajalle paremmin valvotun kohteen, jossa on vähemmän virheitä ja puutteita. (Härkönen ym. 2018, 160.) Käytännössä käyttöönotto tapahtuu ennakkoon laaditun pöytäkirjan perusteella, johon on listattu järjestelmien ohjaukset ja tavat, miten niiden suunniteltu toiminta voidaan todentaa. Esimerkiksi ilmanvaihtokoneen sulkupeltien sulkeutuminen koneen ollessa sammuksissa varmistetaan sammuttamalla ilmanvaihtokone ja toteamalla että sulkupellit sulkeutuvat. Pöytäkirjaan merkitään mahdolliset havaitut puutteet sekä tarvittavat jatkotoimenpiteet niiden korjaamiselle ja toimitetaan asianomaisille tahoille.

Hyväksytyjen toimintakokeiden ja kohteen vastaanoton jälkeen RAU-urakoitsija toimittaa mahdolliset punakynät RAU-suunnittelijalle, eli suunnitelmat, joihin on tullut urakointivaiheessa toteutuksen tarvitsemia poikkeamia alkuperäisistä suunnitelmista. Suunnittelija dokumentoi urakoitsijan tekemät muutokset luovutuspiirustuksiin, jotka toimitetaan tilaajalle. (Härkönen ym. 2018, 161.)

Tilaajalle toimitetaan myös huoltokirjamateriaali luovutuspiirustusten lisäksi. Rakennusautomaatio-suunnitelmista huoltokirjassa tulee olla ainakin RAU-suunnittelijan tekemä RAU-järjestelmäkuvauks sekä paikantamispiirustukset. RAU-järjestelmäkuvauksessa kerrotaan loppukäyttäjälle lyhyesti, miten RAU-järjestelmään liitetyt LVI-järjestelmät toimivat käyttäjän näkökulmasta. Paikantamispiirustuksiin on merkitty RAU-järjestelmällä säädettävät LVI-laitteet sekä mahdollisesti muut RAU-säätimet ja -laitteet arkkitehdin pohjakuviin. Huoltokirjat ovat siirtymässä enenevässä määrin sähköiseen tallennusmuotoon, minkä myötä sinne on mahdollista tallentaa tietomalleja ja dwg-suunnittelutiedostoja pelkkien pdf-tiedostojen sijaan. (Härkönen ym. 2018, 161.)

6 RAKENNUSAUTOMAATION MALLIKAAVIOKIRJASTO

Kappaletta ei julkaista salassapitovelvollisuuden takia.

6.1 RAU-mallikaaviokirjaston käyttö

Kappaletta ei julkaista salassapitovelvollisuuden takia.

6.2 kaavioiden tulostus

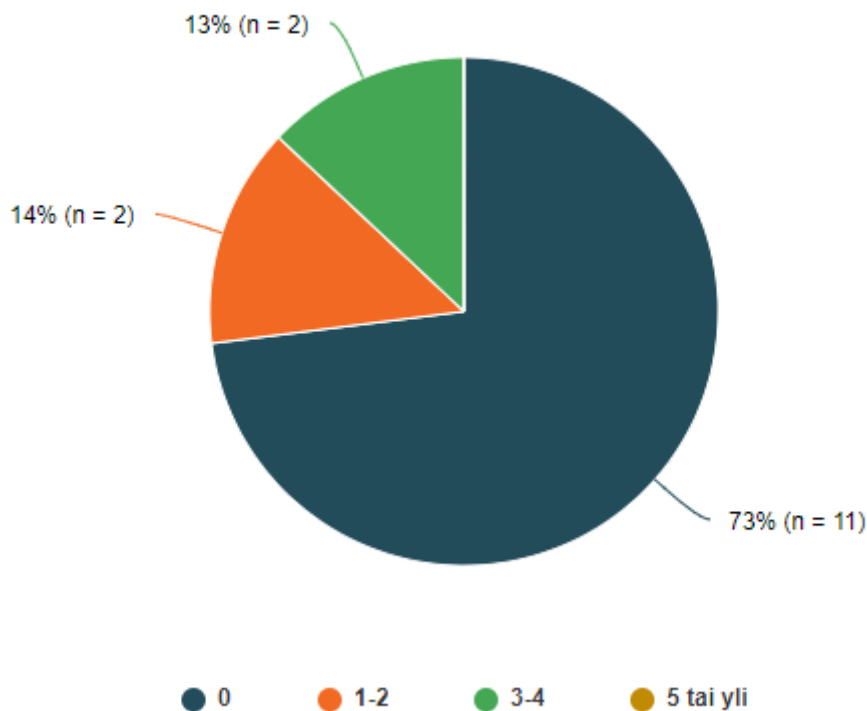
Kappaletta ei julkaista salassapitovelvollisuuden takia.

