



Toni-Veikko Hirvonen

Kestävä kehitys ja älykäs energianhallinta: Pilvipohjaisen monimerkki-valvomon mahdollisuudet suomalaisissa kiinteistöissä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

6.8.2024

Tiivistelmä

Tekijä(t):	Toni-Veikko Hirvonen
Otsikko:	Kestävä kehitys ja älykäs energianhallinta: Pilvipohjaisen monimerkkivalvomon mahdollisuudet suomalaisissa kiinteistöissä
Sivumäärä:	89 sivua
Aika:	6.8.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Suuntautumisvaihtoehto:	Automaatiotekniikka
Ohjaaja(t):	Aluepäällikkö Kari Vartiainen Yliopettaja Erkki Räsänen

Insinööriyö tarjoaa kattavan analyysin rakennusautomaation nykytilasta ja sen tulevaisuudennäkymistä, keskittyen erityisesti laitevalmistajasta riippumattoman pilvipohjaisen monimerkkivalvomon mahdollisuuksiin suomalaisissa kiinteistöissä. Työ jakautuu karkeasti kolmeen osioon: rakennusautomaation kokonaisvaltainen tarkastelu, talotekniikan keskeisimpien komponenttien läpikäynti sekä Adair-monimerkkivalvomon rooli näiden kahden yhdistämisessä.

Ensimmäinen osio syventyy rakennusautomaatioalan toimintaympäristöön, alan toimijoihin ja tulevaisuuden trendeihin. Toisessa osiossa perehdytään talotekniikan pääkomponentteihin, kuten lämmitysjärjestelmiin, ilmanvaihtoon ja energianhallintaratkaisuihin. Kolmas osio yhdistää nämä teemat esittelemällä Adair-monimerkkivalvomon mahdollisuuksia älykkään kiinteistönhallinnan ja energiatehokkuuden edistämisessä.

Työssä tarkastellaan Suomen ikääntyvän rakennuskannan haasteita ja mahdollisuuksia energiaoptimoinnin ja kestävä kehityksen näkökulmasta. Älykästä energianhallintaa lähestytään kiinteistöjen kulutusjoustop ja koneoppimiseen perustuvien energianhallintasovellusten kautta. Adairin pilvipohjainen monimerkkivalvomo esitellään ratkaisuna, joka mahdollistaa kiinteistöjen tehokkaan etähallinnan ja energiankulutuksen optimoinnin rakennusautomaatiolaitteiston valmistajasta riippumatta.

Insinööriyö osoittaa, että pilvipohjainen monimerkkivalvomo tarjoaa merkittäviä etuja kiinteistönomistajille ja -hallinnoijille. Näitä ovat muun muassa parantunut energiatehokkuus, kustannussäästöt, helppokäyttöisyys ja mahdollisuus integroida eri valmistajien järjestelmiä keskitetysti yhteen alustaan, joka helpottaa sellaisten kiinteistökonaisuuksien hallintaa, joissa on käytössä eri rakennusautomaatiojärjestelmiä.

Avainsanat: rakennusautomaatio, talotekniikka, pilvipohjainen valvomo, älykäs energianhallinta, kestävä kehitys

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author(s):	Toni-Veikko Hirvonen
Title:	Sustainable Development and Intelligent Energy Management: Potential of Cloud-Based Vendor-Neutral Monitoring in Finnish Real Estate
Number of Pages:	89 pages
Date:	August 6, 2024
Degree:	Bachelor of Engineering
Degree Programme:	Electrical and Automation Engineering
Specialisation option:	Automation Technology
Instructor(s):	Kari Vartiainen, Regional Manager Erkki Räsänen, Principal Lecturer

This engineering thesis provides a comprehensive analysis of the current state and future of building automation, focusing particularly on the potential of vendor-neutral cloud-based monitoring in Finnish real estate. The work is divided into three sections: an overview of building automation, an introduction to the key components of building technology and the role of the vendor-neutral monitoring system Adair in integrating these elements together.

The first section covers the operational environment of the building automation industry, its key players, and future trends. The second section explores the main components of building technology, such as heating systems, ventilation, and energy management solutions. The third section combines these themes together by showcasing the potential of the vendor-neutral monitoring system Adair in promoting intelligent property management and energy efficiency.

The thesis examines the challenges and opportunities presented by Finland's aging building stock from the perspective of energy optimization and sustainable development. Intelligent energy management is approached through the lens of demand-side flexibility in buildings as well as through energy management applications based on machine learning. The cloud-based vendor-neutral monitoring system Adair is presented as a solution that enables efficient remote management and energy consumption optimization regardless of the original building automation manufacturer.

The thesis demonstrates that a cloud-based vendor-neutral monitoring offers significant advantages to property owners and managers. These include improved energy efficiency, cost savings, ease of use, and the ability to integrate systems from different manufacturers into a single platform.

Keywords: building automation, building technology, cloud-based monitoring, intelligent energy management, sustainable development

Sisällysluettelo

Lyhenteet ja termit	1
1 Johdanto	4
2 Rakennusautomaatioalan toimintaympäristö	5
2.1 Määrittely ja tarkoitus	5
2.2 Alan toimijat ja roolit	8
2.3 Liiketoiminta ja kannattavuus	10
2.4 Koulutustarjonta ja osaaminen	13
2.5 Suomen rakennuskanta	15
2.6 Tulevaisuuden trendit	16
3 Rakennusautomaation tekniset komponentit ja väyläprotokollat	18
3.1 Rakennusautomaation tasot ja laitteisto	18
3.1.1 Anturit ja mittaustavat	18
3.1.2 Toimilaitteet sekä ohjaus- ja säätötavat	21
3.1.3 Säätimet	23
3.1.4 Kaapelointi	24
3.1.5 Laite- ja järjestelmätoimittajat	25
3.1.6 Dokumentaatio	30
3.2 Rakennusautomaation väyläprotokollat	31
3.2.1 RS-232, RS-422 ja RS-485	31
3.2.2 Modbus RTU ja Modbus TCP/IP	33
3.2.3 BACnet MS/TP ja BACnet/IP	35
3.2.4 LonWorks ja LonTalk	36
3.2.5 Muut väyläprotokollat	36
3.3 Rakennusautomaation tietoliikenteen perusteet	38
3.3.1 IP-osoitteet, aliverkot ja portit	38
3.3.2 Verkkotopologiat	40
3.3.3 Verkkolaitteet	43
3.3.4 Kyberturvallisuus	43
3.4 Rakennusautomaation ohjelmointi	45
4 Kiinteistöjen talotekniset komponentit	48
4.1 Lämmönsiirtimet ja -vaihtimet	48

4.2	Kiertovesipumput ja niiden säätötavat	50
4.3	Ilmanvaihto ja ilmastointi	52
4.3.1	Savunhallinta palopelleillä	54
4.3.2	Ilman lämmitys- ja jäähdytys	56
4.4	Lämmöntalteenotto	58
4.4.1	Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto	58
4.4.2	Jäteveden lämmöntalteenotto	60
4.5	Lämpöpumpputyypit	60
4.5.1	Ilma-ilmalämpöpumppu	62
4.5.2	Poistoilmalämpöpumppu	62
4.5.3	Ilmavesilämpöpumppu	63
4.5.4	Maalämpöpumppu	64
4.5.5	Vesi-vesilämpöpumppu	65
4.6	Vedenjäähdytyskoneet ja niiden osakomponentit	65
4.6.1	Höyrystin	67
4.6.2	Kompressori	67
4.6.3	Lauhdutin	67
4.6.4	Paisuntaventtiili	68
4.7	Lämmityskattilat	68
4.7.1	Sähkökattilat	69
4.7.2	Öljy- ja kaasukattilat	69
4.7.3	Puu- ja pellettikattilat	70
4.8	Varaajat ja puskurisäiliöt	70
4.9	Aurinkovoimalat ja energiavarastot	72
5	Pilvipohjainen Adair-monimerkkivalvomo	72
5.1	Pilvipalvelut kiinteistöissä	72
5.2	Adairin hyödyt ja edut	73
5.2.1	Laitevalmistajasta riippumaton	73
5.2.2	Kiinteistön tiedolla johtaminen	74
5.2.3	Kiinteistön kulutusjousto	76
5.3	Vertailu suljettuihin valvomoratkaisuihin	77
5.4	Asiakkaiden käyttökokemuksia	78
6	Yhteenveto ja johtopäätökset	78
	Lähteet	80

Lyhenteet ja termit

RAU	Rakennusautomaatio
VAK	Valvonta-alakeskus
LJH	Lämmönjakohuone
LTO	Lämmöntalteenotto
ILP	Ilmalämpöpumppu
IVLP	Ilmavesilämpöpumppu
MLP	Maalämpöpumppu
PILP	Poistoilmalämpöpumppu
VJK	Vedenjäähdytyskone
TATE	Talotekniikka
LVIAS	Lämpö, Vesi, Ilma, Automaatio, Sähkö
HVAC	Heating, Ventilation, Air Conditioning
BMS	Building Management System
BAS	Building Automation System
BCS	Building Control System
BMCS	Building Management Control System

BACS Building Automation Control System

BEMS Building Energy Management System

EMS Energy Management System

EMCS Energy Management Control System

EPMS Energy Power Management System

FMS Facility Management System

FMCS Facility Management Control System

AHU Air Handling Unit

FCU Fan Coil Unit

HPU Heat Pump Unit

VAV Variable Air Volume

CAV Constant Air Volume

VFD Variable Frequency Drive

HRU Heat Recovery Unit

CHW Chilled Water

HW Hot Water

IAQ Indoor Air Quality

PPM Parts Per Million

BTU British Thermal Unit

OEM Original Equipment Manufacturer

OPEX Operating Expenditures

CAPEX Capital Expenditures

BIM Building Information Model

AI Artificial Intelligence

ML Machine Learning

PoE Power Over Ethernet

TCP Transmission Control Protocol

IP Internet Protocol

UDP User Datagram Protocol

LAN Local Area Network

VLAN Virtual Local Area Network

WAN Wide Area Network

VPN Virtual Private Network

SaaS Software as a Service

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on tarjota kattava ja käytännönläheinen kokonaiskuva rakennusautomaation nykytilasta. Työ on suunniteltu toimimaan sekä perusteellisenä kartoituksena että helposti lähestyttävänä oppaana alasta kiinnostuneelle. Työssä käydään läpi rakennusautomaation eri osa-alueet ylhäältä alas -periaatteella, aloittaen laajemmasta kokonaiskuvasta ja edeten yksityiskohtaisempiin teknisiin ratkaisuihin.

Ensimmäiseksi tarkastelemme rakennusautomaatioalan tarkoitusta, markkinoita, sekä toimijoita. Seuraavaksi perehdymme rakennusautomaation teknisiin komponentteihin, väyläprotokolliin sekä ohjaus-, säätö- ja mittaukstopoihin. Tämän jälkeen käsittelemme kiinteistöjen taloteknisiä komponentteja, jotka ovat keskeisessä osassa rakennusautomaatiota. Lopuksi syvennymme pilvipohjaiseen Adair-monimerkkivalvomoon ja sen tuomiin hyötyihin kiinteistön hallitsijoille ja omistajille. Insinööriyö on tehty Adconsys Oy:lle.

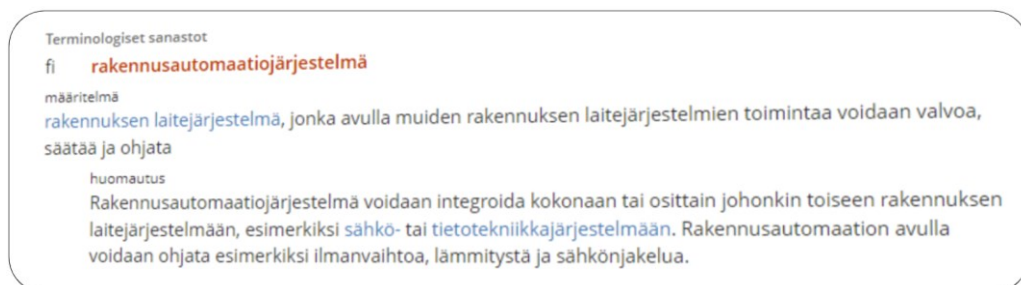
Tavoitteenani on, että tämä insinööriyö toimisi opettavaisena resurssina muille, jotka ovat kiinnostuneita syventymään johdonmukaisemmin rakennusautomaation maailmaan. On huomioitava, että rakennusautomaatio on nopeasti kehittyvä ala, joka yhdistää useita eri tekniikan aloja, teknologioita ja järjestelmiä. Rakennusautomaatiotoimijan rooli onkin usein toimia eri järjestelmien integroijana. Alan termistö on vielä osin vakiintumatonta, mikä näkyy myös tässä työssä käytetyissä termeissä.

Rakennusten energiankulutus muodostaa noin 30–40 % kokonaisenergiankulutuksesta niin Suomessa kuin myös maailmalla [1]. Tämä korostaa rakennusautomaation merkitystä ilmastotavoitteiden saavuttamisessa ja energiatehokkuuden parantamisessa. Nykypäivän uudisrakennushankkeet ovat yhä enemmän tietoteknisiä hankkeita, joissa rakennusautomaatiota hyödynnetään tehokkaasti, mutta kuitenkin on samalla muistettava Suomen ikääntynyt rakennuskanta ja sen päivittämisen tarve.

2 Rakennusautomaatioalan toimintaympäristö

2.1 Määrittely ja tarkoitus

Aloitetaan purkamalla hieman alan termistöä, johon kuuluu rakennusautomaatio, kiinteistöautomaatio, kotiautomaatio, taloautomaatio ja älykotiautomaatio. Kaikilla viitataan rakennuksen toimintojen automaatioon, mutta termien erottelu tulee kohteen suuruusluokasta. Rakennusautomaatiolla ja kiinteistöautomaatiolla viitataan enemmän isoihin rakennuksiin, kun taas kotiautomaatio, taloautomaatio ja älykotiautomaatio kuvaavat pienempiä yksittäisiä asuntoja tai asuinrakennuksia. [2.]



Kuva 1. Määritelmä rakennusautomaatiojärjestelmälle. Lähde: TEPA-termipankki. [3.]



Kuva 2. Määritelmä kiinteistöautomaatiolle. Lähde: TEPA-termipankki. [4.]

Rakennusautomaatiota ja kiinteistöautomaatiota käytetään termeinä sekaisin, ja molemmilla viitataan yleensä samaan asiaan. Rakennusautomaatio on kuitenkin vakiintumassa alan standardiksi. Arkikielessä termillä kiinteistö viitataan usein rakennukseen, mutta Suomen oikeusjärjestelmässä kiinteistö ei ole rakennus.

Rakennusautomaatiolla tarkoitetaan rakennuksessa olevien taloteknisten järjestelmien itsenäisesti tapahtuvaa ohjaus- ja säätötoimintaa, erityisesti lämmityksen, jäähdytyksen ja ilmanvaihdon osalta. Rakennusautomaatiojärjestelmän tavoitteena on ohjata ja säätää järjestelmiä siten, että ennalta asetetut asetusarvot täyttyvät. Toisin sanoen tarjota ihmisille mahdollisimman hyvät sisäolosuhteet mahdollisimman pienin kustannuksin. Rakennuksen järjestelmiä, kuten lämmitystä, jäähdytystä ja ilmanvaihtoa, ohjataan siis tarpeen mukaan.

Sääolosuhteet vaihtelevat jatkuvasti rakennuksen ulkopuolella, samalla kun ihmiset vaikuttavat järjestelmiin myös sisältäpäin. Toimenpiteet, kuten esimerkiksi käyttövesihanan avaaminen, aiheuttaa muutoksia rakennusautomaation ylläpitämiin säätöpiireihin. Järjestelmän on reagoitava näihin muutoksiin nopeasti ja säädettävä esimerkiksi tässä tapauksessa käyttöveden säätöventtiiliä tarpeeksi nopeasti, jotta kuumaa käyttövettä on tarpeeksi saatavilla.

Rakennusautomaatiojärjestelmä seuraa ja säätää jatkuvasti taloteknisiä osajärjestelmiään, jotta ne pysyvät asetusarvoissaan. Nämä asetusarvot voivat olla joko staattisia tai dynaamisia, ja niillä varmistetaan, että järjestelmä toimii optimaalisesti ja mukautuu koko ajan muuttuviin olosuhteisiin.

Alun perin kiinteistöjen automaation pääasiallisena tarkoituksena oli parantaa pelkästään lämmityksen, jäähdytyksen ja ilmanvaihdon energiatehokkuutta [5]. Digitalisaation edetessä rakennusautomaatiojärjestelmiin on kuitenkin alettu integroida yhä enemmän myös erillisiä järjestelmiä.

Erillisillä järjestelmillä tarkoitetaan itsenäisiä järjestelmiä, jotka pystyvät kommunikoimaan rakennusautomaatiojärjestelmän kanssa. Tällaisia ovat esimerkiksi murto- ja kulunvalvontajärjestelmät (ovet, ajoportit), hätävalo-, paloilmoin-, sprinkleri- ja savunpoistojärjestelmät, kuin myös hissi- ja AV-järjestelmät. [6.]

Paloturvallisuusmääräykset asettavat laitteistolle normaaliin automaatioon verrattuna tiukempia vaatimuksia, jonka takia paloturvallisuuteen liittyvät järjestelmät toteutetaan yleensä aina omina ratkaisuuina, ja niistä saatava tieto yhdistetään rakennusautomaatiojärjestelmään.

Nykyaikaiset rakennusautomaatiojärjestelmät hyödyntävät myös pilvipalveluita, joiden avulla voidaan integroida ulkoista tietoa rakennuksen toiminnanohjaukseen. Muutamia esimerkkejä näistä ovat reaaliaikainen sähkön hinta, sääennusteet ja kolmannen osapuolen koneoppimisalgoritmit energiaoptimointia varten.

Rakennusautomaatiojärjestelmä tarvitsee jatkuvasti tilatietoa järjestelmän eri osista voidakseen tehdä oikeita ohjaus- ja säätöpäätöksiä. Näitä tietoja kerätään antureilla, jotka on sijoitettu ympäri rakennusta, niin lämmönjakohuoneisiin kuin myös toimitiloihin.

Suurissa kiinteistöissä rakennusautomaatiojärjestelmä voi käsittää satoja, jopa tuhansia antureita ja toimilaitteita. Nämä laitteet on yhdistetty tiedonsiirtoverkkojen avulla valvonta-alakeskuksiin, ja niistä lopulta pilvipohjaisiin valvomoihin.



Kuva 3. Lämmönjakohuone, josta jaetaan lämpöä eri puolille rakennusta lämmönsiirtimien avulla.

Lämmitykseen tarvittava energia saadaan lämmönsiirtimien kautta lämmönjakohuoneesta. Lämmöntuotantomuotoja on monia, mutta Suomessa yleisin on kaukolämpö, joka on 60–115°C asteista vettä, joka tuodaan rakennuksen lämmönsiirtimille kaukolämpöverkosta rakennuksen ulkopuolelta.



Kuva 4. Helenin lämpöenergian mittaus, jolla seurataan rakennuksen kulutusta.

Rakennusautomaation suurimmat hyödyt kiinteistön omistajille ovat ehdottomasti pienentyneet lämmitys- ja jäähdytyskustannukset. Energiatohokkuuden tärkeyden kasvaessa rakennusautomaatiolla on myös keskeinen rooli kokonaisvaltaisessa energiankulutuksen optimoinnissa ja käyttökustannusten minimoinnissa.

2.2 Alan toimijat ja roolit

Rakennusautomaatioalan toimijat voidaan jakaa karkeasti neljään luokkaan: suunnittelu- ja konsulttiyrityksiin, urakointi- ja huoltoyrityksiin, laite- ja järjestelmätoimittajiin sekä tukkuliikkeisiin.

Suunnittelu- ja/tai konsulttiyritykset	Urakointi- ja huoltoyritykset	Laite- ja/tai järjestelmätoimittajat	Tukkuliikkeet

Kuva 5. Rakennusautomaatioalalla toimivien yritysten luokittelu toiminnan pääpainopisteiden perusteella.

Atmostech ja Computec ovat kaksi vanhaa suomalaista rakennusautomaatioalan laitevalmistajaa, jotka ovat siirtyneet yrityskauppojen myötä osaksi suurempia toimijoita. Heidän kehittämiään vanhoja järjestelmiä on edelleen käytössä monissa rakennuksissa, jonka takia heidät on myös sisällytetty laite- ja järjestelmätoimittajiin luvussa 3.1.5.

Rakennusautomaation parissa olevat työroolit voidaan karkeasti jakaa asentajiin, suunnittelijoihin, ohjelmoijiin, järjestelmäintegraattoreihin, projektipäällikköihin ja myyjiin. Usein työtehtävät kuitenkin limittyvät, ja varsinkin pienissä ja keskisuurissa yrityksissä työntekijät saattavat hoitaa useita eri rooleja.

Asentajat vastaavat käytännön asennus-, huolto- ja vianselvitystöistä kohteissa. Suunnittelijat puolestaan luovat rakennusautomaatiojärjestelmän kokonaiskuvan suunnitelmiseen ja varmistavat, että eri talotekniset järjestelmät toimivat yhdessä. Ohjelmoijat kirjoittavat valvonta-alakeskusten ohjelmat toimintaselostuksien perusteella sekä luovat käyttöliittymän grafiikat.

Järjestelmäintegraattorit yhdistävät eri järjestelmiä sekä ohjelmallisesti että fyysisesti, jotta ne kommunikoivat keskenään. Projektipäälliköt koordinoivat projektien etenemistä, aikataulutusta ja laskutusta. [7.] Myyjät puolestaan työskentelevät joko suoraan asiakkaiden kanssa kohdekäynneillä tai toimivat oman päämiehensä laitteistoasiantuntijoina.

Pienissä ja keskisuurissa yrityksissä työnkuvat ovat usein päällekkäisiä, mutta yrityksen kasvaessa erikoistuminen tiettyyn osaamisalueeseen yleistyy.

Alan läheisyydessä on myös monia järjestöjä, kuten Sähköliitto ry, Sähkö- ja teleurakoitsijat STUL ry, Suomen lämpöpumppuyhdistys SULPU ry ja Automaatioseura ry. Toimikentällä on myös yrityksiä, jotka keskittyvät pelkästään rakennusautomaation tietoteknisiin ratkaisuihin ja koneoppimisalgoritmeihin. Mukana on sekä vakiintuneita toimijoita että startup-yrityksiä. Esimerkkinä startup-yrityksestä voidaan mainita Capacity.io, joka on erikoistunut lämpöpumppujen älykkääseen ohjaukseen.

2.3 Liiketoiminta ja kannattavuus

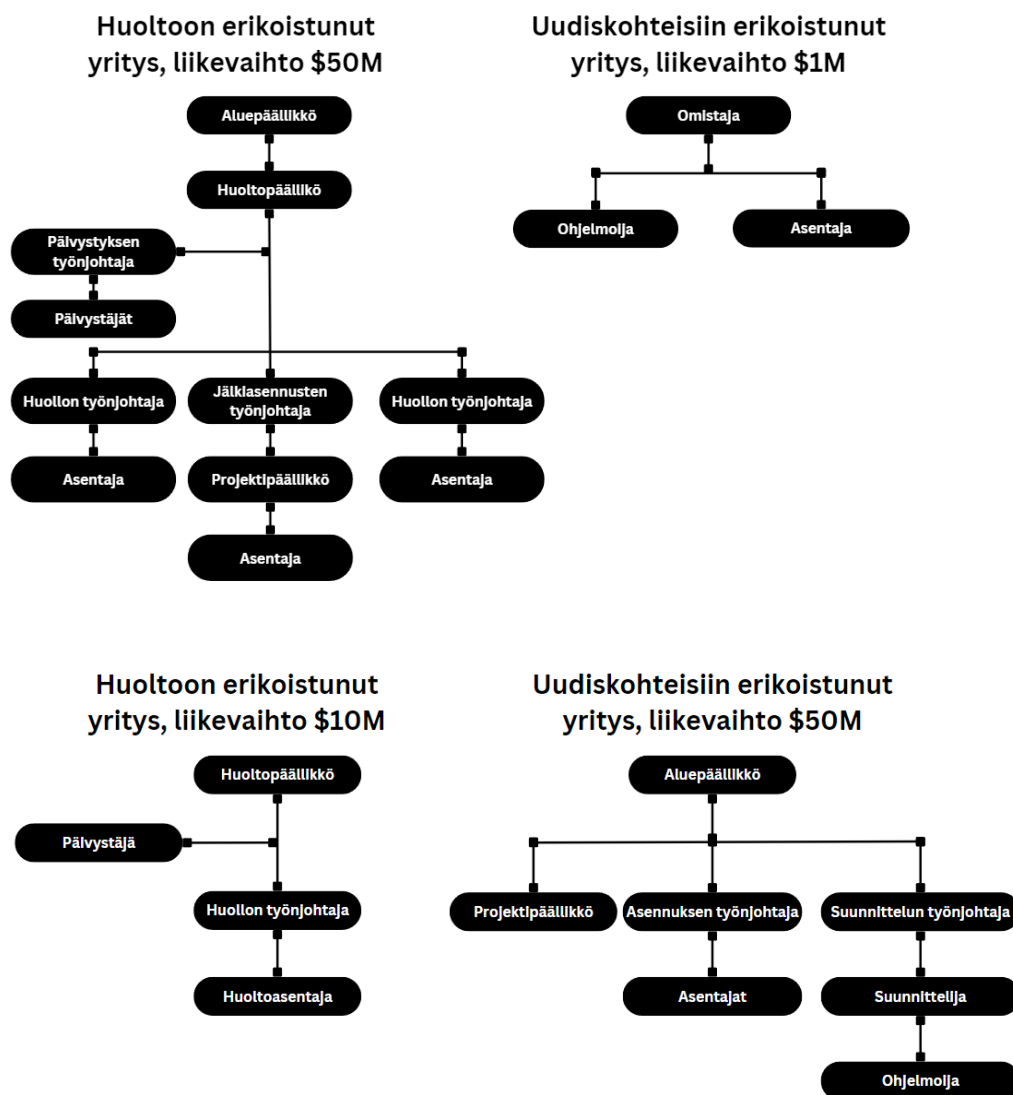
Rakennusautomaatioalan asiakaskunta on laaja ja monipuolinen. Kiinteistön omistajat, taloyhtiöt, kunnat, kaupungit, isännöitsijät, kiinteistökoordinaattorit ja -päälliköt – kaikki, joilla on vastuullaan kiinteistöjä, tarvitsevat rakennusautomaatioalan palveluita.

