



Umar Butt

Rakennusautomaatiossa käytettyjen järjestelmien integroiminen kiinteistössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

18.6.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Umar Butt	
Otsikko:	Rakennusautomaatiossa käytettyjen järjestelmien integroiminen kiinteistöissä	
Sivumäärä:	61 sivua	
Aika:	18.6.2024	
Tutkinto:	Insinööri (AMK)	
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikka	
Ammatillinen pääaine:	Automaatio tekniikka	
Ohjaajat:	Ohjaaja	Erkki Räsänen
	Toimitusjohtaja	Tuukka Nevalainen

Tässä insinööriyössä tutkittiin rakennusautomaatiossa käytettyjen järjestelmien integroimista kiinteistöissä. Työn tavoitteena on selvittää, kuinka erilaiset automaatiojärjestelmät, kuten valaistuksen, lämmityksen ja ilmanvaihdon ohjaus, voidaan yhdistää helposti toimivaksi kokonaisuudeksi. Työssä keskityttiin erityisesti KNX-protokollan ja ETS6- sekä Niagara N4-ohjelmistojen käyttöön järjestelmien integroinnissa. Tutkimusmetodina käytettiin kirjallisuuskatsausta sekä käytännön toteutusta projektin kiinteistökohteessa. Lisäksi työssä käsiteltiin Danfoss Leanheat® -ohjelmiston integrointia Niagara N4 -ympäristöön mikä edistää älykästä lämmityksen hallintaa ja tarjoaa uusia näkökulmia rakennusautomaation tehokkuuteen ja adaptiivisuuteen ilman lisäohjaimien tarvetta.

Tutkimuksen kulku jaettiin alustavaan suunnitteluun, järjestelmien valintaan, integroinnin toteutukseen ja lopuksi järjestelmän testaukseen ja arviointiin. Havaittiin, että KNX-protokollan ja ETS6- sekä Niagara N4 -ohjelmistojen avulla voidaan tehokkaasti integroida erilaisia järjestelmiä ja laitteita, mikä mahdollistaa niiden keskitetyn hallinnan ja optimoi kiinteistön energiakulutusta.

Tulokset osoittivat, että järjestelmien sekä laitteiden onnistunut integraatio parantaa kiinteistön toiminnallisuutta, mukavuutta ja energiatehokkuutta. Työssä todettiin myös, että integroinnin haasteita voidaan ratkaista systemaattisella suunnittelulla ja nykyaikaisten automaatiotyökalujen avulla. Tutkimuksen perusteella voidaan päätellä, että integroitu rakennusautomaatio tarjoaa merkittäviä hyötyjä kiinteistön hallinnalle ja käyttäjille.

Avainsanat: Rakennusautomaatio, integraatio, KNX-protokolla, ETS6-ohjelmisto, parametrisointi, topologia, Modbus RTU, Niagara N4, LVI, prosessi, Leanheat

Abstract

Author: Umar Butt
Title: Integration of Building Automation Systems in Buildings
Number of Pages: 61 pages
Date: 18 June 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and automation engineering
Professional Major: Automation engineering
Supervisors: Erkki Räsänen, Principal Lecturer
Tuukka Nevalainen, CEO

This engineering thesis investigated the integration of building automation systems in a building. The aim of the work was to find out how different automation systems, such as lighting, heating, and ventilation control, can be easily integrated into a functional whole. The work focused on the use of the KNX protocol and the ETS6 and Niagara N4 software for system integration. The research methods used were a literature review and a practical implementation at the project property. In addition, the work addressed the integration of Danfoss Leanheat® software into the Niagara N4 environment, contributing to intelligent heating control and providing new perspectives on the efficiency and availability of building automation without the need for additional controller.

The research process was divided into preliminary design, system selection, integration implementation, and, finally, system testing and evaluation. It was found that the KNX protocol and the ETS6 and Niagara N4 software can be used to efficiently integrate different systems and devices, allowing their centralised management, and optimising the energy consumption of the building.

The results showed that successful integration of systems and equipment improves the functionality, comfort, and energy efficiency of the building. It was also found that the challenges of integration can be overcome through systematic planning and the use of modern automation tools. The study concludes that integrated building automation offers significant benefits to building managers and users.

Keywords: Building automation, integration, KNX-protocol, ETS6-software, parametrisation, topology, Modbus RTU, Niagara N4, HVAC, process, Leanheat

Sisällys

Lyhenteet

DDC	Direct digital control. Suora digitaalinen säätö.
ETS6	Engineered tool software v.6. Suunnittelu työkaluohjelmisto v.6.
IV-kone	Ilmanvaihtokone.
IoT	Internet of things. Esineiden internet.
JACE	Java Application Control Engine. Ohjain Niagara N4 -ympäristössä.
KNX	Standardoitu, väylätekniikkaan perustuva kiinteistöautomaatiojärjestelmä.
LJH	Lämmönjakohuone.
LS	Lämmönsiirrin.
LTO	Lämmöntalteenotto.
PLC	Programmable logic controller. Ohjelmoitava logiikkaohjain.
RAU	Rakennusautomaatio.
VAK	Valvonta-alakeskus.
VJK	Vedenjäähdytyskone.
VPN	Virtual private network. Virtuaalinen yksityinen verkko.

1	Johdanto	1
2	Rakennusautomaatiojärjestelmien historiallinen tausta ja kehitys	2
2.1	Varhaiset järjestelmät ja teknologinen kehitys	3
2.2	Siirtyminen nykyaikaisiin RAU-järjestelmiin	4
2.3	RAU-järjestelmien kehitys Suomessa	4
3	Syväisempi katsaus RAU-järjestelmään sekä laitteistoon	6
3.1	RAU-järjestelmän hierarkia	6
3.1.1	Hallintotaso	7
3.1.2	Automaatiotaso	7
3.1.3	Kenttätaso	7
3.2	RAU-ohjelmiston rakenne	8
3.2.1	Sovellusohjelmat	9
3.2.2	Prosessikohtaiset ohjelmat	9
3.2.3	Niagara N4-ohjelmisto	10
3.2.4	Leanheat®-ohjelmisto	11
3.2.5	KNX ETS6	11
3.3	Valvomolaitteet	11
3.4	Kentälaitteet	12
3.4.1	Anturit	12
3.4.2	Toimilaitteet	13
3.4.3	Peltimoottorit	14
4	Viestintäprotokollat ja väyläjärjestelmät	15
4.1	Väylien topologiat	15
4.2	Väyläprotokollista tarkemmin	16
4.2.1	KNX	16
4.2.2	LonWorks®	17
4.2.3	Modbus	18
4.2.4	BACnet	19
4.3	RAU:n tietoturva	19
4.3.1	Haavoittuvuudet RAU:ssa	19

4.3.2	Haavoittuvuuksien ehkäisy RAU:ssa	21
5	Integrointi ja täytäntöönpano: projektiosuus	22
5.1	Kiinteistön prosessit	23
5.1.1	Ilmanvaihto	23
5.1.2	Lämmitys	24
5.1.3	Jäähdytys	25
5.2	Projektissa käytetty automaatiolaitteisto sekä väylälaitteet	27
	Automaatiotason laitteisto	27
5.3	Projektin väylätoteutus	35
5.3.1	KNX-väylän toteutus	35
5.3.2	Modbus RTU -väylätoteutus	36
5.4	Projektin järjestelmä integroinnit	37
5.4.1	Modbus RTU-väylälaitteiden käyttöönotto Niagara N4:ssä	38
5.4.2	Leanheatin integrointi Niagara N4:ään	42
5.4.3	KNX-laitteiden käyttöönotto KNX ETS6 -järjestelmällä	44
6	Rakennusautomaatiojärjestelmien integroinnin haasteet ja ratkaisut	49
6.1	Tekniset ja käytännön haasteet	50
6.1.1	IV-koneen kammio puhaltimien integraation haasteet	Virhe.
	Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.	
6.1.2	KNX-väylän toiminnan haasteet	50
6.2	Kehitetyt ratkaisut integroinnin haasteisiin	50
6.2.1	IV-koneen kammio puhaltimien integraation ratkaisut	Virhe.
	Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.	
6.2.2	KNX-väylälaitteiden integraation ratkaisut	51
7	Yhteenveto	52
	Lähteet	54
	Liitteet	

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö tarjoaa syvällistä ymmärrystä rakennusautomaatiojärjestelmien kehityksestä, nykytilasta ja tulevaisuuden näkymistä ja keskittyy toteutukseen Espoon kaupungin kiinteistökohteessa. Työ tutkii rakennusautomaatiojärjestelmien roolia kestävässä kaupunkikehityksessä ja älykkään infrastruktuurin rakentamisessa ja pyrkii tunnistamaan rakennusautomaatiojärjestelmien implementaation piirteitä sekä haasteita rakennusautomaatiojärjestelmien integraatiossa.

Toteutuksessa hyödynnetään Niagara N4 -ohjelmistoa, joka toimii pohjana kiinteistön automaatiolle yhdessä KNX/Modbus RTU -väylän kautta tuotujen kenttälaitteiden sekä Leanheat® -ohjelmiston kanssa. Työssä esitellään vaiheittain järjestelmien päätarkoitukset, osaprosessit sekä niiden yhteenliittymät mikä tarjoaa lukijalle syvällisen näkemyksen modernin rakennusautomaation toteutuksesta. Tutkimusmetodologiana käytetään sekä kvalitatiivista että kvantitatiivista lähestymistapaa. Kvalitatiivinen osuus sisältää omat havainnot ja kokemukset rakennusautomaatiojärjestelmien käytöstä, kun taas kvantitatiivinen osuus perustuu kerättyyn dataan laitteiden suorituskyvystä ja käyttöönoton tehokkuudesta. Aineisto koostuu teknisistä dokumenteista, käyttötapauksista ja vertaisarvioituista artikkeleista, jotka käsittelevät käytettyjen teknologioiden ominaisuuksia ja soveltuvuutta.

Työssä on hyödynnetty omakohtaista kokemusta ja teknistä osaamista, jota on kertynyt työstä rakennusautomaatiojärjestelmien parissa sekä laajaan kirjallisuuskatsaukseen rakennusautomaatiojärjestelmistä. Aineisto koostuu lähteistä, jotka käsittelevät rakennusautomaatiojärjestelmien teknisiä ominaisuuksia sekä käyttökohteita. Projektin toteutuksessa yhteistyössä sekä apuna toimi I/O Control Finland Oy:n johto ja henkilöstö.

2 Rakennusautomaatiojärjestelmien historiallinen tausta ja kehitys

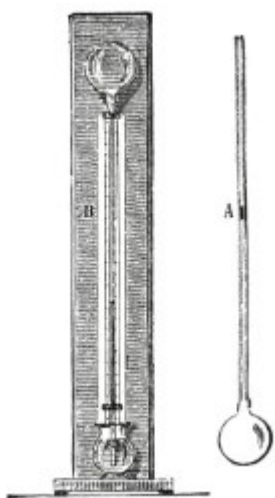
Rakennuksien dynaamisessa hallinnassa RAU-järjestelmien kehitys on osoitus ihmisen innovatiivisuudesta ja tarpeesta kehittää tehokkaampia sekä kestävämpiä ratkaisuja infrastruktuurin käytettävyyteen. RAU-järjestelmien matka alkeellisista mekanismeista kehittyneisiin, toisiinsa kytkettyihin tekoälyä hyödyntäviin, toisiinsa kytkettyihin verkkoihin heijastelee laajempaa teknologista kehitystä. Tämän kehityskaaren ymmärtäminen on olennaista, sillä se valottaa, miten menneisyyden innovaatiot ovat muokanneet nykyisiä järjestelmiä.

Rakennusautomaatiojärjestelmät ovat nykypäivänä monimutkaisia verkkoja kiinteistöissä, joiden tehtävänä on hallinnoida sekä valvoa rakennusten eri toimintoja kuten:

- ilmanvaihtoa
- jäähdytystä
- lämmitystä
- sähköä
- valaistusta
- hälytysjärjestelmiä
- lukitusta ja kulunvalvontaa
- sulana pitoja
- pumppaamoita [A-insinöörit].

2.1 Varhaiset järjestelmät ja teknologinen kehitys

RAU:n kehityksen voidaan laskea alkaneen lämpötilan säätöjärjestelmien kehityksestä 1600-luvun alkupuolelta, jolloin Cornelius Drebbel keksi alkeellisen termostaatin lämpötilan säätöä varten. Termostaatti toimi tuohon aikaan yksinkertaisena laitteena, jonka tarkoituksena oli ylläpitää vakio lämpötilaa kananmunien kuoriutumista varten [Encyclopedia 2019: 5].



Kuva 1. Cornelius Drebbellin keksimä termostaatti [Bosch a: 1].

Vasta 1900-luvun loppupuolella rakennusten ohjausjärjestelmät alkoivat muistuttaa nykyisin tunnettuja tuotteita. Varhaiset ohjausjärjestelmät olivat pääasiassa pneumaattisia tai ilmapohjaisia, mikä tarkoitti, että ne rajoittuivat vain LVI-järjestelmän tiettyjen osien ohjaamiseen. [Connect with ODIN 2019: 3.] Nämä järjestelmät tarjosivat rakennuksen lämpötilan ja kosteuden perusvalvonnan, mikä loi pohjan RAU-järjestelmien teknologian kehittymiselle [Remote Fill Systems].

Seuraavina vuosikymmeninä tapahtui asteittaisia parannuksia, ja 1960-luvun loppupuolella otettiin käyttöön ensimmäiset digitaaliset ohjaukset ohjelmoitavien logiikkaohjainten (PLC) muodossa. Näitä PLC-ohjaimia käytettiin aluksi teollisuuden prosesseissa, mutta myös älykodeissa, joissa ne hallitsivat ilmastointia

ja suorittivat perustehtäviä, mikä osoitti siirtymistä kohti integroituneempia ja automatisoituja rakennusten hallintaratkaisuja. [Bosch b: 6.]

2.2 Siirtyminen nykyaikaisiin RAU-järjestelmiin

Vuosisadan vaihteessa ja 2000-luvun alussa nähtiin käännekohta RAU-järjestelmien standardoinnissa ja teknisessä integraatiossa, kun internetin nousu ja ohjaukset, kuten BACnet ja LonWorks. Tämä tarkoitti, että integroiminen voitiin tehdä huomattavasti helpommin eri komponenttien ja ohjausjärjestelmien integroiminen voitiin tehdä huomattavasti helpommin. Myös verkkopohjaiset alustat alkoivat yleistyä, mikä mahdollisti ohjausjärjestelmien etävalvonnan ja teki laitosten hallinnasta helpompaa. [Regan 2023a: 3.]

Nykypäivänä IoT:n tärkeys RAU:ssa on kasvanut suuresti vanhoissa kuin myös uusissa rakennuksissa, mutta myös tekoäly sekä älykkäät algoritmit ovat liittyneet seuraan. Nämä yhdessä analysoivat dataa ja käyttäytymismalleja säästämällä yhä enemmän energiaa sekä automaattisesti säätävät olosuhteet juuri sopiviksi. [Bosch d: 18.]

2.3 RAU-järjestelmien kehitys Suomessa

Automaation tulo Suomeen alkoi vauhdilla heti 1950-luvun alussa. Tuolloin ei kuitenkaan vielä käytetty termiä automaatio, vaan puhuttiin säätö- ja mittaustekniikasta ja instrumentoinnista. Valmetin instrumenttitehdas laajensi myöhemmin toimintaansa myös kokonaisten automaatiojärjestelmien kehittämiseen ja valmistamiseen. Amerikkalaisen Honeywellin vuonna 1976 markkinoille tuoma ensimmäinen mikroprosessoripohjainen automaatiojärjestelmä merkitsi teknologiamurrosta, jossa siirryttiin vauhdilla analogisesta toteutustekniikasta digitaaliseen toteutustekniikkaan. Valmet kykeni hyvin pysymään muutosvauhdissa ja kehitti oman digitaalisen automaatiojärjestelmänsä (Damatic), jonka ensimmäiset teollisuussovellukset otettiin käyttöön vain muutamaa vuotta myöhemmin. [Koskinen 2018a: 1.]

Neljässä vuosikymmenessä RAU:n tekniikka ja järjestelmät ovat kehittyneet melkoisesti. 1980-luvulla käytettiin vielä analogisia yksikkösäätimiä; pikkuhiljaa alkoi tulla tietokonepohjaisia järjestelmiä. Digitaaliset säätimet yleistyivät 80-luvun lopussa, ja alakeskuksen näyttöpäätteeltä pääsi näppäilemällä katsomaan tietoja ja ohjaamaan laitteita. 2000-luvun alussa tekniikassa tapahtui isompi muutos, kun alakeskuksen näyttöpäätteisiin saatiin väriä ja grafiikkaa. [Fidelix 2023: 1.]

Internetin yleistyminen 2000-luvulle siirryttäessä ratkaisi pitkälti myös ns. kaukovalvontakysymyksen. Suuret kiinteistönomistajat, kuten kunnat ja kaupungit sekä vakuutusyhtiöt, olivat pitkään kaipaillleet mahdollisuutta keskitetysti valvoa ja mahdollisesti ohjata koko kiinteistökantaansa, riippumatta niiden sijainnista. Tiedonsiirto oli ratkaistu joko soittomodeemeilla tai jopa vuokraamalla operaattoreilta kiinteitä pareja. Tällä päästiin tilanteeseen, jossa yleisesti markkinoilla olevien selainten avulla pystytään käyttämään internetin kautta markkinoilla olevia järjestelmiä. [Sulku 2012a: 1.]

Tämä kehitys on johtanut monikäyttöisiin, ohjelmiltaan kehittyneisiin järjestelmiin, jotka tukevat rakennusten ylläpitoa ja energiatehokkuutta. Tulevaisuuden näkymissä korostuvat tekoälyn kuten Leanheat® ja verkkoalustojen roolit, jotka tarjoavat uusia mahdollisuuksia RAU:n alalla.



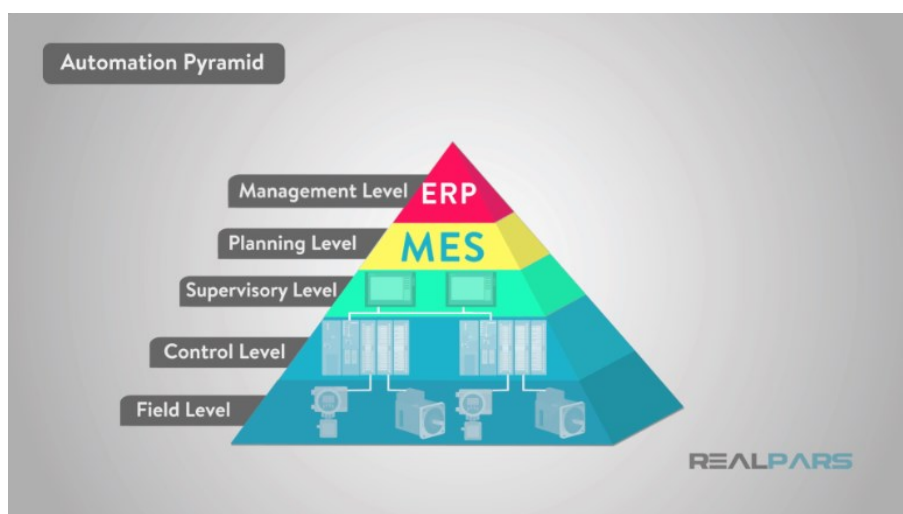
Kuva 2. Valmetin Damatic-järjestelmällä toteutettu valvomo 1970-luvulla [Koskinen 2018b].