7 PALAUTEKYSELY MALLIKAAVIOKIRJASTOSTA

Työssä tehty rakennusautomaation mallikaaviokirjasto otettiin virallisesti käyttöön Rejlersin Tampereen talotekniikkayksikössä 17.1.2023. Kirjasto herätti esittelytilaisuudessa positiivista kiinnostusta suunnittelijoiden keskuudessa ja sitä on hyödynnetty sujuvasti useammassa suunnitteluprojektissa talven aikana. Yksikön LVI-suunnittelijoille toteutettiin Webropol -pohjainen täysin anonymi palautekysely viikon 14 aikana. Kysely lähetettiin 22 henkilölle joista 15 vastasi kyselyyn, vastausprosentin ollessa täten 68 %. Kyselylomake on esitetty liitteessä 3.

7.1 Numeeriset palautteet

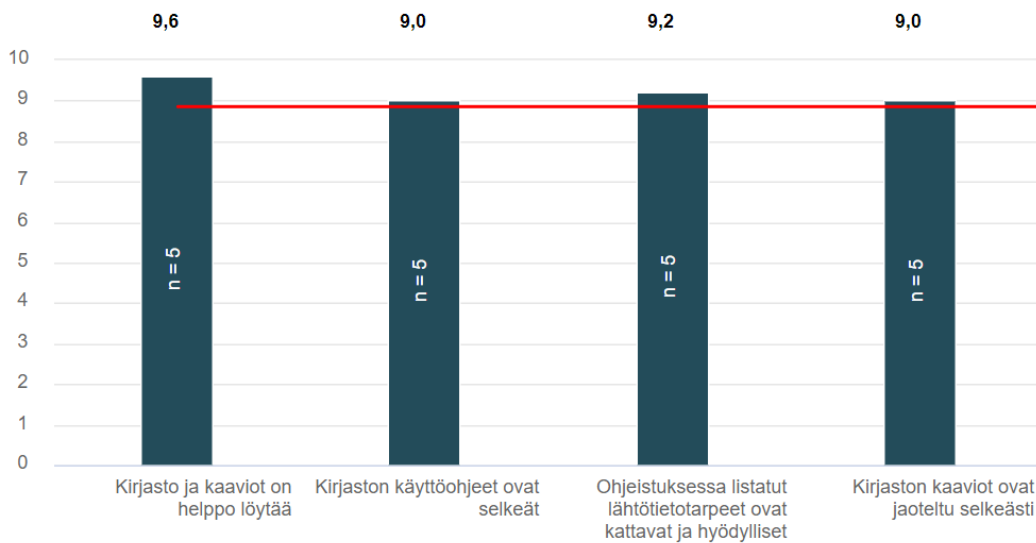
Kyselylomakkeen ensimmäisellä kysymyksellä kartoitettiin kuinka usein kyselyn vastaajat ovat käyttäneet mallikaaviokirjastoa. 15 vastanneesta kaksi oli käyttänyt 1–2 kertaa, kaksi 3–4 kertaa ja loput 11 eivät vielä kertaakaan. Vastaukset ja prosenttiosuudet on esitetty kuvassa 15.