Rakennusautomaatioprojekteja on kahdenlaisia: uudiskohteita ja peruskorjauskohteita. Uudiskohteissa markkinat suosivat usein alan isoimpia toimijoita, kun taas pienemmät ja keskisuuret yritykset keskittyvät useammin peruskorjauksiin, joissa vanhoja järjestelmiä päivitetään tai korvataan uusilla.

Pienten ja keskisuurten yritysten kilpailuetu piilee usein nopeassa reagoitajassa, ketterässä toiminnassa ja asiakasläheisessä palvelussa. Ne pystyvät tarjoamaan henkilökohtaista ja joustavaa palvelua, mikä on kilpailuvaltti suurten toimijoiden rinnalla.

Rakennusautomaatiojärjestelmän saneerauksessa on kaksi vaihtoehtoa: täysi saneeraus ja osapäivitys. Täydessä saneerauksessa koko järjestelmä, valvonta-alakeskuksen keskusyksikkö, käyttöpaneeli, I/O-moduulit, kentälaitteet ja kaapelointi, vaihdetaan uusiin, kun taas osapäivityksessä uusitaan vain keskeisimmät komponentit, eli keskusyksikkö, käyttöpaneeli ja I/O-moduulit.

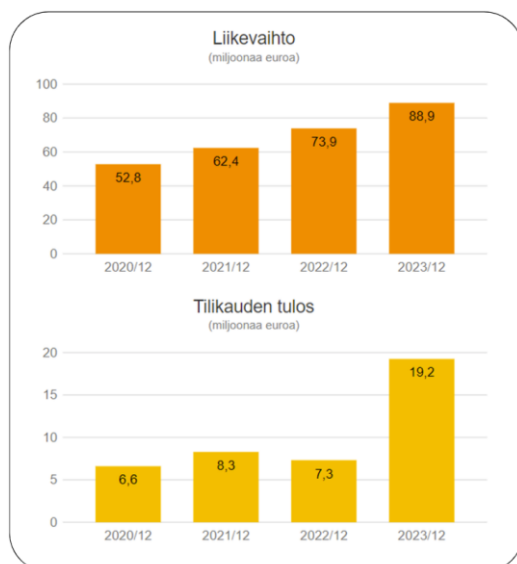
Kannattavuuden kannalta on hyvä panostaa asiakkaiden käyttökoulutukseen uuden järjestelmän käyttöönoton yhteydessä, sillä hyvin koulutettu asiakas osaa hyödyntää järjestelmää tehokkaasti ja tekee vähemmän turhia huolto- ja takuupyntöjä. Tämä säästää yrityksen aikaa ja resursseja tulevaisuudessa. Huoltokäynnit tarjoavat myös hyvän tilaisuuden kartoittaa asiakkaan nykylaitteiston kuntoa ja tehdä lisämyyntiä päivityspalveluilla, mikäli järjestelmä on vanhentunut tai kaipaa parannuksia.



Kuva 6. Organisaatiokaavioita yhdysvaltalaisista rakennusautomaatioyrityksistä. Lähde: Smart Buildings Academy. [8.]

Teoreettisesti ajatellen yrityksen kannattaisi panostaa erityisesti suunnittelu-, konsultointi- ja ohjelmistopalveluihin, sillä tietotyö on fyysiseen työhön verrattuna helpommin skaalautuvaa ja mahdollistaa tehokkaamman työskentelyn digitaalisten työkalujen avulla.

Asiantuntijapalveluilla on myös tällä hetkellä korkeampi kateprosentti verrattuna perinteisiin asennuspalveluihin. Digitaalisten ratkaisujen ja tiedon myyminen ovat tällä hetkellä kannattavia liiketoimintamalleja lähes kaikilla toimialoilla, eikä rakennusautomaatioala ei ole tästä poikkeus.





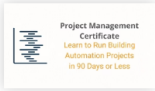









Kuva 7. Granlund Oy taloustiedot 2020–2023 [9].

Granlund on erinomainen esimerkki asiantuntijatyön, digitalisaation, ja ohjelmistoliiketoiminnan yhdistämisestä. Yritys jatkaa aggressiivista laajentumisstrategiaansa ostamalla kilpailijoitaan ja pyrkien kasvattamaan asiakaskuntaansa. Samalla Granlund valmistautuu kansainvälistymään, mikä voi osoittautua hyväksi ratkaisuksi lähitulevaisuudessa, erityisesti palvelinkeskusten kasvavan kysynnän vuoksi.

On aina hyödyllistä pohtia, mikä toimii muille ja miksi, sekä tarvittaessa soveltaa näitä oppeja omaan toimintaansa. Vuonna 2023 Granlundilla oli noin 1500 työntekijää, ja yritys maksoi henkilöstölleen tulospalkkioita yhteensä 3 miljoonaa euroa.

Rakennusautomaatioalalla ja sen läheisyydessä on paljon potentiaalia ja menestyviä yrityksiä. Asiakkailla on hyvä maksukyky ja markkinat ovat kasvussa. Energiatehokkuusvaatimusten kiristyessä ja digitalisaation edetessä rakennusautomaatioalan palveluiden kysyntä tulee tulevaisuudessa todennäköisesti kasvamaan entisestään.

2.4 Koulutustarjonta ja osaaminen

			
Technician Certificate Program - Troubleshooting Option	Technician Certificate Program - Programming Option	Project Management Certificate Program	Sales Certificate Program
€7.814,71	€7.814,71	€7.814,71	€6.335,22
			
Designer Certificate Program - Protocol Option	Designer Certificate Program - IT Option	Master Technician Certificate Program	Building Engineer Certificate Program - Programmer Option
€6.335,22	€6.335,22	€6.904,25	€7.814,71
			
Building Engineer Certificate Program - Troubleshooting Option	Programmer Certificate Program - Protocol Option	Programmer Certificate Program - IT Option	Technician Certificate Program - IT Option
€7.814,71	€6.335,22	€6.335,22	€6.335,22

Kuva 8. Yhdysvaltalaisen Smart Buildings Academyn koulutustarjontaa [10].

Rakennusautomaatio on erikoinen ala, sillä se sijoittuu automaatiotekniikan ja talotekniikan välimaastoon, eikä alalle ole olemassa yhtä tiettyä koulutuspolkua, mikä luo haasteita osaavan työvoiman saatavuudelle.

Tarve osaaville ammattilaisille kasvaa jatkuvasti energiatehokkuusvaatimusten kiristyessä ja digitalisaation edetessä.

Automaatiotekniikan insinöörit saavat vahvan pohjan automaatiojärjestelmien toimintaan, mutta heiltä usein puuttuu syvällistä ymmärrystä talotekniikan prosesseista. Toisaalta talotekniikan insinöörit hallitsevat LVI-järjestelmät, mutta heiltä saattaa puuttua osaamista esimerkiksi väylättekniikoista, tietoliikenteestä ja kentälaitteiden kytkemisestä.

 <p>VERKKOKURSSI severi.sahkoinfo.fi</p>	 <p>SÄHKÖINFO KOULUTTAA</p>	 <p>SÄHKÖINFO KOULUTTAA</p>
<p>Verkkotesti: RAU-pätevyyden täydennyskoulutus</p>	<p>Sähköinfo Sähkö- ja rakennusautomaatio tänään</p>	<p>Sähköinfo Sähkö- ja rakennusautomaation projektinhallinta</p>
<p>357,00 € (+ alv 24%) normaalihintana</p>	<p>580,00 € (+ alv 24%) normaalihintana</p>	<p>580,00 € (+ alv 24%) normaalihintana</p>

Kuva 9. Sähköinfon koulutustarjontaa rakennusautomaatioon liittyen [11].

Rakennusautomaation koulutustarjonta on hajanaista ja koostuu lähinnä ST-korttien sisällöistä, yksittäisistä ammattikorkeakoulujen kursseista, verkkomateriaaleista ja yritysten tarjoamista sisäisistä koulutuksista. Tämä tekee alan oppimisesta tarpeettoman haastavaa ja hidasta.

Ideali osaamisprofiili rakennusautomaatioalalla syntyisi talotekniikan, kiinteistöjen sähkötekniikan, automaatiotekniikan, tietoliikennetekniikan ja tietotekniikan yhteisymmärryksestä. Käytännössä tämä tarkoittaa, että alan ammattilaisten on ymmärrettävä sekä kiinteistön tekniset järjestelmät että niiden ohjaukseen ja valvontaan käytettävät automaatio- ja tietoliikennejärjestelmät.

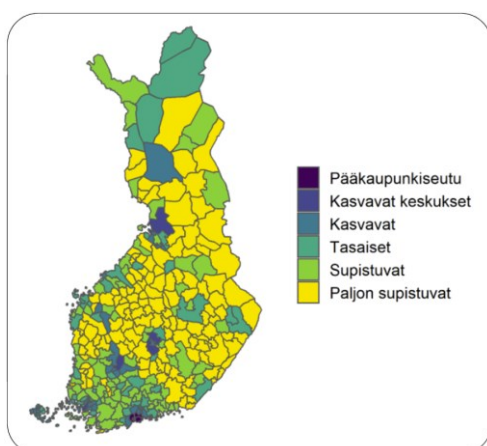
Rekrytoinnissa on olennaista keskittyä ydintehtäviin ja välttää liian pitkiä ja epärealistisia toivelistoja. Ydintehtävillä tarkoitetaan työtehtäviä, joita työntekijä tekee suurimman osan ajastaan. Näille tehtäville tulisi olla määriteltynä selkeät toimintaprosessit, joilla uusi työntekijä pääsee nopeasti sisään työtehtäviinsä. Liian laajat vaatimuslistat tekevät rekrytointiprosessista kallista ja hidasta.

Myös uusien kokeneiden työntekijöiden kohdalla yrityksen sisäisiin prosesseihin perehdyttäminen on tärkeää, jotta heistä saadaan mahdollisimman nopeasti tehokkaita ja laskutettavia. Selkeät prosessit ja tehokas perehdytys hyödyttävät sekä yritystä että työntekijää.

Alan koulutustarjonta on hajanaista, ja kokonaisvaltaisen osaamisen hankkiminen vaatii tarpeettoman paljon aikaa ja vaivaa, mikä taas hidastaa alan kehittymistä ja vaikeuttaa uusien osaajien rekrytointia. Tulevaisuudessa olisi tärkeää luoda selkeämpiä ja kokonaisvaltaisempia koulutuspolkuja rakennusautomaatioalan ammattilaisten kouluttamiseksi.

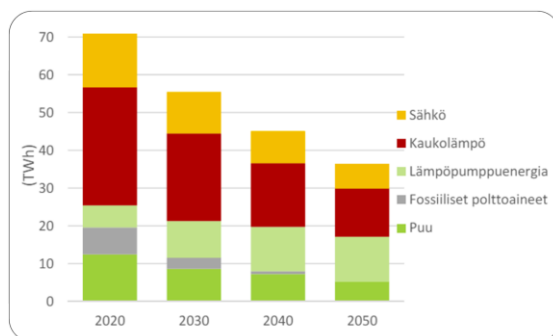
2.5 Suomen rakennuskanta

Suomessa on noin 3 miljoonaa asuntoa, jotka muodostavat merkittävän osan suomalaisten varallisuudesta [12]. Asuntokannan arvo on noin 500 miljardia euroa ja asunnon mediaanihinta noin 150 000 euroa, Helsingin ollessa huomattavasti kalliimpi. Omakoti- ja rivitalot muodostavat suurimman osan korjausvelasta, mutta pääkaupunkiseudulla kerrostalojen korjaustarve on suurempi [13]. Suomen rakennuskannan ikääntyessä korjausrakentamisen osuus korostuu entisestään.



Kuva 10. Väestöennuste 2021 [13].

Väestöennusteet ja globaalit trendit osoittavat, että kaupungistuminen kiihtyy ja muuttoliike keskittyy kasvukeskuksiin, kuten Helsinkiin, Espooseen, Vantaalle, Tampereelle, Turkuun, Jyväskylään, Ouluun ja Lahteen. Nämä alueet ja niiden lähikunnat ovat houkuttelevia niin asuntosijoittajille, kuin myös yrityksillekin.



Kuva 11. Rakennusten lämmitysenergian kulutus lämmönlähteittäin 2020–2050. Kuvassa sekä päästökauppasektorin keskitetysti tuotettu lämmitysenergia että taakanjakosektorilla kiinteistökohtaisesti tuotettu lämmitysenergia. [14.]

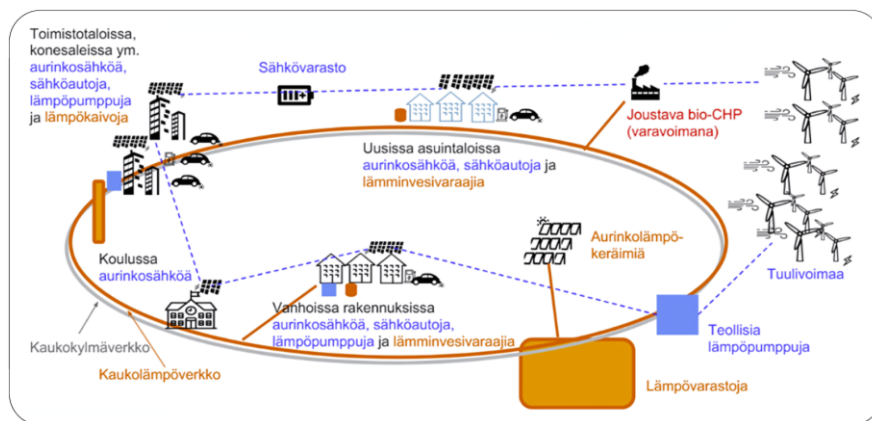
Lämmitysenergianlähteiden painotuksien odotetaan muuttuvan tulevaisuudessa. Päästökauppasektorin energiantuotanto tulee yhä enemmän sähköstä ja kaukolämmöstä, kun taas taakanjakosektorilla lämpöpumppujen ja uusiutuvan energian osuus kasvaa.

Suomen kerrostaloista suurin osa on rakennettu 1960–1980-luvuilla, jolloin talotekniikka oli vielä varsin alkeellista. Monissa 1960-luvun taloissa on vain painovoimainen ilmanvaihto, ja vasta 1980-luvun lopulla alettiin yleisesti käyttää nykyaikaisia lämmöntalteenottoratkaisuja.

Nämä rakennukset ovat nyt tulossa korjausikään, ja rakennusautomaatiolla on keskeinen rooli niiden energiatehokkuuden parantamisessa. LVI- ja sähköjärjestelmien päivittämisen yhteydessä uusitaan myös rakennusautomaatiojärjestelmä.

2.6 Tulevaisuuden trendit

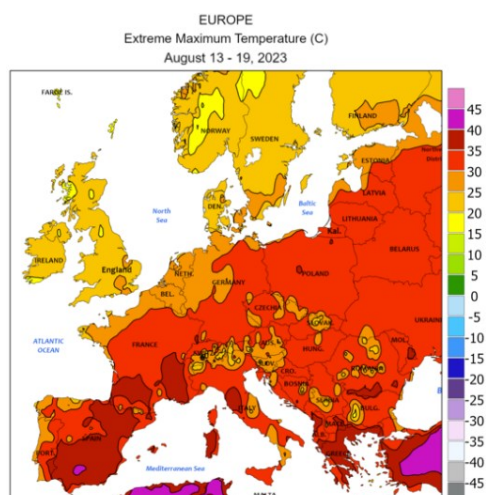
Euroopan unioni ja Suomen hallitus ajavat eteenpäin tiukempia energiatehokkuusvaatimuksia rakennuksille. Tuuli- ja aurinkoenergian lisääntyminen aiheuttaa tuotantovaihteluita, mikä korostaa kiinteistöjen kulutusjouston merkitystä [15].



Kuva 12. Fossiilivapaan kaukolämpöverkon ekosysteemi [16].

Kuvassa havainnollistetaan tulevaisuuden kaukolämpöverkkoa, jossa fossiiliset polttoaineet on korvattu uusiutuvalla energialla. Hybridilämmitysjärjestelmät yleistyvät ja aurinkokeräimet sekä -paneelit tulevat yhä useammin osaksi kiinteistöjen energiajärjestelmää. Aurinkoenergiaa varastoidaan akkuihin ja varastoihin, jolloin sitä voidaan hyödyntää myös silloin, kun aurinko ei paista.

Tällä hetkellä kaukokylmän käyttö on vielä melko harvinaista, ja sitä käytetään pääasiassa vain suurimpien kaupunkien keskustoissa. Kuitenkin on todennäköistä, että kaukokylmä tulee yleistymään tulevaisuudessa, ja sen käyttö laajenee myös ulospäin kaupunkien keskustoista.



Kuva 13. Euroopan lämpötiloja elokuussa 2023 [17].

Ilmastonmuutos ja sen aiheuttamat helleaallot lisäävät jäähdytystarvetta rakennuksissa. Tämä yhdistettynä jatkuvasti kiristyviin energiatehokkuusvaatimuksiin luo kiinteistönomistajille vahvat kannustimet päivittää rakennusautomaatiojärjestelmiään.

Yhteenvedona voidaan todeta, että rakennusautomaation alan tulevaisuus näyttää kysynnän puolesta hyvältä. Kaupungistuminen, ikääntyvä rakennuskanta, energiatehokkuusvaatimukset, digitalisaatio ja ilmastonmuutos ovat megatrendejä, jotka vauhdittavat alan kasvua ja luovat kysyntää markkinoille [18]. Rakennusautomaation tekniset komponentit ja väyläprotokollat ovat keskeisiä alan kehityksen ja trendien mukaisten ratkaisujen mahdollistamisessa, joten niihin perehtyminen seuraavaksi on olennaista.

3 Rakennusautomaation tekniset komponentit ja väyläprotokollat

3.1 Rakennusautomaation tasot ja laitteisto

Rakennusautomaatiojärjestelmä voidaan jakaa kolmeen hierarkkiseen tasoon: hallintatasoon, automaatiotasoon ja kenttälaitetasoon. Nykyaikaisissa järjestelmissä hallintatasoa edustaa pilvivalvomo, joka mahdollistaa kiinteistön etäseurannan ja -ohjauksen. Automaatiotaso koostuu valvonta-alakeskuksista, jotka sisältävät ohjelmat ja I/O-moduulit. Kenttälaitetaso taas kattaa kaikki kentällä olevat anturit ja toimilaitteet, joita voi olla suurissa kiinteistöissä jopa tuhansia.

3.1.1 Anturit ja mittaustavat

Rakennusautomaatiojärjestelmä tarvitsee jatkuvasti tietoa kiinteistön olosuhteista voidakseen säätää järjestelmiä parhaalla mahdollisella tavalla. Tätä tietoa kerätään erilaisilla antureilla, joita on sijoitettu ympäri rakennusta.

Anturit, joita kutsutaan myös sensoreiksi, mittaavat erilaisia suureita ympäristöstään. Nämä suureet muutetaan sitten lähettimillä sähköisiksi signaaleiksi valvonta-alakeskukselle ymmärrettävään muotoon.

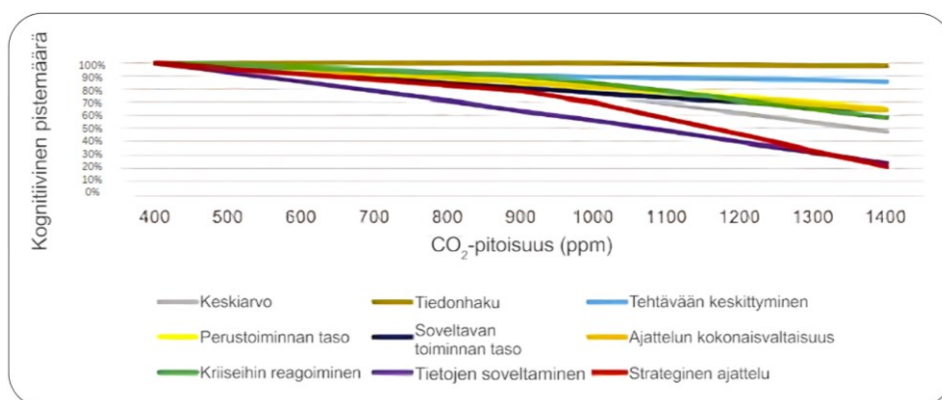


Kuva 14. Rakennusautomaatiossa yleisesti käytettyjä anturityyppejä.

Samaan laitteeseen voidaan myös yhdistää samalla kertaa monta mittausta, jolloin kyseessä on yhdistelmäanturi, mikä säästää asennuskustannuksia ja tilaa.

Anturien asennuksessa voidaan tarvita lisätarvikkeita, kuten esimerkiksi paineanturien tapauksessa PVC-letkua, tai putken sisältä tehtävään lämpötilamittaukseen erillistä anturitaskua. LVI-urakoitsija vastaa kaikista putken rakenteisiin vaikuttavista toimenpiteistä.

Huonetiloissa yleisimmin mitattu suure on lämpötila, jota seuraa hiilidioksidipitoisuus (CO₂). Hiilidioksidipitoisuus on hyvä mittari ilmanvaihdon toimivuudesta, ja sen optimaalinen taso sisätiloissa on noin 500 ppm (parts per million).




Kuva 15. CO₂-tasojen vaikutus työntekijöiden kognitiivisiin kykyihin [19].

Kuten kuvasta 14 havaitaan, liiallinen hiilidioksidipitoisuus voi heikentää työntekijöiden keskittymiskykyä ja kognitiivisia toimintoja. Tehokas ilmanvaihto on siis tärkeää paitsi viihtyvyyden, mutta myös työtehon kannalta.

Tilavuusvirta - Litraa sekunnissa (l/s) tai kuutiota tunnissa (m ³ /h) tai kuutiota sekunnissa (m ³ /s)	
Massavirta - Kilogrammaa sekunnissa (kg/s)	
Virtausnopeus - Metriä sekunnissa (m/s)	
Paine-ero - Pascal (Pa)	
Lämpötila - Celsius (°C)	Sähkönkulutus - Kilowattituntia (kWh)
Suhteellinen kosteus - Relative Humidity (%RH)	Teho - Wattia (W)
Läsnäolo/Liike - Reletoiminen (12...24VAC/DC)	Taajuus - Hertsia (Hz)
Hiilidioksidi (CO₂) - Parts per million (ppm)	Vääntömomentti - Newtonmetriä (Nm)
Hiilimonoksidi (CO) - Parts per million (ppm)	Pyörimisnopeus - Kierrosta minuutissa (RPM)
Ilmanlaatu (VOC) - Parts per million (ppm)	
Valoisuus - Lux (lx)	
Valon voimakkuus - Wattia neliometriä kohden (W/m ²)	
Tuulen nopeus - Metriä sekunnissa (m/s)	
Tuulen suunta - Aste (°)	
Sade ja savumittaus - Reletoiminen (12...24VAC/DC)	
Vesivuoto ja kondensoituminen - Resisttiivinen ja/tai reletoiminen (12...24VAC/DC)	

Kuva 16. Rakennusautomaatiossa useasti vastaan tulevia suureita.

Rakennuksesta otettavat mittaukset määritellään aina tapauskohtaisesti, mutta lähes jokaisessa järjestelmässä mitataan ainakin lämpötilaa, ilman painetta, ilman virtausta ja hiilidioksidipitoisuutta.