3 Syvällisempi katsaus RAU-järjestelmään sekä laitteistoon

Tässä luvussa tarkastelemme RAU-järjestelmää syvällisemmin ja siihen liittyviä laitteita, esitellen niiden hierarkkisen rakenteen, toimintaperiaatteet ja keskeiset komponentit. Käsitlemme, kuinka eri tasot integroituvat toisiinsa ja luovat järjestelmiä, jotka parantavat rakennusten energiatehokkuutta, viihtyvyyttä ja kestävyyttä. Lisäksi käsitellään eri ohjelmistojen, kuten Niagara N4:n ja Lean-heat®:n osuutta RAU-järjestelmää sekä tuoda esiin RAU:n kriittistä roolia nykyajan kiinteistöissä.

3.1 RAU-järjestelmän hierarkia

RAU-järjestelmien yleisesti hyväksytty malli on automaatiopyramidi. Se on jaettu kolmeen tasoon, jotka kuvastavat RAU:n eri toiminnallisia näkökohtia. Alin taso on kenttätaso, jossa vuorovaikutus teknisten prosessien, kuten mittauksen, asetusten ja kytkentöjen kanssa tapahtuu. Pyramidin keskelle sijoitettu automaatiotaso tarjoaa ohjaustoiminnot eli ohjaussilmukoiden suorittamisen kenttätasolla valmistettujen tietojen perusteella. Tämän hierarkian ylimmällä tasolla, hallintotaso toimii rajapintana hallinta ja yritystason sovelluksien käyttöliittymänä. Järjestelmän konfigurointi, visualisointi ja prosessitietojen arkistointi ovat tyypillisiä tämän tason toimintoja. [Fernbach ym. 2011: 1.]



Kuva 3. Rakennusautomaation pyramidi [Cope 2018].

3.1.1 Hallintotaso

Hallintotaso määrittelee viestien toimittamisen koko arkkitehtuurin alueella, ja se koostuu laitteistosta ja ohjelmistosta. Ohjelmisto-osa edustaa viestejä tai signaaleja, jotka välittävät tietoa tilasta tai tietyistä arvoista, kuten laitteen lämpötilasta ja puhaltimen nykyisestä nopeudesta. Laitteosa edustaa näiden laitteiden välistä tiedonsiirtovälinettä, sillä standardoituja välineitä voi olla erityyppisiä. Tämä osa on välttämätön, koska monilla välineillä on omat ainutlaatuiset ominaisuutensa. Jos tiedonsiirto jätetään huomiotta, se voi johtaa siihen, että sama arvo lähetetään eri välineillä eri lukemia eli virheelliset tiedot. [Niazi 2020: 11.]

3.1.2 Automaatiotaso

Automaatiotaso huolehtii teknisten järjestelmien säädöstä ja valvonnasta kenttätasolta saatujen tietojen ja hallintotasolta saatujen eritelmien avulla. Tässä yhteydessä olisi taattava yhteen toimivuus, jotta valmistajariippumaton tiedonvaihto olisi mahdollista. Nykyään kaikki automaatiolaitteet on suunniteltu digitaalitekniikalla, ja ne valvovat ohjauksen lisäksi myös raja-arvoja, kytkentätiloja, virtalaskurin lukemia jne. Automaatioasemilla tuloksena saatuja tietoja käsitellään ja välitetään siten kenttä- tai johtotasolle. [Satelco a: 12.]

3.1.3 Kenttätaso

Alimmalla tasolla ovat anturi ja toimilaitteet, niin sanotut kenttälaitteet, joiden avulla rakennuksien yksittäisiä teknisiä komponentteja käytetään. Antureiden tehtävänä on rekisteröidä ympäristötiedot – kuten liikkeet, lämpötila, kirkkaus jne. – ja välittää nämä tiedot toimilaitteille väyläjärjestelmän kautta. Nämä puolestaan vastaanottavat ja tulkitsevat tiedot ja muuttavat ne sitten vastaaviksi kytkentäsignaaleiksi lämmitystä, valaistusta, ilmanvaihtoa tai ilmastointia varten. Kenttätaso tuottaa siis tietoja kahdelle ylemmälle tasolle. Nopean teknisen kehityksen, erityisesti mikroprosessorien, vuoksi kenttä- ja automaatio tason väliset rajat ovat hämärtyneissä. [Satelco b: 12.]

3.2 RAU-ohjelmiston rakenne

RAU-järjestelmän älykkyys on ohjelmistossa, joka on hajautettu eri tasoille ja laitteille:

- Valvomossa on käyttäjän tarvitsemat ohjelmat järjestelmän ohjaukseen ja valvontaan.
- Ala-asemissa on prosessien itsenäiseen ohjaukseen ja valvontaan tarvittavat ohjelmat.
- Kenttätasolla on säätimiä, joiden ohjelmat ohjaavat ja säätävät jotain erillistä laitetta, kuten lämmönvaihdinta, IV-konetta, taajuusmuuttajaa, tai huonesäätimet, jotka ohjaavat huoneeseen liittyviä venttiilejä ja puhaltimia.

RAU-järjestelmän ohjelmisto on hajautettu fyysisesti edellä kuvatulla tavalla.

Ohjelmistoa voidaan jakaa sen eri tasoilla tehtävän mukaisesti:

- käyttöjärjestelmät
- varusohjelmat
- sovellusohjelmat
- työkaluohjelmat
- laitoskohtaiset logiikkaohjelmat
- parametrisointi [Spangar 2012a: 96–97].

Seuraavaksi käydään läpi muutamia kiinteistökohtaisia ohjelmia, jotka on hajautettu eri tasoille.

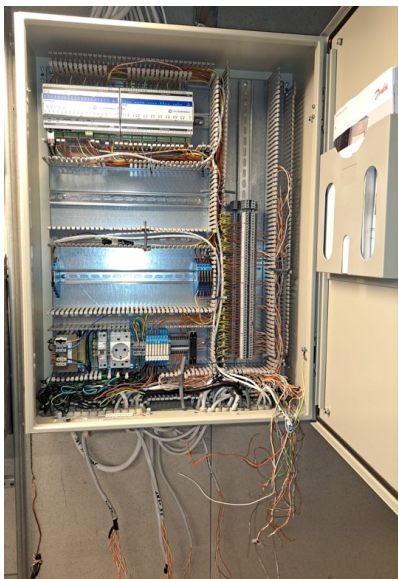
3.2.1 Sovellusohjelmat

Sovellusohjelmilla tarkoitetaan tässä tapauksessa rakennusautomaatioon kehitettyjä ohjelmia, kuten hälytyksen käsittely, pistelistaukset ja raportit. Usein ne liittyvät käyttäjäkommunikaatioon, jolla kiinteistöhoitaja valvoo laitosta tai antaa järjestelmälle uusia ohjeita. Ne hoitavat myös käyttäjälle näkymättömiä tehtäviä, jotka liittyvät esim. prosessinohjaukseen tai tietoliikenteeseen. [Spangar 2012b: 97.]

3.2.2 Prosessikohtaiset ohjelmat

Prosessia ohjaavat automaatiojärjestelmät liittyvät prosesseihin niiden omien VAK:ien kautta, joissa prosessikohtaiset ohjelmat sijaitsevat. Nämä koostuvat ohjaimista ja niiden lisämoduuleista, jotka tarjoavat skaalautuvuutta isommissa kohteissa. Näillä asemilla on keskeinen rooli prosessin hallinnoimisessa, mikä tapahtuu ohjaimissa yhdessä mittaus-, ohjaus-, logiikka- ja säätötoimintoina. Prosessin toimintoja pystytään myös säätämään näihin asemiin yhdistetyn kaksisuuntaisen tiedonkulun valvomon käyttöliittymään tai suoraan VAK:n asennetusta käyttöliittymästä.

Logiikkaohjelmat sijaitsevat yleensä alakeskuksissa, ja ne lisäävät laitospohjaista ohjelmointimahdollisuutta suuresti. Tällöin puhutaan vapaasti ohjelmoitavasta alakeskuksesta. [Spangar 2012c: 98.]



Kuva 4. Keskeneräinen VAK konehuoneessa.

3.2.3 Niagara N4-ohjelmisto

Niagara Framework® on kattava ohjelmistoinfraskruktuuri, joka vastaa laitteiden ja yritystenvälisen sovellusten luomiseen liittyviin haasteisiin. Se toimii keskuskonsolina, jonka avulla reaaliaikaiset operatiiviset tiedot yhdistetään ihmisiin ja järjestelmiin, jotka hallinovat työnkuluja älykkäissä rakennuksissa, datakeskuksissa, teollisuusprosesseissa, älykkäissä kaupungeissa ja muissa liiketoimintayrityksissä. [Tridium 2024a.]

Niagara N4 tarjoaa kriittiset, kyberturvalliset laiteyhteydet ja tietojen normalisointiominaisuudet, joita tarvitaan operatiivisten tietojen hankkimiseen ja avaamiseen laite- ja laitetason siiloista. Niagaran ytimessä olevan ohjausmoottorin avulla käyttäjät voivat paitsi seurata tietovirtoja, myös luoda logiikkasekvenssejä, jotka vaikuttavat tietojen havainnointiin perustuvaan ohjausten ohjelmointiin. Järjestelmäintegraattorit käyttävät Niagaraan sisäänrakennettuja tiedonhallinta- ja käyttäjäesittelysovelluksia historiantietojen, aikataulujen ja hälytysten hallintaan. [Tridium 2024b.]

3.2.4 Leanheat®-ohjelmisto

Danfoss Leanheat® on kattava sovelluslähtöinen ohjelmisto- ja palvelupaketti, joka hyödyntää digitalisaatiota energiatuotannon ja -kulutuksen optimoinnissa, toiminnallisen tehokkuuden lisäämisessä sekä rakennusten hallinnan ja ylläpidon tarjoamisessa [Danfoss n.d.a: 1]. Leanheat® hyödyntää omaa säädintä sekä anturien mittausdataa sen pilvipohjaiseen tekoälyratkaisuun. Tässä tekoälyllä pyritään myös ennakoimaan tulevia muutoksia lämmityksen säädössä, esimerkiksi säätiedostusten perusteella. Projektissa ei kuitenkaan tätä säädintä hyödynnetty, vaan integroiminen tehtiin Niagara N4:n hyödyntämällä Modbus-osoitteita, josta lisää on luvussa 5.

3.2.5 KNX ETS6

ETS6 on täysin uuden sukupolven älykäs automaatio-ohjelmisto. ETS on lyhenne sanoista Engineering Tool Software. Se on valmistajariippumaton konfigurointiohjelmisto, joka on kehitetty älykkäiden koti- ja rakennusvalvontalaitteiden konfigurointiin KNX-tekniikan avulla. Tämä ohjelmisto toimii Windows © -alustaan perustuvissa tietokoneissa. ETS6 Professional mahdollistaa ratkaisujen lataamisen kaikille sovellusalueille, joille on saatavilla KNX-sertifioituja tuotteita. [Kiewitz 2024a: 1.]

3.3 Valvomolaitteet

Nykyaikaisten valvomojärjestelmien (SCADA) avulla voidaan tuoda näkyviin helposti ymmärrettävissä, visuaalisessa muodossa mitä tahansa tietoja siihen yhdistetyistä PLC-logiikoista, roboteista ja erilaisista tuotanto- ja mittauslaitteista. Laitteiston toimintaa voidaan tarkastella reaaliaikaisesti sekä tapahtumahistoriasta. Samaan ohjelmaan voidaan yhdistää useita eri kohteita ja niitä voidaan tarkastella ja ohjata yhdestä paikasta. Koska ohjelmisto toimii verkossa, voi toimintaa tarkastella ja ohjata myös etänä. Tällöin esimerkiksi ongelmien ilmetessä päästään heti ilman paikan päälle menemistä tarkastamaan, missä kohdassa tuotantoa/prosessia vika on ja tarvittavat toimet voidaan aloittaa

välittömästi. Etäyhteys voidaan muodostaa niin normaaliin PC-käyttöliittymän kautta kuin nettiselaimella tai mobiililaitteella. [Sermatech.]

3.4 Kenttälaitteet

Kenttälaitteet keräävät tarvittavia tietoja alueesta tai tietyistä huoneesta, jotta RAU-järjestelmä voi suorittaa tietyn toimenpiteen. Joitakin näistä laitteista ovat lämpötilan, ilmavirran, kosteuden, paine-eron, CO₂-tasojen ja savuilmaisimien mittaussanturit. Jotkut voivat valita myös paikallisen mittarin, joka asennetaan kyseiselle alueelle näiden mittausten lisäksi. [Niazi 2020: 1.] Tässä luvussa tutustutaan muutamiin yleisiin automaatio hierarkian alimmalla tasolla nähtäviin laitteisiin ja niiden toimintaan, joita tavataan RAU-järjestelmissä.

3.4.1 Anturit

Ympäristöantureiden avulla voi valvoa rakennuksen jokaisen huoneen tai vyöhykkeenolosuhteita. Anturit ovat elintärkeitä tilojen reaaliaikaisten ympäristöolosuhteiden ilmoittamisessa, jotta niihin liittyvät RAU-järjestelmät- tai ohjauslaitteet voivat automatisoida ilmanvaihtoa, ilmastointia ja lämmitystä kysynnän mukaan ja ylläpitää optimaaliset olosuhteet rakennuksessa mahdollisimman tehokkaasti. [Titan 2023: 1.]



Kuva 5. RAU:ssa käytettyjä kenttälaitteita [Method Statement HQ].

Muutamia yleisiä antureita RAU:ssa:

- paine- ja paine-eroanturi
- lämpötila-anturi
- suhteellinen kosteusanturi
- valoisuusanturi
- läsnäoloanturi.

3.4.2 Toimilaitteet

Toimilaitteet ovat kenttälaitteita (sekä niihin liittyviä vaimentimia ja venttiilejä), jotka vastaanottavat ohjausalgoritmin määrittelemän lähtösignaalin. Toimilaitteen määrittely/valinta on tärkeää suljetun ohjauksen onnistumisen kannalta. Kaksiasentoiset toimilaitteet (eli toimilaitteet, jotka joko avaavat tai sulkevat täysin paisuntapellin/venttiilin) toimivat yleensä 24 tai 230 VAC-signaalin puuttumisen tai läsnäolon perusteella. [Goldschmidt 2018: 1.]

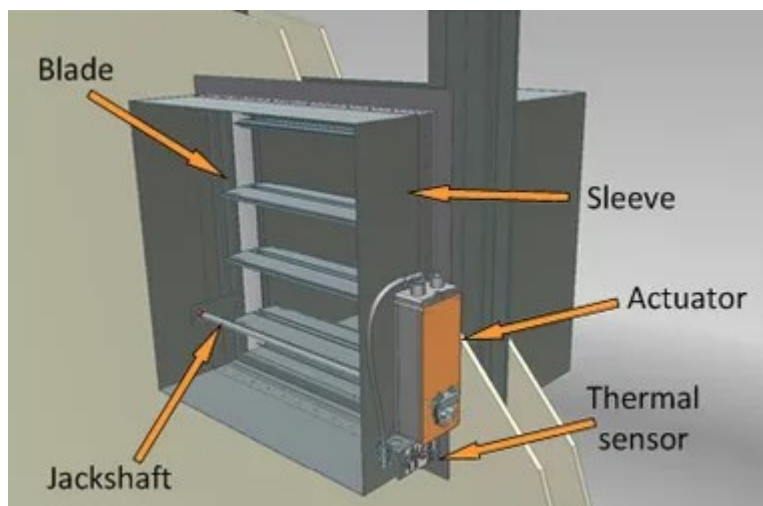


Kuva 6. Belimon venttiilitoimilaite LRC24A-SZ 5NM 24V 0-10V 35 s [Onninen Oy 2024: 1].

Moduloivissa sähköisissä toimilaitteissa on sisäinen järjestelmä, joka asentelee lähtöakselin suhteessa syötettyyn ohjaussignaaliin. Suhteellinen asemointi asetetaan tulosignaalilla, esimerkiksi 0–10 V, jossa 0 V on suljettu ja 10 V on auki, 5 V on 50 % auki. [AVS 2018.]

3.4.3 Peltimoottorit

Myös peltimoottoreilla nähdään samanlaisia toiminnallisuuksia ohjauksen ja säädön suhteen kuin toimilaitteilla, mutta näillä säädetään venttiilien sijasta peltien avauskulmaa IV-koneen sisällä tai erillispoistokanavissa.



Kuva 7. Peltimoottorin toiminnan havainnekuva [Eck 2023].

Ilmastointi- ja ilmastointijärjestelmissä säätöpeltien peltimoottorit auttavat säätämään lämpötilaa ja ilmanlaatua säätämällä järjestelmän läpi virtaavan ilman määrää. Säätämällä sulkimen asentoa järjestelmä voi ohjata raikkaan ja kierrätetyn ilman sekoitusta, ylläpitää haluttua lämpötilaa ja jopa säätää kosteutta. [Eck 2023.]

4 Viestintäprotokollat ja väyläjärjestelmät

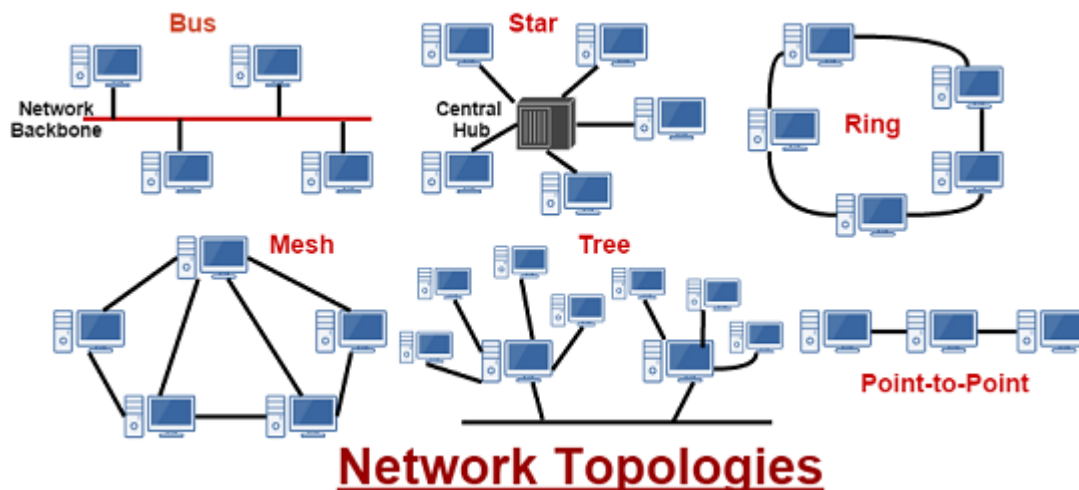
Rakennusautomaatiossa kommunikaatioprotokollat ja kenttäväylät ovat tärkeässä asemassa varmistamassa prosessien normaalin toimimisen ja monien eri laitteiden integroimisen. Tyypillisiä protokollia, joita tavataan RAU:ssa ovat

- BACnet
- Modbus
- KNX
- LonWorks.