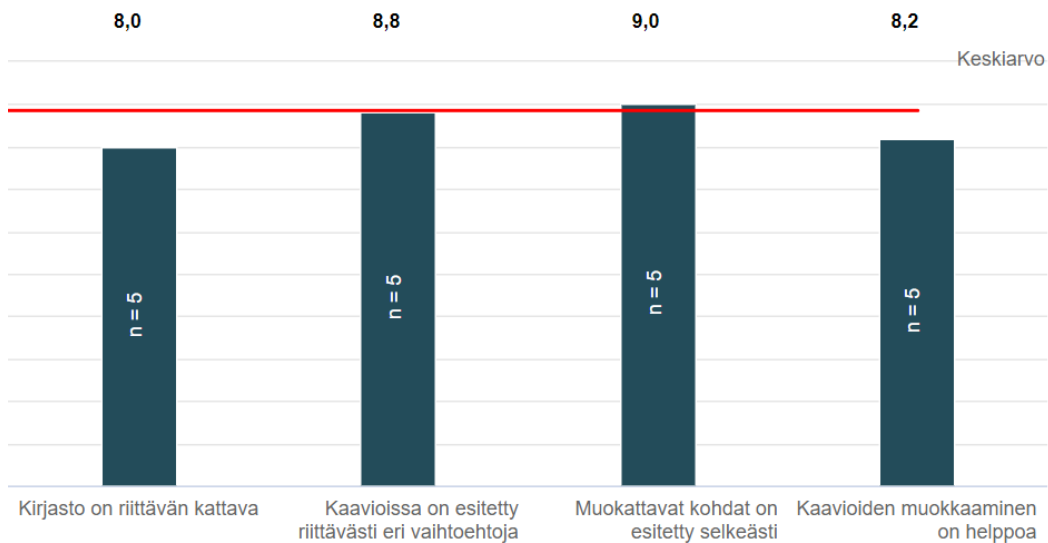
KUVA 6. RAU-mallikaaviokirjaston käyttökerrat vastaajien kesken

Vähäinen käyttömäärä on selitettävissä sillä, että kirjaston käyttöönotosta on kulunut vasta alle kolme kuukautta ja projektit ovat eri suunnittelijoilla eri vaiheissa, jolloin kirjaston hyödyntäminen ei ole ollut ajankohtaista. Yksikön kaikki LVI-suunnittelijat eivät tee RAU-suunnittelua ja on myös mahdollista, että osa vastaajista on käyttänyt esimerkiksi kaukolämmön kytkentäkaaviota, mutta eivät ole mieltäneet sitä koko kirjaston käyttämiseksi ja vastanneet nollan.

Kyselylomakkeessa esitettiin kahdeksan väittämää, joihin kyselyyn vastaavien tuli arvioida niiden paikkaansa pitävyyden asteikolla 1 = täysin eri mieltä ja 10 = täysin samaa mieltä. Esitettyihin väittämiin on vastannut viisi henkilöä ja väittämien vastauksien keskiarvoa kuvaa punainen viiva, joka on arvossa 8,9. Kuvissa 16 ja 17 näkyvät seuraavan osion tulokset.



KUVA 7. Palautekyselyn väittämät 1–4



KUVA 8. Palautekyselyn väittämät 5–8

Tulosten perusteella väittämiin vastanneet ovat olleet eniten samaa mieltä kirjaston ja kaavioiden helpposta löytämisestä sekä ohjeistuksessa listattujen lähtötietojen kattavuudesta ja hyödyllisyydestä. Kirjaston eri osa-alueiden eli käyttöohjeiden, kaavioiden ja muokattavien kohtien selkeys on koettu myös erinomaiselle tasolle ja vastausten keskiarvo ylittää kaikkien väittämien vastausten keskiarvon 0,1:llä. Vastausten keskiarvon alapuolelle jäävät kaavioissa esitettyjen vaihtoehtojen riittävyys, kaavioiden muokkaamisen helppous sekä heikoimpana väittämänä kirjaston riittävä kattavuus kaavioiden osalta.

7.2 Kirjalliset palautteet

Palautekyselyn kirjallinen osio oli jaettu kolmeen kohtaan. Ensimmäisessä kysymyksessä pyydettiin arvioimaan kirjaston kaavioiden selkeyttä sekä syitä miksi kaavio on selkeä tai epäselkeä. Kysymykseen vastasi kolme henkilöä ja vastaukset ovat esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 3. "Mitkä kaavioista ovat selkeitä / epäselkeitä? Miksi?" kysymyksen vastaukset

Vastaukset
Kaaviot ovat pääosin selkeitä. Pieniä tarkennuksia vielä voisi niihin hioa.
Hyvä mallikaavio ja selitetty mihin kohtiin täytyy tehdä muokkauksia kohteista riippuen. Helpottaa myös kun ei ole erillistä kytkentäkaavioita ja rau-kaaviota
Olen ehtinyt tutustumaan ainoastaan kaukolämmön kaavioon, ja se on vaikuttanut selkeältä. Tiedostossa oleva venttiilien virtaama/säätötaulukko vaikuttaa työläältä vrt. aikaisempaan kaavion muokkaamiseen, mutta se kuitenkin selkeyttää itselle järjestelmän toimintaa.