VASTUSARVOTAULUKKO		 measure-be sure.													
Anturi- elementti	PI100	PI1000	NI1000	NI1000-LB	NTC 1-B	NTC 2-2	NTC 3-0	NTC 10	NTC 20	NTC 10-AN	NTC 10-C	NTC 10-KB	KP 10	T1	
Tot.	±0.3 °C / 0 °C EN60751 B	±0.3 °C / 0 °C EN60751 B	±0.4 °C / 0 °C DIN43760	±0.4 °C / 0 °C to 5000 ppm	±0.3 °C / 25 °C	±0.25 °C / 25 °C	±0.25 °C / 25 °C	±0.25 °C / 25 °C	±0.25 °C / 25 °C	±0.25 °C / 25 °C	±0.25 °C / 25 °C	±0.3 °C / 25 °C	±0.3 °C / 25 °C	±0.4 °C / 0 °C	
Temp. °C	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Trend	Honeywell	Andover	Carel	Ω	V	Ω	
140	153.6	1535.8	1909	1737	71	53	64	235	351	298	381	324			
130	149.8	1498.3	1833	1675	87	68	81	301	460	377	474	385		3675	
120	146.1	1460.7	1760	1615	110	90	105	390	609	482	597	467		3552	
110	142.3	1422.9	1688	1557	139	115	138	511	818	624	758	576		3430	
100	138.5	1385.1	1618	1500	177	153	204	679	1114	817	973	723	3.73	3311	
95	136.6	1366.1	1583	1472	202	178	236	786	1307	939	1108	815	3.68	3252	
90	134.7	1347.1	1549	1444	232	207	275	916	1541	1084	1266	923	3.63	3194	
85	132.8	1328.0	1516	1417	261	241	321	1070	1823	1254	1451	1048	3.58	3136	
80	130.9	1309.0	1483	1390	303	283	376	1255	2166	1457	1668	1194	3.53	3079	
75	129.0	1289.9	1450	1364	350	334	444	1480	2585	1700	1924	1364	3.48	3022	
70	127.1	1270.8	1417	1337	404	395	526	1752	3098	1990	2228	1562	3.43	2966	
65	125.2	1251.6	1385	1311	468	469	625	2083	3732	2338	2588	1791	3.38	2910	
60	123.2	1232.4	1353	1285	544	560	746	2488	4518	2760	3020	2056	3.33	2855	
55	121.3	1213.2	1322	1260	636	673	896	2986	5494	3270	3536	2358	3.28	2800	
50	119.4	1194.0	1291	1235	750	811	1081	3602	6718	3893	4160	2702	3.23	2745	

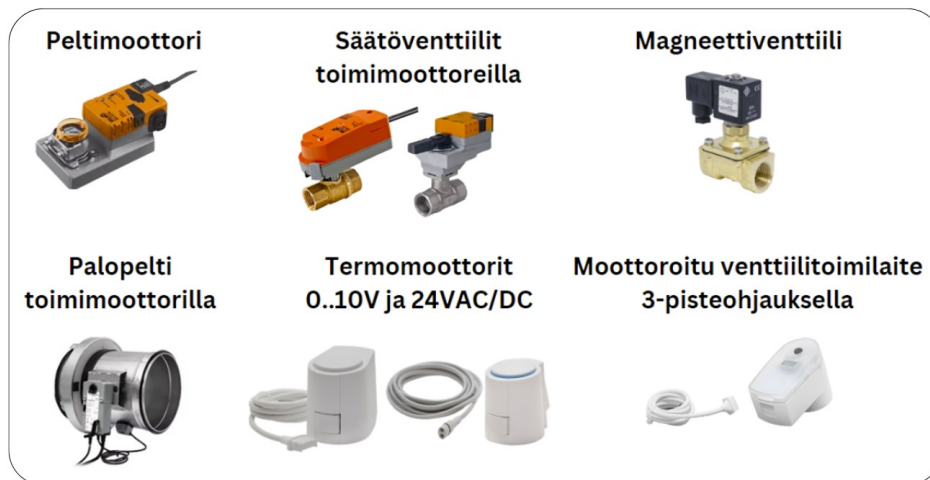
Kuva 17. Resisttiivisten anturien vastusarvotaulukko [20].

Anturi mittaa siis suuretta ja muodostaa siitä sähköisen signaalin, jonka jälkeen mittalähetin muuntaa sen valvonta-alakeskukselle ymmärrettävään muotoon. Nykyaikaisissa antureissa lähetin on usein integroitu osaksi anturia, jolloin

asennus ja kytkentä on helpompaa. Antureista voidaan myös välittää tietoa suoraan kenttäväylän avulla.

3.1.2 Toimilaitteet sekä ohjaus- ja säätötavat

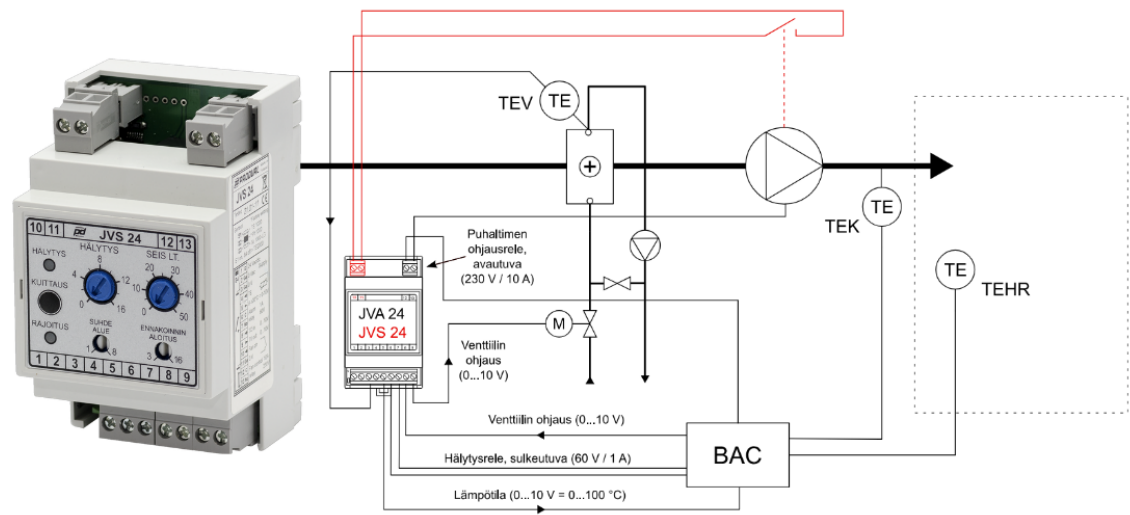
Toimilaitteet eli aktuaattorit ovat rakennusautomaatiojärjestelmän fyysisesti liikuvia komponentteja. Ne muuttavat asentoaan ohjaus- tai säätöviestien perusteella ja täten muuttavat järjestelmää halutulla tavalla.



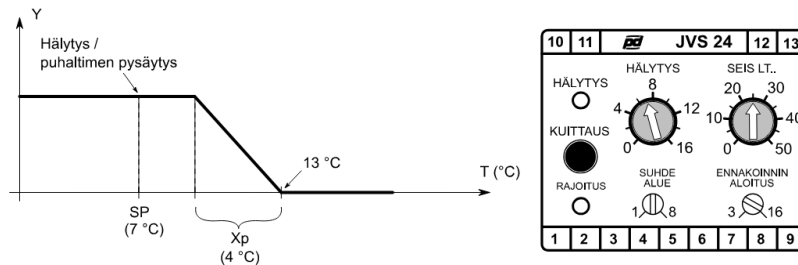
Kuva 18. Rakennusautomaatiossa yleisesti käytettyjä toimilaitteita.

Kuvassa 18 on esitetty muutamia rakennusautomaatiossa yleisimmin käytettyjä toimilaitteita, kuten säätöventtiileitä, toimimoottoreita ja palopeltelejä. Nämä laitteet muodostavat olennaisen osan rakennusautomaatiojärjestelmää mahdollistaen sen, että rakennusautomaatiojärjestelmä voi fyysisesti vaikuttaa rakennuksen taloteknisiin järjestelmiin.

Säätöventtiilit ovat venttiileitä, joiden asentoa voidaan säätää portaattomasti ohjausjärjestelmän lähettämien säätöviestien perusteella. Toimimoottorit ovat sähkömoottoreita, joita käytetään erilaisten laitteiden avaamiseen ja sulkemiseen. Palopellit estävät savun ja palokaasujen leviämisen ilmanvaihtokanavissa tulipalon sattuessa.



- Hälytyksen asetusarvo (SP) = 7 °C
- Ennakoinnin aloitus = SP + Ennakoinnin aloituspiste = 7 °C + 6 °C = 13 °C
- Suhdealue (Xp) = 4 °C
- Seisonta-ajan lämpötila = 25 °C



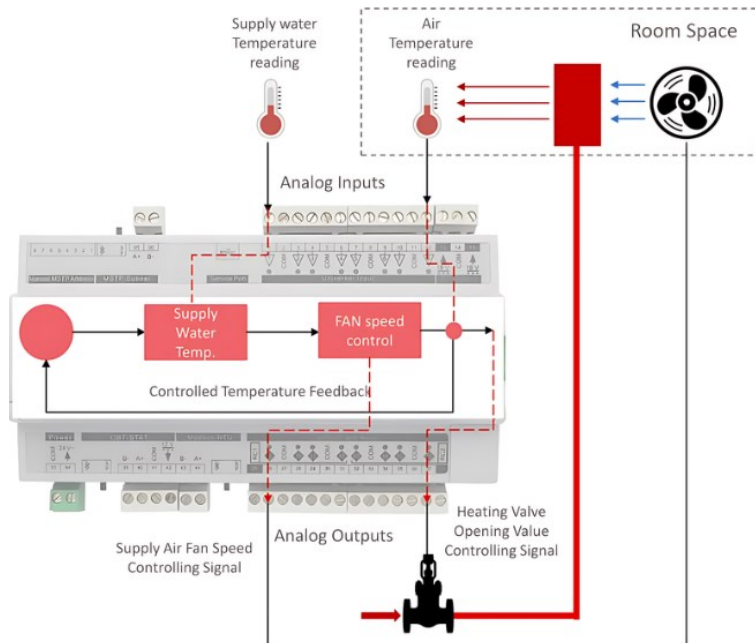
Kuva 19. Jäätymisvaarasuojan toimintaperiaate [21].

Jäätymisvaarasuojalla on tärkeä rooli ilmanvaihtokoneen lämmitysjärjestelmän turvallisuuden varmistamisessa. Se estää ilmanvaihtolaitteen patteriverkoston jäätyksen kylmällä säällä ja ehkäisee näin putken halkeamisen ja vesivahingon. Jäätymisvaarasuojalle tulee säätöviesti valvonta-alakeskukselta, jonka perusteella se säätää venttiiliä. Jäätymisvaarasuoja voi kuitenkin itsenäisesti muuttaa venttiilin säätöviestiä, jos lämmityspatterin lämpötila laskee liikaa.

Rakennusautomaatiossa käytetään kahta aktivointitapaa: ohjausta ja säätöä. Ohjauksella tarkoitetaan päälle/pois-tyyppistä toimintaa, kun taas säädöllä tarkoitetaan portaatonta muutosta haluttujen arvojen välillä. Ohjausviestit ovat tyypillisesti 12 tai 24 VAC/DC, kun taas säätöviesteinä käytetään joko 0...10 VAC/DC, 2...10 VAC/DC, 0...20 mA tai 4...20 mA.

Rakennusautomaatiojärjestelmä voi toimia joko automaattisäädöllä tai manuaalisäädöllä. Automaattisäädössä ohjelma säätää ja ohjaa järjestelmää itsenäisesti, kun taas manuaalisäädössä huoltomies tekee tarvittavat säädöt. Yksittäisiä pisteitä voidaan ohjata manuaalisesti myös silloin, kun muu järjestelmä on automaattisäädöllä.

3.1.3 Säätimet



Kuva 20. Säädinyksikön kytkentäesimerkki huoneen ilmastoinnin säätöön [22].

Säätimet ovat rakennusautomaation aivot. Ne lukevat antureilta tulevaa tietoa, käsittelevät sitä sekä lähettävät säätö- ja ohjausviestejä toimilaitteille. Säädinyksiköt asennetaan yleensä piiloon alakattoon tai muuhun huomaamattomaan paikkaan.

Yksikkösäädin on muusta prosessista erillään oleva säädin, joka vastaa pelkästään yhden tietyn prosessin itsenäisestä säädöstä. PID-säädin on monimutkaisempien prosessien ohjaukseen. PID-säädin ottaa huomioon säädettävän suureen poikkeaman halutusta arvosta (P-termi), poikkeaman keston (I-termi) ja poikkeaman muutosnopeuden (D-termi). Rakennusautomaatiossa yleisin käytetty säädin on PI-säädin, jossa D-termiä ei käytetä. PID-säätimiä on saatavilla

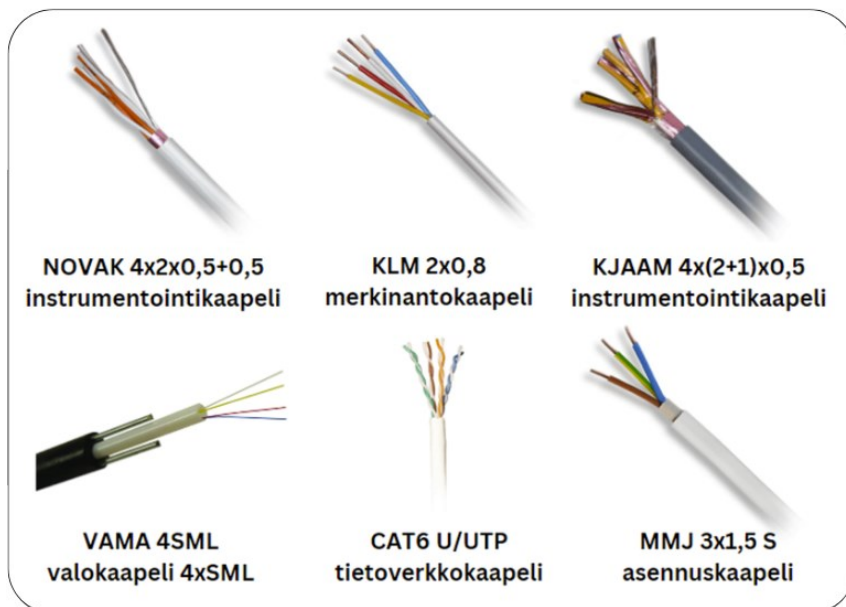
sekä fyysisinä laitteina, että ohjelmistoissa virtuaalisina funktiolohkoina.



Kuva 21. Grundfos CU 351 -ohjausyksikkö pumppuineen sekä ABB:n taajuusmuuttajalla säädettävä sähköpumppu.

3.1.4 Kaapelointi

Kaapeloinnilla on tärkeä rooli rakennusautomaatiojärjestelmän toiminnassa, sillä anturit, toimilaitteet ja valvonta-alakeskukset on kytkettävä toisiinsa luotettavasti ja häiriöttömästi. Langaton tekniikka yleistyy, mutta fyysinen kaapelointi on silti edelleen yleisin ratkaisu.



Kuva 22. Rakennusautomaatiossa useasti vastaan tulevat kaapelityypit.

Kuvassa 22 on esitelty yleisimpiä rakennusautomaatiossa käytettyjä kaapeleita. Kaapelin valinnassa on huomioitava tarvittava häiriösuojaus, jotta signaalit eivät häiriinny muista laitteista tai viereisistä kaapeleista. Valokuitukaapeloinnin kytkennät hoitaa erillinen ICT-yritys. Kaapeloinnin hoitaa useimmiten sähköurakoitsija, mutta se voi kuulua myös automaatiourakoitsijan vastuulle.



Kuva 23. Kiinteistöjen sähkötekniikkaan liittyviä kaapeleita ja aputyökaluja.

Vaikka rakennusautomaatio keskittyykin omaan erikoisalaansa, on hyödyllistä tuntea myös muita kiinteistöjen sähkötekniikassa käytettyjä kaapeleita (kuva 24). Jos kohteesta ei ole saatavilla tarkkoja suunnitelmia, tarvittavat kaapelimäärät arvioidaan kokemuksen perusteella silmämääräisesti tai jalkamitoilla.

3.1.5 Laite- ja järjestelmätoimittajat

Rakennusautomaatioalalla toimii useita laite- ja järjestelmätoimittajia, joilla on tarjolla laaja valikoima erilaisia ratkaisuja. Toimittajaa valittaessa on tärkeää ottaa huomioon paitsi laitteiston hinta ja ominaisuudet, mutta myös pitkän aikavälin näkökulma.

Varaosien ja ohjelmistojen saatavuus on kriittinen tekijä järjestelmän elinkaaren ja toimintavarmuuden kannalta. On tärkeää varmistaa, että toimittajalla on kattava varaosapalvelu ja että ohjelmistoja päivitetään ja tuetaan myös tulevaisuudessa. Urakoitsijoille tarjottava koulutus on myös tärkeää, jotta asennus ja

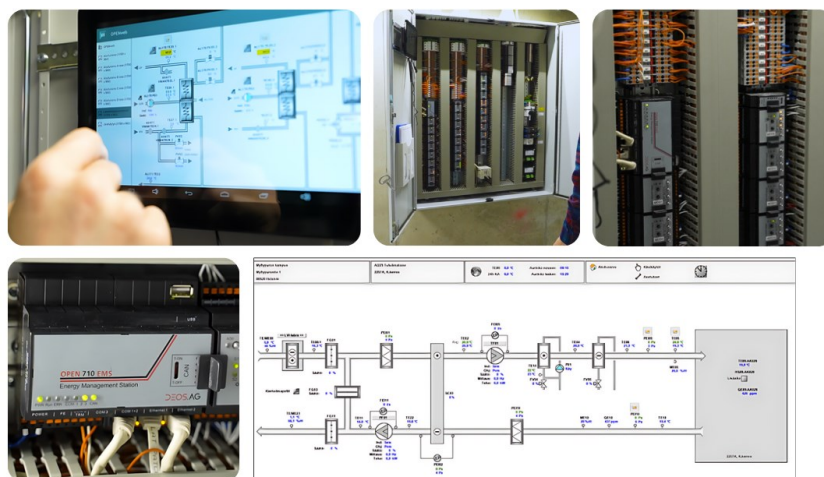
huolto hoidetaan ammattitaitoisesti ja järjestelmä toimii moitteettomasti.

Nykyaikaisissa järjestelmissä painotetaan helppokäyttöisyyttä ja selkeitä käyttöliittymiä. Valvomoratkaisujen grafiikoiden tulisi olla selkeitä ja informatiivisia, jotta kiinteistön tilaa on helppo seurata, ohjata ja säätää.



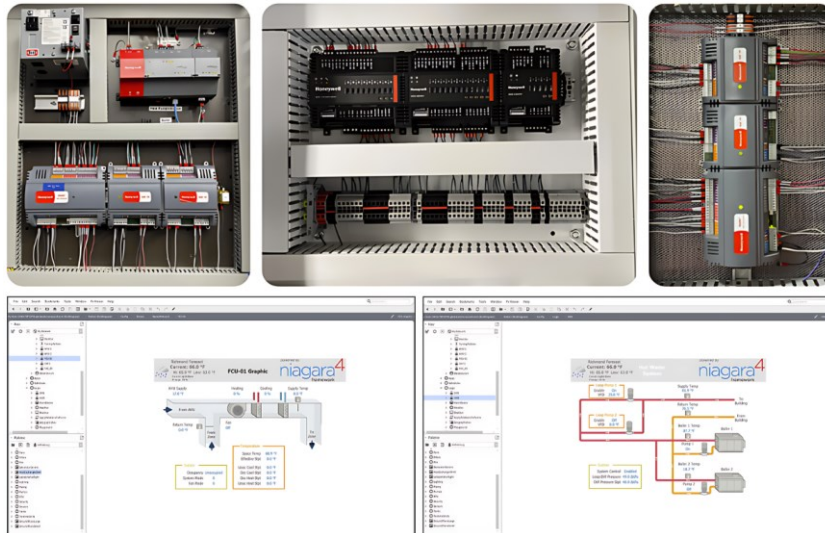
Kuva 24. Schneider Electricin laitteistoa ja valvomoratkaisuja.

Schneider Electric on lähes 50 vuotta vanha ranskalainen yritys, jonka liikevaihto Suomessa oli viime vuonna 145 miljoonaa euroa.



Kuva 25. DEOS AG:n laitteistoa ja valvomoratkaisuja.

DEOS AG on lähes 60 vuotta vanha saksalainen yritys, joka on osa ruotsalaista Regin Group -konsernia.



Kuva 26. Honeywellin laitteistoa ja valvomratkaisuja.

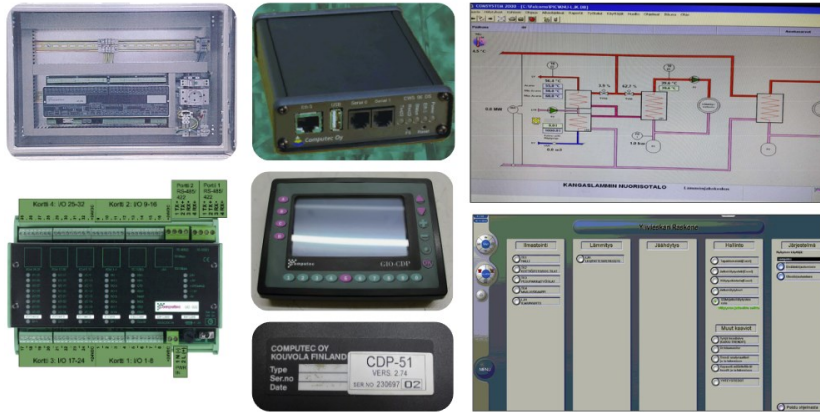
Honeywell on lähes 120 vuotta vanha yhdysvaltalainen yritys, jolla on laaja-alaista liiketoiminta usealla sektorilla rakennusautomaation lisäksi. Se toimii lentoliikenteestä terveydenhuoltoon, teollisuudesta energiaverkkoihin ja kaupallisista rakennuksista logistiikkaan. Honeywell omistaa myös Trend Control Systemsin, jonka se hankki vuonna 2005. Eduskunnan rakennusautomaatio on toteutettu Trendin laitteistolla.



Kuva 27. Atmostechin laitteistoa ja valvomratkaisuja.

Atmostech oli suomalainen rakennusautomaation laitevalmistaja ja urakoitsija, joka aloitti toimintansa 90-luvun alkupuolella. Atmostech oli aikansa edelläkävijä rakennusautomaatiossa ja koki valtavaa kasvua jopa 90-luvun pankkikriisistä huolimatta.

Atmostech myytiin englantilaiselle yritykselle 2000-luvun alussa, jonka jälkeen tapahtui monia muita yritysostoja ja -sulautumisia. Nimeämisiin kuului muun muassa Invensys ja TAC Atmostech, mutta lopulta vuonna 2014 TAC Atmostech sulautettiin kokonaisuudessaan osaksi Schneider Electriciä.



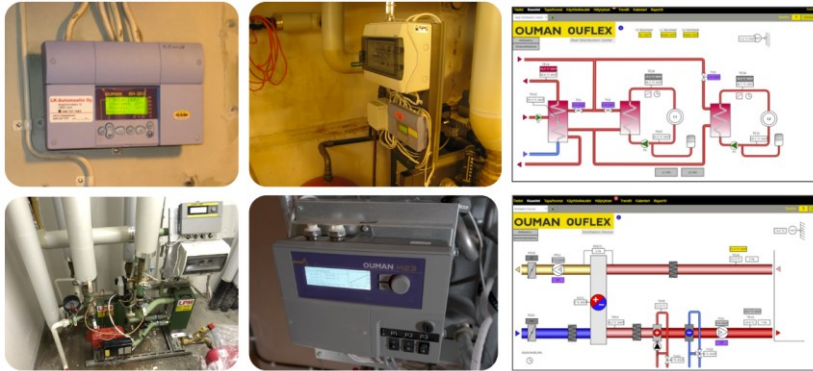
Kuva 28. Computecin laitteistoa ja valvomratkaisuja.

YIT Kiinteistötekniikka Oy osti vuonna 2008 rakennusautomaatiojärjestelmiin erikoistuneen Computec Oy:n koko osakekannan. Computec Oy toimitti ja ylläpiti rakennusautomaatiojärjestelmiä.



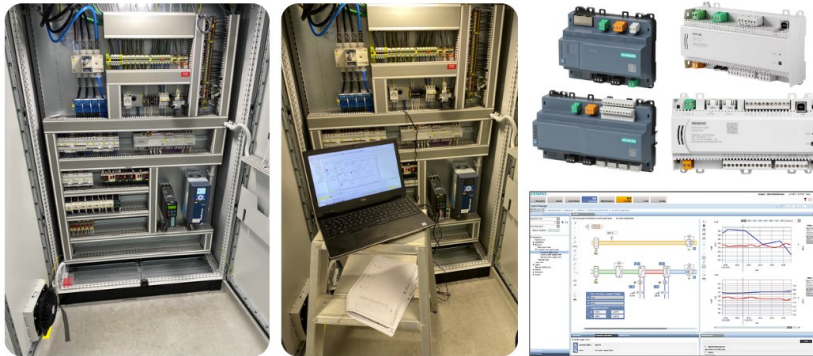
Kuva 29. Fidelixin laitteistoa ja valvomratkaisuja.

Fidelix on 22 vuotta vanha suomalainen yritys, jonka vuosittainen liikevaihto on lähellä 40 miljoonaa euroa.



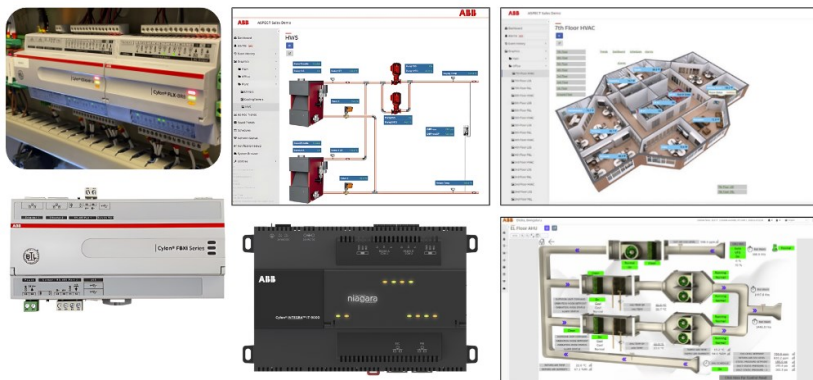
Kuva 30. Oumanin laitteistoa ja valvomoratkaisuja.

Ouman on 13 vuotta vanha yritys, jonka vuosittainen liikevaihto on noin 30 miljoonan euron suuruusluokassa. Oumanin erikoisaluetta ovat taloyhtiöt.



Kuva 31. Siemensin laitteistoa ja valvomoratkaisuja.

Siemens on lähes 180 vuotta vanha yritys, jonka maailmanlaajuinen liikevaihto on lähes 90 miljardia euroa.



Kuva 32. ABB:n laitteistoa ja valvomoratkaisuja.

ABB on lähes 140 vuotta vanha yritys, jonka maailmanlaajuinen liikevaihto on noin 30 miljardia euroa.

Kuten kuvista havaitaan, laite- ja järjestelmätoimittajat tarjoavat laajan kirjon erilaisia ratkaisuja aina yksinkertaisista säätimistä monimutkaisiin valvomojärjestelmiin.