Näitä protokollia käytetään niiden standardoinnin seurauksena, helpottaa käyttöä eri valmistajien laitteiden välillä. Ethernet-verkkoa myös hyödynnetään jonkin verran yhdistäessä esimerkiksi eri alakeskuksia valvomoon.

4.1 Väylien topologiat

Verkon laitteesta on kaapelin välityksellä yhteys jokaiseen muuhun verkon laitteeseen, jotta verkko toimisi tehokkaasti ja olisi taloudellinen, yhteys on oltava mahdollisimman suora ja kaapelia tulisi käyttää mahdollisimman vähän. Mahdollisuuksia tähän on useita. Eri kaapelointitapoja nimitetään verkkotopologiaksi. Topologia ei ota kantaa, esim. saantitapaan tai käytettyyn kaapeliin. Kulloinkin valittava verkon muoto määräytyy sekä verkkoon liitettävien laitteiden ominaisuuksista että verkossa kulkevasta tiedosta. Teoriassa paras verkkotopologia on täysin kytketty verkko, jossa jokaisen laiteparin välillä on oma kaapeli. Tämän heikkoutena ovat kohtuuttomat kaapelointikustannukset, joten se on täysin mahdoton. [Piikkilä & Sahlsten 2017a: 55.] Kuva 8 havainnollistaa verkkotopologioita, joista yleisimpiä ovat väylä, rengas ja tähti.



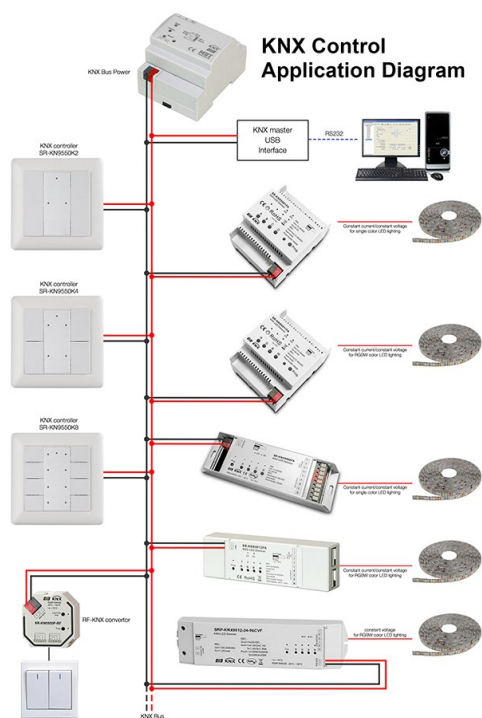
Kuva 8. Verkkotopologioita [Locus assignments].

4.2 Väyläprotokollista tarkemmin

4.2.1 KNX

Monet tavallisesti erikseen toimivat toiminnot voidaan yhdistää KNX-järjestelmään, oli sitten kyseessä optimaalinen huonelämpötila, tilaan sopiva valaistus tai automaattisesti sään ja vuorokaudenajan mukaan säätävät kaihtimet. Ohjauksia voidaan toteuttaa manuaalisesti sekä automaattisesti esimerkiksi läsnäolo- ja liikkeentunnistimien avulla, ajastuksilla, säätietojen perusteella ja aurin-gonnousun ja -laskun mukaan. KNX on ohjelmoitava väyläpohjainen järjestelmä, jonka suunnitteluun ja asennukseen tarvitaan aina sähköalan ammattilainen. KNX-laitteet, jotka ohjaavat toimintoja kytketään parikaapeliväylään, joka on jo sähköistysvaiheessa rakennukseen kaapeloitu. Ohjelman toiminnot määritellään käyttöönotto vaiheessa ohjelmoimalla. [ABB.]

KNX-järjestelmä on monipuolinen ja soveltuu sekä pieniin että suuriin projekteihin. On kuitenkin tärkeää ottaa huomioon projektin koko, sillä liitettävien laitteiden määrä riippuu hankitun lisenssin rajoituksista. Kukaan lisenssi sallii järjestelmässä hallittavien laitteiden enimmäismäärän.



Kuva 9. KNX-ohjauksen sovelluskaavio [Sunricher 2019].

4.2.2 LonWorks®

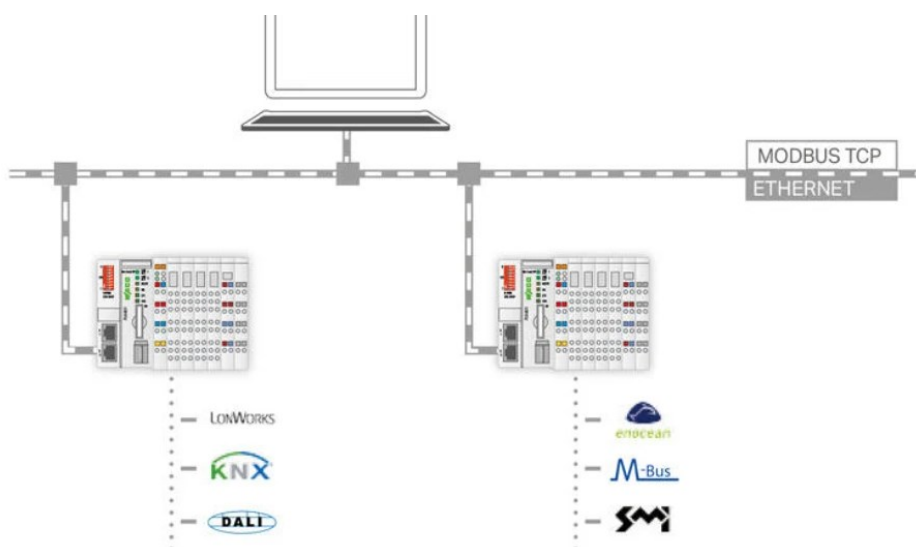
LonWorks® on Echelon-yhtiön käyttöönottama avoin verkkoprotokolla. Tällä protokollalla on useita verkkokokoonpanoja, joita käytetään eri teollisuuden aloilla ja sovelluksissa. LonWorks FTT-10A -konfiguraatiota käytetään pääasiassa rakennusten viestintäjärjestelmissä. [ABB 2022.]

LonWorks® on vertaisverkko, mikä tarkoittaa, että verkossa ei ole yhtä pääkäyttäjää. Valvontalaitteet voivat kommunikoida suoraan toistensa kanssa, jolloin vältetään ongelmat, joita voi esiintyä, jos yksittäinen pääkäyttäjä vikaantuu. Modbusin kaltaisissa protokollissa on hyvin rajallinen määrä tietotyyppiä, useimmiten vain 16-bittisiä kokonaislukuja, jotka ovat merkattuja tai merkitsemättömiä. LonWorks® sen sijaan on yli 170 eri tietotyyppiä. Arvoja ei ole määriteltä ainoastaan merkityksi tai merkitsemättömäksi, 8- tai 16-bittiseksi, liukuluvuksi jne., vaan myös sen mukaan, sisältääkö muuttuja lämpötilaeroja, painetta tai kosteuseroja. [CSIMN: 1.]

4.2.3 Modbus

MODBUS-protokolla on tiedonsiirtoprotokolla, joka perustuu isäntä/alainen- tai asiakas/palvelin-malliin. Protokollan ensisijainen tarkoitus on helpottaa luotettavaa, nopeaa tiedonsiirtoa automaatio- ja kenttälaitteiden välillä. MODBUS mahdollistaa palvelin-laitteen, esim. tietokoneen ja usean asiakas-laitteen (esim. mittaus- ja ohjausjärjestelmät) liittämisen. Versioita on kaksi: yksi sarjaliitännälle (RS-232 ja RS-485) ja toinen Ethernetille. Datansiirron käyttötilat voidaan vielä erotella:

- MODBUS TCP/IP: ETHERNET TCP/IP -tiedonsiirto perustuen client/server -malliin
- MODBUS RTU: Asynkroninen, sarjamuotoinen tiedonsiirto RS-232:n tai RS-485:n kautta
- MODBUS ASCII: Samanlainen kuin RTU-protokolla, paitsi eri dataformaattissa. [Wago: 1.]



Kuva 10. MODBUS TCP/IP [Wago].

4.2.4 BACnet

BACnet on maailmanlaajuinen tiedonsiirtoprotokollastandardi rakennusautomaatio- ja ohjausverkoille. BACnetin on kehittänyt ja sitä ylläpitää ja kehittää jatkuvasti BACnet-komitea, joka on Amerikan yhdistys lämmitys-, jäähdytys- ja ilmanvaihto insinööreille (ASHRAE). BACnet on ISO-standardi (EN ISO 16484-5), eurooppalainen standardi ja kansallinen standardi monessa maassa. BACnet tarjoaa valmistajariippumattoman verkkoratkaisun, joka mahdollistaa laitteiden ja ohjauslaitteiden yhteen toimivuuden monenlaisissa RAU-sovelluksissa. Se sisältää erityistä tukea RAU-sovelluksille, kuten lämmitys-, ilmanvaihto-, ilmastointi-, valaistus-, kulunvalvonta-, hissi-, turva- ja paloilmoitinjärjestelmille. [BACnet.org :1.]

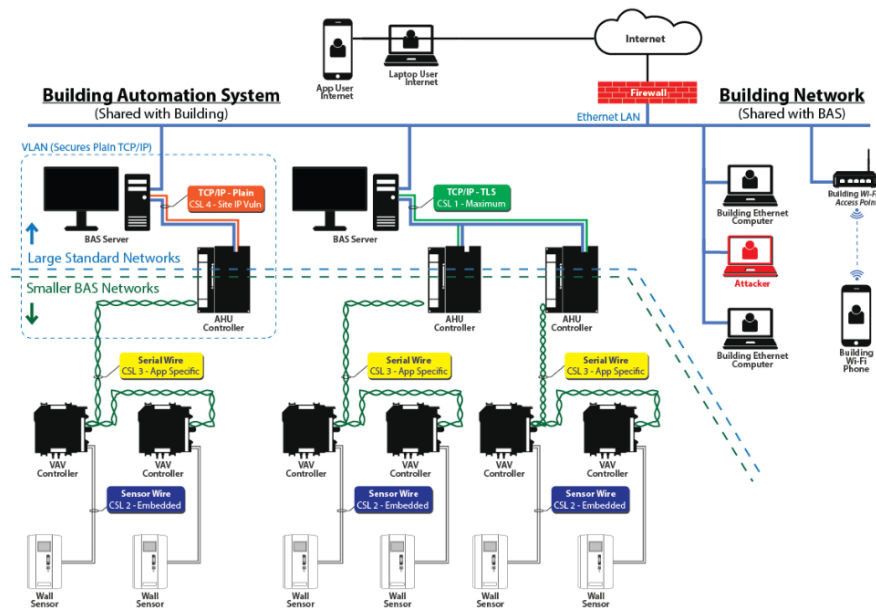
4.3 RAU:n tietoturva

Tietoturvan merkitys nykyisin kasvaa suuresti, enemmän laitteita ja järjestelmiä yhdistetään verkkoon etäyhteyksien sekä suurien datamäärien siirrossa. Tämä kehitys ja tarve turvallisille järjestelmille nähdään myös RAU:n puolella esimerkiksi palo- tai IV-koneiden toiminnallisuuden turvallisuudella. Nykypäivän digitaaliaikana RAU-järjestelmistä on tullut olennainen osa nykyaikaista infrastruktuuria. Kun teknologia on yhä enemmän integroitunut fyysiseen ympäristöön, RAU-järjestelmien kyberturvallisuuden merkitystä ei voi korostaa liikaa. [Dragos inc. 2023a: 1.]

4.3.1 Haavoittuvuudet RAU:ssa

RAU-järjestelmien kyberturvallisuus haavoittuvuudet voivat altistaa ne luvattomalle käytölle, tietomurroille ja jopa sabotaasille. Koska nämä järjestelmät

ohjaavat kriittisiä toimintoja kiinteistöjen toiminnalle, kuten lämmitystä, ilmanvaihtoa ja valaistusta, haavoittuvuudet voivat johtaa vakaviin häiriöihin.



Kuva 11. RAU-tietoturvatopologia [Donlon 2022].

Tyypillisiä tällaisia riskejä ovat mm. sähkökatkojen aiheuttamat lyhytaikaiset toimintahäiriöt ja käyttökeskeytykset, esimerkiksi hätäkuulutusjärjestelmän lyhytaikaisen toimintakato ennen varavoimageneraattorin käynnistymistä [Piikkilä & Sahlsten 2017b: 116–117]. Alla on kuvailtu joitakin yleisiä haavoittuvuuksia.

- Vanhat järjestelmät: Monissa rakennuksissa käytetään edelleen vanhentunutta RAU-teknologiaa, josta puuttuvat vankat tietoturvaominaisuudet, mikä tekee niistä alttiita tietoturvahyökkäyksille.
- Yhteen kytkettävyys: RAU-järjestelmien keskinäinen kytkeytyneisyys tarkoittaa, että yhden komponentin rikkoutuminen voi vaarantaa muutkin komponentit.
- Etäkäyttö: Vaikka etävalvonta- ja -ohjausominaisuudet ovat käteviä, ne avaavat ovia kyberuhille, jos niitä ei suojata asianmukaisesti.

- Kolmannen osapuolen integrointi: Integrointi kolmannen osapuolen sovelluksiin ja palveluihin voi aiheuttaa lisää tietoturvariskejä.
- Inhimilliset virheet: Työntekijät ja alihankkijat voivat tahattomasti aiheuttaa haavoittuvuuksia väärillä asetuksilla tai vaarallisilla käytännöillä [Dragos inc. 2023b: 1].

4.3.2 Haavoittuvuuksien ehkäisy RAU:ssa

RAU-järjestelmien haavoittuvuuksien ehkäiseminen on ratkaisevan tärkeää nykypäivän infran suojaamiseksi mahdollisilta verkkohyökkäyksiltä. Koska automatiojärjestelmät ovat yhä useammin yhteydessä toisiinsa ja niihin pääsee kärsiksi internetin kautta, vahvojen turvatoimien toteuttaminen on välttämätöntä. Alla on listattu muutamia verkkohyökkäyksien estäviä toimenpiteitä.

- Asenna palomuri tai palomuurin sisältävä reititin tai kytkin laitteen ja internetin väliin: Palomuurissa hyväksytään yhteydenotot tiettyyn porttiin vain tietystä hyväksytystä IP-osoitteesta ja edelleenohjataan kyseiseen porttiin tulevat hyväksytyt paketit halutulle RAU-laitteelle.
- Asenna VPN-yhteyden sisältävä palomuri/reititin laitteen ja internetin väliin: Palomuurin takana oleviin laitteisiin saa yhteyden vain ottamalla ensin VPN-yhteyden palomuriin/reitittimeen.
- Poista käytöstä turvattomat palvelut, esimerkiksi telnet, jos mahdollista.
- Skannaa säännöllisesti omaa verkkoa niin julkisesta internetistä kuin sisäverkostakin. Huomioi kuitenkin, ympäristön käytönaikainen skannaaminen RAU-verkossa ei ole järkevää vaan on tehtävä suunnitelmallisesti esimerkiksi huoltokatkosten yhteydessä. Tällöin esimerkiksi laiteasetuksissa tehdyt virheet tulevat ylläpidon tietoon, toivottavasti ennen ulkopuolisia [Traficom 2019: 1].

5 Integrointi ja täytäntöönpano: projektiosuus

Tässä luvussa sukellaan projektin keskeisen RAU:n muutoksen ytimeen. Marraskuussa aloitettu ja toukokuuhun mennessä valmistuva projekti on osoitus nykyaikaisen automaation kehittyvistä mahdollisuuksista kunnostaa ja parantaa ikääntyneiden kiinteistöjen toimintaa. Projektin keskiössä on vaatimattoman kokoinen yritys, josta 7 hengen tiimillä on tarkoitus integroida ja toteuttaa vanhan rakennuksen kattava automaatiouudistus. Oma osuuteni keskittyi LJH:n ohjelman toteuttamiseen sekä VJK:n VAK:n yliheittoon kuin myös projektin muihin asennus- sekä hallinnointitehtäviin.

Projektin merkitystä ei voi liioitella, varsinkin kun otetaan huomioon yrityksen koko suhteessa saneerattavaan kohteeseen. Niagara N4 -ohjelmistoa hyödyntävien iSMA Controlli:n säätimien/moduulien käyttöönotto kuvastaa innovatiivista lähestymistapaa. Nämä ohjaimet on suunniteltu integroitumaan KNX-väylään nykyaikaisten viestintä- ja ohjausominaisuuksien saavuttamiseksi, ja LON-väylän avulla voidaan yhdistää kiinteistön olemassa oleva väyläjärjestelmä. Tämä strateginen integraatio varmistaa sujuvan siirtymisen vanhasta uuteen ja parantaa kiinteistön automaatioinfrastruktuuria vastaamaan nykyaikaisia standardeja myös kestäväen kehityksen muodossa.

Projektin perimmäisenä tavoitteena on osoittaa, miten automaatiokorjaukset voivat pidentää vanhojen kiinteistöjen elinkaarta ja parantaa niiden tehokkuutta. Korvaamalla vanhentuneen järjestelmän (Computech) Niagara N4:n ja KNX-järjestelmien tarjoamilla tekniikoilla asetamme kestäväen kehityksen ja toiminnallisen huippuosaamisen mittapuun. Tämä projekti ei ainoastaan korosta tiimimme teknistä osaamista ja innovatiivisuutta, vaan myös korostaa sopeutumiskyvyn ja tulevaisuuteen suuntautuvan ajattelun merkitystä RAU-alalla. Huolellisen suunnittelun, toteutuksen ja integroinnin avulla emme vain päivitä kiinteistön järjestelmiä, vaan määritämme uudelleen, mikä energiatehokkuus ja teknologinen edistyksellisyys nykypäivän rakennetussa ympäristössä tarkoittaa.