Toisessa kysymyksessä tiedusteltiin suunnittelijoiden toiveita seuraavista lisättävistä kaavioista. Tällä pyrittiin kartoittamaan suunnittelijoiden tarpeita ja saada konkreettisia esimerkkejä tarvittavista toimenpiteistä mallikaaviokirjaston kehittämisen suhteen. Kysymykseen tuli neljä vastausta ja ne ovat esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 4. "Mitä kaavioita toivoisit lisättävän seuraavaksi?" kysymyksen vastaukset

Vastaukset
Mielestäni kirjastoa voisi laajentaa esim. suuntapainepuhaltimien säätökaavioilla.
Toinen on hybridi lämmityskytentäkaaviot. Esim. kaukolämpö-maalämpö hybridi tai kaukolämpö-PILP hybridi. Nykyään näkee toteutuksia joissa saattaa olla kaikki kolme.
Onko VJK:n säätökaaviota tehty? Joku missä näkyy koko verkko tasaussäiöiöineen ja pumppuineen.
En osaa sanoa
Nämä kaaviot voisi lisätä: - Ilmamääräsäätimien säätökaavio - Ammattikeittiön säätökaavio
Maalämpö- ja VILP lämmityksen kaaviot / erilaiset hybridivaihtoehdot lämmityksestä

Viimeisessä kohdassa pyydettiin avointa palautetta mallikaaviokirjastosta. Vastauksia saatiin viisi ja ne ovat esitetty taulukossa 6.

TAULUKKO 5. Avoimen palautteen vastaukset

Vastaukset
Jos sitä schematic lisärin lisenssiä saisi firmalle käyttöön niin kaavioiden muokkaaminen helpottuisi.
Yleisesti kaaviot on olleet erittäin tasokkaat ja niitä on ollut ilo käyttää.
Hyvää työtä!
En ole käyttänyt kirjastos vielä.
Olen tehnyt vai tulosteita näistä uusista kaavioista ja ne toimii erittäin hyvin.
En ole ehtinyt käyttämään kaavioita niin paljon vielä työssä, että osaisin sanoa niistä totuuden mukaisesti. Tiedostojen käyttäminen vaatii ensimmäisen projektin, jossa ne ovat käytössä, jotta niiden toistettavuus seuraavissa projekteissa on tuottavaa.

7.3 Palautteiden yhteenveto

Kyselyssä saatu palaute on suurimmaksi osaksi positiivista. Tämä näkyy niin väittämien vastausarvojen korkeassa keskiarvossa kuin sanallisissa palautteissakin. Kaaviot koetaan selkeiksi, muokkaukselta tarvitsevat kohdat on korostettu hyvin ja tarvittavien kaavioiden noutaminen mallikaaviokirjaston Teamsista on helppoa. Putkikytkentäkaavion ja sen tarvitsemien RAU-kaavioiden yhdistäminen on koettu myös positiiviseksi ja suunnitteluprosessia selkeyttäväksi muutokseksi. Numeerisiin ja kirjallisiin kysymyksiin vastanneiden lukumäärä on kuitenkin vain viisi, joten otos on hyvin pieni ja vähäisetkin muutokset vastausarvoihin vaikuttaisivat väittämän keskiarvoon selvästi.

Eniten kehitettävää on selvästi kirjaston kattavuuden parantamisessa, sillä sitä koskevasta väittämästä tuli heikoin arvo. Avoimessa palautteessa on toivottu useita RAU-kaavioita kuten hybridikytkentöjen mallikytkentäkaaviota sekä suuntapainepuhaltimien, ilmamääräsäätimien ja ammattikeittiön ilmanvaihdon säätökaavioita. Suorat ehdotukset lisäävistä RAU-kaavioista viestii niiden tarpeesta. Konkreettiset esimerkit helpottavat kirjaston laajentamista, sillä ne antavat selkeän suunnan tarvittavalle kehitykselle.