On tärkeää muistaa, että toimittajan valinta ei ole pelkkä tekninen päätös. Myös toimittajan luotettavuus, asiakaspalvelu ja tuki ovat tärkeitä kriteerejä. Hyvä toimittaja on kumppani, joka auttaa asiakasta saavuttamaan tavoitteensa ja varmistaa, että rakennusautomaatiojärjestelmä palvelee kiinteistöä luotettavasti ja tehokkaasti koko elinkaarensa ajan.

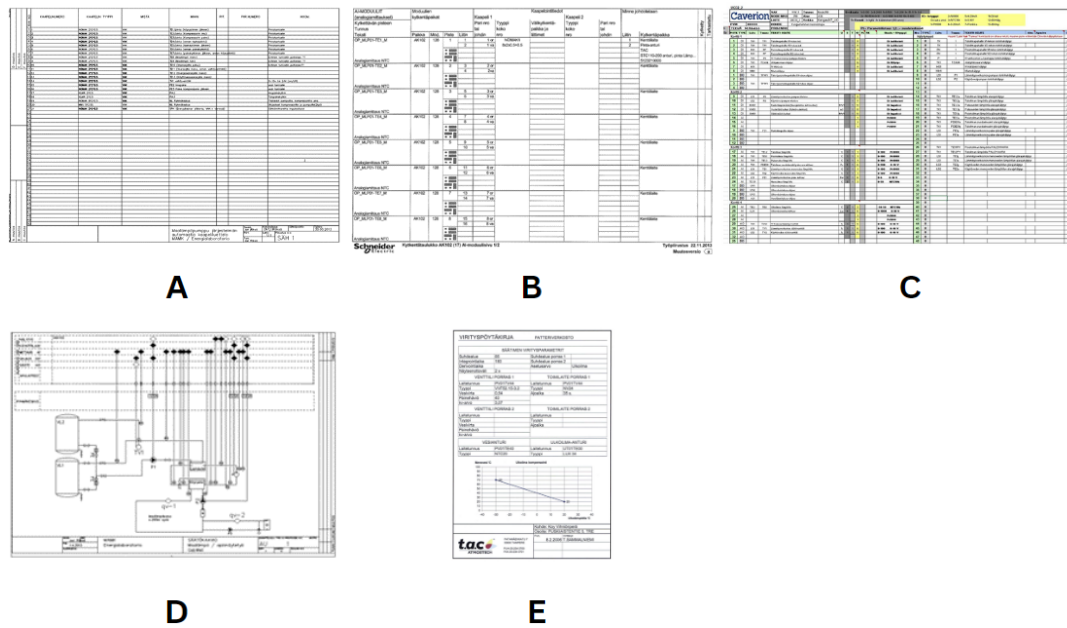
3.1.6 Dokumentaatio

Rakennusautomaatiojärjestelmän dokumentaatio sisältää kaapeli-, kytkentä-, piste-, laite- ja venttiililuettelot, säätö- ja järjestelmäkaaviot, virituspöytäkirjat ja toimintaselostukset [23].



Kuva 33. Lämmönjakuhuoneen seinällä oleva säätökaavio.

Säätökaavio auttaa nopeasti hahmottamaan järjestelmän toimintaperiaatteen, mittaukset, ohjaukset ja säädöt.



Kuva 34. A) Kaapelinvetoluettelo B) Kytkentäkaavio C) Pisteluettelo D) Sääto-
kaavio E) Virituspöytäkirja

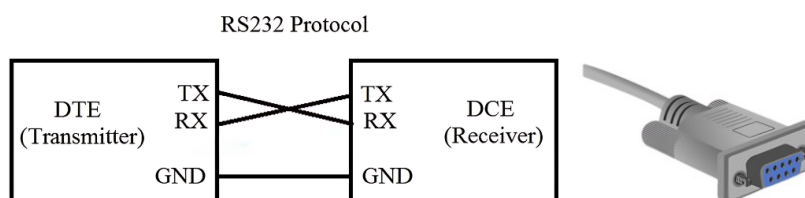
3.2 Rakennusautomaation väyläprotokollat

Rakennusautomaatiojärjestelmissä käytetään useita erilaisia tiedonsiirtoprotokollia, eli väyläprotokollia, jotka mahdollistavat laitteiden välisen kommunikoinnin. Nämä protokollat määrittelevät, miten data siirretään laitteelta toiselle, ja varmistavat, että viestit ymmärretään oikein. [24.]

3.2.1 RS-232, RS-422 ja RS-485

RS-protokollat (Recommended Standard) ovat sarjaliikenneprotokollia, joita käytetään usein laitteiden välisessä tiedonsiirrossa.

RS-232 on yksinkertaisin ja vanhin näistä protokollista, ja se tunnetaan kansankielellä usein sarjaliitännänä. RS-232-väylässä data siirtyy kerrallaan vain yhteen suuntaan, joten vain yksi laite voi "puhua" kerrallaan. Sen tiedonsiirtonopeus on rajoitettu 20 kbps:iin ja maksimikaapelin pituus on noin 15 metriä. RS-232 kehitettiin alun perin tietokoneen ja modeemin väliseen tiedonsiirtoon.

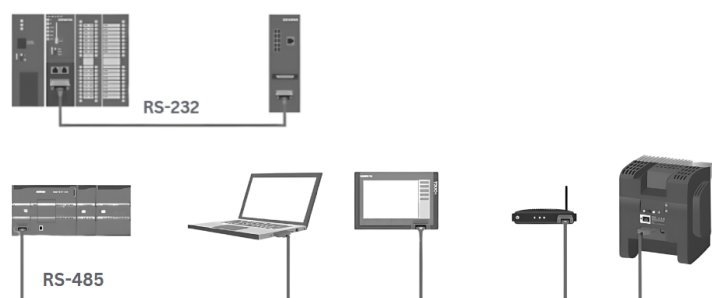


Kuva 35. RS-232-sarjaliikenneprotokollan toimintaperiaate ja DE9-liitin.

RS-232-protokollaa voidaan käyttää sekä tarpeen mukaiseen että jatkuvaan tiedonsiirtoon. Jatkuvassa tiedonsiirrossa lähettäjän ja vastaanottajan on käytettävä samaa tiedonsiirtonopeutta, joka on tyypillisesti 9600 bps, 19,2 kbps, 38,4 kbps tai 115,2 kbps.

RS-422 on RS-232:n paranneltu versio, joka tarjoaa suuremman tiedonsiirtonopeuden ja pidemmän kaapelin maksimipituuden. Se on kuitenkin käytännössä korvautunut uudemmalla RS-485-protokollalla.

RS-485 on monipuolisin ja yleisin RS-protokolla rakennusautomaatiossa. Se tukee monipisteistä viestintää, eli useampi laite voi olla kytkettynä samaan väylään ja kommunikoida keskenään. RS-485-väylän maksimipituus on 1200 metriä ja tiedonsiirtonopeus riippuu kaapelin pituudesta. Lyhyillä kaapeleilla (noin 10 metriä) voidaan saavuttaa jopa 35 Mbps nopeus, kun taas 1200 metrin kaapelilla nopeus on noin 100 kbps. Väylään voidaan kytkeä teoriassa jopa 256 laitetta, mutta käytännössä suositeltu maksimimäärä on 32.



Kuva 36. RS-232 ja RS-485-sarjaliikenneprotokolla visualisoituna [25].

RS-485-protokolla ei itsessään sisällä laitteiden yksilöintimekanismia, joten laitteet on yksilöitävä ylempään tason protokollalla. Yksilöinti voidaan toteuttaa ohjelmallisesti, dip-kytkimillä tai virtapiirissä olevilla oikosulkupaloilla.

Pitkillä kaapeleilla, nopeilla tiedonsiirtonopeuksilla ja useilla laitteilla RS-485-väylän molempiin päihin suositellaan 120 ohmin päätevastuksia, jotka parantavat signaalin laatua ja vähentävät heijastuksia. Lyhyissä ja hitaissa väylissä päätevastukset eivät ole välttämättömiä.

3.2.2 Modbus RTU ja Modbus TCP/IP

Modbus on yksi käytetyimmistä tiedonsiirtoprotokollista niin teollisuusautomaatiossa kuin rakennusautomaatiossa. Se oli alun perin Schneider Electricin kehittämä, mutta siitä on sittemmin tehty avoin ja maksuton standardi. Modbus-protokollasta on olemassa kaksi pääasiallista versiota: Modbus RTU ja Modbus TCP/IP.

Modbus RTU (Remote Terminal Unit) perustuu master-slave-arkkitehtuuriin, jossa yksi laite (master) lähettää kyselyjä ja muut laitteet (slavet) vastaavat niihin. Modbus RTU käyttää RS-485-väylää tiedonsiirtoon, ja laitteet yksilöidään yleensä dip-kytkimillä.



Kuva 37. Modbus Address -dip-kytkimet Fidelix TRIAC-8-C:n kyljessä [26].

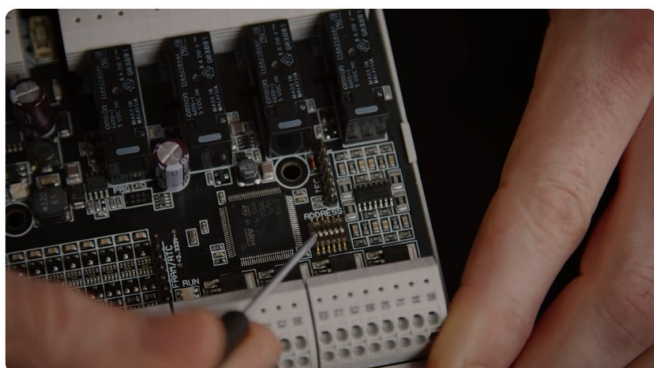
Kuvassa 37 nähdään esimerkki Modbus Address -dip-kytkimistä, joilla laitteelle asetetaan yksilöllinen osoite.

Yksi master voi ohjata enintään 247 slave-laitetta. Master lähettää kyselyn, joka sisältää slave-laitteen osoitteen ja pyynnön tietyistä toiminnosta. Kaikki slavat lukevat viestin, mutta vain osoitettu slave vastaa siihen.

Nimi	Engl. nimi	Pituus (bittinä)	Toiminto
Aloitus	Start	28	Vähintään 3 $\frac{1}{2}$ merkkiä kestävä tauko (mark condition)
Osoite	Address	8	Laitteen osoite
Toiminto	Function	8	Toimintokoodi, kuten rekisterin luku
Data	Data	$n \times 8$	Data + viestin tyypistä riippuva pidennys
Tarkiste	CRC	16	Tarkistussumma (CRC, Cyclic redundancy check)
Lopetus	End	28	Vähintään 3 $\frac{1}{2}$ merkkiä kestävä tauko kehysten välillä

Kuva 38. Modbus RTU:n viestirakenne [27].

Kuvassa 38 on esitetty Modbus RTU -viestin rakenne. Viesti koostuu slave-laitteen osoitteesta, funktiokoodista, datasta ja tarkistussummasta.



Kuva 39. Modbus Address -dip-kytkimet virtapiirilevyssä [28].

Kuvassa 39 nähdään toinen esimerkki dip-kytkimistä, joita käytetään laitteen osoitteen asettamiseen.

Modbus TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) on Modbus-protokollan versio, joka käyttää TCP/IP-protokollaa tiedonsiirtoon. Se soveltuu käytettäväksi Ethernet-verkoissa ja mahdollistaa suuremmat tiedonsiirtonopeudet ja pidemmät etäisyydet kuin Modbus RTU. Modbus TCP/IP:ssä laitteet yksilöidään IP-osoitteilla ja porttinumeroilla.

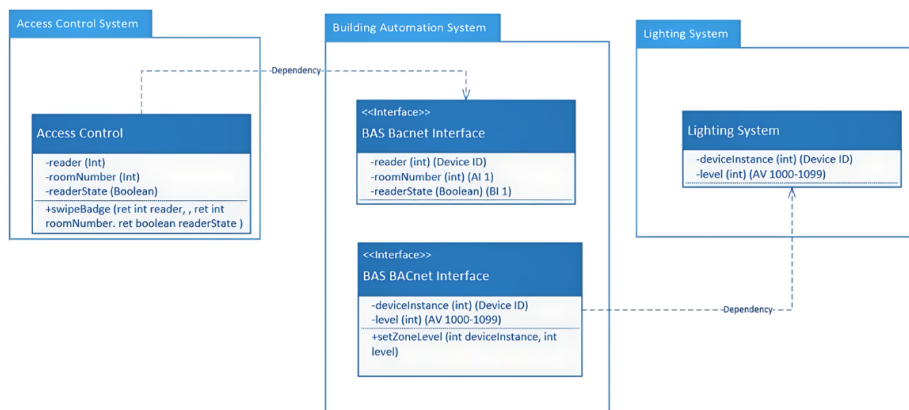
Vaikka Modbus RTU:n ja Modbus TCP/IP:n viestintäprotokollat eroavat toisistaan, niin molemmissa silti käytetään samoja perusfunktioita.

3.2.3 BACnet MS/TP ja BACnet/IP

BACnet (Building Automation and Control Network) on toinen yleinen tiedonsiirtoprotokolla rakennusautomaatiossa. Se on avoin standardi, joka on suunniteltu erityisesti kiinteistöjen automaatiojärjestelmien tarpeisiin. BACnet-protokollasta on olemassa kaksi pääversiota: BACnet MS/TP ja BACnet/IP.

BACnet MS/TP (Master-Slave/Token-Passing) perustuu Modbus RTU tavoin master-slave-arkkitehtuuriin, mutta siinä käytetään token-passing-menetelmää puheoikeuden hallintaan. Token on virtuaalinen "puheoikeusmerkki", joka kiertää laitteelta toiselle. Vain tokenia hallitseva laite voi lähettää viestejä. BACnet MS/TP käyttää RS-485-väylää tiedonsiirtoon, ja laitteet yksilöidään yksilöllisillä BACnet-osoitteilla, jotka asetetaan joko ohjelmallisesti käyttöönoton yhteydessä tai DIP-kytkimillä.

BACnet MS/TP -väylän maksimipituus on 1200 metriä, ja yhteen segmenttiin suositellaan enintään 32 laitetta. Päätelaitteissa käytetään EOL-kytkimiä (End of Line), jotka parantavat signaalin laatua. Päätelaitteet yhdistetään BACnet-reitittimeen, joka yhdistää useita segmenttejä ja muodostaa laajemman BACnet-verkon.



Kuva 40. BACnet osana rakennuksen järjestelmäintegraatiota [29].

BACnet/IP käyttää TCP/IP-protokollaa tiedonsiirtoon Ethernet-verkoissa. Vaikka laitteilla on IP-osoitteet verkkoyhteyksiä varten, niillä on myös yksilölliset BACnet-laitetunnukset laitteiden tunnistamiseen ja kommunikointiin BACnet-verkon sisällä.

3.2.4 LonWorks ja LonTalk

LonWorks on verkkoarkkitehtuuri ja LonTalk on siinä käytetty tiedonsiirtoprotokolla. LonWorks-verkossa jokaisella laitteella on oltava oma Neuron-siru, joka toteuttaa LonTalk-protokollan. LonTalk-protokolla on hajautettu, eli jokainen laite voi aloittaa kommunikoinnin toisen laitteen kanssa ilman master-laitteen ohjausta.

LonWorks-verkon tiedonsiirtonopeus on enintään 1,25 Mbps ja maksimipituus on noin 400 metriä. LonWorks on kuitenkin vanhentunutta teknologiaa ja sitä korvataan nykyään usein BACnet-järjestelmillä.

3.2.5 Muut väyläprotokollat

M-Bus (Meter-Bus) on suunniteltu erityisesti energian ja veden kulutuksen mittaamiseen. Tämä master-slave-arkkitehtuuriin perustuva protokolla käyttää tiedonsiirtoon jännitepulsseja ja yksilöi slave-laitteet, kuten energia- ja vesimittarit, yksilöllisillä osoitteilla (1–250). Käyttöön oton yhteydessä mittareille on asetettava oikeat osoitteet ja master-laite on konfiguroitava määrittämällä mm. lukuintervallit.

T-Bus perustuu I2C-protokollaan ja siinä laitteet tunnistetaan automaattisesti niiden fyysisen sijainnin perusteella DIN-kiskolla, mikä yksinkertaistaa käyttöönottoa. Erillistä osoitteiden asettamista ei tarvita, vaan laitteet konfiguroidaan ohjelmallisesti niiden fyysisen kytkennän jälkeen.

KNX on puolestaan hajautettu ja avoin kenttäväyläprotokolla, joka soveltuu monenlaisten järjestelmien ohjaukseen ja valvontaan. KNX-järjestelmässä laitteiden yksilöinti ja ohjelmointi tapahtuu ETS-ohjelmistolla (Engineering Tool Software), ja jokaisella laitteella on yksilöllinen fyysinen osoite muodossa

alue.linja.laite (esimerkiksi 1.2.3). KNX mahdollistaa myös laitteiden kommunikoinnin ryhmäosoitteiden avulla, mikä lisää järjestelmän joustavuutta ja mahdollistaa toiminnallisen ryhmittelyn. KNX-järjestelmän etuna on myös se, että laitteet saavat käyttöjännitteensä suoraan väyläkaapelista (tyypillisesti 30 VDC), jolloin erillisiä virtalähteitä ei tarvita. [30].

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) on puolestaan kehitetty erityisesti valaistuksen ohjaukseen ja säätöön. DALI-väylä perustuu master-slave-arkkitehtuuriin, jossa ohjuslaite toimii master-laitteena ja valaisimet slave-laitteina. Protokollan kaksisuuntainen tiedonsiirto mahdollistaa sekä valaisimien tilan ohjaamisen että niistä saatavan tiedon lukemisen. Yhteen DALI-väylään voidaan kytkeä enintään 64 laitetta, ja sen maksimipituus on 300 metriä. Laitteiden yksilöinti tapahtuu osoitteiden avulla, jotka asetetaan ohjelmallisesti käyttöönoton yhteydessä.



Kuva 41. M-Bus/RS-485-väylämuunnin.

Väylämuuntimia (kuva 41) käytetään yhdistämään eri väyläprotokollia käyttäviä laitteita ja järjestelmiä toisiinsa. Ne muuntavat signaalit ja viestit sopivaksi toiselle väylälle, jolloin eri valmistajien laitteita voidaan yhdistää samaan järjestelmään.

3.3 Rakennusautomaation tietoliikenteen perusteet

3.3.1 IP-osoitteet, aliverkot ja portit

Internet ja useimmat paikallisverkot hyödyntävät tiedonsiirrossaan TCP/IP-protokollaa (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). Tämän protokollan ansiosta verkkoon kytketyt laitteet voivat kommunikoida keskenään saumattomasti. Jokaisella verkkoon liitettyllä laitteella on oma yksilöllinen IP-osoite (Internet Protocol address), mikä toimii laitteen osoitteena verkossa. Laitteet löytävät toisensa näiden osoitteiden avulla.

IP-osoitteet voivat olla joko staattisia tai dynaamisia. Staattiset IP-osoitteet ovat pysyviä ja ne määritetään laitteille manuaalisesti. Dynaamiset IP-osoitteet ovat taas väliaikaisia, ja ne jaetaan laitteille automaattisesti DHCP-palvelimen (Dynamic Host Configuration Protocol) toimesta.

Suurten verkkojen hallintaa ja suorituskykyä parannetaan jakamalla ne pienempiin osiin eli aliverkkoihin. Reitittimet toimivat aliverkkojen välisinä liikenteenohjaajina ja eristävät aliverkot toisistaan, parantaen sekä turvallisuutta että suorituskykyä.



Kuva 42. Lenovon tietotekniikkalaitteistoa.

Portit ovat numeroita, jotka yksilöivät tietokoneessa olevia palveluita tai sovel-

luksia. Kun dataa siirtyy verkosta tietokoneeseen, porttinumero kertoo, mille sovellukselle data on tarkoitettu. Verkkosivujen selaaminen käyttää tyypillisesti porttia 80, kun taas sähköpostin lähettäminen tapahtuu portin 25 kautta.

Tietoturvan kannalta olennainen komponentti on palomuuuri, joka tarkkailee jatkuvasti verkkoon tulevaa ja sieltä lähtevää liikennettä, sekä tarvittaessa estää luvottomat yhteydet. Palomuurin asetuksia muokkaamalla voidaan määrittää tarkasti, mitkä portit ovat avoinna liikenteelle ja mille IP-osoitteille yhteydet sallitaan.

Rakennusautomaation tietoliikenteen kannalta on myös hyvä ymmärtää seuraavat tietoliikenteeseen liittyvät peruskonseptit.

- Broadcast-osoite on aliverkon viimeinen IP-osoite, ja sitä käytetään viestin lähettämiseen kaikille aliverkon laitteille samanaikaisesti.
- DNS (Domain Name System) -järjestelmän tehtävä on muuntaa verkkosivujen ihmisille ymmärrettävät nimet (esim. www.esimerkki.fi) koneiden ymmärtämiksi IP-osoitteiksi.
- DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) -palvelin jakaa dynaamiset IP-osoitteet automaattisesti verkkoon kytketyille laitteille.
- MAC-osoite (Media Access Control address) on jokaisen verkkokortin yksilöllinen tunniste.
- NAT (Network Address Translation) -tekniikan avulla voidaan muuntaa verkon sisäiset IP-osoitteet yhdeksi ulkoiseksi IP-osoitteeksi, jolloin useampi laite voi jakaa saman julkisen IP-osoitteen.
- Yhdyskäytävä (Gateway) yhdistää kaksi erillistä verkkoa toisiinsa ja mahdollistaa niiden välisen tiedonsiirron.
- API (Application Programming Interface) -rajapinta mahdollistaa ohjelmistojen välisen kommunikoinnin ja tiedonvaihdon.

- VPN (Virtual Private Network) luo salatun yhteyden verkon yli, suojaen tietoliikenteen ulkopuolisilta.

Prefix Length Slash Notation (CIDR)	Addresses (Total IPs)	Max Available Hosts (Usable IPs)	Subnet Length	Subnet Mask
/32	1	1	0	255.255.255.255
/31	2	0	1	255.255.255.254
/30	4	2	2	255.255.255.252
/29	8	6	3	255.255.255.248
/28	16	14	4	255.255.255.240
/27	32	30	5	255.255.255.224
/26	64	62	6	255.255.255.192
/25	128	126	7	255.255.255.128
/24	256	254	8	255.255.255.0
/23	512	510	9	255.255.254.0
/22	1024	1022	10	255.255.252.0
/21	2048	2046	11	255.255.248.0
/20	4096	4094	12	255.255.240.0
/19	8192	8190	13	255.255.224.0
/18	16384	16382	14	255.255.192.0
/17	32768	32766	15	255.255.128.0
/16	65536	65534	16	255.255.0.0
/15	131072	131070	17	255.254.0.0
/14	262144	262142	18	255.252.0.0
/13	524288	524286	19	255.248.0.0
/12	1048576	1048574	20	255.240.0.0
/11	2097152	2097150	21	255.224.0.0
/10	4194304	4194302	22	255.192.0.0
/9	8388608	8388606	23	255.128.0.0
/8	16777216	16777214	24	255.0.0.0
/7	33554432	33554430	25	254.0.0.0
/6	67108864	67108862	26	252.0.0.0
/5	134217728	134217726	27	248.0.0.0
/4	268435456	268435454	28	240.0.0.0
/3	536870912	536870910	29	224.0.0.0
/2	1073741824	1073741822	30	192.0.0.0
/1	2147483648	2147483646	31	128.0.0.0
/0	4294967296	4294967294	32	0.0.0.0

Classful IPv4 Addresses	
Class A	0.0.0.0 – 127.255.255.255
Class B	128.0.0.0 – 191.255.255.255
Class C	192.0.0.0 – 223.255.255.255
Class D	224.0.0.0 – 239.255.255.255
Class E	240.0.0.0 – 255.255.255.255

Private IPv4 Addresses	
10.0.0.0 – 10.255.255.255	
172.16.0.0 – 172.31.255.255	
192.168.0.0 – 192.168.255.255	

Special IPv4 Addresses	
Local Host	127.0.0.0 – 127.255.255.255
APIPA	169.254.0.0 – 169.254.255.255

Bogon IPv4 Addresses	
This network	0.0.0.0/8
Private IPv4 Block	10.0.0.0/8
Carrier-grade NAT	100.64.0.0/10
Loopback	127.0.0.0/8
Name collision occurrence	127.0.53.53
Link local	169.254.0.0/16
Private IPv4 Block	172.16.0.0/12
IETF Assignments	192.0.0.0/24
TEST-NET-1	192.0.2.0/24
Private IPv4 Block	192.168.0.0/16
Benchmark testing	198.18.0.0/15
TEST-NET-2	198.51.100.0/24
TEST-NET-3	203.0.113.0/24
Multicast	224.0.0.0/4
Reserved	240.0.0.0/4
Limited broadcast	255.255.255.255/32

Creating a subnet by dividing the host identifier		
Before Subnetting	Network Identifier	Host Identifier
		↙ ↘
After Subnetting	Network Identifier	Subnet Identifier

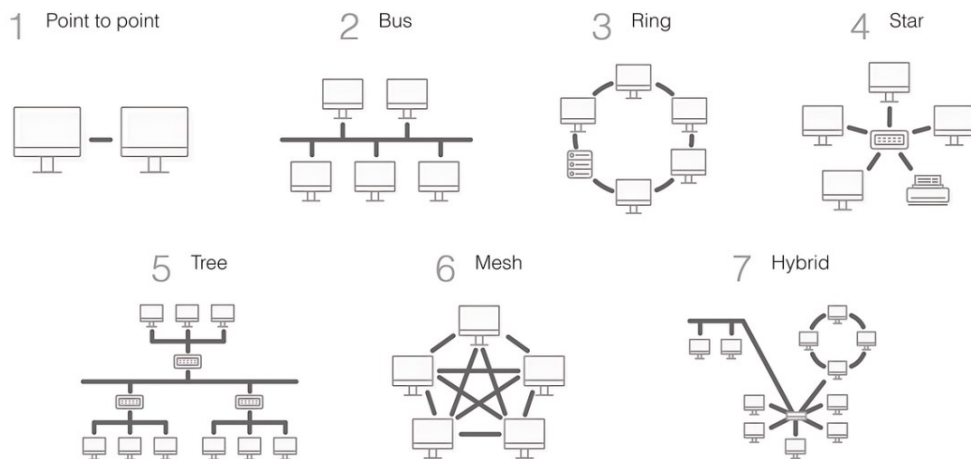
Kuva 43. Muistipaperi aliverkotukseen [31].