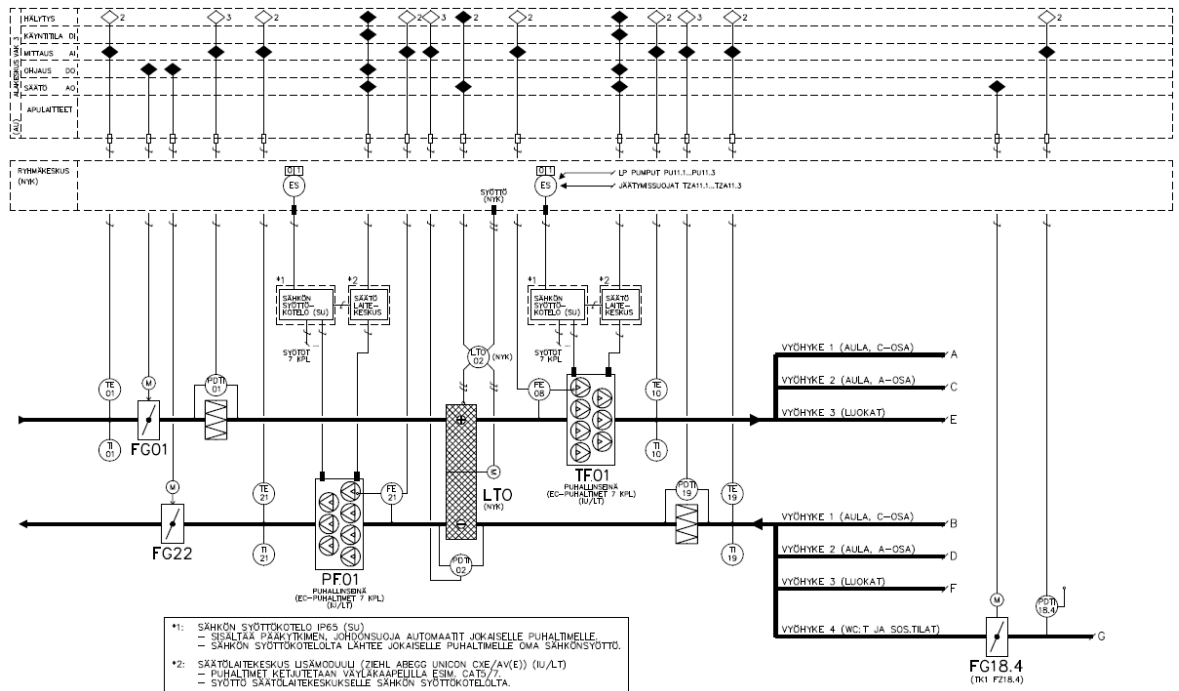
5.1 Kiinteistön prosessit

Tässä luvussa tarkastelemme ilmanvaihdon, lämmityksen ja jäähdytyksen RAU-järjestelmien keskeisiä komponentteja sekä prosesseja, jotka muodostavat selkärangan meneillään olevassa projektissa. Näiden prosessien yksityiskohtaisemman tarkastelun avulla pyritään antamaan tietoa itse prosesseista, mutta myös yleiskuva projektin laajuudesta kuin myös näiden prosessien yhteydestä rakennusautomaatioon.

5.1.1 Ilmanvaihto

Kiinteistön ilmanvaihdolla on tärkeä rooli RAU-järjestelmissä, sillä se ylläpitää sisäilman laatua, asukasviihtyvyyttä ja on energian säästön suhteen tehokas ratkaisu. Tehtävänä on varmistaa kiinteistön ilmanvaihtuvuus tuomalla raikasta ulkoilmaa, poistamalla käytetty sisäilma ja samalla säädellä kiinteistön lämpötilaa ja kosteutta. Toiminnallisesti tämä perustuu puhaltimiin IV-koneen sisällä, jotka tuovat ulkoilmaa sisään ja puhaltavat sisäilman ulos sekä LTO:n, jonka tarkoitus on ottaa lämpöenergiaa talteen poistoilmasta ja esilämmittää tällä tuleva raitisilma, jotta energiahäviöt saataisiin mahdollisimman alas, mutta näitä ei kuitenkaan tavata kaikissa IV-koneissa. Myös suodattimien esiintyvyys vaihtelee, mutta ovat yleisiä molemmissa kanavissa.

Projektin kiinteistössä saneerauksen kohteena oli kolme IV-konehuonetta, jotka palvelevat kiinteistön osia A, B, C ja D. Nämä on edelleen jaettu vyöhykkeisiin, jota havainnollistaa kuva 12.



Kuva 12. IV-koneen TK1-säätökaavio [Äyräväinen 2020a: 11].

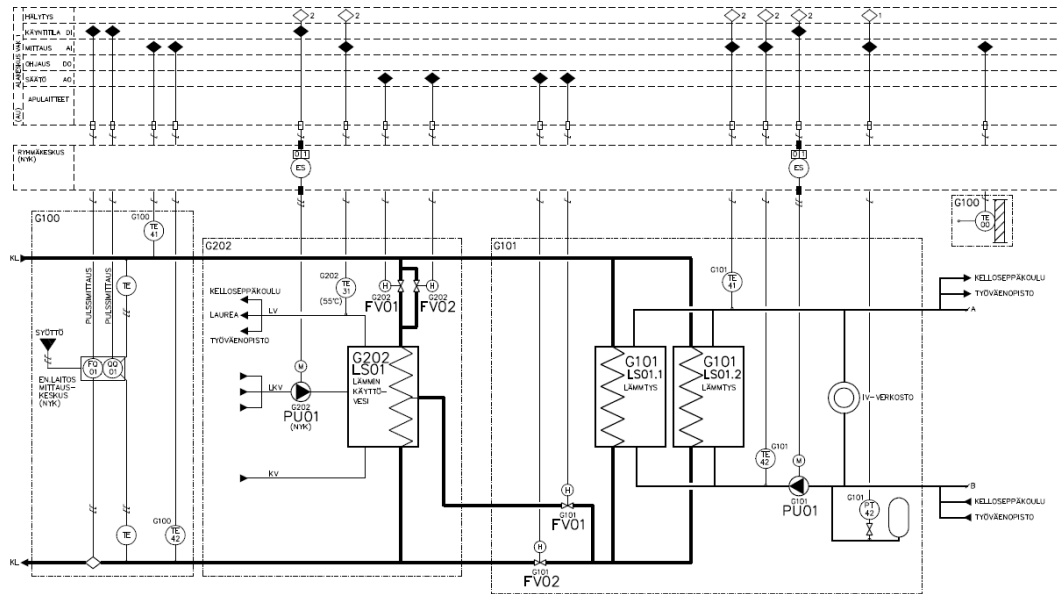
5.1.2 Lämmitys

Projektin kiinteistön lämmitys perustuu vesilämmitykseen, jossa lämmönlähteenä toimii kaukolämpö, jota tavataan usein isommissa kiinteistöissä. Lämmitysprosessi jakaantuu edelleen neljän lämmönsiirtimen (LS) kesken:

- lämminkäyttövesi, LS01
- patteriverkosto, LS01.1
- lattialämmitys, LS01.2
- iv-verkosto, LS01.2.

Lämmönsiirtimiltä kaukolämmöstä energia siirtyy johtumalla putken läpi toisioverkon vesikiertoon. Lämmityksen säätö tapahtuu menovedenlämpötila mitauksilla sekä lämmitysverkostoissa myös ulkolämpötilan avulla, jolla ohjataan venttiilien toimilaitteiden avautumista. Lämpötila pidetään asetusarvon mukaan

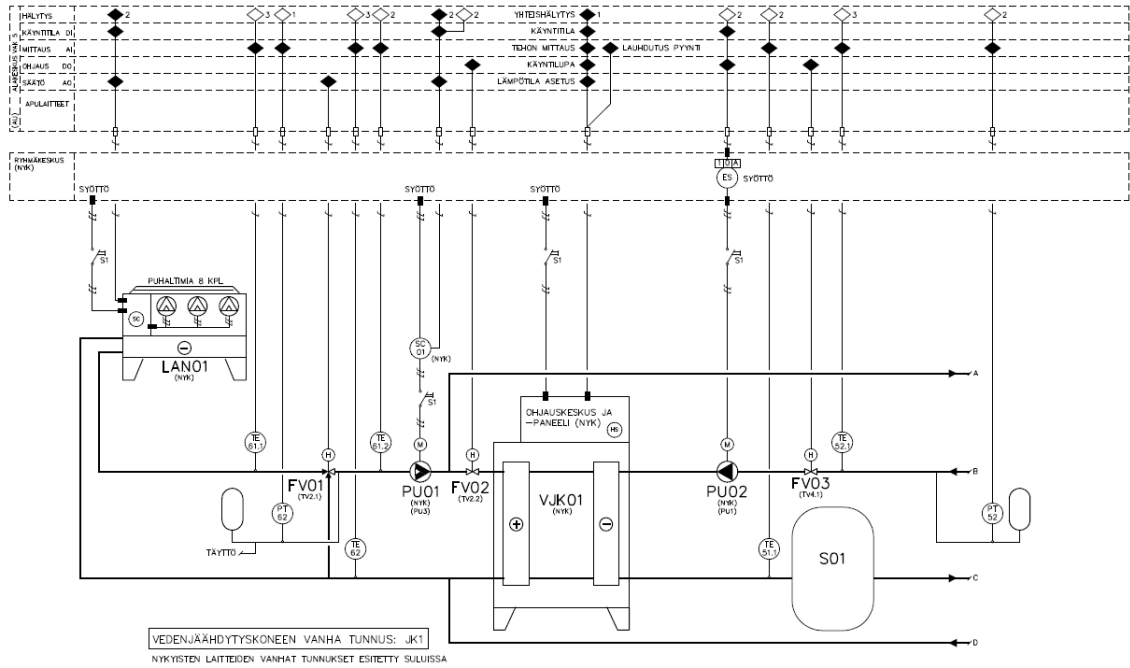
vakiona käyttövesipiiriissä n. 58 °C astetta, mutta muissa piireissä asetusarvo perustuu laskennalliseen asetusarvoon ulkolämpötilan perusteella.



Kuva 13. LJH:n säätökaavio [Äyräväinen 2020b: 8].

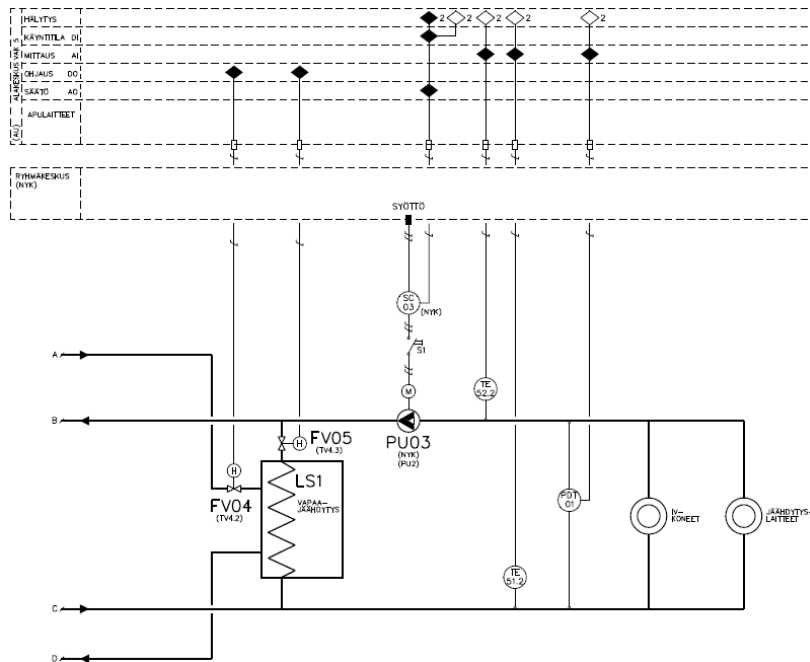
5.1.3 Jäähdytys

Vedenjäähdytysprosessin toiminta perustuu siihen, että veden höyrystymiseen vaaditaan suuri lämpömäärä ja vesihöyryn lauhtuminen takaisin lauhdutinnes- teeksi vaaditaan sama lämpömäärä kuin höyrystymiseen. Jäähdytysjärjestel- mässä vesi höyrystetään jäähdytyslaitteiden putkistoissa alentamalla veden pai- netta. Kompressorin tämän jälkeen nostaa painetta ja imee höyryn lauhduttimelle (LAN01), jossa se tiivistetään taas vedeksi. Jäähdytysjärjestelmällä on erilliset kesä- ja talvikäyttötilat, joita säätöpiiri ohjaa ohjelman mukaan.



Kuva 14. Jäähdytysjärjestelmän säätökaavio [Äyräväinen 2020c: 5].

Vapaa jäähdytyksessä jäähdytyksestä huolehtii ulos sijoitettu liuosjäähdytin, jossa kiertää vesi-glykoliliuos. Näin varmistetaan järjestelmän toimivuus kaikissa ulkolämpötiloissa [Calefa: 1].



Kuva 15. Vapaa jäähdytys [Äyräväinen 2020d: 5].

5.2 Projektissa käytetty automaatiolaitteisto sekä väylälaitteet

Projektiin kuuluu laaja valikoima kenttälaitteita, kuten lämpötilan, kosteuden, ilmanlaadun ja läsnäolon tunnistimet, lämmityksen, jäähdytyksen ja ilmanvaihdon toimilaitteet sekä liitännät valaistuksen ohjausta varten. Tässä luvussa käymme kuitenkin läpi vain väyläprotokollan takana olevia kenttälaitteita. Nämä laitteet on liitetty toisiinsa KNX-väylän ja osittain myös EC-puhaltimien sekä taajuusmuuttajien osalta Modbus-väylän avulla, joka on standardoitu avoin viestintäprotokolla, joka mahdollistaa saumattoman integroinnin ja keskitetyn ohjauksen. KNX-väylätekniikan käyttöönoton taustalla oli tämän joustavuus, luotettavuus ja laaja alan hyväksyntä, minkä vuoksi se oli ihanteellinen tämän suuruusluokan projektiin. Näin monipuolisen kenttälaitteiden yhdistäminen on ratkaisevan tärkeää rakennuksen automaatiojärjestelmän muuttamisessa nykyaikaan, joka pystyy optimoimaan energiankulutuksen, varmistamaan ympäristön viihtyisyyden ja mukautumaan asukkaiden dynaamisiin tarpeisiin.

Automaatiotason laitteisto

iSMA-B-MAC36NL-RS

Niagara Frameworkin käyttämä hybridi-IoT-ohjain on skaalautuva ratkaisu pienille ja keskisuurille rakennuksille kattavan valvontaan, prosessien visualisointiin ja energianhallintaan. Se on varustettu Linuxilla, 36-I/O:lla, 2 USB-portilla, HDMI:llä ja 2 RS485-viestintäportilla. Ohjaimen skaalautuvuus perustuu sen IP tai RS485 liittymään, millä voidaan yhdistää muita I/O-moduuleita helposti samaan aikaan tai tulevia projekteja varten. [iSMA Controlli 2024: 1.]

iSMA-B-MIX38

Monipuolisin I/O-moduuli, jossa on 38 tuloa ja lähtöä, joka tarjoaa kustannustehokkaimman hinta/pistesuhteen. Tehokas I/O-moduuli, joka toimii etä-I/O:na sarjaportin kautta avoimilla protokollilla: BACnet MS/TP ja Modbus RTU/ASCII. Avoin protokollastandardi tarjoaa monipuolisuuden asentaa moduulit sekä uusiin

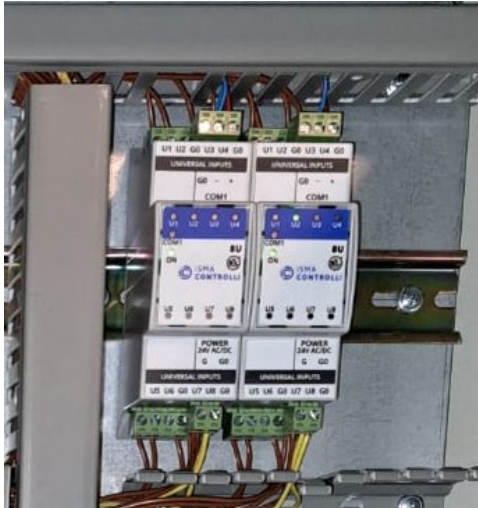
että olemassa oleviin tiloihin, olipa kyseessä sitten järjestelmän laajennus tai jälkiasennus. Suosituin tulo- ja lähtötyyppi on MIXED tilaa säästävässä rakenteessa, ja sen ansiosta moduuli on monipuolinen säätimen laajennus, olipa kyseessä sitten pieni tai suuri laitos. [iSMA Controlli 2024: 1.]



Kuva 16. MAC36NL-RS (vas.) ja MIX38 (oik.).

iSMA-B-8U

Tehokas I/O-moduuli, joka toimii etä-I/O:na sarjaportin kautta avoimilla protokollilla, BACnet MS/TP ja Modbus RTU/ASCII. Moduulissa on 8 yleistuloa, joissa on sisäänrakennettu lämpötilataulukko yli kahdellekymmenelle lämpötila-anturityypille sekä Celsius- että Fahrenheit-asteina. Kompaktin koon ja helpon asennuksen ansiosta moduuli voidaan asentaa myös rajoitetun tilan asennuksiin. [iSMA Controlli 2024: 1.]



Kuva 17. Kaksi iSMA-B-8U moduulia vierekkäin.

RailQUAD 8

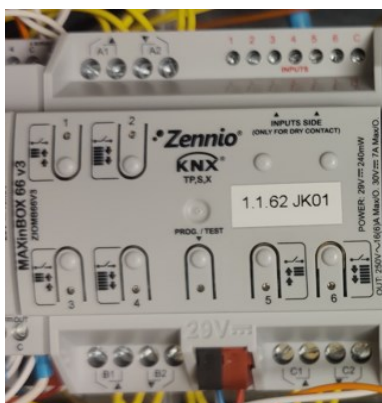
Analogiset/digitaaliset tulot voidaan konfiguroida antureiden ja potentiaalivapaiden painikkeiden binäärituloiksi tai liikeanturituloiksi [Zennio 2023a: 1]. Input moduuli toimii lisämoduulina jakokeskuksissa yhdessä muiden toimilaitteiden kanssa.



Kuva 18. Zennio 8 analog-digital input -moduuli.

MAXinBOX 66 v3

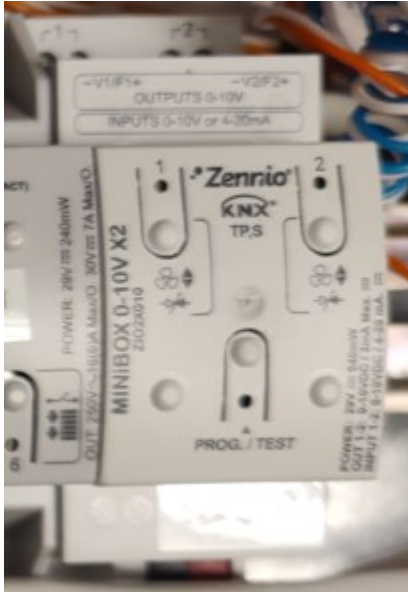
Monitoimianturi-toimilaite DIN-kiskoon, jossa 6 lähtöä, voidaan konfiguroida useiksi sulkukanaviksi tai yksittäisiksi lähdeiksi. Lähtöjä voidaan ohjata manuaalisesti kannessa olevien painikkeiden avulla. Se sisältää 10 itsenäistä loogista toimintoa. Lisäksi siinä on 6 analogidigitaalista tuloa, jotka voidaan konfiguroida antureiden ja potentiaalivapaiden painikkeiden binäärituloiksi. [Zennio 2023b: 1.]