Kirjaston laajentaminen tulee tapahtumaan projektien myötä ajan kuluessa, sillä julkaisuhetkellä kaiken kattavan ja täydellisen kirjaston luominen on lähes mahdotonta ja ajankäytöllisesti epätaloudellista projektien, tilaajien ja haluttujen ratkaisujen suuren vaihtelevuuden takia. Pienestä otannasta huolimatta, saatu palaute on erittäin tärkeää ja riittävän monipuolista kirjaston kehittämisen kannalta.

8 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli luoda rakennusautomaation mallikaaviokirjasto Rejlersin Tampereen talotekniikkayksikön käytettäväksi, jotta RAU-suunnittelua voidaan tehdä jatkossa enemmän yksikön sisällä. Mallikaaviokirjasto rakennettiin MagiCAD Schematics -ohjelmalla aiempien toimipisteessä tehtyjen RAU-suunnitelmien pohjalta yhdistämällä aikaisempia ratkaisuja samaan RAU-kaavioon siten, että haluttujen ratkaisujen valitseminen on selkeää, helppoa ja loogista. Mallikaaviokirjastolla tavoitellaan suunnitelmien laadunparantamista vähentämällä suunnitelmien välisiä ristiriitaisuuksia sekä yhdenmukaistamalla RAU-kaavioiden ulkonäkö yksiselitteiseksi ja selkeäksi. Kirjasto on myös avainasemassa suunnittelun nopeuttamisessa, minkä myötä sillä on suora vaikutus projektien kannattavuuden parantumiseen.

Työn tuloksena valmistunut mallikaaviokirjasto on helpottanut yksikössä tehtävää RAU-suunnittelua, madaltanut LVI-suunnittelijoiden kynnystä RAU-suunnitelmiin tutustumisessa sekä lisännyt selvästi suunnittelijoiden kiinnostusta ja halua ymmärtää RAU-suunnitelmia aiempaa paremmin. Palautekyselyssä saatujen vastausten perusteella vaikuttaa, että työssä luotu rakennusautomaation mallikaaviokirjasto on onnistunut lisäys Tampereen talotekniikkayksikön RAU-suunnittelun kehittämisessä ja yksikön LVIA-suunnittelun osaamisen laajentamisessa. Kirjaston sisäänajo ja uusien asuntokohteiden RAU-suunnittelijoiden kouluttaminen tulee vaatimaan vielä aikaa ennen kuin kirjaston luominen on maksanut itsensä yksikölle takaisin, mutta tämä on tärkeä kehitysaskel yksikön suunnittelupalveluiden monipuolistamisessa ja taloudellisen kannattavuuden parantamisessa. Kirjaston laajentamista ja kehittämistä tulee jatkaa aktiivisesti palautekyselyn kommenttien pohjalta sekä tulevien suunnitteluprojektien tarpeiden mukaan.

LÄHTEET

DPS Telecom 2021. What is a Direct Digital Control System? Hakupäivä 21.2.2023 <https://www.dpstele.com/blog/what-is-a-direct-digital-control-system.php>.

Energiateollisuus 2021. Rakennusten kaukolämmitysmääräykset ja ohjeet, julkaisu K1/2021. Hakupäivä 21.2.2023 https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/rakennusten_kaukolammitys_maaraykset_ja_ohjeet_julkaisu_k1_2021.html.

FINVAC ry 2019. Opas ilmanvaihdon mitoitukseen muissa kuin asuinrakennuksissa. Hakupäivä 21.2.2023 https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/opas_ilmanvaihdon_mitoitukseen_muissa_kuin_asuinrakennuksissa_2019.pdf.

Hakanen, Mikko 2022. Rakennusautomaation avulla saavutettava energiatehokkuus ja pienempi hiilijalanjälki. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma (YAMK). Opinäytetyö. Hakupäivä 21.2.2023 <https://um.fi/URN:NBN:fi:amk-202202102301>.

Heikkinen, Lauri 2018. Rakennusautomaation hyödyntäminen kiinteistöjen käytössä. Hakupäivä 21.2.2023 <https://www.slideshare.net/Hlry/rakennusautomaation-hydyntminen-kiinteistien-kytss-94949628>.