Suurten verkkojen kuormituksen ja hallinnan helpottamiseksi ne jaetaan aliverkkoihin. Kuvassa 43 on esimerkki aliverkotukseen liittyvästä muistipaperista.

Laajoissa kohteissa, joissa aliverkotusta vaaditaan, tietoliikenteeseen erikoistunut ja tietoturvasta vastaava taho yleensä suunnittelee ja toteuttaa tarvittavat aliverkot. He myös toimittavat rakennusautomaatiourakoitsijalle vaadittavat konfigurointitiedot. Vaikka aliverkotuksen suunnittelu ei tavallisesti kuulu rakennusautomaatiourakoitsijan tehtäviin, on silti hyödyllistä ymmärtää aliverkotuksen periaatteet ja niiden merkitys verkon toiminnalle.

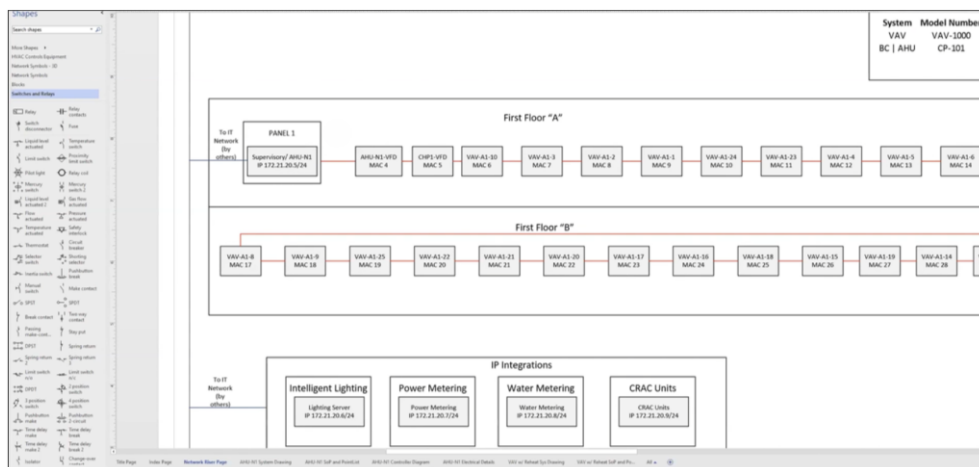
3.3.2 Verkkotopologiat

Verkkotopologia voi kuvata joko laitteiden fyysistä kytkentää kaapeleilla (fyysinen topologia) tai tiedon kulkua verkossa (looginen topologia).



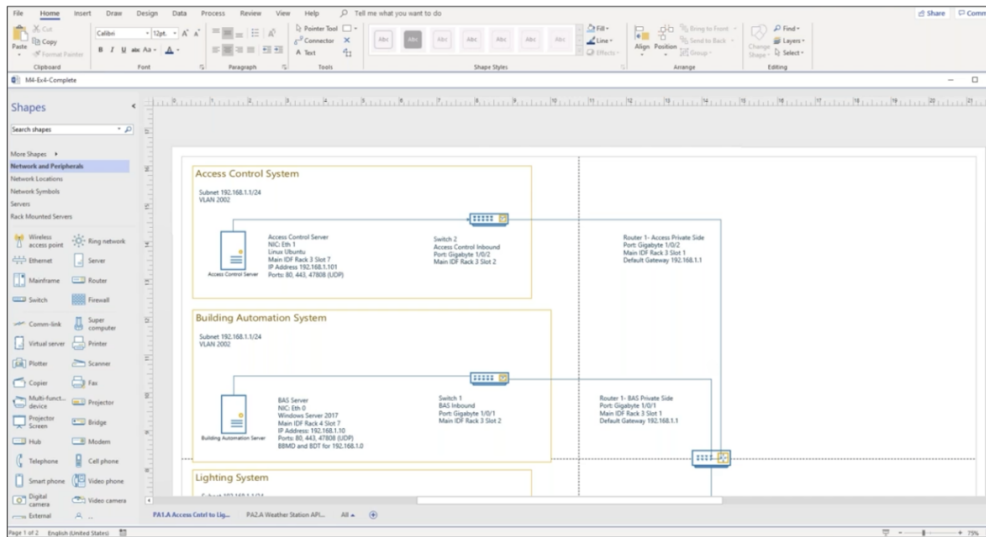
Kuva 44. Verkkotopologiat [32].

Yleisimmät verkkotopologiat rakennusautomaatiossa ovat väylä-, rengas-, tähti- ja puutopologia. Väylätopologiassa taas kaikki laitteet on kytketty samaan kaapeliin, kun taas rengastopologiassa laitteet muodostavat toisiinsa kytketyn rengaan. Tähtitopologiassa kaikki laitteet on kytketty keskitettyyn kytkimeen, kun taas puutopologia on väylä- ja tähtitopologian sekoitus.



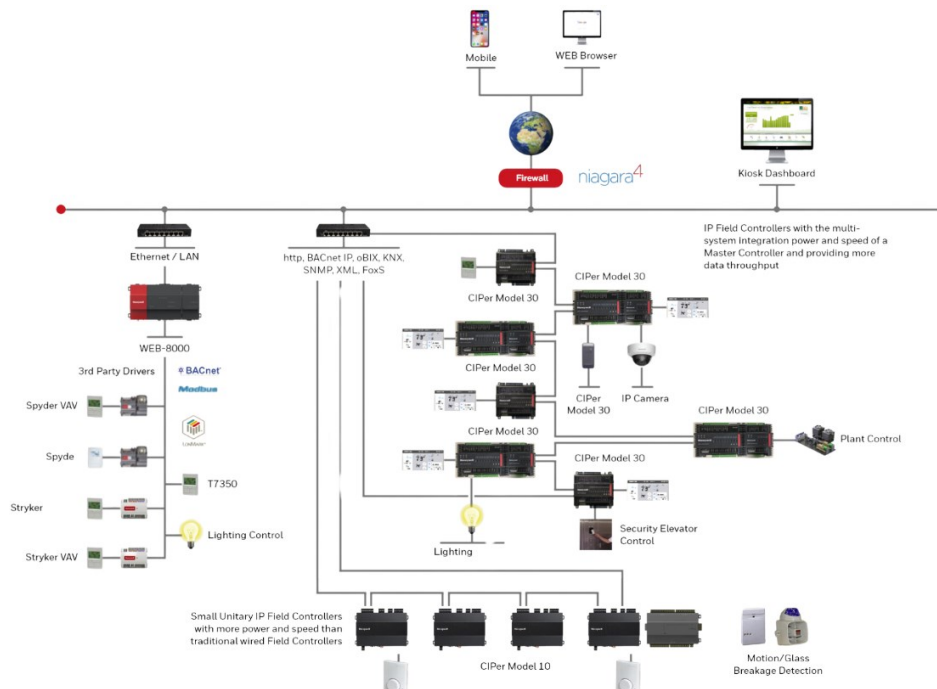
Kuva 45. Ilmamääräsäätimien väylätopologia esitettynä Microsoft Visiossa [33].

Kuvassa 45 on havainnollistettu ilmamääräsäätimien väylätopologiaa Microsoft Visio -ohjelmistossa. Väylätopologiassa kaikki laitteet on kytketty samaan tiedonsiirtoväylään. Tämä topologia on yksinkertainen ja edullinen toteuttaa, mutta sen haittapuolena on se, että yhden laitteen vikaantuminen voi katkaista koko väylän toiminnan.



Kuva 46. Järjestelmäkaavio rakennusautomaation alijärjestelmien integraatiosta Microsoft Visiossa [33].

Kuvassa 46 on esitetty järjestelmäkaavio rakennusautomaation alijärjestelmien integroinnista Microsoft Visio -ohjelmistossa. Eri alijärjestelmien välillä voidaan käyttää erilaisia verkkotopologioita, ja järjestelmän kokonaistopologia voi olla monimutkainen.



Kuva 47. Honeywellin monitasoinen järjestelmäarkkitehtuuri, josta näkee eri verkkotopologioiden yhteensovituksen [34].

Rakennusautomaatiojärjestelmien verkkotopologiat vaihtelevat valmistajasta ja toteutuksesta riippuen. Kuva 47 havainnollistaa nykyaikaista, monitasoista rakennusautomaation järjestelmäarkkitehtuuria, joka integroi erilaisia ohjausyksiköitä, kenttälaitteita ja käyttöliittymiä yhtenäiseksi kokonaisuudeksi.

3.3.3 Verkkolaitteet

Verkkojen rakentamiseen ja hallintaan tarvitaan erilaisia laitteita, joista keskeisiä ovat reitittimet, kytkimet, keskittimet, tukiasemat ja modeemit.

Reititin yhdistää useita verkkoja toisiinsa ja ohjaa tiedonkulkua verkkojen välillä. Kytkin yhdistää laitteita samassa verkossa ja ohjaa tiedonkulkua laitteiden välillä. Keskitin yhdistää laitteita toisiinsa, mutta toisin kuin kytkin, se ei ohjaa tiedonkulkua, vaan jakaa tiedon kaikille. Tukiasema tarjoaa langattoman verkkoyhteyden laitteille, jotka voivat kytkeytyä verkkoon ilman kaapelia. Modeemi taas muodostaa yhteyden laajaverkkoon, kuten internetiin.

PoE (Power over Ethernet) on tekniikka, joka mahdollistaa laitteiden virransaannin verkkokaapelista, jolloin laitteisiin ei tarvita erillistä virtajohtoa. PoE-tekniikka toimii 44...57 VDC-jännitteellä ja sitä käytetään eniten langattomissa tukiasemissa ja IP-kameroissa.

3.3.4 Kyberturvallisuus

Rakennusautomaatiojärjestelmien kyberturvallisuus on tärkeä osa järjestelmän suunnittelua ja käyttöä. Järjestelmän ja tiedon suojaamiseksi on otettava käyttöön useita eri toimenpiteitä. Yksi keino on eristää järjestelmä julkisesta internetistä ja käyttää sen sijaan suljettua verkkoa tai VPN-yhteyttä (Virtual Private Network).

Vahvojen salasanojen käyttö on toinen osa tietoturvaa. Säännöllisesti vaihdettavat ja riittävän monimutkaiset salasanat vaikeuttavat luvaton pääsy järjestelmään. Myös fyysisen tietoturvan merkitystä ei sovi unohtaa. Laite- ja valvomotiioihin tulee olla rajoitettu pääsy ja tilojen valvontaan on kiinnitettävä erityistä huomiota. [36.]



Kuva 48. Tosibox VPN-tunnelin toimintaperiaate [37].

Esimerkkinä turvallisen etäyhteyden luomisesta rakennusautomaatiojärjestelmään on Tosibox VPN -tunneli (kuva 48).

On tärkeää muistaa, että rakennusautomaatiojärjestelmä ei välttämättä ole hyökkääjän varsinainen kohde. Rakennusautomaatioverkkoa voidaan käyttää välikohteena, missä hyökkääjä pyrkii pääsemään käsiksi yrityksen muihin tietoverkkoihin, ja lopulta asiakastietoihin tai maksujärjestelmiin. Hyökkääjät voivat käyttää hyväkseen alihankkijoiden heikompaa tietoturvaa ja pyrkiä pääsemään käsiksi heidän järjestelmiinsä esimerkiksi tietojenkalastelun avulla. [38.]

Yhdysvaltalainen kauppaketju Target joutui tietomurron kohteeksi, kun hyökkääjät onnistuivat pääsemään yrityksen järjestelmiin alihankkijan kautta. Hyökkääjä etsi tietoja Targetin aliurakoitsijoista ja lähetti näille tietojenkalasteluviestejä.

Yksi aliurakoitsija, Fazio, joka oli vastuussa rakennusautomaatiosta, avasi viestin ja asensi haittaohjelman työläppäriilleen, jonka avulla hyökkääjä pääsi käyttämään Fazionin omaa VPN-yhteyttä päästäkseen sisään Targetin tietoverkkoon. Hyökkääjien päästyä isään he murtautuivat laskutuspalvelimen, jonka jälkeen he pääsivät käsiksi asiakkaiden maksutietoihin. Hyökkääjä sai 40 miljoonaa luottokorttitietoa, ja Target sai 20 miljoonan dollarin sakot. VPN suojaaa verkkoliikennettä, mutta ei loppukäyttäjää.

Rakennusautomaatiojärjestelmät voivat joutua myös osaksi bottiverkkoa, jota käytetään palvelunestohyökkäyksiin. Palvelunestohyökkäyksessä hyökkääjä lähettää kohdejärjestelmään valtavan määrän liikennettä, jonka tarkoituksena on ylikuormittaa järjestelmä ja estää sen normaali toiminta.

3.4 Rakennusautomaation ohjelmointi

Rakennusautomaatiojärjestelmän toiminnan ytimessä ovat sen ohjelmat, jotka vastaavat järjestelmien toimintojen ohjauksesta, säädöstä ja valvonnasta. Ohjelmien on oltava mahdollisimman luotettavia, jotta järjestelmä palvelee kiinteistöä mahdollisimman tehokkaasti.

Pelkkä ohjelmointiosaaminen ei kuitenkaan riitä, sillä ohjelmoijan on ymmärrettävä myös kiinteistön talotekniset järjestelmät ja niiden toimintaperiaatteet. Ohjelmien ja talotekniikan on toimittava hyvin yhdessä, jotta saavutetaan paras mahdollinen energiatehokkuus.

Ohjelmointityön lähtökohtana on suunnittelijan laatima toimintaselostus, joka kuvaa järjestelmän toiminnan ja vaatimukset. Ohjelmoijan vastuulla on kuitenkin varmistaa, että toimintaselostus on virheetön ja yksiselitteinen. Epäselvyyksien ilmetessä kannattaa olla yhteydessä suunnitteliijaan ja pyytää lisäselvennyksiä.

Yhtenäinen nimeämiskäytäntö pisteille on tärkeä osa selkeää ja ymmärrettävää ohjelmointityötä, joten yrityksen sisällä kannattaa olla standardoitu menettelytapa pisteiden nimeämiseksi.

Kaikki rakennusautomaation ohjelmointiin tarkoitetut ohjelmointiympäristöt noudattavat IEC 61131-3 -standardia, joka määrittelee ohjelmointimenetelmät ja -kielet.

Ohjelmoinnissa käsitellään sekä fyysisiä että loogisia pisteitä. Fyysiset pisteet ovat konkreettisia mittaus-, ohjaus-, ja säätöpisteitä, jotka on kytketty valvontalakeskukseen. Esimerkkeinä digitaaliset tulot ja lähdöt (DI ja DO) sekä analogiset tulot ja lähdöt (AI ja AO).

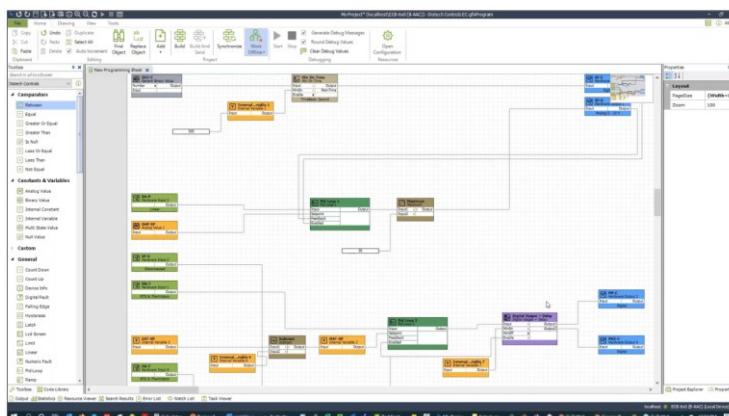
Loogisia pisteitä luodaan ohjelman sisällä, ja ne perustuvat yleensä fyysisiin mittauksiin tai laskelmiin. Esimerkki loogisesta pisteestä on kastepiste, joka lasketaan ilman lämpötilan ja kosteuspitoisuuden perusteella.

Useimmissa ohjelmistoissa on valmiita funktiolohkoja yleisille operaatioille, kuten loogisille operaatioille (AND, OR, XOR, NOT, NAND, NOR, jne.) ja vertailuoperaatioille (Equal, GreaterThan, GreaterThanEqual, jne.). Myös PID-säätimille, ajastimille, muunnoslohkoille ja aikatauluille on yleensä valmiita funktiolohkoja, vaikkakin niiden nimeäminen saattaa vaihdella ohjelmointiympäristöjen välillä.

Control Loop	Classification	Description
Ventilation	Basic	Coordinates operation of the outdoor, return, and exhaust air dampers to maintain the proper amount of ventilation air. Low-temperature protection is often required.
	Better	Measures and controls the volume of outdoor air to provide the proper mix of outdoor and return air under varying indoor conditions (essential in variable air volume systems). Low-temperature protection may be required.
Cooling	Chiller control	Maintains chiller discharge water at preset temperature or resets temperature according to demand.
	Cooling tower control	Controls cooling tower fans to provide the coolest water practical under existing wet bulb temperature conditions.
	Water coil control	Adjusts chilled water flow to maintain temperature.
	Direct expansion (DX) system control	Cycles compressor or DX coil solenoid valves to maintain temperature. If compressor is unloading type, cylinders are unloaded as required to maintain temperature.
Fan	Basic	Turns on supply and return fans during occupied periods and cycles them as required during unoccupied periods.
	Better	Adjusts fan volumes to maintain proper duct and space pressures. Reduces system operating cost and improves performance (essential for variable air volume systems).
Heating	Coil control	Adjusts water or steam flow or electric heat to maintain temperature.
	Boiler control	Operates burner to maintain proper discharge steam pressure or water temperature. For maximum efficiency in a hot water system, water temperature should be reset as a function of demand or outdoor temperature.

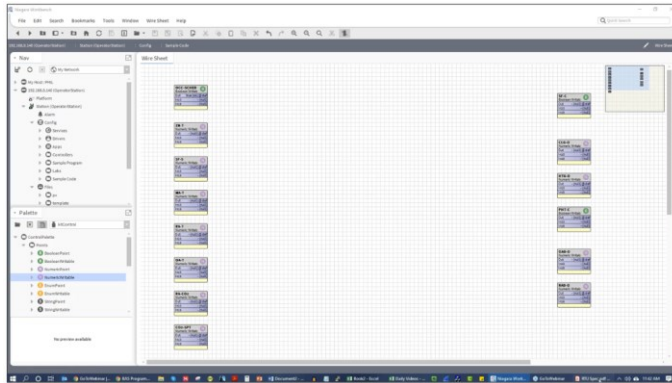
Kuva 49. Rakennusautomaation ohjaus- ja säätösilmukoita [39].

Ohjelmointityö alkaa yleensä fyysisten tulojen ja lähtöjen määrittelyllä. Sen jälkeen asetetaan ohjelmalliset muuttujat, jonka jälkeen ohjelmoidaan järjestelmän toimintalogiikka, joka määrittää, miten järjestelmä reagoi erilaisiin tilanteisiin.



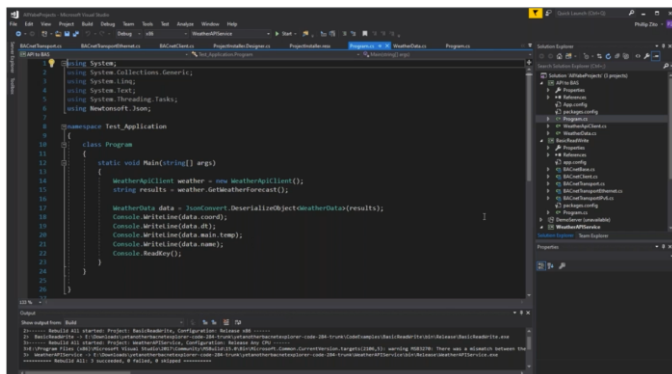
Kuva 50. Toimilohkopohjaista ohjelmointia EC-gfxProgram-ohjelmointiympäristössä.

Ohjelmointia voidaan toteuttaa joko lohkopohjaisesti, kuten kuvassa 50, tai tekstipohjaisesti. Lohkopohjaisessa ohjelmoinnissa käytetään graafisia lohkoja, joita yhdistellään toisiinsa. Tekstipohjaisessa ohjelmoinnissa taas kirjoitetaan ohjelmakoodia C-kieltä muistuttavalla kielellä.



Kuva 51. Tulosten ja lähtöjen asettamista Niagara Workbench -ohjelmointiympäristössä.

Onnistunut ohjelmointityö perustuu talotekniikan prosessien ymmärtämiseen ja tämän ymmärryksen muuntamiseen toimivaksi ohjelmakoodiksi.



Kuva 52. Ulkoisen sääennustepalvelun API:n käyttäminen Microsoft Visual Studiassa.

Nykyaikaisissa rakennusautomaatiojärjestelmissä voidaan hyödyntää myös monia ulkoisia palveluita ja tietoja, kuten sääennusteita. Ulkoisten palveluiden käyttö onnistuu API-rajapintojen avulla. Ohjelmointiympäristöstä riippuen eri palveluiden rajapinnat voidaan ottaa käyttöön joko konfiguroimalla, tai sitten ne joudutaan ohjelmoimaan itse alusta alkaen.

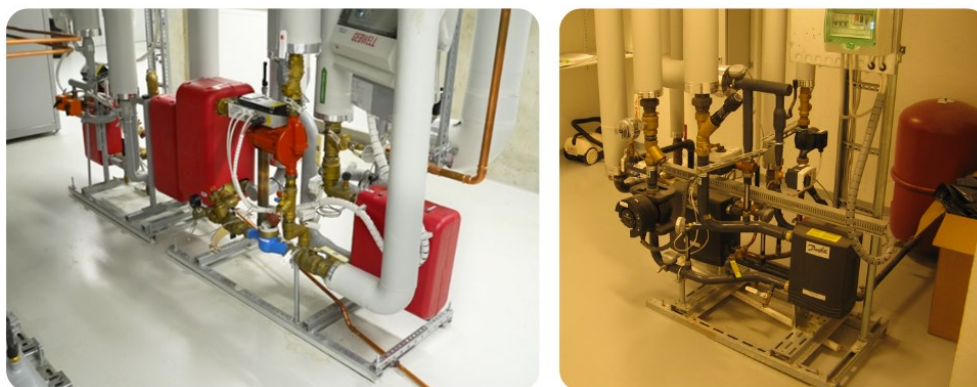
Rakennusautomaation ohjelmointi edellyttää ohjelmointitaitoja, mutta myös ymmärrystä talotekniikan prosessien toimintaperiaatteista. Ohjelmien ja talotekniikan prosessien yhteistoiminta onkin avainasemassa, jotta rakennusautomaatiojärjestelmä palvelee kiinteistöä mahdollisimman energiatehokkaasti.

4 Kiinteistöjen talotekniset komponentit

4.1 Lämmönsiirtimet ja -vaihtimet

Lämpöenergian jako eri puolille rakennusta tapahtuu lämmönjakohuoneessa, jossa sijaitsevat lämmönsiirtimet, toiselta nimeltään myös eli lämmönvaihtimet. Lämmönlähteenä voi olla yksittäinen energianlähde, kuten kaukolämpö, tai useamman lämmönlähteen yhdistelmä eli hybridijärjestelmä.

Kiinteistöissä käytetään erilaisia lämmitysjärjestelmiä, kuten vesikiertoista lattia-
lämmitystä, vesikiertoista patterilämmitystä, sähköpattereita ja ilmalämmitystä. Vesikiertoisissa järjestelmissä lämmönsiirtimet ovat avainasemassa, sillä ne siirtävät lämpöä kaukolämpöverkon vedestä kiinteistön lämmitysverkoston veteen.



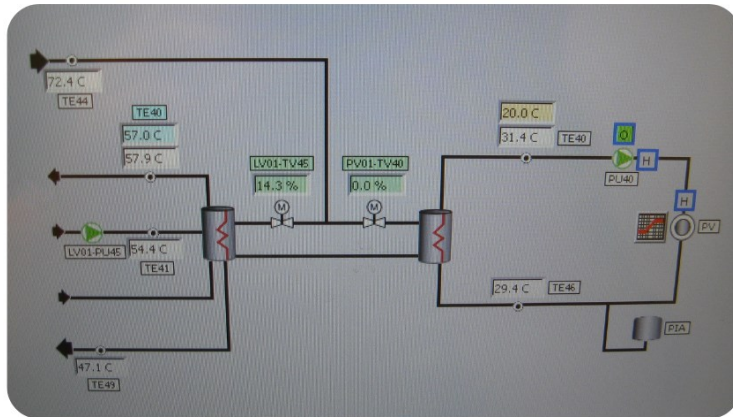
Kuva 53. Lämmönjakohuoneessa sijaitsevia levylämmönsiirtimiä (vasemmanpuoleisessa kuvassa punaisten suojakoteloiden alla ja oikeanpuoleisessa kuvassa mustien suojakoteloiden alla).