Kuva 19. Zennion monitoiminen toimilaite MAXinBOX 66 v3.

MINIBOX 0-10 V X2

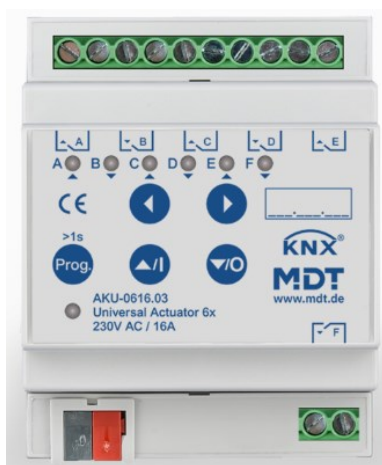
DIN-kiskoon asennettava toimilaite, jossa 2 kanavaa, voidaan konfiguroida 0–10 V:n lähdeiksi/tuloiksi tai 4–20 mA:n tuloiksi. Kukin kanava konfiguroidaan erikseen tai yhdessä ohjaamaan 2-putkista puhallinkonvektori, jossa sekä puhallinta että venttiiliä ohjataan 0–10 V:n signaaleilla. Sisältää 10 logiikkatoimintoa ja 2 termostaattia. [Zennio 2023c.]



Kuva 20. Zennion MINIBOX 0-10 V X2 -toimilaite.

MDT AKU -toimilaitteet

MDT:n universaalia toimilaitetta AKU 16 A:ta voidaan käyttää monin eri tavoin: kytkinlaitteena, jossa on erilaisia toimintoja, suljinlaitteena, jossa on automaattinen varjostustoiminto tai lämmityslaitteena [MDT 2023a]. Projektissa toimilaitetta käytettiin myös huoneiden valaistuksen ohjaukseen hyödyntämällä sen releitä samaan tapaan kuin patterin toimilaitteita.



Kuva 21. Monitoimiset toimilaitteet AKU-0616-03 [MDT 2023b].

ESYLUX

ESYLUX KNX BASIC on kattoon asennettava läsnäolotunnistin, joka on suunniteltu integroitavaksi saumattomasti KNX-rakennusautomaatiojärjestelmiin. Se on suunniteltu optimoimaan energiatehokkuutta ja parantamaan sisäympäristön käyttömukavuutta. Laite on varustettu 360 asteen havaintokulmalla ja pystyy kattamaan jopa 50 neliömetrin alueen. Ilmaisin toimii 29–31 V DC:n jännitealueella, 0,2 W, mikä korostaa sen energiatehokasta suunnittelua. [ESYLUX 2024.]



Kuva 22. ESYLUX-liikkeentunnistin [ESYLUX 2024].

Huonesäädin sekä lämpötilamittaukset

MDT:n huonesäädin palvelee laajaa lämpötila-aluetta -10 – 50 °C :n välillä ja tukee erilaisia ohjaustiloja, kuten PI-, kaksiasentoista ja PWM-ohjausta, tarkkaa lämpötilan säätöä varten, jota helpottavat +/- -painikkeet ja joka on yhteensopiva useiden tulotyyppien kanssa, jotta asetukset säilyvät myös väyläjännitekatkon aikana [MDT 2023c]. Projektissa käytettiin myös tuoteryhmän eri malleja, joissa osa huonesäätimistä ovat näytttömiä ja osa sisältää potentiometrin sen sijaan.



Kuva 23. MDT-näyttöinen huonesäädin [MDT 2023d].

Valaisinkytkimet

MDT:n valaisinkytkin voidaan ohjelmoida joko yhden tai kahden painikkeen toiminnolle. Näillä painikkeilla käyttäjät voivat suorittaa monenlaisia toimintoja, kuten kytkemisen, himmentämisen, sulkimien ohjaamisen ja arvojen säätämisen, jopa neljää arvoa. Lisäksi neljän logiikkalohkon sisällyttäminen laitteeseen laajentaa sen ohjelmoitavuutta ja integrointimahdollisuuksia entisestään, mikä tekee siitä hienostuneen ratkaisun nykyaikaisiin rakennusautomaatiotarpeisiin. [MDT 2023e.]



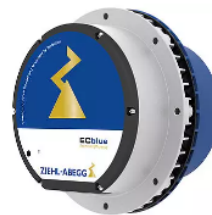
Kuva 24. MDT-valaisinkytkin [MDT 2023f.]

ECblue kammiopuhallin

EC-moottori on harjaton, tasavirtainen, ulkoisen roottorin tyyppinen moottori. Kommunikointielektronikassa vaihtojännite muutetaan tasajännitteeksi kommutaattorin avulla. Moottorin asento riippuu inverttimoduulin kautta syötettävästä jännitteestä. EC-kommutointielektronikka eroaa taajuusmuuttajasta siinä, että se päättää, miten staattorin vaiheisiin syötetään virtaa asennon, pyörimissuunnan ja oletusarvon mukaan. [Airtecnicos a.]

Product specification:

- Electronically commutated external rotor motor with integrated ECblue controller
- Meets requirements for efficiency class IE5 (IEC60034-30-2)
- Power range 0.10 to 6 kW
- Voltage ranges 1~200-277V 50/60Hz, 3~200-240V 50/60Hz and ~380-480V 50/60Hz
- Integrated motor protection, active temperature management
- Interference emission EN IEC 61000-6-3
- Interference immunity EN IEC 61000-6-2
- Degree of protection IP20, IP54, IP55
- Approvals: UL
- Integrated connectivity available
- Bluetooth optional



ECblue external rotor motor

Kuva 25. ECblue-puhaltimen tuotekuvaus [Airtecnicos b].

Euradrives EP66 -taajuusmuuttaja

Euradrives EP66 -taajuusmuuttaja on suunniteltu tarjoamaan monenlaisia ohjauksia niin teollisuudessa kuin kiinteistössä. Syöttöjännitevaihtoehdot kattavat 3-vaiheisen 380 V-460 V, 3-vaiheisen 220 V-240 V ja 1-vaiheisen 220 V~240 V, laajan käyttöjännitealueen sekä ohjaustaajuuden 650 Hz:iin asti. Lisäksi sen monipuoliset ohjaus- ja syöttöliitännät tekevät sen integraatiosta vaivatonta sen RS485-kommunikaatioportilla yhteensopivaksi Modbus RTU:lle.



Kuva 26. Euradrives EP66 -taajuusmuuttaja [Euradrives 2018].

5.3 Projektin väylätoteutus

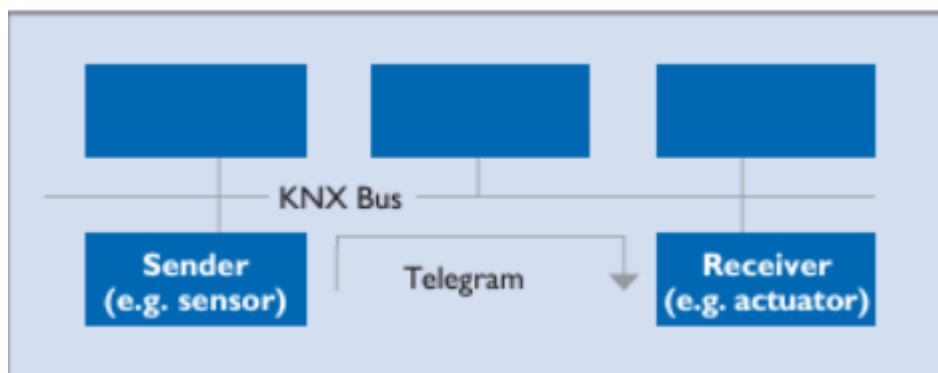
Tässä luvussa perehdytään KNX-väylän ja Modbus RTU -protokollien käyttöön-ottoon kiinteistön RAU-saneerauksessa. Projektin pääpaino oli kiinteistön automaatiojärjestelmän nykyaikaistaminen ottamalla käyttöön jo olemassa oleva LON-väylästandardi kentällä olevan valaistuksen, lämmityksen, ilmanvaihdon ja tilatiedon parempaa hallintaa varten.

5.3.1 KNX-väylän toteutus

Tässä projektissa huomionarvoinen seikka oli olemassa olevan LON-väyläinfrastruktuurin hyödyntäminen, joka oli alun perin toteutettu rengastopologiaan. Koska tämä oli tiedossa, kyettiin tätä hyödyntämään KNX-väyläverkon pystyttämiseen, joka mahdollisti resurssien optimoinnin niin, että välttyttiin turhilta kaapeloinneilta, mikä säästi työajassa sekä materiaalisissa kustannuksissa.

Siirtyminen KNX-väylässä linjatopologiaan edustaa strategista muutosta, jolla pyritään parantamaan järjestelmän luotettavuutta ja yksinkertaistamaan verkkoarkkitehtuuria. Toisin kun LON-väylän rengastopologiassa, joka voi yksittäisten vikaantumispisteen sattuessa johtaa vyöryviin vikoihin. Tällä tarkoitetaan sitä,

että mikäli rengasmallissa yksi laite putoaa väylältä jonkin virheen takia voi tämä johtaa pahimmassa tapauksessa koko väylän kaatumiseen, jossa seuraukset voivat olla mittavat. Linjatopologiassa pyritään varmistamaan, että jokainen laite on yhteydessä keskitettyyn tiedonsiirtolinjaan, mikä vähentää tällaisia riskejä.



Kuva 27. Linjatopologian havainnekuva [KNX basics].

Tämä topologia yksinkertaistaa verkon suunnittelua, asennusta ja ylläpitoa ja parantaa järjestelmän kestävyyttä. KNX-väylän jatkuvan toiminnan varmistamiseksi kiinteistön eri kerroksissa on toteutettu 29 V väyläjännitteen jatkuvuus kahdella eri virtalähteellä kerroksen kahdessa ryhmäkeskuksessa. Näin varmistetaan, että jännite riittää tukemaan kaikkia liitettyjä laitteita ja ohjaimia. Muutamaa tilaa lukuun ottamatta, joissa lämmityksen tai valaistuksen ohjausta ei vaadittu jokaisessa huoneessa ja tilassa on kattava ohjausjärjestelmä, joka koostuu huonelämpötila säätimestä, valaistus/lämpötilamittauskytkimestä ja liiketunnistimesta. Nämä komponentit on integroitu MDT-huoneohjausyksikköön, joka toimii huoneiden ja tilojen ohjaimena. Valitut laitteet, kuten pattereiden toimilaitteiden, liiketunnistimien ja kytkimet valittiin niiden yhteensopivuuden KNX-protokollan kanssa ja toimintavarmuuden vuoksi.

5.3.2 Modbus RTU -väylätoteutus

Modbus RTU -protokollan täydentää KNX-pohjaista järjestelmää erityisesti rakennuksen IV-järjestelmän ohjauksessa. Kukin IV-kone on varustettu 4–7

ECblue-puhaltimella, jotka on valittu energiatehokkuuden ja tarkkojen säätöominaisuuksien perusteella. Merkittävä osa tätä integraatiota on tarpeettoman kaapeloinnin välttäminen kanavoimalla kaikki puhaltimet yhden väylän kauttalinjatopologiassa VAK:n ohjaimelle sekä Modbus RTU:n luotettavuus. Tässä, kuten aikaisemmin välttyttiin myös turhalta kaapeloinnilta, sillä kaikki puhaltimet tuotiin yhden väylän kautta linjatopologian mukaan VAK:n ohjaimelle. Puhaltimet sisältävät myös Bluetooth-ominaisuuden, mikä mahdollistaa puhaltimien etäohjauksen ja säädön myös mobiililaitteella. Tämä ominaisuus on korvaamaton huoltohenkilöstölle, sillä se mahdollistaa ilmanvaihdon optimoinnin reaaliaikaisten olosuhteiden perusteella ilman fyysistä pääsyä valvomoon.

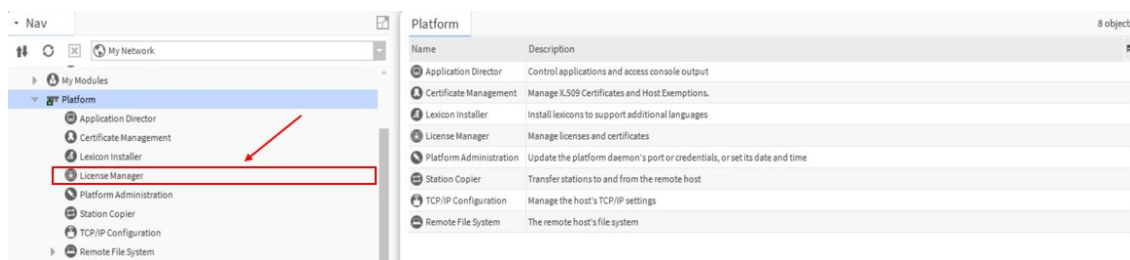
Lisäksi Euradrives EP66 -taajuusmuuttaja saadaan suoraan Modbus RTU -protokollan avulla integroitua RAU-järjestelmään. Tällä saavutetaan merkittäviä etuja perinteisiin menetelmiin, jotka käyttävät I/O-moduuleja viestinnän välittämiseen. Tämä suora yhteys mahdollistaa ohjauksen nopeuden ja tehoasetusten säädön ilman tarvetta viestien muuntamiseen, mikä vähentää viivettä ja yksinkertaistaa järjestelmän rakennetta. Tämä ei ainoastaan alenna kustannuksia vähentämällä tarvittavien laitteiden määrää, vaan myös parantaa järjestelmän luotettavuutta ja helpottaa huoltoa.

5.4 Projektin järjestelmä integroinnit

Luvussa tarkastellaan KNX-väyläprotokollaa käyttävien rakennusautomaatiolaitteiden integrointia KNX-tuettuihin MDT- ja Zennion monitoimiohjaimiin sekä Modbus RTU -laitteisiin Niagara N4 -ohjelmistolla iSMA:n MAC36NL-RS ohjaimen. Luvussa käsitellään myös, miten nämä integroinnit toteutetaan, ja korostetaan ohjelmavaatimuksia ja vaiheita, jotka liittyvät näiden laitteiden integroimiseen tehokkaaseen LVI-järjestelmään. Tämän perustan pohjalta tarkastelemme edelleen Danfoss Leanheat® -ohjelmiston integrointia Niagara N4 -ohjelmistoon, mikä helpottaa kehittyntä lämmityksen ohjausta ilman fyysistä liäsäädintä.

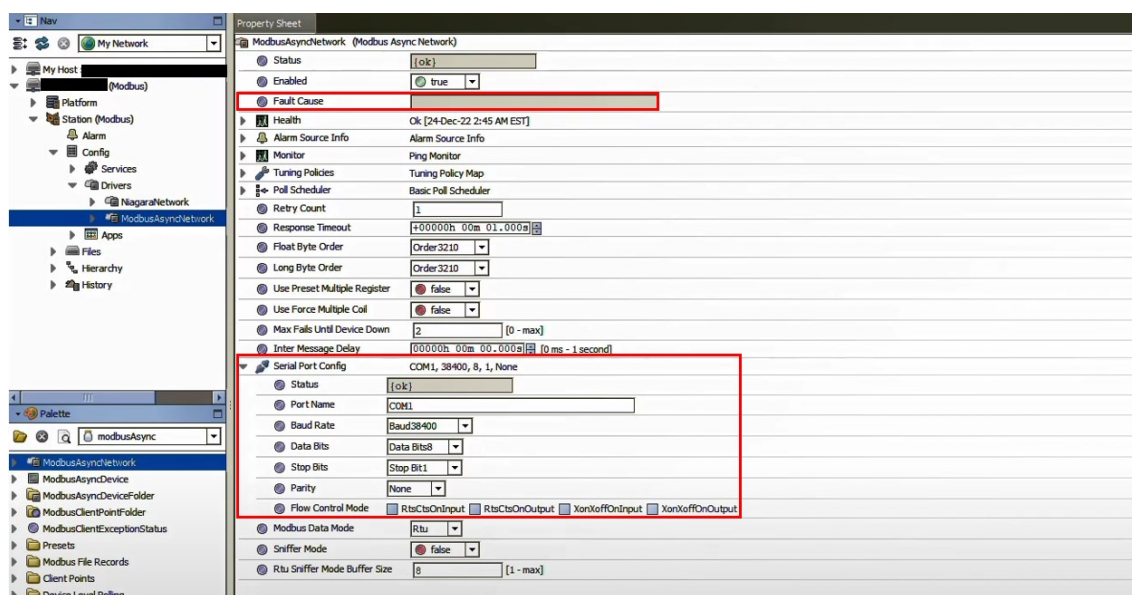
5.4.1 Modbus RTU-väylälaitteiden käyttöönotto Niagara N4:ssä

Jotta Modbus RTU:ta hyödyntävien laitteiden integrointi Niagara N4 -kehikseen voidaan aloittaa, tulee varmistua ensin, että JACE eli ohjain on asianmukaisesti lisensoitu. Niagara N4 -järjestelmän käyttö vaatii aina oikean lisenssin toimiakseen, joka tässä tapauksessa on Niagara N4 -järjestelmän oman lisenssipalvelun kautta ladattava Modbus Async -rt -tiedosto, jotta voidaan lisätä ohjain, joka tukee Modbus-protokollia.



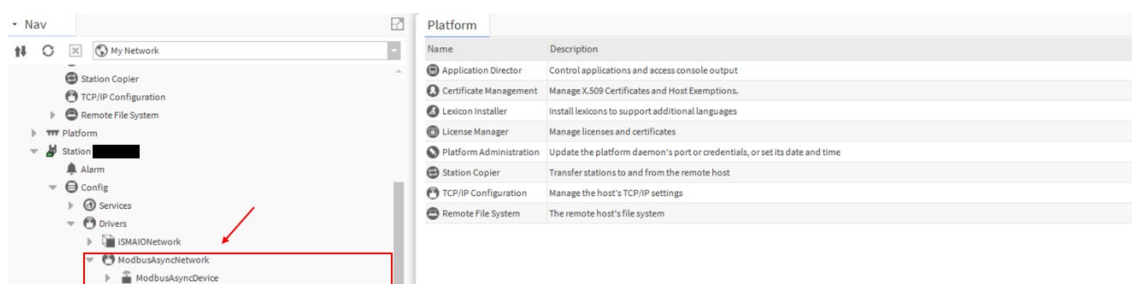
Kuva 28. License manager platform valikossa.