Härkönen, Pentti, Liedes, Riikka, Mikkola, Juhana, Piikkilä, Veijo, Pusa, Kari, Sahala, Antti, Sahlstén, Toivo, Sandström, Börje, Sirviö, Arto, Spangar, Tapani & Sulku, Jukka 2018. Rakennusautomaatiojärjestelmät – ST-käsikirja 17. 6. uudistettu painos. Espoo: Sähköinfo Oy

Kantaputki. Hybridi päivän sana, mitä tarkoittaa hybridilämmitys? Hakupäivä 4.3.2023 <https://www.kantaputki.fi/hybridi-paivan-sana-mita-tarκοittaa-hybridilammitys/>.

Koka Oy 2021. Huoneistokohtainen vedenmittaus. https://koka.fi/wp-content/uploads/2022/08/Huoneistokohtainen-vedenmittaus_2021-08.pdf.

Kuntien sisäilmaverkosto 2019. Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohje ja Julkisten palvelurakennusten ilmanvaihdon käytön yleisohjeen perustelumuietio. Hakupäivä

21.2.2023 <https://www.kuopio.fi/documents/7369547/7452926/Ilmanvaihdon+k%C3%A4yt%C3%B6n+yleisohje/d3884267-9723-44e4-9a12-937b2d4b022e>.

Lappeteläinen, Timo 2021. Hukkalämmön hyödyntäminen kaupan kiinteistöissä – parhaat käytännöt saneerauskohteissa. Metropolia ammattikorkeakoulu. Talotekniikan tutkinto-ohjelma (YAMK). Opinnäytetyö. Hakupäivä 21.2.2023 <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2021112220949>.

MagiCAD 2023. Mitä MagiCAD tarjoaa LVIS-suunnitteluun? Hakupäivä 10.4.2023 <https://www.magicad.com/fi/mita-magicad-tarjoaa-lvis-suunnitteluun/>.

Motiva 2022. Milloin energiatodistus tarvitaan ja milloin energiatodistusta ei tarvita? Hakupäivä 21.2.2023 https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiatodistusneuvonta/mika_on_energiatodistus/milloin_energiatodistus_tarvitaan_ja_milloin_ei.

Motiva 2023. Ilmanvaihdon eri toteutustavat. Hakupäivä 10.4.2023 https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiöt_-_yhessä_energiatehokkaasti/ilmanvaihto/ilmanvaihdon_eri_toteutustavat.

Niemelä, Tuomo 2020. Lämpöpumppu- ja energiatehokkuusinvestointien kannattavuus ja optimointi asuinkerros- ja rivitalojen peruskorjauksissa. Hakupäivä 21.2.2023 <https://energianeuvonta.fi/wp-content/uploads/2020/11/L%C3%A4mp%C3%B6pumppu-ja-energiatehokkuusinvestointien-kannattavuus-ja-optimointi-Tuomo-Niemel%C3%A4-Granlund-Oy.pdf>.

Ouman 2020. Tutkimustuloksia kysyntäjoustopuun ja huipputehon rajoituksen vaikutuksesta kaukolämmitteisessä asuinkiinteistössä. Hakupäivä 21.2.2023 <https://ouman.fi/kysyntajoustopuun-ja-huipputehon-rajoituksen-vaikutus-kaukolammittaisissa-asuinkiinteistoissa/>.

Purmo 2023. Miellyttävien työskentelyolosuhteiden varmistaminen. Hakupäivä 21.2.2023 <https://www.purmo.com/fi-fi/kayttokohteet/toimistot>.

Rakennustieto 2017. Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo tate18, RT 10–11290. Hakupäivä 10.4.2023. Vaatii tunnukset. https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2010-11290?external_system=Juha&page=1&navref=Search.

Rakennustieto 2022. talotekniikan RYL 2022/1. Hakupäivä 4.3.2023. Vaatii tunnukset. https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/TalotekniikkaRYL/2022_1/20.html.

Rejlers Suomi 2023a. Rejlers Rakentaminen omaksi yhtiökseen. Hakupäivä 21.2.2023. <https://www.rejlers.fi/Uutiset/rejlers-rakentaminen-omaksi-yhtiokseen/>.

Rejlers Suomi 2023b. Konserni. Hakupäivä 21.2.2023 <https://www.rejlers.fi/Meista/Konserni/>.

Rejlers Buildings 2023. Etusivu. Hakupäivä 21.2.2023 <https://www.rejlersbuildings.fi/>.