On tärkeää huomata, että nämä kaksi vesikiertoa eivät sekoitu keskenään, vaan lämpö siirtyy lämmönsiirtimessä johtumalla. Kaukolämpöverkoston ja kiinteistön

lämmitysverkoston välillä vesi ei siis sekoitu missään vaiheessa. Kummatkin ovat omia suljettuja järjestelmiään.

Levylämmönsiirtimiä pystyy ostamaan yksittäin, mutta lähes aina puhutaan lämmönjakopaketista tai lämmönjakokeskuksesta, jossa on myös muut tarvittavat komponentit mukana.

Lämmitysjärjestelmän ohjauksessa voidaan käyttää aikaohjelmia, ulkolämpötilaa, sääennusteita tai energian hintaa. Ohjaustapa ja reagointiaika vaihtelevat lämmönjakomenetelmän ja rakennuksen rakenteen mukaan. Suomessa lämmityskautta kestää yleensä syyskuusta toukokuuhun, kesä-, heinä- ja elokuun ollessa lämmityskauden ulkopuolella.



Kuva 54. Levylämmönsiirtimien symbolit valvomon grafiikassa. Kaksi harmaata suorakulmiota, joiden läpi kulkee punaisia vinoviivoja edustavat levylämmönsiirtimiä.

Valvomon säätökaaviossa lämmönsiirtimet esitetään symboleilla, kuten kuvassa 54. Kuvassa on havainnollistettu sekä käyttövesiverkosto että lämmitysverkosto. Käyttöveden lämpötila on pidettävä jatkuvasti yli 55 °C:ssa, jotta estetään legionellabakteerien kasvu.

Käyttövesiverkoston puolella on lämmin vesi meno (LV), lämmin kiertovesi (LKV) ja kylmävesi (KV). Kiertovesipumppu kierrättää käyttövesiverkostossa jatkuvasti lämmintä vettä, jotta kuumaa vettä on aina saatavilla. Kun lämmintä vettä käytetään ja se katoaa kierrosta, niin järjestelmään otetaan kylmää vettä,

joka lämmitetään lämmönsiirtimessä ennen kuin se menee käyttövesiverkoston.

Lämmitysverkosto on avoimeen käyttövesiverkoston verrattuna suljettu järjestelmä, josta ei normaalitilanteessa katoa vettä. Veden tilavuus kuitenkin muuttuu lämpötilan mukaan, joten lämmitysverkoston on lisättävä joustavuutta. Tämän tehtävän hoitaa paisuntasäiliö, joka kompensoi veden lämpölaajenemisen. Jos verkoston paine nousee liian korkeaksi, varoventtiili laukeaa ja päästää ylipaineen pois.



Kuva 55. Vasemmalla punainen paisuntasäiliö ja oikealla putkistoon asennettu varoventtiili.

4.2 Kiertovesipumput ja niiden säätötavat

Kiertovesipumput ovat olennainen osa vesikiertoisissa järjestelmissä. Ne pumpaavat vettä järjestelmän läpi, varmistaen tasaisen ja tehokkaan virtauksen.



Kuva 56. Kiertovesipumpun toiminta-alue tarkennettuna, eli käyttövesipumppu.

Kiertovesipumppuja on saatavana useilla eri ominaisuuksilla ja säätötavoilla. Yksinkertaisimmissa pumpuissa on vakionopeussäätö, jolloin pumppu pyörii aina samalla nopeudella. Vakionopeussäädöllä varustetut pumput taas pitävät järjestelmän paineen tasaisena virtaamasta riippumatta. Suhteellisen paineen säädöllä varustetut pumput mukauttavat pyörimisnopeuttaan virtaaman mukaan, jolloin ne säästävät energiaa ja minimoivat pumpun kulumista.

Nykyaikaisissa pumpuissa on usein automaattinen säätötapa, joka analysoi järjestelmää itsenäisesti ja optimoi pumpun käyntiä kuormituksen ajankohdan ja suuruuden mukaan.

AUTO

Automaattitila¹
 Automaattitilassa pumppu asettaa käyttöpaineen automaattisesti järjestelmän mukaisesti. Tällöin pumppu etsii itse optimaalisen toimintapisteeseen.
Tämä on suositeltava asetus useimpiin järjestelmiin.
 Käyrät eivät ole saatavilla tässä säätötavassa.

Suhteellinen paine (patterilämmitys)
 Pumppu pitää paineen suhteessa hetkelliseen virtaamaan. Paine on sama kuin asetettu paine (3 esiasetettua käyrää) maksimiteholla; 0-virtaamalla se on sama kuin HQ % (oletus 60 %, asetuspaineesta). Tällä välillä paine muuttuu lineaarisesti suhteessa virtaamaan.

Vakionopeus (lattialämmitys)
 Pumppu pitää asetetun paineen (3 esiasetettua käyrää), 0-virtaamasta maksimitehoon, jossa paine alkaa laskea.

Vakionopeus
 Pumppu toimii asetetulla nopeudella (3 esiasetettua käyrää).

Yöttila²
 Kun pumppu on yötilassa, se vaihtaa automaattisesti valitun säätötavan ja yöttilan välillä. Vaihto tapahtuu nesteen lämpötilan perusteella. Yöttilassa sen kuvake syttyy ja pumppu käy valitulla säätötavalla. Kun pumpun anturi mittaa nesteen lämpötilan laskun 15–20 °C (2 tunnin sisällä), kuvake alkaa vilkkua ja pumppu vaihtaa yötilaan. Kun nesteen lämpötila nousee, vilkkuminen loppuu ja pumppu palaa aiemmin valittuun säätötapaan.

Yöttilaa voidaan käyttää vain muiden säätötapojen täydennyksenä. Se ei voi toimia yksinään.

Kuva 57. Grundfos-pumppujen säätötavat [40].

Pump LH-65B/2KT V1		O502103	
L65B222H-00011KT V1			
No 222740.100 2021 PN16 Ø 125 mm			
5,5 l/s		13 m +180 °C MEI ≥ 0,4 --,-	
Motor KP-90-1 F19		Isol F IP54 IE3-86,1%	
	U_n	I_n	I_{max} 3~ 50 Hz S1
	690 V	2,49 A	2,9 A P2N 2,2 kW 49,0 r/s
	400 V	4,29 A	5,1 A cosφ 0,86
D 6305-VVC3E		N 6205-VVC3E	
	Kolmeks Finland		

Kuva 58. Kolmeks-pumpun arvokilpi [41].

Pumpun arvokilvestä löytyvät pumpun tärkeät tunnistetiedot, kuten merkki, malli ja sähkötekniset tiedot. Jos vanha pumppu joudutaan vaihtamaan uuteen, eikä vastaavaa löydy, niin arvokilven tiedot auttavat valitsemaan korvaavan pumpun.

4.3 Ilmanvaihto ja ilmastointi

Ilmanvaihdon tehtävänä on poistaa rakennuksesta epäpuhdasta ilmaa, kosteutta, hiilidioksidia ja hajuja, sekä tuoda tilalle raikasta ulkoilmaa. Ilmanvaihtojärjestelmä voi olla joko koneellinen tai painovoimainen. Molemmissa tapauksissa ilman liikkuminen perustuu paine-eroon, mutta koneellisessa ilmanvaihdossa paine-eron luovat puhaltimet, kun taas painovoimaisessa ilmanvaihdossa se syntyy lämpötilaeron ja tuulen yhteisvaikutuksesta.

Nykyaikaisissa järjestelmissä ilmanvaihdon säätö tapahtuu kosteus- tai CO₂-pitoisuuden perusteella. Koneellinen ilmanvaihto voidaan jakaa vakioilmavirtasäätöön ja muuttuvilmavirtasäätöön.

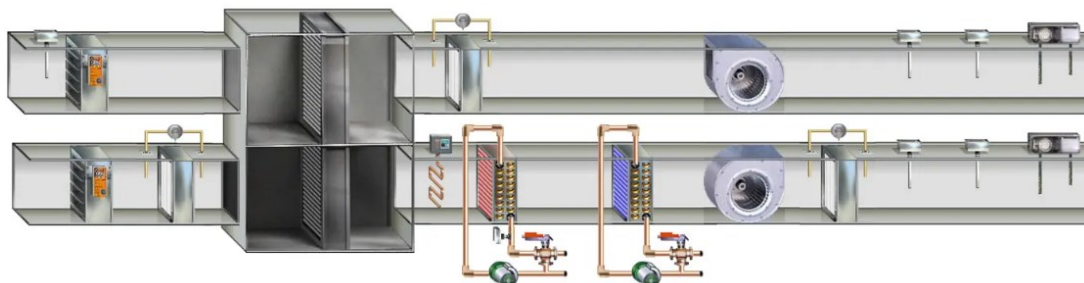
Vakiosäädössä ilmanvaihtokone puhaltaa jatkuvasti saman määrän ilmaa, kun taas muuttuväädössä ilmanvaihtoa säädetään tarpeen mukaan. Muuttuväädössä voidaan säätää ilmanvaihtokoneen puhaltimien tehoa portaattomasti, sekä hienosäätää ilmanvaihtoa yksittäisten huoneiden tai vyöhykkeiden osalta ilmamääräsäätimien avulla. Ilmanvaihtokoneen palvelualueella tarkoitetaan nimensä mukaisesti aluetta, jota IV-kone palvelee.



Kuva 59. Ilmanvaihtokonehuone, jossa on näkyvissä ilmanvaihtokoneen lämmitys- ja jäähdytyspatterit, toimilaitteita, sekä antureita.

Ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelussa on huomioitava useita tekijöitä ulko- ja sisäilman ominaisuuksiin liittyen, mutta tämä menee LVI-suunnittelijan vastuu-

alueelle. Rakennusautomaation näkökulmasta lämmöntalteenoton sulatusautomaatiikka on olennainen osa järjestelmän toimintaa erityisesti kylmällä säällä. Ilmanvaihdon lämmöntalteenotosta lisää kappaleessa 4.4.1.



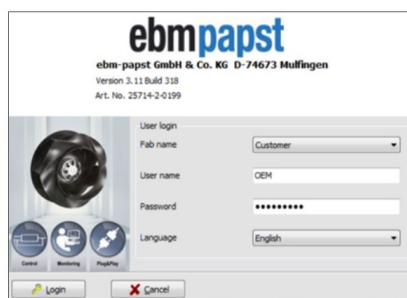
Kuva 60. Ilmanvaihtokoneen poikkileikkauskuva, josta näkee ulkoilmapellit, ilmansuodattimet, lämmöntalteenoton, tulo- ja poistopuhaltimet, lämmitys- ja jäähdytyspatterit, sekä anturit [42].

Ilmanvaihtokanavistoon asennetaan antureita, jotka mittaavat ilman ominaisuuksia, kuten lämpötilaa, kosteutta, painetta ja paine-eroa. Liian suuri ylipaine voi työntää kosteutta ulkovaipan rakenteisiin, kun taas liian suuri alipaine voi imeä epäpuhtauksia talon rakenteista sisäilmaan. Ideaaltilanteessa kiinteistöt pidetään hieman alipaineisena, jolloin kosteus poistuu tehokkaasti.

Koneellisen ilmanvaihdon on oltava aina toiminnassa, sillä muuten sisätiloihin kertyy kosteutta. Ilmanvaihdon pakkasrajoituksella kuitenkin varmistetaan, ettei kone mene tehostukselle erittäin kylmällä säällä ulkoilman ollessa raskasta.



Kuva 61. Ilmanvaihtoon tarkoitettuja puhallintyypppejä vasemmalta oikealle: aksiaalipuhallin, kammio puhallin, keskipakopuhallin ja huippuimurit.



Kuva 62. Ilmanvaihtopuhaltimen konfigurointiohjelmisto EC-control.

Nykyaikaiset EC-puhaltimet konfiguroidaan usein erillisellä ohjelmistolla, josta esimerkkinä ebm-papstin EC-control kuvassa 62. Kannettavan tietokoneen ja ohjauslogiikan välinen yhteys tehdään USB/RS-485-muuntimella.

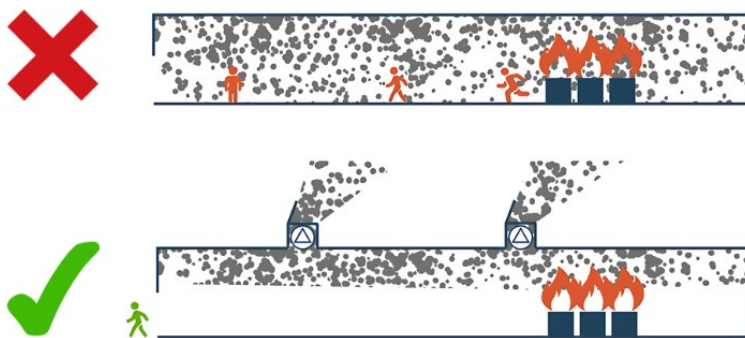
Ilmankosteus vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Kesällä huoneilman suhteellinen kosteus on tyypillisesti 50–70 %, kun taas talvella ilma on kuivempaa, jolloin suhteellinen ilmankosteus laskee yleensä 20–40 prosenttiin.

Ilmamääräsäätimet (IMS tai 'Imssit') ovat kanavistossa ilmanvaihtokoneen jälkeen. Niillä hienosäädetään ilmanvirran kulkua, ja ne voivat olla joko vakio- tai muuttuvilmavirtaisia.

4.3.1 Savunhallinta palopelleillä

Palopelleillä estetään savun leviäminen tulipalon sattuessa. Toimilaitteella olevat palopellit sulkeutuvat automaattisesti palohälytyksen aktivoitua. Palopellejä on kahta päätyyppiä: manuaalisesti sulakkeella toimivia ja toimilaitteella varustettuja. Manuaaliset palopellit sulkeutuvat sulakkeen sulaessa lämmön vaikutuksesta, kun taas sähköiset palopellit sulkeutuvat virtojen katketessa. [43.]

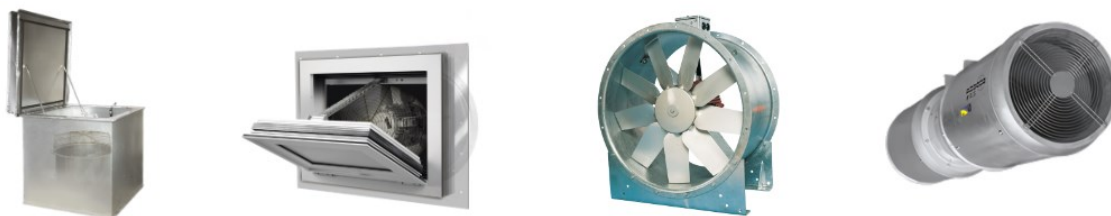
Palopellit, toiselta nimeltään palonrajoituspellit, lisätään rakennusautomaatiojärjestelmään, kun taas savunpoistojärjestelmästä tehdään pelkästään liitântä rakennusautomaatiojärjestelmään. Savunpoistojärjestelmä ohjaa itsenäisesti savunpoistoluukkuja ja savunpoistopuhaltimia.



Kuva 63. Savunpoiston tärkeys tulipalotilanteessa.

Markkinoilla yritykset erikoistuvat tiettyihin osa-alueisiin, jotta työ olisi mahdollisimman tehokasta, laadukasta ja kannattavaa. Esimerkiksi palotekninen suunnittelu on oma erikoisalansa, eikä se kuulu rakennusautomaation vastuualueeseen.

Rakennusautomaatio ei ole vastuussa savunpoistojärjestelmistä. On kuitenkin tärkeää huomioida nämäkin asiat, jotta projektien yhteydessä ymmärretään muidenkin tekniikan osa-alueiden merkitys mahdollisimman hyvin.



Kuva 64. Savunpoistopuhaltimia vasemmalta oikealle: savunpoistoluukku puhaltimella (katto ja seinäasennus), aksiaalinen puhallin, ja suuntapaine puhallin.

Korkeissa rakennuksissa käytetään usein paine-erojärjestelmiä, jotka estävät savun tunkeutumisen suojattaville alueille, kuten porrashuoneisiin ja hissikuiluihin. Järjestelmä luo ylipaineen suojattaville alueille, jolloin savu ei pääse tunkeutumaan sisään. Tämä on paloteknisen suunnittelun vastuualuetta, mutta kokonaisuuden ymmärtämisen takia hyvää tietoa myös rakennusautomaatiopuolelle.

4.3.2 Ilman lämmitys- ja jäähdytys

Ilmanvaihtokoneen yhteydessä on lämmitys- ja jäähdytyspatterit, jotka tekevät ilmalle alkukäsittelyn. Ilman hienosäädöt voidaan tehdä päätelaitteilla, jotka lämmittävät tai jäähdyttävät ilmaa tarpeen mukaan. Näillä päätelaitteilla voidaan hienosäätää huoneen lämpötilaa.



Kuva 65. Puhallinkonvektoreiden eri malleja: kanavaan liitettävä, kasettimalli, seinäyksikkö.

Puhallinkonvektorit (kuva 65) ovat yleinen ratkaisu tilojen lämmitykseen ja/tai jäähdytykseen. Ne kierrättävät huoneilmaa jäähdytys- tai lämmityspatterin kautta ja puhaltavat sen takaisin huoneeseen.



Kuva 66. Jäähdytyspalkkien eri malleja: kasettimalli, vapaasti asennettava, alakattoasennukseen.

Jäähdytyspalkit (kuva 66) asennetaan yleensä kattoon ja ne puhaltavat jäähdytettyä ilmaa huoneeseen. Ilman heittokuvion laajuuteen vaikuttaa kanavapaine, joka on säädettävä oikealle tasolle, jotta ilma ei laskeutuisi suoraan alla olevan päälle.



Kuva 67. Säteilytoiminen lämmitys- ja jäähdytyspaneeli.

Säteilypaneelit (kuva 67) ovat passiivisia lämmitys- ja jäähdytysratkaisuja, jotka perustuvat lämmön säteilemiseen. Niiden reaktioaika lämpötilamuutoksiin on kuitenkin hidas.

Oviverhokojeet eli ilmaverhokojeet luovat puhalluksella oven eteen näkymättömän ilmaverhon, joka estää kylmän ulkoilman pääsyn sisätiloihin. Oviverhoja käytetään usein esimerkiksi kaupoissa, varastoissa, ostoskeskuksissa ja teollisuusrakennuksissa, joissa ovia avataan ja suljetaan usein.



Kuva 68. Oviverhokojeen toimintaperiaate [44].

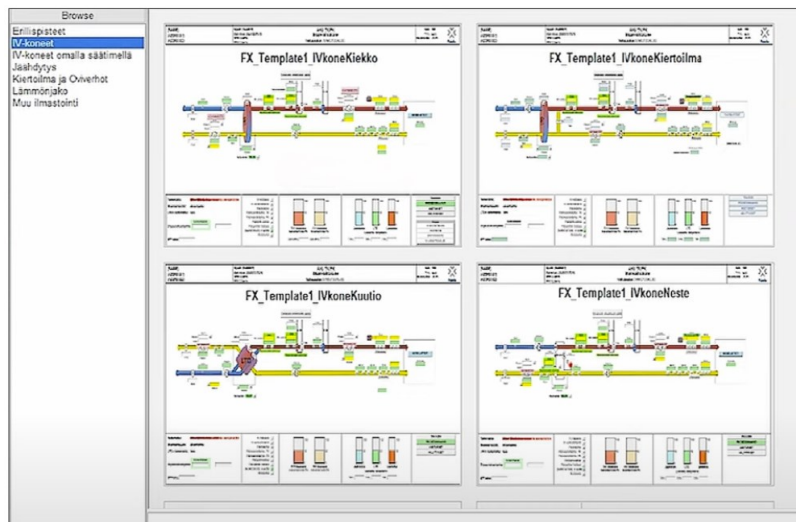
Kuvassa 68 on havainnollistettu oviverhokojeen toimintaperiaatetta. Laitteen tehtävänä on luoda ilmavirta, joka eristää sisä- ja ulkoilman toisistaan ja estää tällä tavoin lämpöhukkaa.

4.4 Lämmöntalteenotto

Lämmöntalteenotto (LTO, LTO-kone, LTO-laite) on energiatehokas ratkaisu, jolla pyritään minimoimaan lämpöenergian hukkaa kiinteistöissä. Lämmöntalteenottoa voidaan toteuttaa monin eri tavoin, ja sitä voi soveltaa lähes kaikkialla missä syntyy hukkalämpöä. Yleisin lämmöntalteenoton käyttökohde on kuitenkin ilmanvaihto.

4.4.1 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton päätavoite on hyödyntää poistoilman lämpöenergiaa tuloilman lämmittämiseen mahdollisimman tehokkaasti. Tämä parantaa rakennuksen energiatehokkuutta ja alentaa lämmityskustannuksia. Talvella järjestelmä keskittyy lämmön talteenottoon, kun taas kesällä painopiste on kylmän talteenotossa. Energiatehokkuutta voidaan parantaa myös kesäajan yötuuletuksella, jossa kiinteistöä jäähdytetään yöllä ulkoilmalla, kun se on sisäilmaa kylmempää.



Kuva 69. Ilmanvaihdon lämmöntalteenottomenetelmiä [45].

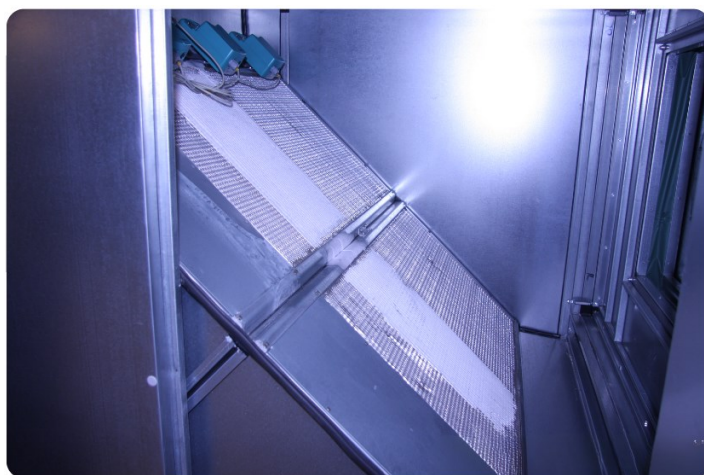
Ilmanvaihdon lämmöntalteenottoon on useita menetelmiä. Pyörivä lämmönsiirrin, jota kutsutaan myös kiekoksi, tarjoaa korkean 70–85 prosentin hyötysuhteen. Sen toiminnassa pieni osa poistoilmasta siirtyy tuloilmaan, ja hyötysuhdetta voidaan säätää muuttamalla lämmönsiirtimen pyörimisnopeutta.

Levylämmönsiirrin, joka tunnetaan myös nimellä kuutio, toimii 50–65 prosentin hyötysuhteella. Sen etuna on, että tulo- ja poistoilmat eivät sekoitu. Kylmissä olosuhteissa levylämmönsiirrin on kuitenkin altis jäätymiselle. Jäätymisen estämiseksi osa ulkoilmasta ohjataan lämmönsiirtimen ohi, ja lämmintä poistoilmaa käytetään sulatukseen.

Nestekiertoinen lämmöntalteenotto, jota kutsutaan myös vesi-glykolilämmönsiirtimeksi, toimii 40–60 prosentin hyötysuhteella. Tässäkin menetelmässä tulo- ja poistoilmat eivät sekoitu. Järjestelmän hyötysuhdetta ja jäätymisen estoa voidaan säätää muuttamalla vesi-glykoli-seoksen virtausnopeutta.

Poistoilmalämpöpumppu on tehokas ratkaisu, jonka hyötysuhde vaihtelee 50–100 prosentin välillä. Tässä menetelmässä lämmönsiirto tapahtuu poistoilmasta tuloilmaan lämpöpumpun välityksellä. Tämä järjestelmä tarjoaa joustavuutta ja mahdollisuuden korkeaan energiatehokkuuteen erilaisissa olosuhteissa.

Kiertoilmamenetelmässä osa poistoilmasta sekoitetaan suoraan tuloilmaan, mutta tätä käytetään harvemmin nykyaikaisissa järjestelmissä ilmanlaadullisista syistä.

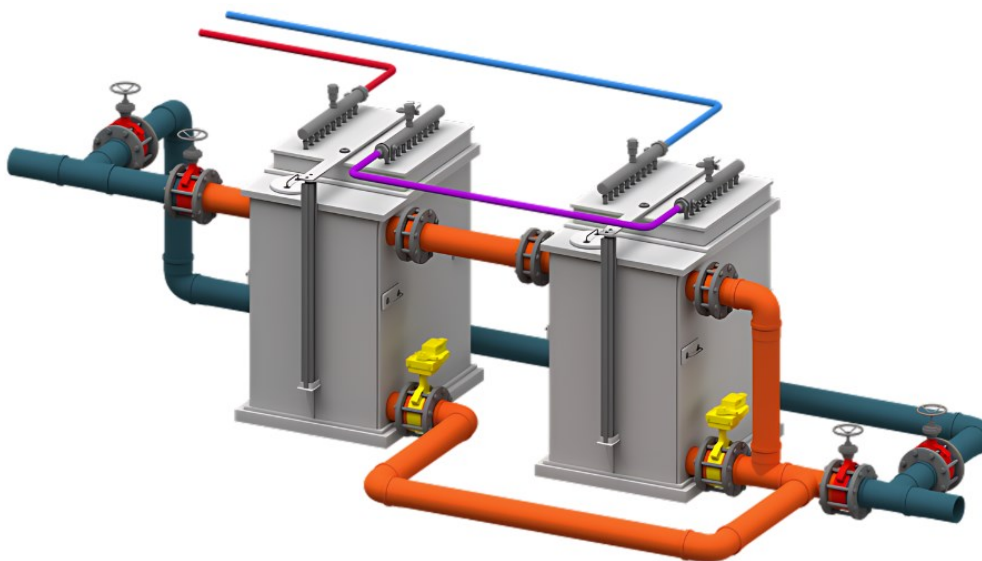


Kuva 70. Jäätynyt levylämmönsiirrin.