EC-puhaltimien ja taajuusmuuttajien lisääminen alkaa lisenssin aktivoimisen jälkeen lisäämällä verkko, joka tukee Modbus RTU -laitteiden viestintää eli ModbusAsyncNetwork. Verkon lisääminen edellyttää sen nimeämistä ja konfigurointia asianmukaisesti, jotta se kuvastaa sen roolia järjestelmässä. On hyvä huomata, että kukin lisätty verkko on konfiguroitu sen käyttämään fyysistä porttia vasten ja varmistaa, että sarjaporttiparametrit ja lähetystapa asetetaan vastaamaan verkon laitteiden viestintävaatimuksia.



Kuva 28. Modbus AsyncNetworkin näkymä.

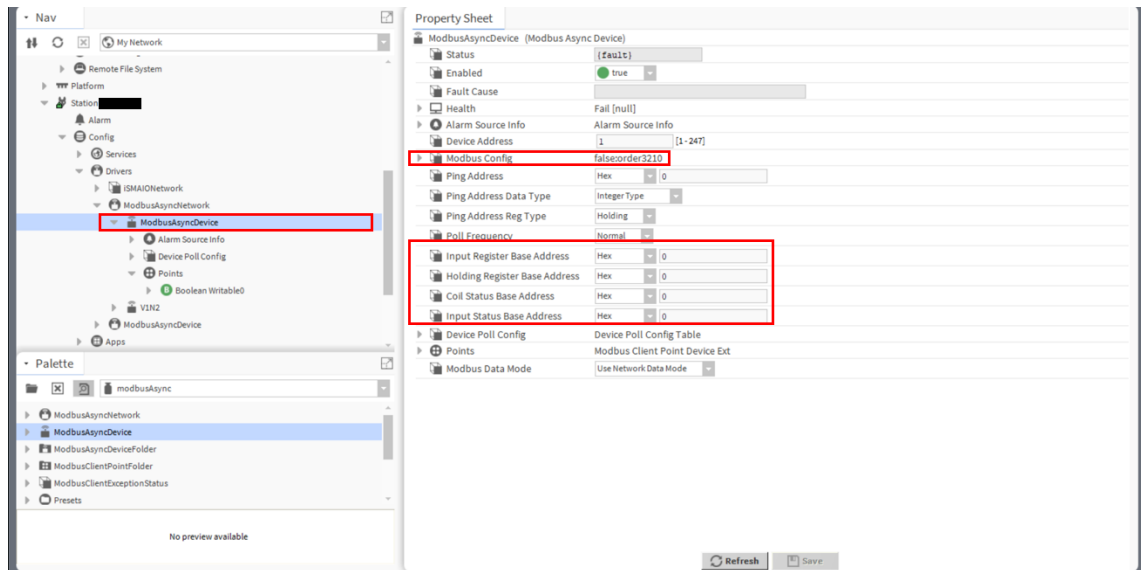
Verkon lisäämisen jälkeen sarjaporttiparametrien konfigurointi on seuraava vaihe. Valikko avautuu Serial Port Config -valikon alapuolelta. Tähän kuuluu portin nimeäminen vastaamaan käytössä olevaa JACE-porttia COM1 tai COM2, baudinopeuden, databittien, lopetusbittien ja pariteetin säätäminen sekä virtauksen ohjaustilan valitseminen. Lisäksi tärkeänä on muistaa asettaa Modbus Data Mode -tilan asettaminen joko RTU:ksi tai ASCII:ksi verkon tyypin mukaan.



Kuva 29. Modbus Async network ja Modbus Async Device lisättyinä.

Verkon konfiguroinnin jälkeen voidaan siirtyä Modbus Async Device lisäämiseen ja konfigurointiin. Tämä vaihe edellyttää kunkin laitteen Modbus -osoitteen tuntemista, joka sisältää kelat, tulot, tulorekisterit ja pitorekisterit. Nämä tiedot

kuitenkin saadaan yleensä laitteen toimittajalta tai mukana tulleessa manuaalissa.

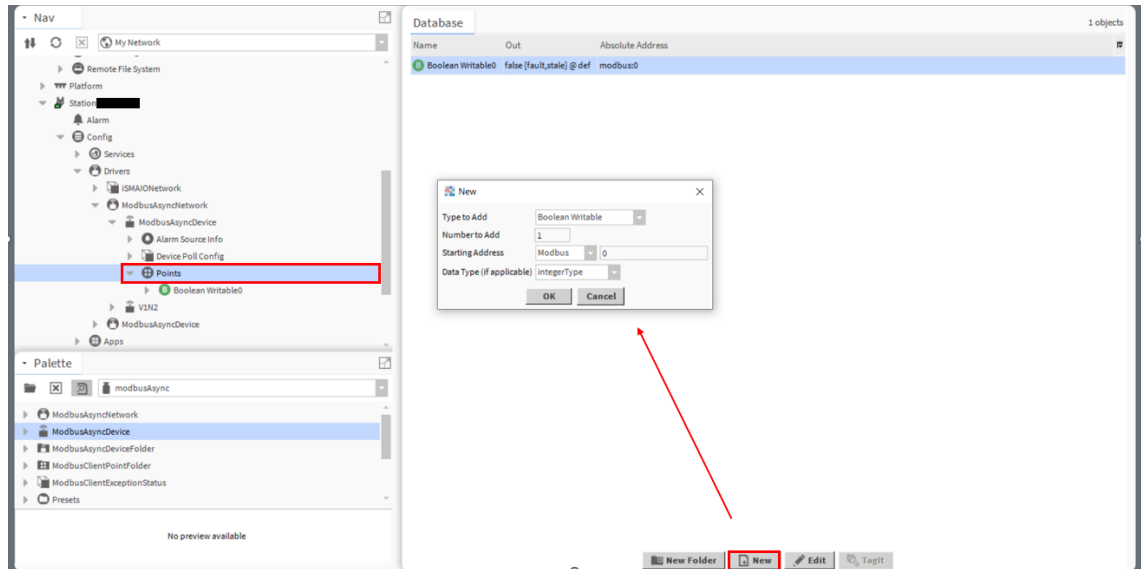


Kuva 30. Modbus RTU device -konfiguraatiovalikko.

Laitteen lisäyksen jälkeen voidaan lisätä pisteet, joita Modbus:illa halutaan lukea tai kirjoittaa väylältä. ModbusAsyncDevice näkymästä saadaan suoraan lisättyä pisteet painamalla "New", josta avautuu pisteen konfigurointi valikosta. Valikosta voidaan valita Modbus client -tyyppi, lukumäärä, aloitusosoite sekä datatyyppi. Projektissa puhaltimien lisäämisessä käytettiin datatyyppinä:

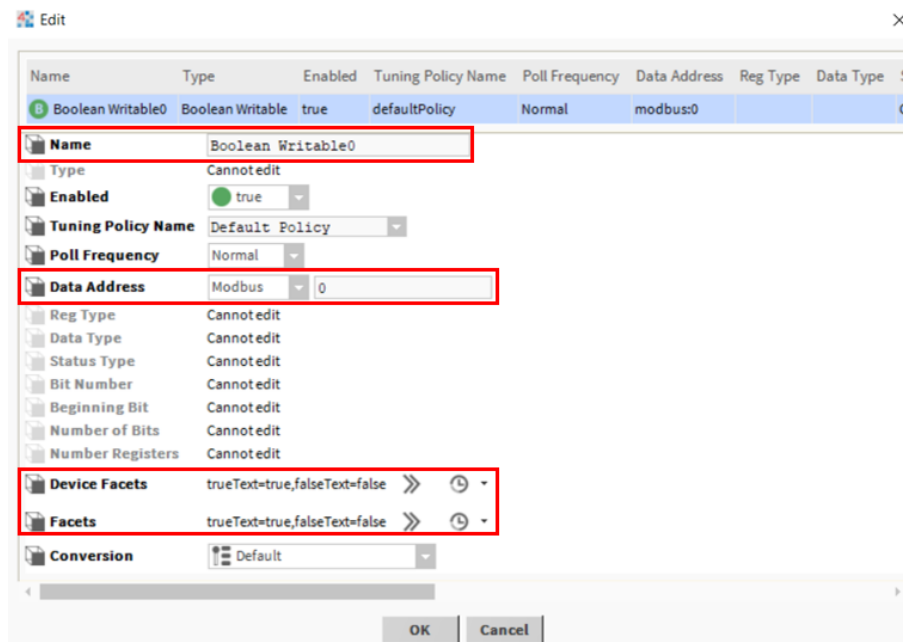
- Kelat: Yhden bitin muuttuja, joka vastaa asiakkaan (Client) digitaalista tilaa lähdössä eli päälle/pois. Isäntä voi joko lukea tai kirjoittaa tähän keilaan.
- Sisääntulot: Yhden bitin muuttuja, jotka edustavat asiakkaan digitaalista sisääntulon tilaa eli päälle/pois. Isäntä voi vain lukea sisääntuloja.
- Sisääntulorekisterit: 16-bittisiä rekistereitä, jotka keräävät dataa asiakaslaitteilta kentältä. Isäntä voi vain lukea näitä sisääntulorekistereitä.

- Omistusrekisterit: 16-bittisiä rekistereitä, jotka keräävät yleisessä käytössä olevaa dataa kentän asiakas laitteille. Isäntä voi kirjoittaa sekä lukea tätä rekisteriä.



Kuva 31. ModbusAsyncDevice valikon pisteiden lisäysnäkömä.

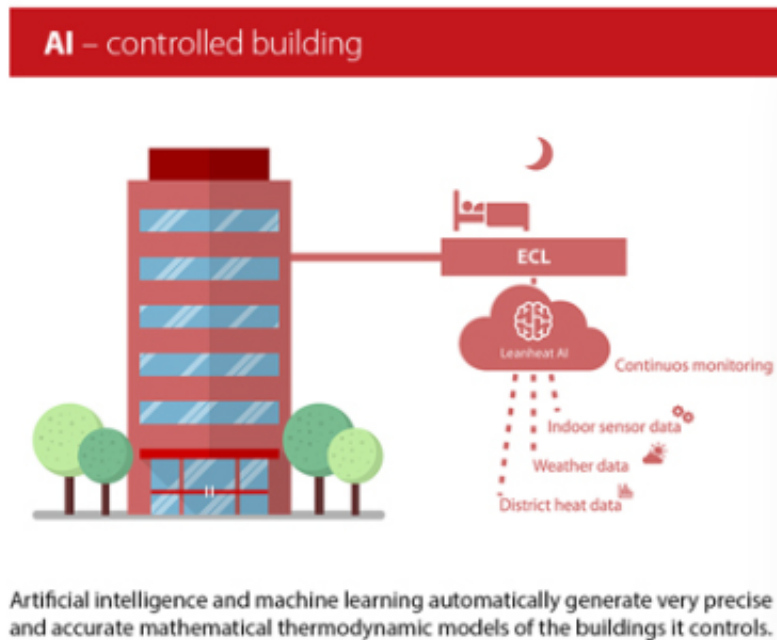
Pisteen Modbus-konfiguroinnin jälkeen viimeisenä kohtana tulee pisteen konfigurointi, johon lisätään pisteen nimi esimerkiksi pyörimisnopeus puhaltimen tapauksessa, dataosoite ja yksiköt. Onnistuneen lisäyksen jälkeen laitteen pisteet näkyvät listana Modbus Client Point Managerissa.



Kuva 32. Pistein konfigurointivalikko.

5.4.2 Leanheatin integrointi Niagara N4:ään

Danfoss Leanheat® -ohjelmiston integrointi Niagara N4 -järjestelmään on edistysaskel RAU:ssa, missä normaalin lämmönsäädön tukena toimii nykyään myös pilvipohjainen tekoälyteknologia. Tässä luvussa pyritään antamaan Leanheat®:a koskeva opas tämän käyttöönottoon Niagara N4 -ympäristössä, mikä yhdistää sen perinteiseen, säätökäyrään perustuvaan lämmönsäätöön. Opas keskittyy erityisesti Leanheat®-ohjelmiston ja Niagara N4 -järjestelmän integroinnin kuvaamiseen, ohjelmoinnin teknisiä yksityiskohtia sivuuttaen.



Kuva 33. Havainnekuva Leanheatin toiminnasta [Danfoss 2018b].

Leanheat®-ohjelmiston konfigurointi Niagara N4:ssä on rinnastettavissa Modbus RTU -väylän laitteiden kanssa suoritettuihin vaiheisiin, vrt. luku 5.4.1, jossa korostetaan Modbus Async -rt -lisenssin sekä Modbus Asynchronous -verkon ja -laitteen lisäämistä asemaan (station). Näitä kohtia ei käydä tässä läpi, koska toiminnalliset vaatimukset ovat samanlaiset Modbus RTU -väylälaitteiden kohdalla pois lukien Modbus-osoitteet.

Tässä vaiheessa luodaan projektiin uusi Modbus Async-laite aseman alle hallinnoimaan Leanheatin® toimintoja varten, mikä tehostaa sekä hallinta- että viestintäprosesseja. Modbus Async -laite konfiguroidaan haluttujen pisteiden mukaan tässä tapauksessa asiakkaan tarjoaman Modbus-rekisteri taulukon 1 mukaan. Tärkeä osa konfiguraatiota on datayhteyksien luominen, jolla varmistetaan, että Leanheat®-järjestelmä saa tarkat reaaliaikaiset tiedot kiinteistön antureilta, kuten menolämpötiloja ja kulutusta mittaavilta antureilta, mikä helpottaa reagoivaa ja tehokasta lämmityksen ohjausjärjestelmää.

Integrointiin kuuluu olennaisena osana varamekanismien (fallback) luominen tilanteita varten, joissa Leanheat® ei toimi, kuten verkkokatkos. Tämä edellyttää

Niagara N4:ssä sellaisten säätökäyrien määrittelyä ohjelmassa, joita lämmitys-ohjelma käyttää oletusarvoisesti, jos Leanheat® ei toimi. Lisäksi Niagara N4:ssä on kehitettävä logiikka, joka havaitsee Leanheatin® toimintatilan ja valvoo yhteyttä tietyin väliajoin varmistuakseen yhteyden tilasta sekä varmistaa automaattisesti paluun näihin ennalta määritettyihin säätökäyriin, kun Leanheat® ei ole toiminnassa.

Viimeisenä vaiheena integrointiprosessia on testaus ja validointi. Simuloimalla erilaisia käyttöskenaarioita, kuten sitä, että Leanheat® on sekä aktiivinen että inaktiivinen. Näin varmistutaan integroidun järjestelmän toiminnallisuudesta sekä onnistumisesta.

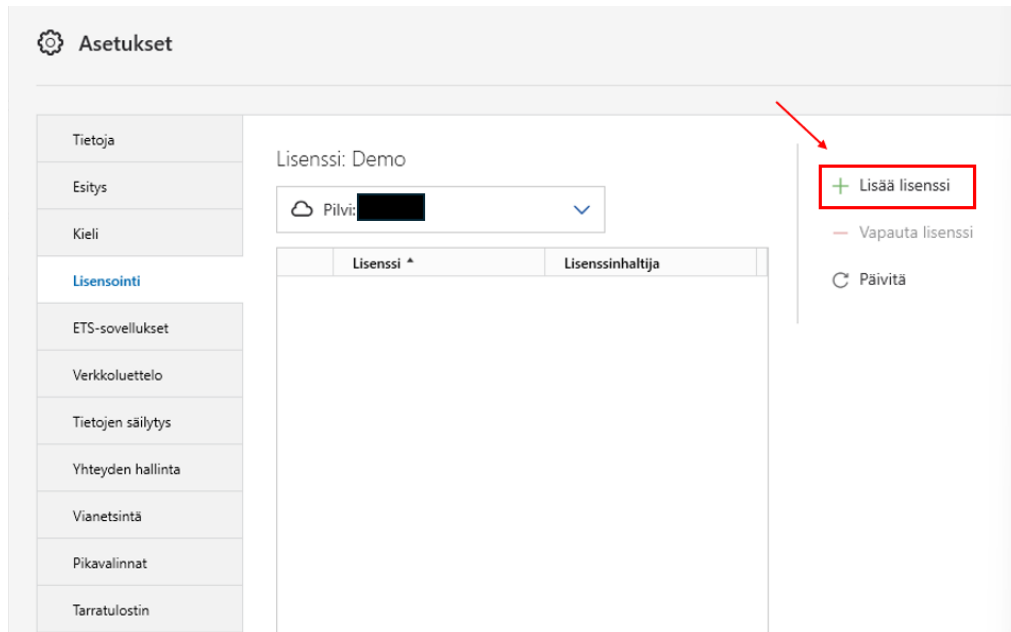
5.4.3 KNX-laitteiden käyttöönotto KNX ETS6 -järjestelmällä

Projektissa käytettiin huoneiden säätöön KNX-standardia, joka mahdollistaa kiinteistön ohjauksien sekä erilaisten automaatiojärjestelmien liitännöiden ja etäohjauksen integroinnin ja hallinnan. Ohjelmoinnin työkaluna käytettiin uusinta versiota ETS6, joka on uusin tarjolla oleva ohjelmistoversio. Ohjelmisto on suunniteltu KNX-pohjaisten laitteiden järjestelmien konfigurointiin, ohjelmointiin ja käyttöönottoon.

ETS6-työkaluohjelman lisensointiin KNX-yhdistys on luonut kolme erilaista lisenssiä eri tarkoituksia varten, jotka perustuvat projektin kokoon ja monimutkaisuuteen. Näihin kuuluvat:

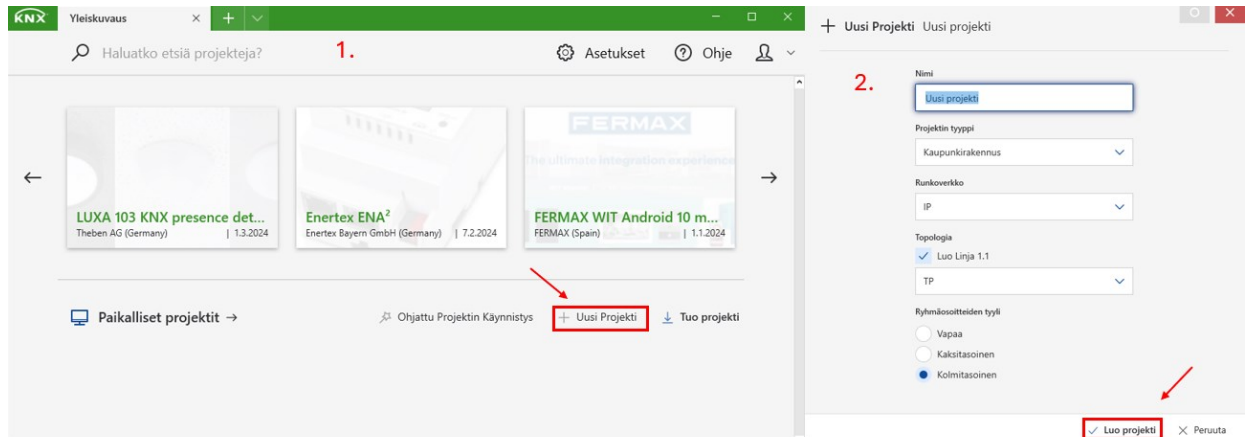
- ETS6 Professional: rajoittamaton määrä laitteita ja projekteja.
- ETS6 Home: rajattu 64 laitteeseen, joka tarkoitettu vain yhdelle projektille.
- ETS6 Lite: rajattu 20 laitteeseen, mutta rajoittamaton määrä projekteja [Kiewitz 2024b].