Sisäilmasto ry 2008. Kemiaiset tutkimukset. Hakupäivä 21.2.2023 <https://www.sisailmayhdists.fi/Terveelliset-tilat/Ongelmien-tutkiminen/Muut-sisailmatutkimukset/Kemiaiset-tutkimukset>.

Suomen automaatioseura Ry 2023. Rakennusautomaatiojaos – BAFF. Hakupäivä 4.3.2023 <https://www.automatioseura.fi/sas/jaostot/rakennusautomaatio/>.

Swegon 2022. Wise. Hakupäivä 21.2.2023 https://www.swegon.com/siteassets/product-documents/room-management-systems/wise-gen.2/ fi/wise_voc.pdf.

Tampereen tilapalvelut 2020. Tampereen tilapalvelu, rakennusautomaatiojärjestelmä, laitemerkintäjärjestelmä. Hakupäivä 10.4.2023 <https://tamperetilapalvelut.fi/materiaalit/suunnitteluohjeet/LAITEMERKINTAJARJESTELMA.pdf>.

Tilastokeskus 2023. Asumisen energiakulutus 2021. Hakupäivä 21.2.2023 https://www.stat.fi/tup/suoluk/suoluk_energia.html#kokonaiskulutus.

Valmistajat 2023. Automaatio ja automaatiojärjestelmät. Hakupäivä 4.3.2023 <https://valmistajat.fi/menetelmat/elektronikka/automaatio-ja-automaatiojarjestelmat>.

WWF Suomi 2023. Ilmastonmuutos. Hakupäivä 21.2.2023 <https://wwf.fi/uhat/ilmastonmuutos/>.

Ympäristöministeriö 2018a. Energiatodistusopas 2018. Hakupäivä 5.3.2023 https://www.ymparisto.fi/download/Energiatodistusopas_2018_varsinainen_opaspdf/%7B5DA79466-F15E-4FC9-9C76-46AE002B7FF6%7D/141249.

Ympäristöministeriö 2018b. Laskentaopas, Tilan ulkoilmavirran mitoitus hiilidioksidikuormituksen perusteella. Hakupäivä 21.2.2023 <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BE961AA41-6DF6-4708-B8D2-0553271D8354%7D/144135>.

Ympäristöministeriö 2020, Helsinki. 718/2020 Ympäristöministeriön asetus eräiden rakennuksen teknisten järjestelmien energiatehokkuuden vaatimuksista. Hakupäivä 4.3.2023 <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20200718>.

Ympäristöministeriö 2020, Helsinki. 733/2020 Laki rakennusten varustamisesta sähköajoneuvojen latauspisteillä ja latauspistevalmiuksilla sekä automaatio- ja ohjausjärjestelmillä. Hakupäivä 4.3.2023 <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2020/20200733>.

KAUKOLÄMMÖN KYTKENTÄKAAVION MUOKKAAMATON LATTIALÄMMITYSVERKOSTON
TOIMINTASELOSTUS

LIITE 1

Liitettä ei julkaista salassapitovelvollisuuden takia.

KAUKOLÄMMÖN KYTKENTÄKAAVION MUOKATTU LATTIALÄMMITYSVERKOSTON TOIMIN-
TASELOSTUS

LIITE 2

Liitettä ei julkaista salassapitovelvollisuuden takia.

Mallikaaviokirjaston palautekysely

1. Kuinka usein olet käyttänyt mallikaaviokirjastoa?

- 0
- 1-2
- 3-4
- 5 tai yli

2. Vastaa seuraaviin väittämiin. 1= täysin erimieltä, 10 = täysin samaa mieltä

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Kirjasto ja kaaviot on helppo löytää	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kirjaston käyttöohjeet ovat selkeät	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ohjeistuksessa listatut lähtötietotarpeet ovat kattavat ja hyödylliset	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kirjaston kaaviot ovat jaoteltu selkeästi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kirjasto on riittävän kattava	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kaavioissa on esitetty riittävästi eri vaihtoehtoja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muokattavat kohdat on esitetty selkeästi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kaavioiden muokkaaminen on helppoa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3. Mitkä kaavioista ovat selkeitä / epäselkeitä? Miksi?

4. Mitä kaavioita toivoisit lisättävän seuraavaksi?

5. Avoin palaute