Jäätymisen estämiseksi kaikissa lämmöntalteenottolaitteissa on oltava toimiva sulatusautomaattikka. Tämä on erityisen tärkeää levylämmönsiirtimille, jotka ovat herkkiä jäätymään kylmissä olosuhteissa.

4.4.2 Jäteveden lämmöntalteenotto

Jäteveden lämmöntalteenotossa hyödynnetään jäteveden sisältämää lämpöenergiaa. Tässä prosessissa virtaava jätevesi luovuttaa lämpöään lämmönsiirtimiin, joissa kiertää lämmönsiirtoneste. Tämä tekniikka soveltuu erityisesti suuriin kiinteistöihin, joissa jäteveden määrä on riittävän suuri järjestelmän tehokkaaseen toimintaan.

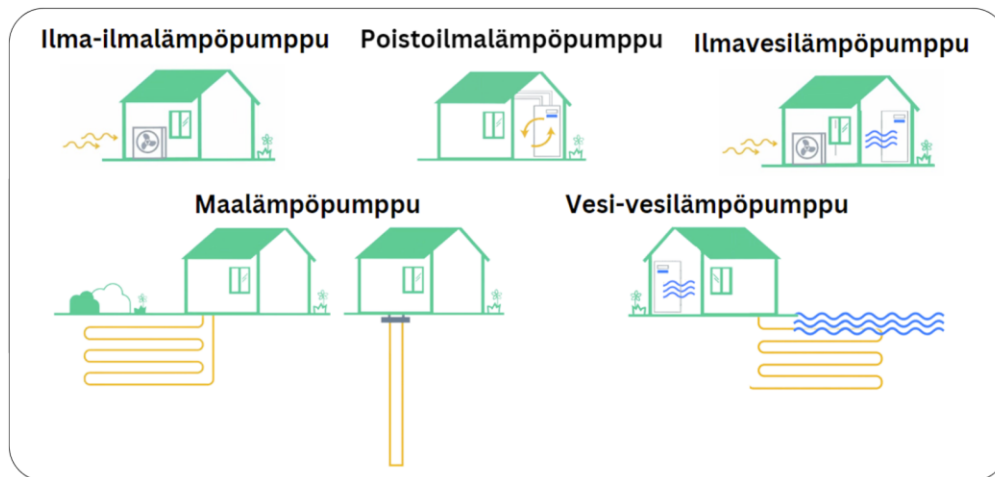


Kuva 71. Jäteveden lämmöntalteenottolaitteisto [46].

Kuvassa 71 esiteltävässä jäteveden lämmöntalteenottolaitteistossa on huomioitava ohitusputket, joiden avulla jätevesi voidaan ohjata lämmönsiirtimien ohi esimerkiksi huoltotöiden ajaksi.

4.5 Lämpöpumpputyypit

Lämpöpumpputeknologia perustuu lämpöenergian siirtämiseen hyödyntämällä kylmäaineen olomuodon muutoksia. Kylmäaine kiertää suljetussa järjestelmässä ja muuttaa olomuotoaan kaasun ja nesteen välillä, mahdollistaen lämmön siirtämisen ympäristöstä toiseen.

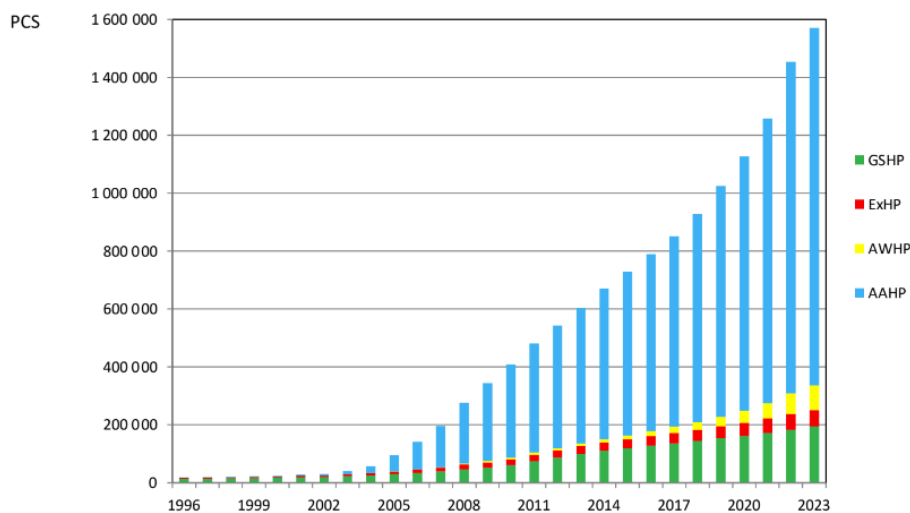


Kuva 72. Lämpöpumpputyypit visualisoituna.

Lämpöpumppujen luokittelu perustuu niiden hyödyntämiin lämmönlähteisiin ja lämmönluovutusmuotoihin. Eri lämpöpumpputyypit mahdollistavat käytön vaihtelevissa ilmasto-olosuhteissa ja erilaisissa rakennusratkaisuissa.

Cumulative Heat Pump sales in Finland (pcs)

(Megawatt-size district heating/cooling , shopping center, service building , industrial HPs as well as planning , service, etc. are missing from figures below)

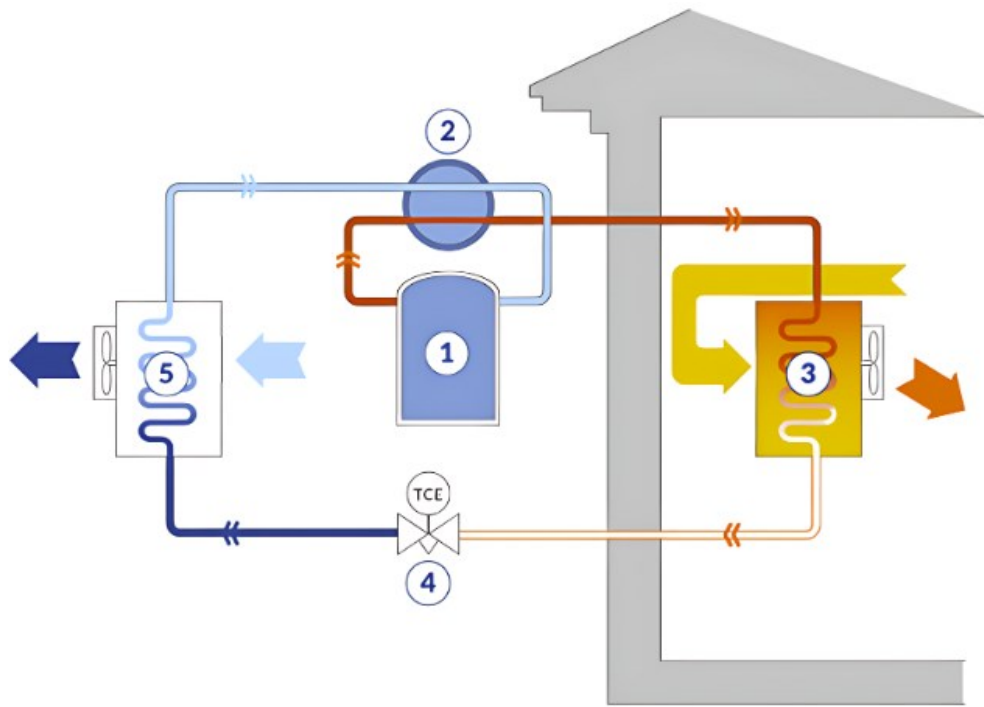


Kuva 73. Ilmalämpöpumppujen kumulatiivinen myynti 1996–2023 [47].

Lämpöpumppujen suosio ja myynti ovat olleet jatkuvassa kasvussa, ja erityisesti ilma-ilmalämpöpumppujen kysyntä on kasvanut voimakkaasti joka vuosi. Tämän trendin odotetaan jatkuvan myös tulevaisuudessa.

4.5.1 Ilma-ilmalämpöpumppu

Ilma-ilmalämpöpumppu, jota usein kutsutaan pelkästään lämpöpumpuksi, siirtää lämpöenergiaa ulkoilman ja sisäilman välillä, mahdollistaen sekä lämmityksen että viilennyksen. Se soveltuu parhaiten pienten tilojen ilmastointiin, mutta usein rinnalle tarvitaan toinen lämmitysmuoto kovimpien pakkasten varalle.

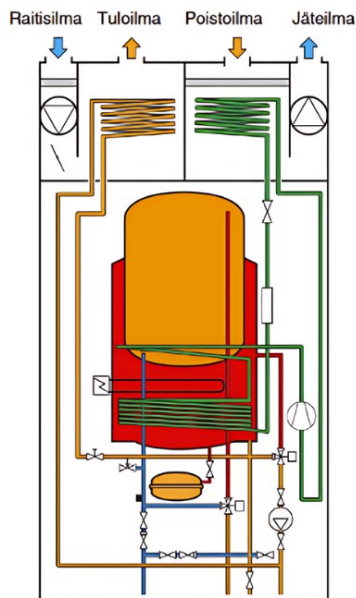


Kuva 74. Ilma-ilmalämpöpumpun toimintaperiaate [48].

Ilma-ilmalämpöpumpun etuja ovat sen yksinkertainen rakenne ja korkea hyötysuhde, joka perustuu lämpöenergian suoraan siirtoon kylmäaineeseen ilman väliaineita.

4.5.2 Poistoilmalämpöpumppu

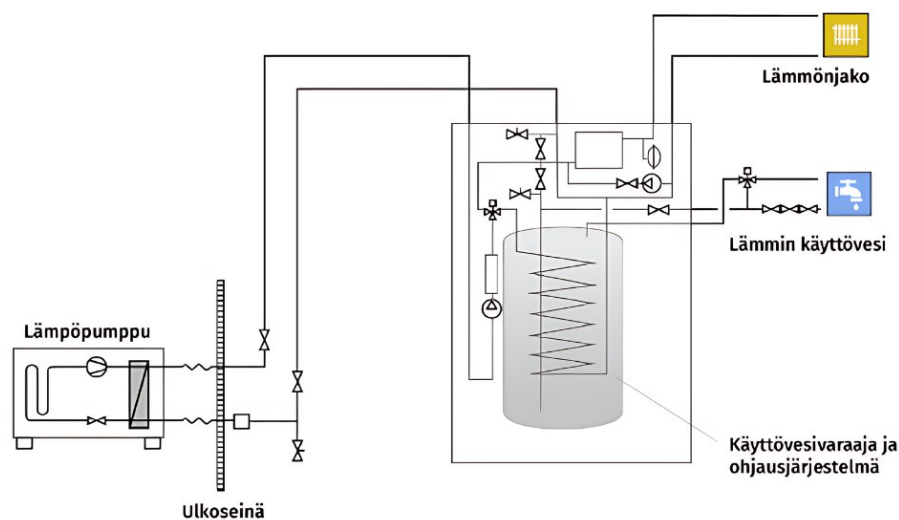
Poistoilmalämpöpumppu hyödyntää poistoilman sisältämää lämpöenergiaa kiinteistön lämmittämiseen tai käyttöveden lämmittämiseen. Se on erinomainen ratkaisu energiatehokkuuden parantamiseen, sillä se ottaa talteen lämpöä, joka menisi muuten hukkaan.



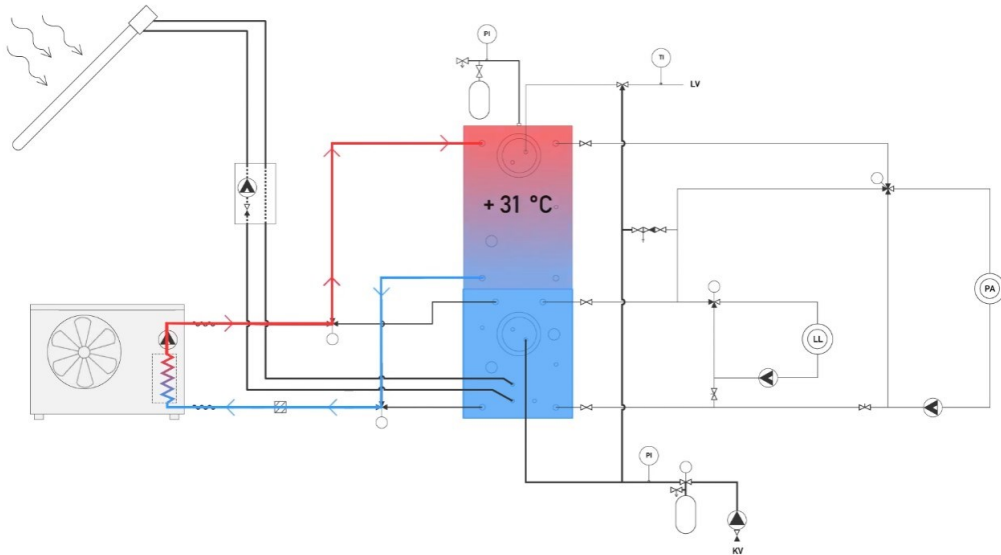
Kuva 75. Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate [49].

4.5.3 Ilmavesilämpöpumppu

Ilmavesilämpöpumppu, jota kutsutaan myös VILP:ksi tai 'ilvekseksi', siirtää lämpöenergiaa ulkoilmasta vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Se on edullinen ja helppo asentaa verrattuna maalämpöpumppuun, mutta sen lämpökerroin heikkenee kovilla pakkasilla. Tyypillisesti ilmavesilämpöpumppu pystyy lämmitämään kiinteistöä noin -10 °C ulkolämpötilaan asti.



Kuva 76. Ilmavesilämpöpumpun toimintaperiaate [50].



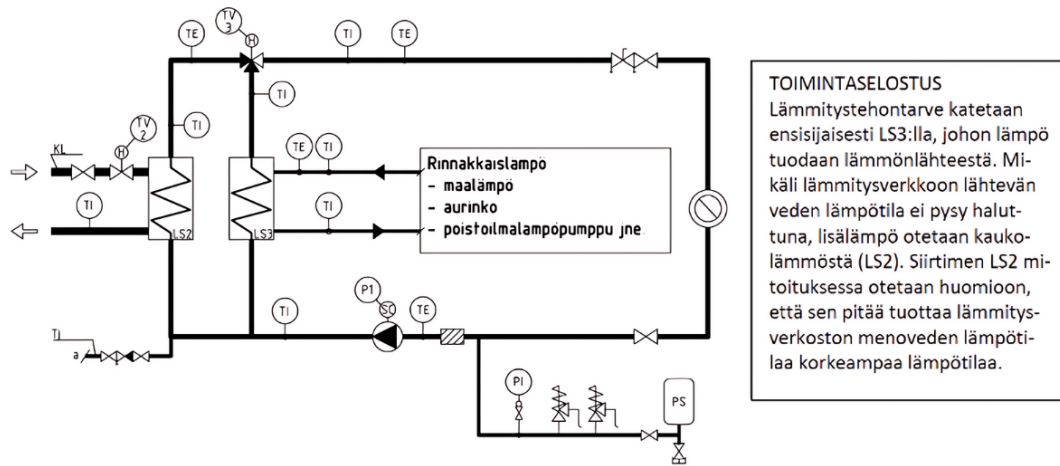
Kuva 77. Ilmavesilämpöpumppu osana hybridilämmitysjärjestelmää, missä varaajaa lämmitetään myös aurinkokeräimillä.

4.5.4 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppu hyödyntää maaperään varastoitunutta lämpöenergiaa kiinteistön lämmittämiseen ja käyttöveden lämmittämiseen. Se on erittäin energiatehokas ja ympäristöystävällinen lämmitysmuoto. Suurempien kiinteistöjen lämmittämiseen on olemassa erikseen suunniteltuja kiinteistömaalämpöpumppuja, joiden teho riittää suurempienkin tilojen lämmittämiseen. Sarjaankytkemällä useita pumppuja yhteen voidaan saavuttaa jopa 540 kW teho.



Kuva 78. Maalämpöpumpun ulkorakenne [51].



Kuva 79. Maalämpöpumpua voidaan käyttää myös osana hybridijärjestelmää, jossa lämmitystä tuetaan kaukolämmöllä [52].

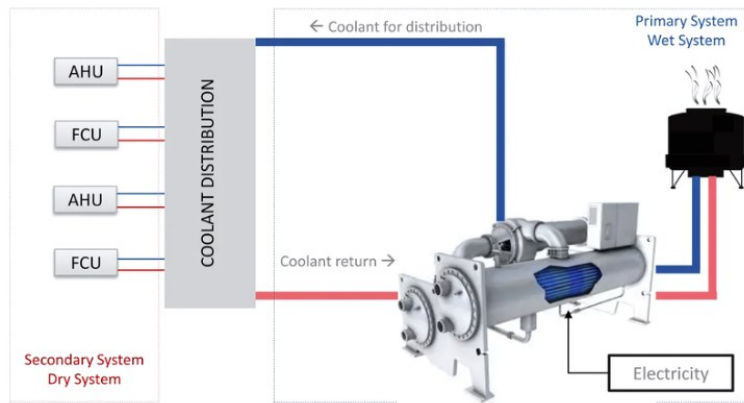
Maalämpöpumpun asentaminen vaatii maalämpökaivon poraamisen, johon asennetaan maalämmön keruuputkisto. Jos tontilla on riittävästi tilaa, keruuputkisto voidaan asentaa myös vaakasuoraan maahan ilman syviä kaivoja.

4.5.5 Vesi-vesilämpöpumppu

Vesi-vesilämpöpumppu hyödyntää vesistöön varastoitunutta lämpöenergiaa sekä lämmitykseen että viilennykseen. Keruuputkiston avulla lämpöpumpun kylmäaine joko kerää tai luovuttaa lämpöä vesistöön. Vesi-vesilämpöpumppu on energiatehokas ja ympäristöystävällinen ratkaisu, mutta sen asennuskustannukset ovat korkeammat ja asentaminen vaatii enemmän työtä kuin muiden lämpöpumpputyyppeiden kohdalla.

4.6 Vedenjäähdytyskoneet ja niiden osakomponentit

Suuremmissa kiinteistöissä, kuten toimistorakennuksissa ja kauppakeskukissä, jäähdytys toteutetaan usein vedenjäähdytyskoneilla tai kaukokylmäsiirtimien avulla. Vedenjäähdytyskoneet sijaitsevat yleensä kattokonehuoneissa, ja niiden lauhduttimet ovat katolla. Kaukokylmäsiirtimet puolestaan asennetaan kellaritiloihin, joihin kaukokylmäverkoston vesi johdetaan maanalaisia putkia pitkin.



Kuva 80. Vedenjäähdytyskoneen (VJK) toimintaperiaate ilmanvaihdon jäähdytykseen [53].

Vedenjäähdyttimen tehtävä on poistaa lämpöä nesteestä ja siirtää sitä ulkoiseen ympäristöön. Energiaa ei voida tuhota, ainoastaan siirtää paikasta toiseen.

Vedenjäähdytyskoneet voidaan jakaa kahteen tyyppiin: ilmajäähdytteiset ja vesijäähdytteiset. Vaikka sekä ilma- että vesijäähdytteiset koneet viilentävät vettä, niiden toimintatavat eroavat lämmönpoiston suhteen.

Ilmajäähdytteinen jäähdytin on itsenäinen yksikkö, joka ottaa vastaan lämmintä vettä. Kylmäainekierto jäähdyttää veden, ja lämpö puhalletaan suoraan ulkoilmaan puhaltimien avulla. Kaikki tapahtuu samassa yksikössä.

Vesijäähdytteisessä jäähdyttimessä lämmin vesi jäähdytetään myös kylmäaineen avulla. Ero on siinä, että lämpö siirretään toiseen vesikiertoon erillisen lauhdutusyksikön avulla. Tämä lämmin vesi johdetaan sitten pois jäähdyttimestä ja jäähdytetään yleensä katolla olevassa nestelauhduttimessa.

Kummassakin lämmin vesi tulee sisään, jäähdytetään ja palautetaan viilennettynä. Keskeinen ero on siinä, miten lämpö poistetaan: ilmajäähdytteinen tekee sen suoraan ilmaan, kun taas vesijäähdytteinen vaatii erillisen jäähdytyspiirin.

Molemmissa jäähdytintyypeissä hyödynnetään kylmäainetta ja sen olomuodon muutoksia lämmön siirtämiseen. Kylmäainekierto on jatkuva prosessi, jossa

kompressorin puristaa kylmäainehöyryn kokoon, nostaa sen lämpötilaa ja painetta. Kuuma, korkeapaineinen kylmäainekaasu johdetaan lauhduttimeen, jossa se luovuttaa lämpöä ympäristöön ja tiivistyy takaisin nesteeksi.

Tämän jälkeen kylmä, korkeapaineinen neste virtaa paisuntaventtiin läpi, jossa sen painetta lasketaan ja osa siitä höyrystyy. Kylmä, matalapaineinen kylmäaineseos virtaa höyrystimeen, jossa se sitoo lämpöä ympäristöstä ja höyrystyy lopullisesti. Lopuksi matalapaineinen kylmäainehöyry palaa takaisin kompressorin, ja kierto alkaa alusta.

4.6.1 Höyrystin

Höyrystimessä matalapaineinen ja nestemäinen kylmäaine absorboi lämpöenergiaa ympäristöstään, kuten vedestä. Absorboidun lämmön vaikutuksesta kylmäaine höyrystyy eli muuttuu nesteestä kaasumaiseen olomuotoon.

4.6.2 Kompressorin

Kompressorin tehtävänä on nostaa höyrystyneen kylmäaineen painetta ja lämpötilaa. Kompressorin imee höyrystimestä alhaisessa paineessa olevaa kylmäainehöyryä ja puristaa sen kokoon, mikä johtaa sen lämpötilan ja paineen nousuun.

4.6.3 Lauhdutin

Lauhduttimessa kompressorilta tuleva kuuma, korkeapaineinen kylmäainehöyry luovuttaa lämpöenergiansa ympäristöön. Ympäristö on tyypillisesti ulkoilmaa tai vettä, joka on kylmää viileämpää. Lämpöenergian luovuttamisen seurauksena kylmäaine tiivistyy takaisin nesteeksi.

Jos lauhduttimen jälkeen on vielä yksi lämmönvaihdin, sitä kutsutaan alijäähdyttimiksi. Alijäähdytin ottaa talteen lisää lämpöä nesteytetystä kylmäaineesta ja parantaa järjestelmän energiatehokkuutta.



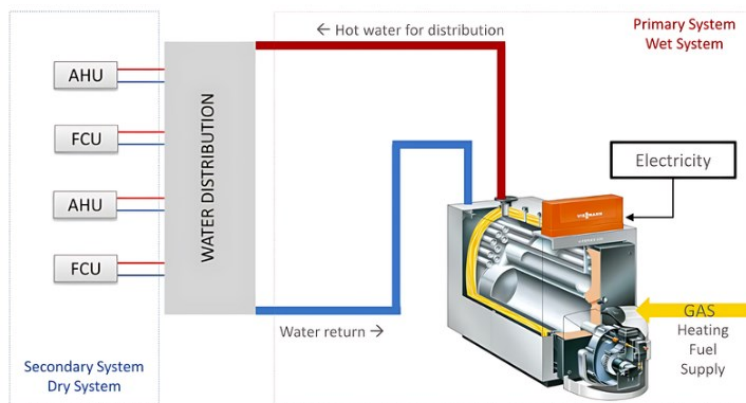
Kuva 81. Nestelauhduttimia aurinkopaneelien seassa Vantaalla sijaitsevan rakennuksen katolla.

4.6.4 Paisuntaventtiili

Paisuntaventtiilin tehtävänä on alentaa nestemäisen kylmäaineen painetta ja lämpötilaa ennen sen päätymistä takaisin höyrystimeen. Tämä paineen ja lämpötilan aleneminen on oleellinen vaihe, jotta kylmäaine voi jälleen sitoa itseensä lämpöenergiaa höyrystimessä ja kierto voi jatkua.

4.7 Lämmityskattilat

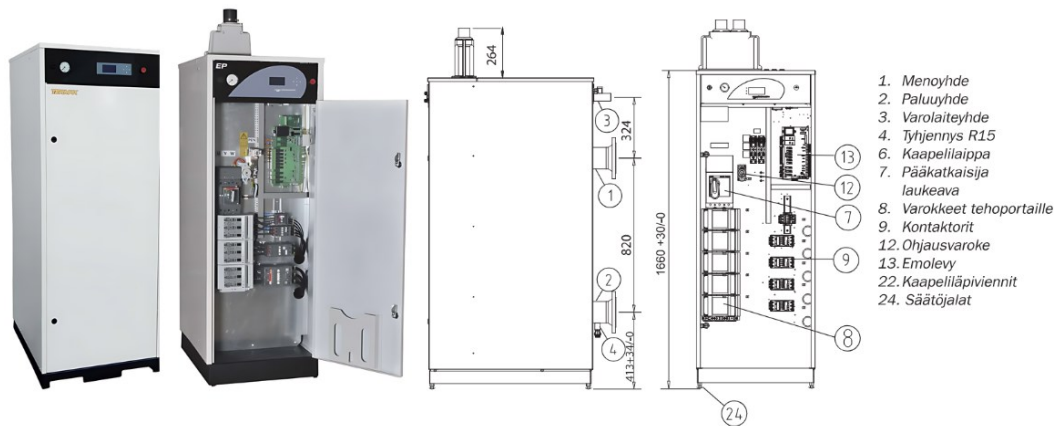
Kiinteistön lämmitykseen sopivan kattilatyyppin valintaan vaikuttavat useat tekijät, kuten rakennuksen koko, lämmöntarve ja käytettävissä oleva energianlähde [54].