Projektin suuren kokoluokan seurauksena käytettiin ETS6-Professional lisenssiä, sillä yhdellä kiinteistön alueella nähdään KNX-laitteita jopa 200 kappaletta. Projektissa kiinteistöstä luodaan ETS6:n yksi projekti, jonka vaadittavien laitteiden määrä niin suuri, että muilla lisensseillä ei saavutettaisi vaadittavaa laitemäärää.



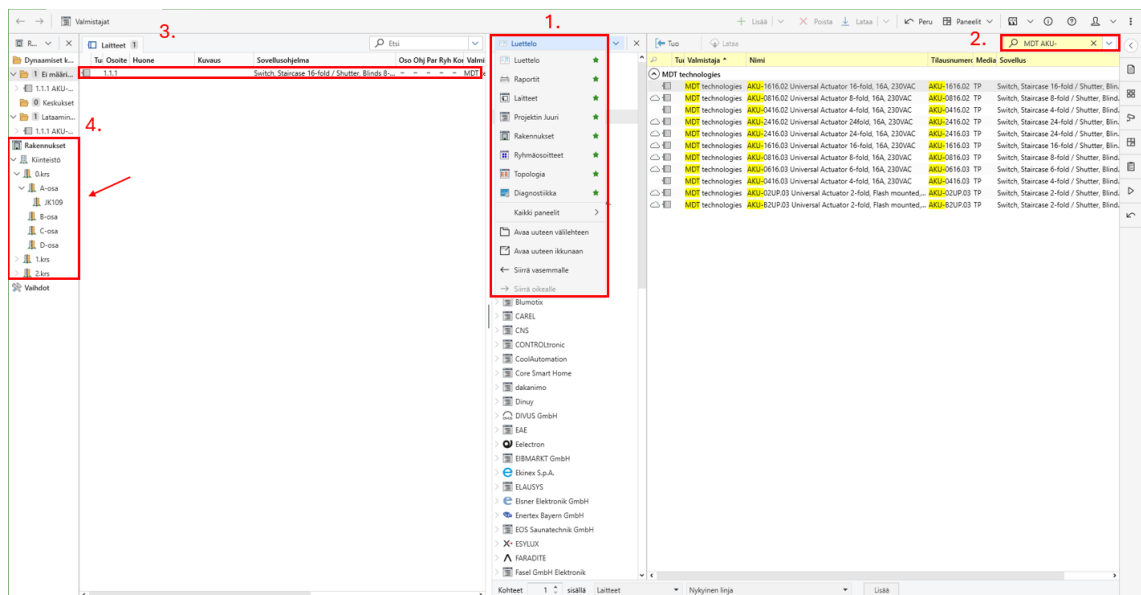
Kuva 34. Lisenssin lisäys ETS6-ohjelmassa.

Oikean lisenssi hankinnan jälkeen voidaan aloittaa uusi projekti ETS6:ssa ja määrittää projektin perustiedot. Tässä projektin luonti vaiheessa luodaan pohja tuleville laiteintegraatioille sekä määritetään projektin nimi ja mitä ryhmäosoitteita laitteet tulevat käyttämään.



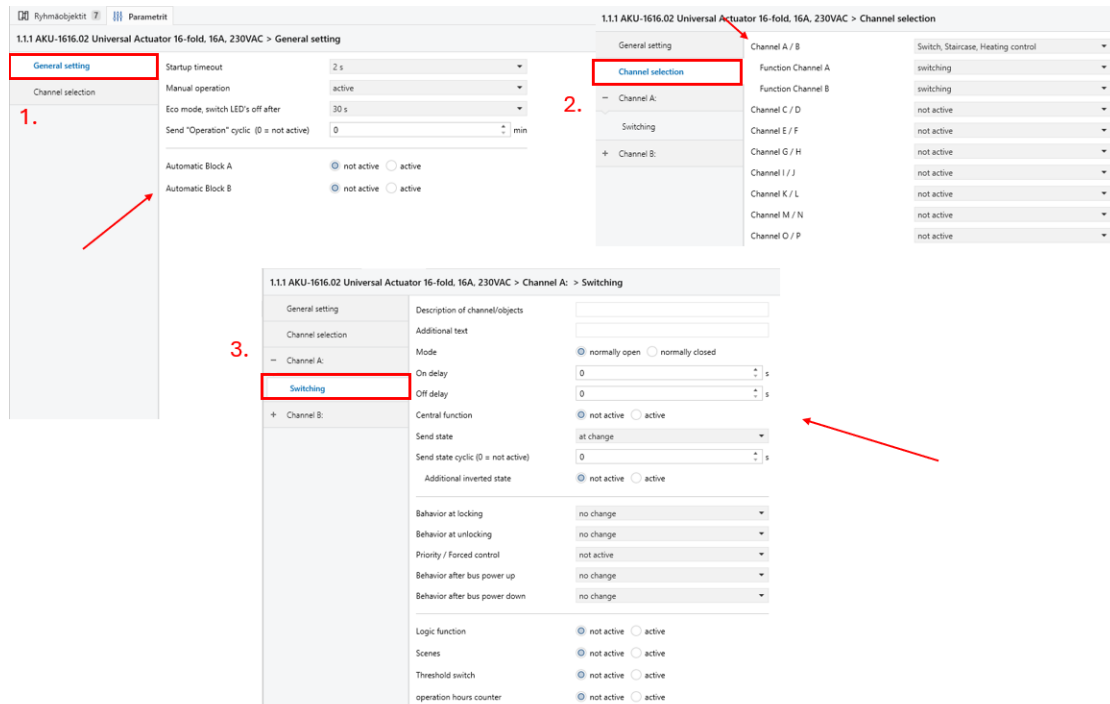
Kuva 35. Projektin luonti valikko ETS6:ssa.

Projektin lisäämisen sekä konfiguraation jälkeen voidaan aloittaa lisäämään KNX-laitteet ETS6-ohjelmaan luettelo valikon kautta. Tämä edellyttää käytettäviksi suunniteltujen laitteiden tuotetietokantojen tuontia, mikä voidaan toteuttaa ETS6-ohjelman verkkoluettelon kautta tai tuomalla laitevalmistajan toimittamat tuotetiedot. Projektissa käytetyt laitteet kuitenkin löytyivät valmiiksi verkkoluettelosta, joten manuaalista lisäystä ei vaadittu.



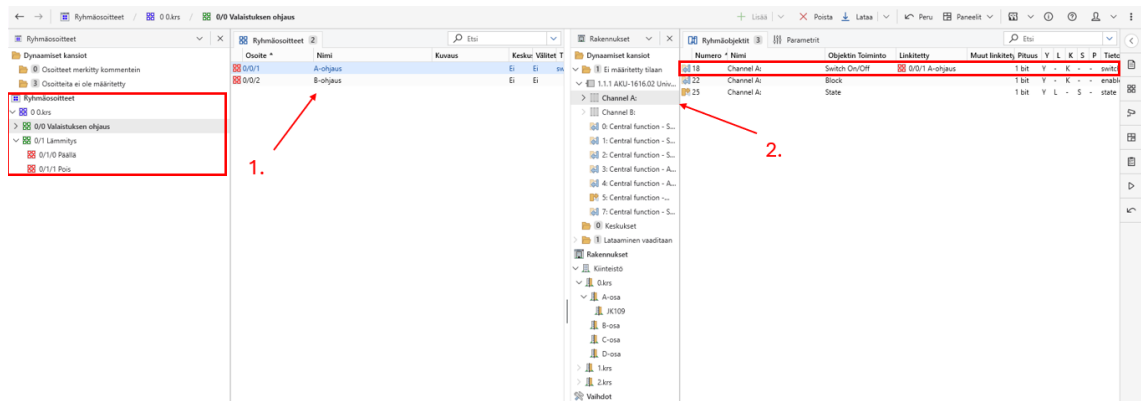
Kuva 36. KNX-laitteiden listausvalikko.

Laitteen lisäämisen jälkeen siirrytään kunkin laitteen parametrintiin, joka tapahtuu laitteen omalta sivulta klikkaamalla tätä listalta. Parametroinnilla tarkoitetaan tässä tapauksessa laitteen omien asetusten muuttamista niin, että laite vastaa projektin vaatimuksia ja toimintoja esimerkiksi kiinteistön valaistuksen ohjaus, lämmitys tai himmennys.



Kuva 37. KNX MDT AKU-16 -laitteiden parametrintinäkömä.

Ryhmiä osoitteiden luonti on keskeisessä osassa, mikä helpottaa toimilaitteiden välistä viestintää. Tämä RAU-integraation osa-alue korostaa, että osoitteistoon on sovellettava jäseneltyä lähestymistapaa, jolla varmistetaan tehokas tiedonsiirto koko järjestelmässä. Ryhmiä luonnin jälkeen ne voidaan helposti jakaa niiden varattuun kanavaan yksinkertaisella hiiren oikealla vetämällä ja pudottamalla, mikä parantaa tehokkuutta osoitteiden luomisessa etenkin suurien projektien kanssa työskennellessä.

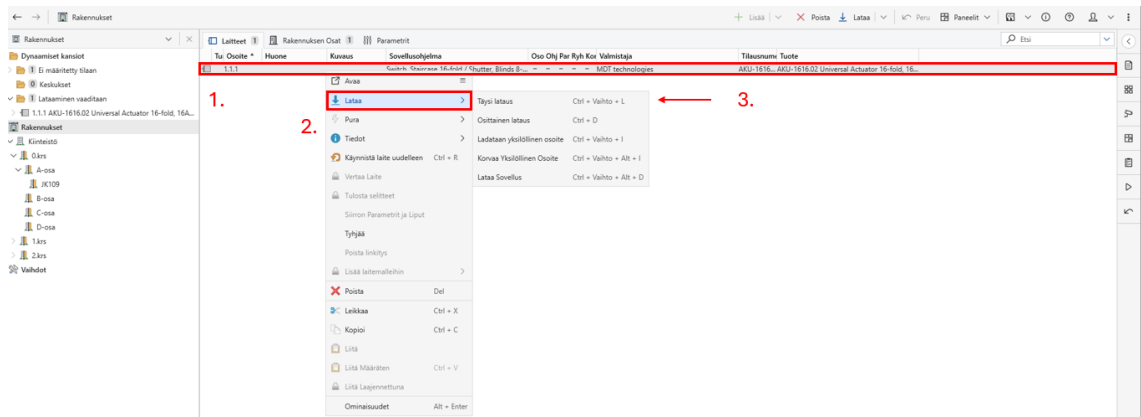


Kuva 38. Valaisinohjauksen ryhmien jakaminen niille valituille kanaville.

KNX:ssä laitteiden yksilölliset osoitteet ovat 16-bittisiä arvoja, jotka muodostuvat kolmesta osasta, joka on muotoa 0.0.0. Tässä ensimmäinen osa kuvaa aluetta, linjaa ja laitteen numeroa, joka kuvastaa fyysistä ja loogista sijaintia kiinteistössä. Projektissa kiinteistön eri laitteiden osoitteiden nimeäminen perustui kerroksien ja toimintojen mukaan, missä ensimmäinen osa kuvasi kerrosta, missä laite sijaitsee. Toinen osa kuvastaa funktionaalista toimintaa kuten valaistuksen ohjausta ja viimeinen osa laitteen toimintoa esimerkiksi A- tai B-ryhmän valonohjaus.

Ryhmien osoitteiden luominen tapahtuu ETS6-ohjelmassa projektinäkömän ”ryhmäosoitteet”-näköymästä, jossa voidaan määrittää uusia, muokata vanhoja ja järjestää osoitteita hierarkkiseen rakenteeseen selkeyden ja hallinnoinnin helpottamiseksi.

Projektin käyttöliittymän konfigurointi voidaan jakaa nykyiseen ja konfiguroituihin käyttöliittymiin. Nykyisellä käyttöliittymällä viitataan aktiiviseen väyläyhteyteen, joka projektissa perustui olemassa olevaan LON-väylään. Tämä mahdollistaa paikallisen yksilöllisen osoitteen asettamisen, mikä on ratkaisevan tärkeää laitteen tunnistamisen kannalta. Konfiguroidut käyttöliittymät kohdassa esitetään luettelo kaikista ETS6:ssa määritellyistä käyttöliittymistä riippumatta niiden tilasta (aktiivinen vai inaktiivinen). Tässä näköymässä käyttöliittymä tarjoaa uusien yhteyksien luomisen, olemassa olevien poistamisen tai näiden muokkaamisen.



Kuva 39. Ohjelman lataaminen KNX-laitteelle.

Kun kaikki laitteet sekä niiden vaatimat konfiguroinnit on suoritettu, voidaan testata yhteys ja ladata nämä väylän kautta ryhmäosoitteiden mukaan järjestelmän laitteille. Yhteyden testaaminen voidaan suorittaa ohjelmasta käsin diagnostiikka-paneelista, mutta vaatii kuitenkin yhteyden ETS6-järjestelmästä johonkin väylään kiinnitetyn laitteen kautta. Lisäksi vaaditaan KNX IP -rajapinta, jonka kautta ladattavat ohjelmat voidaan ladata järjestelmässä oleville laitteille. Tämä tapahtuu yhdistämällä PC:n USB:llä ja KNX-laitteen samaan rajapintaan ohjelman latausta varten. Ennen ohjelman lataamista tulisi laitteesta painaa siitä löytyvää "PROG"-nappia, jotta laite on valmis vastaanottamaan väylältä tulevan ohjelman. Tämä tulee tehdä jokaiselle laitteelle KNX-järjestelmässä.

6 Rakennusautomaatiojärjestelmien integroinnin haasteet ja ratkaisut

RAU-järjestelmien integroimisessa on tultu kehityksessä eteenpäin standardien sekä väyläprotokollien ansiosta, mikä tulee esille tässäkin projektissa monien eri valmistajien laitteiden sekä järjestelmien yhteensopivuudessa. RAU-järjestelmien toimiva integraation saavuttaminen on kuitenkin täynnä erilaisia teknisiä kuin myös käytännön haasteita. Nämä esteet voivat johtua RAU-järjestelmien moninaisuudesta, sillä kullakin järjestelmällä on omat protokollansa, standardinsa ja rajapintansa. Tässä luvussa pyritään osoittamaan valoa näihin haasteisiin sekä myös mahdollisiin toteutuksen ratkaisuihin ja hyviin käytäntöihin.

6.1 Tekniset ja käytännön haasteet

Teknisellä tasolla ensisijainen ongelma on eri RAU-järjestelmien yhteensopivuus sekä eri laitteiden valmistajien laitteiden sovittaminen. Monet näistä järjestelmistä käyttävät erilaisia protokollia kuten Modbus, Lon-verkko ja KNX, mikä tekee integroinnista ajoittain monimutkaisen tehtävän. Vanhojen rakennuksien asennetut vanhat järjestelmät muodostavat merkittävän haasteen niiden vanhentuneen teknologian vuoksi ne on voitu poistaa markkinoilta, mikä tekee saneerauksesta välttämätöntä. Projektin toteutuksen aikana esiintyvät haasteet keskittyivät IV-koneiden kammioissa olevien puhaltimien integroimiseen Niagara N4-järjestelmän kanssa sekä KNX-väylän toimivuus eri kerroksissa.

6.1.1 KNX-väylän toiminnan haasteet

RAU-suunnitelmien mukaan kiinteistössä oli jo olemassa oleva Lon-verkko, jonka valmiina olevaa kaapelointia hyödynnettiin tulevan KNX-väylän kanssa. Ongelmana tässä oli, että olemassa oleva Lon-verkko oli toteutettu rengastopologiana, joka alustavasti epäluotettava ja aiheuttaa tästä syytä mahdollisia ongelmia koko väylässä, mikäli yhden vahvistimen (laite rikko) kanssa esiintyy ongelmia.

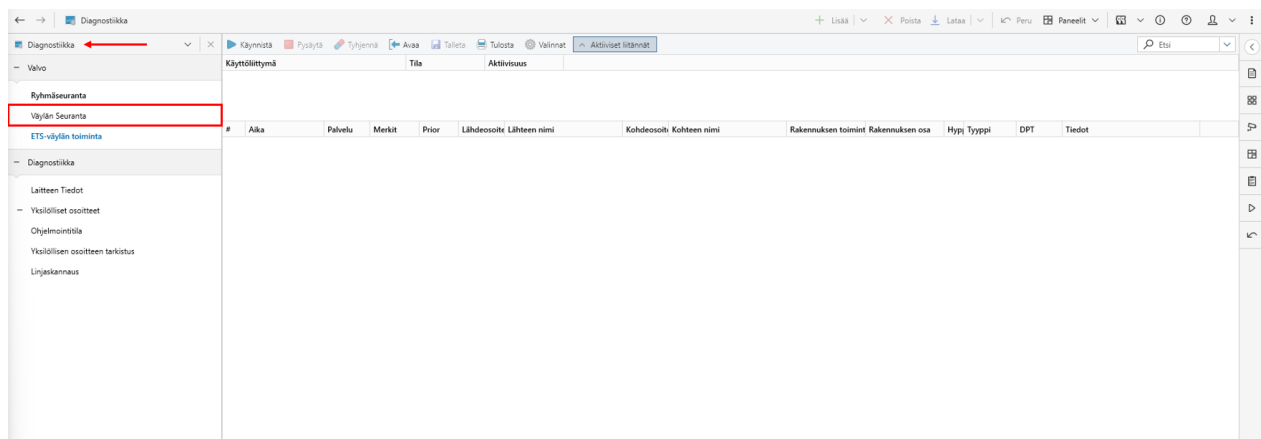
Toinen merkittävä haaste oli vaihteleva laitteiden kytkentätapa eri laitteiden välillä, mikä hankaloitti väylän toimivuuden selvitystä jälkeenpäin, ts. väylän toteutus ei ole koskaan toiminutkaan oikein tietyillä alueilla. Lisähaasteena esiintyi KNX-väylälaitteiden kasvava määrä. Alustavien suunnitelmien mukaan tehty laitehankinta oli osoittautunut puutteelliseksi, minkä seurauksena jouduttiin lisäämään suuri määrä laitteita, mikä tarkoitti myös virtalähteiden lisäystä, jotta väylän teho riittäisi datan kuljetukseen väylässä.

6.2 Kehitetyt ratkaisut integroinnin haasteisiin

6.2.1 KNX-väylälaitteiden integraation ratkaisut

Yksi tärkeimmistä integrointihaasteista liittyi KNX-väylän nykyiseen rengastopologiaan, joka on hyödyllinen tietyissä sovelluksissa, mutta rajoitti järjestelmän luotettavuutta ja integroinnin joustavuutta. Siirtyminen väylätopologiaan osoitautui strategisesti paremmaksi ratkaisuksi, joka toimii keskeisenä integrointi pisteenä KNX-väylän eri osien ja laitteiden kanssa. Tämä topologian mukauttaminen mahdollisti luotettavamman ja helpommin hallittavissa olevan verkkorakenteen ja paransi merkittävästi KNX-väyläjärjestelmän integrointikapasiteettia muiden komponenttien kanssa. Tämä ratkaisu vaati lisäksi yhden virtalähteen lisäämistä per linja, jotta tarvittava väyläteho min. 150 mW saavutettaisiin. Nämä sijoitettiin tasaisen välimatkan päähän kerroksen eri jakokeskuksiin tasoittamaan linjan tehoa.

Projektin väylälaitteiston kytkentävirheiden korjaaminen kohteen suuren laitemäärän takia on työläs tehtävä, joka aiheuttaa projektin kokoluokassa suuria työkuukustannuksia. ETS6-ohjelmiston käyttöönotto diagnostiikkatarkoituksiin oli keskeisessä asemassa KNX-väylän väärinkytken korjaamisessa, sillä se tarjoaa kehittyneen työkalun yhteysongelmien tunnistamiseen ja ratkaisemiseen. ETS6-ohjelmisto mahdollisti tehokkaamman ja nopean kyvyn KNX-väylän vianmäärityksessä, sillä KNX-väylän pullonkaulat kyettiin löytämään laitteiden osoitteiden perusteella ilman jokaisen laitteen erillistä tarkastusta.



Kuva 40. ETS6-ohjelmiston diagnostiikkapaneeli.

7 Yhteenveto

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin rakennusautomaatiojärjestelmien integroimiseen, erityisesti KNX-protokollaan ja Modbus RTU -laitteisiin pohjautuvien järjestelmien integrointia. Työssä tarkasteltiin myös Danfoss Leanheat® -ohjelmiston yhdistämistä Niagara N4 -alustaan yhdessä normaalin lämmönsäädön kanssa. Työn tavoitteena oli selvittää, miten erilaiset automaatiojärjestelmät voidaan yhdistää saumattomasti toimivaksi kokonaisuudeksi, mikä parantaa kiinteistön energiatehokkuutta ja viihtyisyyttä.

Projektissa suoritettiin Danfoss Leanheat® -ohjelmiston, Modbus RTU -väylälaitteiden asennus ja konfigurointi Niagara N4 -ympäristöön sekä KNX-väylälaitteiden integroiminen ETS6 -järjestelmän avulla. Tähän sisältyi myös laitteistovaatimusten määrittely, integroitumisen tuomien hyötyjen analysointia sekä järjestelmien testaus ja validointi. Samalla tutkittiin ja dokumentoitiin onnistuneen integroinnin vaikutuksia lämmitysjärjestelmän ja ilmanvaihdon tehokkuuteen sekä adaptiivisuuteen. Ensi havaintojen mukaan järjestelmien integraatio mahdollistaa älykkäämmän ja joustavamman lämmön- sekä ilmanvaihdon hallinnan, optimoiden energiankulutusta kiinteistössä.

Työn tulokset osoittivat, että integroimalla eri järjestelmien tukemien laitteiden avulla merkittävästi parantaa kiinteistöjen automaatiojärjestelmien toimivuutta ja energiatehokkuutta. Integraatio tarjosi konkreettisia etuja, kuten energiasäästöjä ja parantunutta asiakasmukavuutta, mikä osoittaa projektin tavoitteiden saavuttamisen. Asiakas kommentit työn loppuvaiheissa edesauttoivat tätä saavutusta entisestään.

Ilman tätä työtä, syvällisempi ymmärrys Leanheat® -ohjelman ja Niagara N4-alustan yhteensopivuudesta sekä KNX- ja Modbus RTU -väylälaitteiden integroinnin mahdollisuuksista, jäisi puuttumaan. Jatkotutkimuksen kohteeksi jäivät vielä integraation tarjoamat pitkäaikaisvaikutukset sekä mahdolliset parannukset järjestelmän skaalautuvuudesta ja monipuolistamisessa erilaisiin käyttökohteisiin.

Tämän opinnäytetyön havainnot voidaan hyödyntää tulevaisuudessa rakennusautomaatiojärjestelmien suunnittelussa ja kehittämisessä, mikä tarjoaa perustan integraation käytäntöjen soveltamiseen. Työ antoi arvokasta kokemusta ja syvällistä ymmärrystä rakennusautomaation alalta, mikä valmistaa omaa osaamista tuleviin haasteisiin näiden teknologioiden parissa.

Opinnäytetyöprosessi tarjosi myös arvokkaita oppeja projektinhallinnasta, ongelmanratkaisusta ja teknisestä dokumentoinnista, jotka ovat olennaisia taitoja insinöörin työssä. Kokonaisuudessaan työ oli antoisa ja opettavainen kokemus, joka syvensi ymmärrystäni rakennusautomaatiojärjestelmien kompleksisuudesta ja mahdollisuuksista.

Lähteet

ABB. KNX-taloautomaatio – älykkäät ohjaukset. Verkkoaineisto. <<https://new.abb.com/low-voltage/fi/tuotteet/kiinteistoautomaatio-kotiautomaatio/ratkaisut/knx>>. Luettu 4.3.2024.

ABB library. 2022. Tech note 092: LonWorks 101. Verkkoaineisto. <<https://library.abb.com/d/LVD-EOTKN092U-EN>>. 1.7.2022. Luettu 4.3.2024.

Airtecnicos. EC fans: Overview. Verkkoaineisto. <<https://www.airtecnicos.com/technology/ec-fans-overview>>. Luettu 6.3.2024.

A-insinöörit. Rakennusautomaatio. Verkkosivusto. <<https://www.ains.fi/palvelumme/talotekninen-suunnittelu/rakennusautomaatio>>. Luettu 4.2.2024.

AVS. 2018. What is a Modulating Electric Actuator? Verkkoaineisto. Actuated valve supplies. <<https://actuatedvalvesupplies.com/en-gb/knowledge-base/what-is-a-modulating-electric-actuator/>>. 10.10.2018. Luettu 3.3.2024.

Bacnet.org. About the BACnet Standard. Verkkoaineisto. <<https://bacnet.org/about-bacnet-standard/>>. Luettu 4.3.2024.

Belimo. 2024. Toimilaitteet. Verkkokauppa. <https://www.belimo.com/fi/shop/fi_FI/Venttiilit/Venttiilin-toimilaitteet/c/17705-18807>. 2024. Luettu 6.3.2024.

Bosch a. The history of building automation milestones from 1600 to tomorrow. Verkkoaineisto. <<https://www.boschbuildingsolutions.com/xc/en/news-and-stories/history-of-building-automation/>>. Luettu 28.1.2024.

Bosch b. The history of building automation milestones from 1600 to tomorrow. Verkkoaineisto. <<https://www.boschbuildingsolutions.com/xc/en/news-and-stories/history-of-building-automation/>>. Luettu 28.1.2024.

Bosch c. The history of building automation milestones from 1600 to tomorrow. Verkkoaineisto. <<https://www.boschbuildingsolutions.com/xc/en/news-and-stories/history-of-building-automation/>>. Luettu 28.1.2024.

Bosch d. The history of building automation milestones from 1600 to tomorrow. Verkkoaineisto. <<https://www.boschbuildingsolutions.com/xc/en/news-and-stories/history-of-building-automation/>>. n.d.d. Luettu 28.1.2024.

Callahan, Kevin. 2014. The Evolution of Building Automation Systems (BAS). Verkkoartikkeli. <<https://www.automation.com/en-us/articles/2014-1/the-evolution-of-building-automation-systems-bas>>. 14.5.2014. Luettu 28.1.2024.

Connect with ODIN. 2019. The Past, Present and Future of Building Automation Systems. Verkkoaineisto. <<https://blog.connectwithodin.com/the-past-present-and-future-of-building-automation-systems>>. 2019. Luettu 28.1.2024.

Cope, Kevin. 2018. What is the Automation Pyramid? Verkkoaineisto. <<https://www.realpars.com/blog/automation-pyramid>>. 11.6.2018. Luettu 18.2.2024.

CSIMN. LonWorks 101 – Introductions to LonWorks®. Verkkoaineisto. <https://www.csimn.com/CSI_pages/LonWorks101.html>. Luettu 4.3.2024.

Danfoss a. Leanheat® -ohjelmistot ja palvelut. Verkkosivu. <<https://www.danfoss.com/fi-fi/products/dhs/software-solutions/danfoss-leanheat-software-suite-services/#tab-overview>>. Luettu 2.4.2024.

Danfoss b. Leanheat® -ohjelmistot ja palvelut. Verkkosivu. <<https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/news/cf/artificial-intelligence-provides-comfort-for-apartments-residents/>>. Luettu 3.4.2024.

Donlon, Mike. 2022. Network Security in building Automation. Verkkoaineisto. <<https://www.computrols.com/network-security-in-building-automation/>>. 26.10.2022. Luettu 4.3.2024.

Dragos inc. 2023a. Cybersecurity for Building Automation Systems: Securing the Future. Verkkoaineisto. <<https://www.dragos.com/blog/cybersecurity-building-automation-systems/>>. 27.9.2023. Luettu 4.3.2024.

Dragos inc. 2023b. Cybersecurity for Building Automation Systems: Securing the Future. Verkkoaineisto. <<https://www.dragos.com/blog/cybersecurity-building-automation-systems/>>. 27.9.2023. Luettu 4.3.2024.

Eck, Laura. 2023. What is a Damper Actuator? Verkkoartikkeli. <<https://libertysupply.com/blogs/hvac-news/what-is-a-damper-actuator>>. 25.8.2023. Luettu 12.4.2024.

Encyclopedia. 2019. Development Of The Self-Regulating Oven. Verkkosivu. <<https://www.encyclopedia.com/science/encyclopedias-almanacs-transcripts-and-maps/development-self-regulating-oven>>. 2019. Luettu 4.2.2024.

ESYLUX. 2024a. Tuotteet. Verkkokauppa. <<https://www.esylux.fi/tuotteet/automaatio-sisaetiloihin/laesnaeolo-ja-liikeilmaisimet/basic/eb10430442>>. 2024. Luettu 13.3.2024.

ESYLUX. 2024b. Tuotteet. Verkkokauppa. <<https://www.esylux.fi/tuotteet/automaatio-sisaetiloihin/laesnaeolo-ja-liikeilmaisimet/basic/eb10430442>>. 2024. Luettu 13.3.2024.

Euradrives. 2018. Products. Verkkokauppa. <https://euradrives.info/products/universal-inverter/e600/>. 2018. Luettu 2.4.2024.

Goldschmidt, Ira. 2018. Back To BASics – Sensors and actuators. Engineered systems. Verkkoaineisto. <<https://www.esmagazine.com/articles/98788-back-to-basics-sensors-and-actuators>>. 5.4.2018. Luettu 3.3.2024.

Kiewitz, Tanja. 2024a. ETS6 Licenses. Verkkoartikkeli. <<https://support.knx.org/hc/en-us/articles/4404977767698-ETS6-Licenses>>. 26.1.2024. Luettu 26.3.2024.

Kiewitz, Tanja. 2024b. ETS6 Licenses. Verkkoartikkeli. <<https://support.knx.org/hc/en-us/articles/4404977767698-ETS6-Licenses>>. 26.1.2024. Luettu 26.3.2024.

KNX. KNX basics. Verkkoesite. <https://www.knx.fi/doc/esitteet/KNX-Basics_en.pdf>. Luettu 17.3.2024.

Koskinen, Kari. 2018a. Automaatio ennen, nyt ja tulevaisuudessa. Verkkolehti. Suomen automaatioseura ry. Helsinki: Automaatioväylä Oy.

Koskinen, Kari. 2018b. Automaatio ennen, nyt ja tulevaisuudessa. Verkkolehti. Suomen automaatioseura ry. Helsinki: Automaatioväylä Oy.

Locus assignments. Unit 24 Network Topology Assignment. Verkkoaineisto. <<https://www.locusassignments.com/solution/unit-24-network-topology-assignment>>. Luettu 4.3.2024.

MDT a. Products. Verkkokauppa. <https://www.mdt.de/en/products/product-finder.html?deeplink=14&cHash=87d9af4d1a094e33d64075796c01d3f2>. Luettu 14.3.2024.

MDT b. Products. Verkkokauppa. <https://www.mdt.de/en/products/product-finder.html?deeplink=14&cHash=87d9af4d1a094e33d64075796c01d3f2>. Luettu 14.3.2024.

MDT c. Products. Verkkokauppa. <https://www.mdt.de/en/products/product-finder.html?deeplink=14&cHash=87d9af4d1a094e33d64075796c01d3f2>. Luettu 14.3.2024.

MDT d. Products. Verkkokauppa. <https://www.mdt.de/en/products/product-finder.html?deeplink=14&cHash=87d9af4d1a094e33d64075796c01d3f2>. Luettu 14.3.2024.

MDT e. Products. Verkkokauppa. <https://www.mdt.de/en/products/product-finder.html?deeplink=14&cHash=87d9af4d1a094e33d64075796c01d3f2>. Luettu 14.3.2024.

MDT f. Products. Verkkokauppa. <https://www.mdt.de/en/products/product-finder.html?deeplink=14&cHash=87d9af4d1a094e33d64075796c01d3f2>. Luettu 14.3.2024.

Method Statement HQ. Electrical & Mechanical BMS Control Devices. Verkkokoartikkeli. <<https://methodstatementhq.com/electrical-mechanical-bms-control-devices.html>>. Luettu 12.4.2024.

Niazi, Muhammad. 2020a. The Layers of Modern Building Automation Systems Architecture. Verkkoaineisto. Control Automation. <<https://control.com/technical-articles/the-layers-of-modern-building-automation-system-architecture/>>. 29.10.2020. Luettu 19.02.2024.

Niazi, Muhammad. 2020b. The Layers of Modern Building Automation Systems Architecture. Verkkoaineisto. Control Automation. <<https://control.com/technical-articles/the-layers-of-modern-building-automation-system-architecture/>>. 29.10.2020. Luettu 19.02.2024.

Onninen Oy. 2024. Belimo – Venttiili toimilaite. Tuotesivusto. <<https://www.onninen.fi/belimo-venttiili-toimilaite-lrc24a-sz-5nm-24v-0-10v-35s/p/CKH211>>. 2024. Luettu 3.3.2024.

Piikkilä, Veijo & Sahlsten, Toivo. 2017a. Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät. Espoo: Sähköinfo Oy.

Piikkilä, Veijo & Sahlsten, Toivo. 2017b. Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät. Espoo: Sähköinfo Oy.

Regan, James. 2023a. The Evolution of building automation. Engineered systems. Verkkoartikkeli. <<https://www.esmagazine.com/articles/103218-the-evolution-of-building-automation>>. 2023. Luettu 6.2.2024.

Satelco a. Levels of Building Automation. Verkkoaineisto. <<https://www.satelco.ch/en/sallegra/levels-in-building-automation>>. Luettu 20.2.2024.

Satelco b. Levels of Building Automation. Verkkoaineisto. <<https://www.satelco.ch/en/sallegra/levels-in-building-automation>>. Luettu 20.2.2024.

Spangar, Tapani. 2012a. Rakennusautomaatio järjestelmät, tietotekniset järjestelmät. Espoo: Sähköinfo Oy.

Spangar, Tapani. 2012b. Rakennusautomaatio järjestelmät, tietotekniset järjestelmät. Espoo: Sähköinfo Oy.

Spangar, Tapani. 2012c. Rakennusautomaatio järjestelmät, tietotekniset järjestelmät. Espoo: Sähköinfo Oy.

Sulku, Jukka. 2012a. Rakennusautomaatio järjestelmät, tietotekniset järjestelmät. Espoo: Sähköinfo Oy.

Sulku, Jukka. 2012b. Rakennusautomaatio järjestelmät, tietotekniset järjestelmät. Espoo: Sähköinfo Oy.

Sunricher. 2019. KNX series. Verkkokauppa. <<https://www.sunricher.com/knx-series.html>>. 2019. Luettu 4.3.2024.

Titan Products. 2023. 5 Important Types of Smart Building Sensors. Verkkoaineisto. <<https://titanproducts.com/5-important-types-of-smart-building-sensors/>>. 10.10.2023. Luettu 28.2.2024.

Traficom. 2019. Kuka sammutti valot? Puutteellinen rakennusautomaatiolaitteiden suojaus verkossa altistaa kyberhyökkäyksille. Verkkoaineisto.

<<https://www.kyberturvallisuuskeskus.fi/fi/ajankohtaista/kuka-sammutti-valotpuutteellinen-rakennusautomaatiolaitteiden-suojaus-verkossa>>. 4.3.2019. 4.3.2024.

Tridium. 2024a. Niagara Framework Easily Connects Intelligent Systems. Verkkosivu. <<https://www.tridium.com/us/en/Products/niagara>>. 2024. Luettu 6.3.2024.

Tridium. 2024b. Niagara Framework Easily Connects Intelligent Systems. Verkkosivu. <<https://www.tridium.com/us/en/Products/niagara>>. 2024. Luettu 6.3.2024.

WAGO. Nopea tiedonsiirto automaatio- ja kenttälaitteiden välillä: MODBUS. Verkkoaineisto. <<https://www.wago.com/fi/modbus>>. Luettu 4.3.2024.

Zennio. 2023a. KNX products. Verkkokauppa. <<https://www.zennio.com/products/knx>>. 2023. Luettu 2.3.2024.

Zennio. 2023b. KNX products. Verkkokauppa. <<https://www.zennio.com/products/knx>>. 2023. Luettu 2.3.2024.

Zennio. 2023c. KNX products. Verkkokauppa. <<https://www.zennio.com/products/knx>>. 2023. Luettu 2.3.2024.

ZIEHL-ABEGG. 2024. Ulkoroottorimoottori ECBlue. Verkkoaineisto. <<https://www.ziehl-abegg.com/nl/serie/buitenrotormotor-ecblue#overzicht>>. 2024. 6.3.2024.

Äyräväinen. 2020a. IV-kone TK1 säätökaavio. RAU-suunnitelmat. <<https://www.ayravainen.fi/rakennusautomaatio>>. 2020. Luettu 12.2.2024.

Äyräväinen. 2020b. LJH-säätökaavio. RAU-suunnitelmat. <<https://www.ayravainen.fi/rakennusautomaatio>>. 2020. Luettu 12.2.2024.

Äyräväinen. 2020c. VJK-säätökaavio. RAU-suunnitelmat. <<https://www.ayravainen.fi/rakennusautomaatio>>. 2020. Luettu 12.2.2024.

Äyräväinen. 2020d. Vapaa jäähdytys. RAU-suunnitelmat. <<https://www.ayravainen.fi/rakennusautomaatio>>. 2020. Luettu 12.2.2024.