Kuva 82. Lämmityskattilan toimintaperiaate ilmanvaihdon lämmitykseen [55].

4.7.1 Sähkökattilat

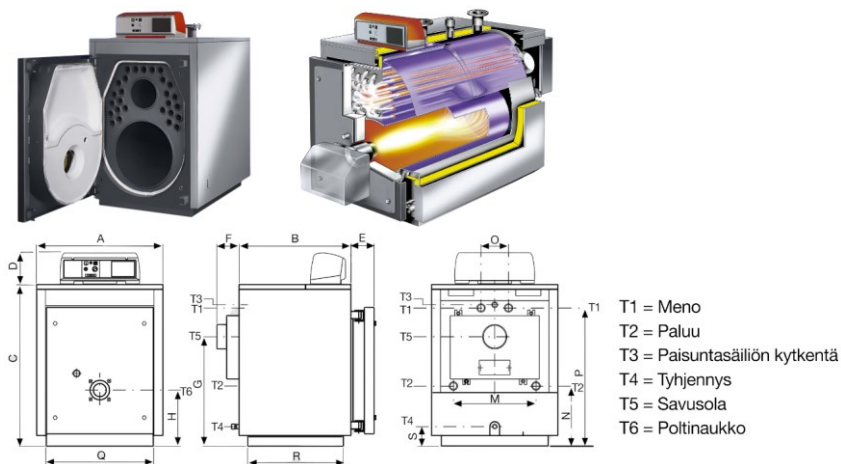
Sähkökattilat tarjoavat helppokäyttöisen ja yksinkertaisen asennettavan lämmitysratkaisun kohteisiin, joissa muut energianlähteet eivät ole käytettävissä. Yhdistämällä sähkökattila aurinkosähköjärjestelmään voidaan saavuttaa sekä ympäristöystävällinen että kustannustehokas lämmitysratkaisu.



Kuva 83. Termax SK 350 kW -sähkökattila [56].

4.7.2 Öljy- ja kaasukattilat

Öljy- ja kaasukattilat ovat Suomessa perinteisiä ja pitkään käytössä olleita lämmitysratkaisuja. Ympäristöystävällisistä öljykattiloiden suosio on kuitenkin laskussa, ja niitä korvataan uusiutuvalla energialla, kuten maalämmöllä ja bioenergialla.

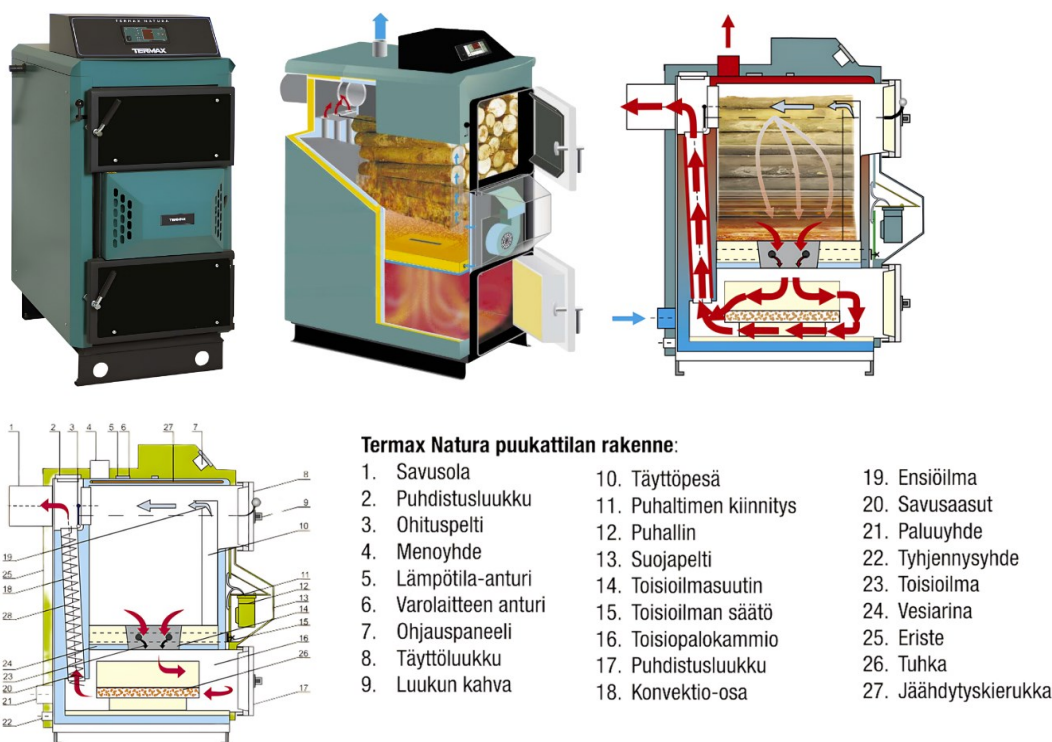


Kuva 84. Termax Trio -bioöljykattilat 55...1900 kW [57].

Suomessa pyritäänkin aktiivisesti eroon fossiilisista polttoaineista ja siirtymään bioöljyn käyttöön aina kun se on mahdollista. Bioöljy on uusiutuva energianlähde, jota voidaan valmistaa esimerkiksi puujätteestä tai kasviöljystä.

4.7.3 Puu- ja pellettikattilat

Puu- ja pellettikattilat ovat ympäristöystävällisiä lämmitysratkaisuja, jotka hyödyntävät uusiutuvaa bioenergiaa. Ne sopivat hyvin omakotitalojen ja pienempien kiinteistöjen lämmitykseen.



Kuva 85. Termax Natura-puukattilat 25...80 kW [58].

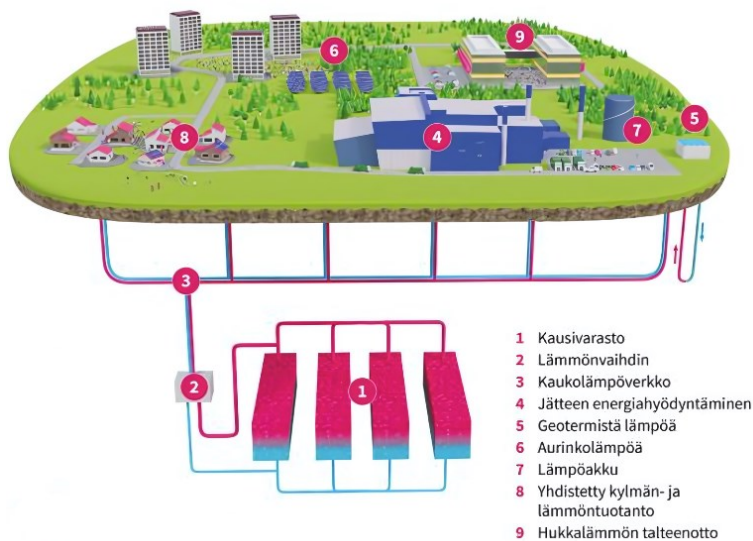
4.8 Varaajat ja puskurisäiliöt

Kiinteistön lämmitysjärjestelmän energiatehokkuuden kannalta keskeisiä elementtejä ovat varaajat ja puskurisäiliöt. Ne varastoivat lämpöenergiaa ja tasaa-
vat lämmitysjärjestelmän kuormitusta, mikä optimoi energiatehokkuutta.



Kuva 86. Hybridivaraaja mahdollistaa usean eri lämmitysenergiälähteen yhdistämisen.

Aurinkokeräimillä tuotettu energia voidaan varastoida varaajiin ja hyödyntää myöhemmin esimerkiksi silloin, kun aurinko ei paista. Tämä vähentää riippuvuutta ulkopuolisesta energiasta ja parantaa aurinkoenergian hyödyntämisen tehokkuutta.



Kuva 87. Vantaan kaupungin kausivarastoja isompaan energiavaraukseen [59].

Kuvassa 87 näkyy esimerkki Vantaan kaupungin kausivarastoista, joihin kerätään kesäaikana lämpöenergiaa talven kaukolämpöverkon kuormituksen tasauksiksi.

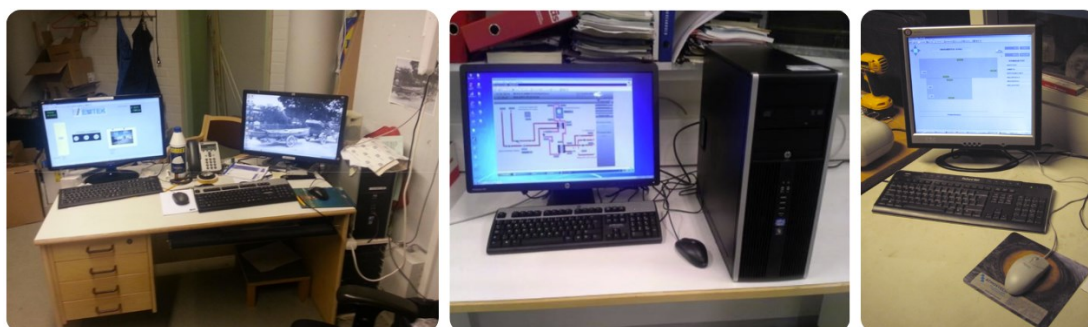
4.9 Aurinkovoimalat ja energiavarastot

Aurinkovoimalat ja energiavarastot yleistyvät jatkuvasti kiinteistöissä. Aurinkovoimalat tuottavat sähköä auringon energiasta, ja energiavarastojen avulla sähköä voidaan varastoida myöhempää käyttöä varten. Näin tuotettua aurinkosähköä voidaan hyödyntää kattamaan kiinteistön omaa energiantarvetta. Ylijäävän sähkön voi joko varastoida akkuihin tai myydä sähköverkkoon.

5 Pilvipohjainen Adair-monimerkkivalvomo

5.1 Pilvipalvelut kiinteistöissä

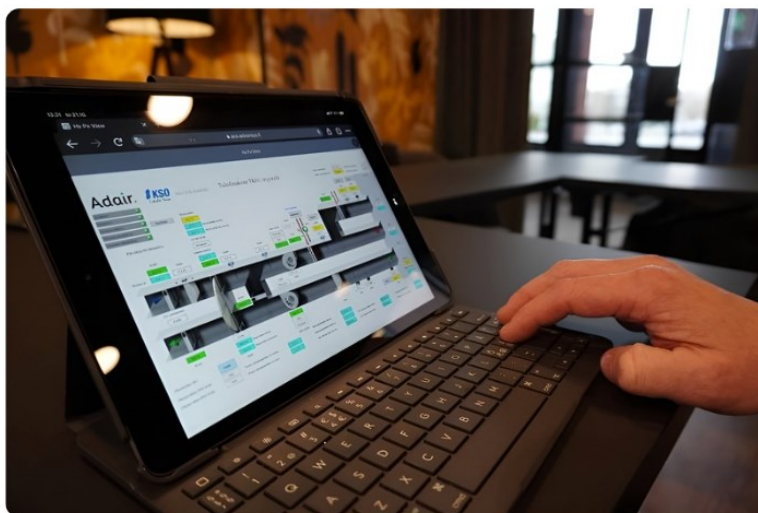
Digitalisaation myötä vanhat paikallisvalvomot, joista rakennusautomaatiota aiemmin ohjattiin paikan päältä, ovat jäämässä historiaan. Pilvipalvelut ovat nousseet niiden tilalle tarjoten vertaansa vailla olevaa joustavuutta ja skaalautuvuutta, johon paikallisvalvomot eivät yksinkertaisesti pysty.



Kuva 88. Paikallisvalvomoita, joista ohjataan rakennusautomaatiota fyysisesti paikan päältä.

Pilvipohjaisen valvomon avulla voidaan analysoida dataa paljon enemmän kuin perinteisellä paikallisvalvomolla. Pilvipohjaisella valvomolla voidaan myös kerätä dataa myös eri lähteistä ja hyödyntää sitä kiinteistön tehokkaamman ohjauksen toteuttamiseksi.

Pilvipalveluiden avulla kiinteistönhallintaa voi hoitaa etänä ajasta ja paikasta riippumatta, ja uusien ominaisuuksien integrointi onnistuu vaivatta.



Kuva 89. Adair-pilvipalvelun etäkäyttö onnistuu missä vain, ajasta ja paikasta riippumatta.

Etähallintaratkaisujen avulla kiinteistön hallitsijat voivat tehokkaasti monitoroida ja hallita kiinteistöjä etänä, mikä vähentää tarvetta kohdekäynneille vianselvitystilanteissa.

5.2 Adairin hyödyt ja edut

5.2.1 Laitevalmistajasta riippumaton

Adair on laitevalmistajasta riippumaton valvomojärjestelmä, joka tarjoaa kiinteistöjen omistajille ja ylläpitäjille monipuoliset ohjaus-, seuranta- ja raportointimahdollisuudet.



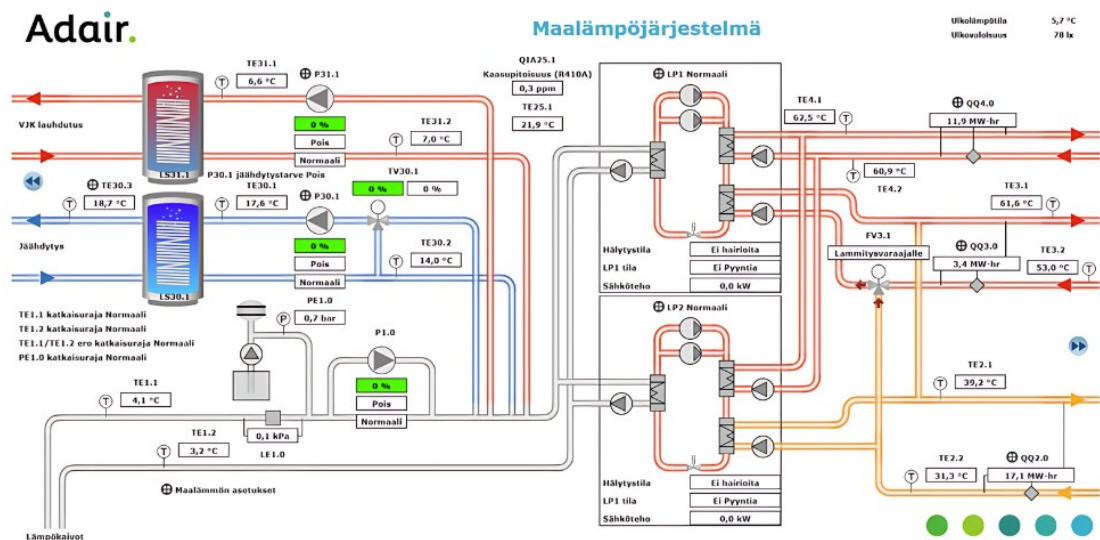
Kuva 90. Oumanin laitteistoa yhdistettynä Adairin monimerkkivalvomoon.

Olemassa olevaa laitekantaa ei tarvitse uusia, sillä Adair on yhteensopiva niiden kanssa. Tämä tarkoittaa, että tilaaja ei ole sidottu yhteen laitevalmistajaan eikä ole suljetun järjestelmän vanki. Adair on avoin ja joustava ratkaisu.

Useiden kiinteistöjen rakennusautomaatiojärjestelmät, vaikka ne olisivat eri valmistajilta, voidaan yhdistää Adairiin, jolloin kaikkia laitteita voidaan hallita yhteisestä yhdestä käyttöliittymästä. Lisäksi Adairin valvomo mahdollistaa etähallinnan, jolloin kiinteistöjä voidaan hallita mistä tahansa, puhelimella, tabletilla tai tietokoneella.

5.2.2 Kiinteistön tiedolla johtaminen

Rakennus on monimutkainen kokonaisuus erillisine järjestelmineen. Kuinka moni ymmärtää niiden kaikkien toimintaa? Kuinka paljon kiinteistöhoitaja osaa ja paljonko häneltä vaaditaan? Miten rakennusautomaatiojärjestelmä voi tulla tässä vastaan?

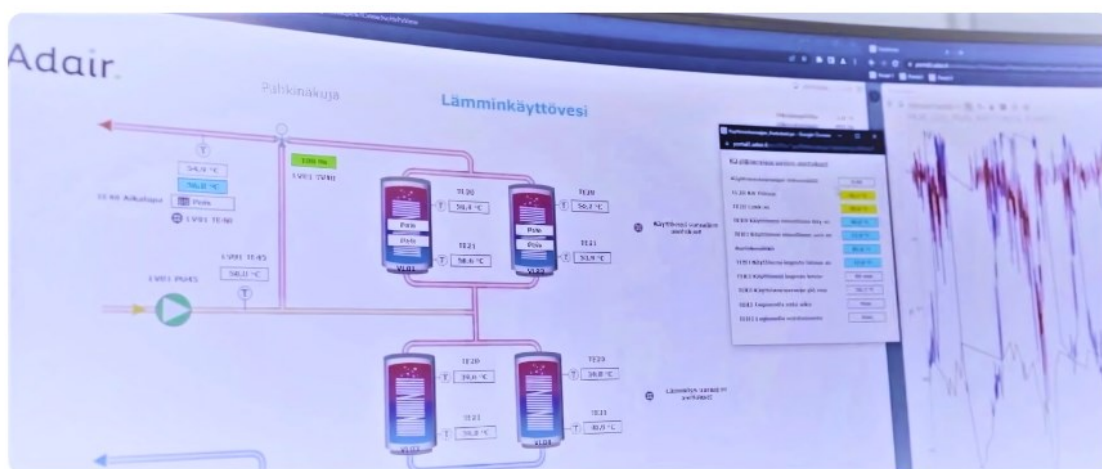


Kuva 91. Kiinteistön maalämpöjärjestelmä Adairin monimerkkivalvomossa.

Adair on helppokäyttöinen ja visuaalinen valvomo, jonka avulla voidaan nähdä olosuhteet reaaliaikaisesti ja reagoida muutoksiin nopeasti. Adairin avulla voidaan seurata ja hallita kaikkia kiinteistön taloteknisiä järjestelmiä yhdestä paikasta, jolloin kiinteistön hallitsija voi itse varmistaa, että olosuhteet ovat halutulla

tasolla. Kiinteistön ylläpidon tavoitteena on säilyttää kiinteistön kunto, olosuhteet ja arvo. Adairin räätälöidyt käyttöliittymät vastaavat jokaisen asiakkaan tarpeisiin. Käyttäjälle voidaan luoda räätälöidyt mittarit, jolloin olennainen tieto on aina helposti saatavilla.

Automaattiset raportit, trendit, hälytykset, grafiikat, yhteenvedot ja raportit energiankulutuksesta - kaikki nämä ominaisuudet vähentävät turhaa työtä ja tekevät kiinteistönhallinnasta helpompaa. Henkilökunnan ei tarvitse opetella useita eri ohjelmistoja, vaan yksi ylitason ohjelma riittää.



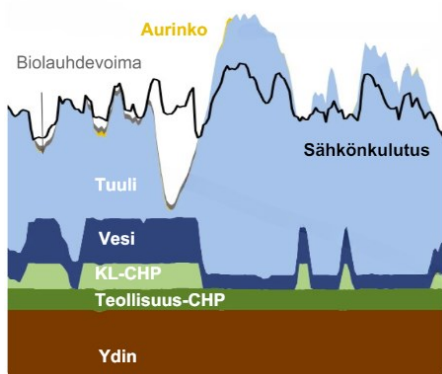
Kuva 92. Adair tarjoaa yksityiskohtaisten trendien analysoinnin ja visualisoinnin.

Adairissa mittaukset ovat helposti saatavilla ja visualisoituna yhdestä paikasta. Ilman lämpötila, ilman kosteus, CO₂-pitoisuus, PM₁₀, radon, sähkönkulutus, lämmitysenergian kulutus, aurinkopaneelien käyttö ja tuotto, lämpöpumppujen käyttö – kaikki tämä tieto on helposti saatavilla ja ymmärrettävässä muodossa.

Adairin avulla voidaan myös hyödyntää pörssisähkön hintavaihteluita ja optimoida kiinteistön energiankulutusta tunneittain. Järjestelmä voi esimerkiksi ohjata lämmitystä ja ilmanvaihtoa siten, että kulutus on alhaisimmillaan silloin, kun sähkön hinta on korkeimmillaan.

5.2.3 Kiinteistön kulutusjousto

Adair mahdollistaa kiinteistön osallistumisen kulutusjoustoan (aikaisemmin kutsuttu kysyntäjoustoksi). Kulutusjoustolla tarkoitetaan sähkönkulutuksen siirtämistä pois niiltä tunneilta, jolloin sähkön hinta on korkeimmillaan ja sähköverkko kuormittuu eniten [60].



Kuva 94. Tuotannon ja kulutuksen yhteensovittaminen yhdeltä viikolta tammi-kuussa 2019 [61].

Kulutusjoustossa kiinteistö integroidaan osaksi virtuaalivoimalaitosta, joka osallistuu sähkön kysyntäjoustoan. Virtuaalivoimalaitos yhdistää useita kiinteistöjä ja muita sähkönkuluttajia, ja tarjoaa siten joustoja sähkömarkkinoille. Kulutusjousto hyödyttää energiayhtiötä sähköverkon tasapainotuksessa ja antaa kiinteistön omistajalle mahdollisuuden pienentää energiakustannuksiaan.

Markkinapaikka	Sopimustyyppi	Minimisäättö	Aktivoitumisvaade	Aktivoituu
Taajuusohjattu käyttöreservi	• Vuosimarkkinat • Tuntimarkkinat	0,1 MW	3 min, kun taajuus poikkeaa 49,95-50,05 Hz:stä	Useita kertoja tunnissa molempiin suuntiin
Taajuusohjattu häiriöreservi	• Vuosimarkkinat • Tuntimarkkinat	1 MW	5 s / 50 % ja 30 s / 100 %, kun taajuus on 30 s alle 49,7 Hz (kulutukselle)	Muutamia kertoja vuodessa
Taajuusohjattu häiriöreservi (on-off-malli)	• Pitkäaikainen sopimus	10 MW	Välittömästi, kun taajuus alle 49,5 Hz	Noin kerran vuodessa
Nopea häiriöreservi	• Pitkäaikainen sopimus	10 MW	15 min	Noin kerran vuodessa
Tehoreservi (EMV)	• Pitkäaikainen sopimus	10 MW	15 min kulutukselle 12 h tuotannolle	Harvoin (1-2 kertaa talvikaudella)
Säätösähkömarkkinat	• Tuntimarkkinat	10 MW	15 min	Tarjousten mukaan, useita kertoja vuorokaudessa

Kuva 95. Sähkön kulutusjoustoan markkinapaikat Suomessa [62].

5.3 Vertailu suljettuihin valvomoratkaisuihin

Useimmat laitetoimittajien valvomot on suunniteltu toimimaan vain oman merkisten laitteiden kanssa. Tämä voi johtaa tilanteeseen, jossa useiden eri valmistajien laitteita sisältävän järjestelmän valvontaan tarvitaan useita erillisiä ohjelmistoja. Adair-monimerkkivalvomo tarjoaa tähän ongelmaan ratkaisun.



Kuva 96. Markkinoilla olevia suljettuja valvomoratkaisuja.

Adairiin voidaan yhdistää kaikkien eri laitetoimittajien laitteet yhden käyttöliittymän alle, ja näin koko järjestelmää voidaan valvoa tehokkaasti yhdestä paikasta, mikä yksinkertaistaa valvontaa ja parantaa järjestelmän läpinäkyvyyttä.



Kuva 97. Markkinoilla olevia kiinteistön johtamiseen tarkoitettuja ohjelmistoja.

Adairin kehityssuunta tukee vahvasti myös kiinteistön johtamisen tarpeita. Tulevaisuudessa Adairin ominaisuuksiin on tulossa entistä kattavampia työkaluja, jotka helpottavat kiinteistön hallitsijoiden arkea ja mahdollistavat kiinteistön toiminnan tehokkaamman analysoinnin. Adairin tavoitteena on yhdistää saumattomasti yhteen käyttöliittymään sekä rakennusautomaation älykäs ohjaus, että kiinteistön johtamisen kannalta olennaiset toiminnot.

5.4 Asiakkaiden käyttökokemuksia

Adairin asiakkaat ovat olleet erityisen tyytyväisiä siihen, että laitteita ei tarvitse päivittää valvomon käyttöönottoa varten. Selkeä, helppokäyttöinen ja visuaalinen käyttöliittymä on saanut kiitosta, ja valvomoon pääsee käsiksi mistä tahansa. Asiakkaat ovat myös iloinneet siitä, että Adairiin on saatu juuri heidän toiminnalleen välttämättömiä ominaisuuksia.

Adairia on otettu käyttöön lukuisissa kohteissa ympäri Suomea, aina pienistä asuinkerrostaloista suuriin teollisuuskiinteistöihin. Adairin joustavuus ja monipuolisuus tekevät siitä sopivan ratkaisun kaikenkokoisille kiinteistöille ja niiden hallitsijoille.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tämä insinööriyö on tarjonnut laajan ja monipuolisen katsauksen rakennusautomaatioon, joka on keskeisessä roolissa kiinteistöjen toimintojen ohjauksessa ja optimoinnissa. Työn keskiössä on ollut Suomen ikääntyvä rakennuskanta ja sen tuomat haasteet, johon Adairin pilvipohjainen monimerkkivalvomo tarjoaa lupaavia ratkaisuja energiatehokkuuden ja -hallinnan parantamiseen, sillä se mahdollistaa tehokkaiden ohjausratkaisujen käyttöönoton nykyisillä laitteistoilla ilman kalliita ja aikaa vieviä päivityksiä.

Työn alussa luotiin perusta rakennusautomaation ymmärtämiselle perehtymällä alan peruskäsitteisiin ja avaintermeihin. Rakennusautomaation toimintaympäristöä hahmotettiin tarkastelemalla alan keskeisiä toimijoita, markkinatrendejä ja liiketoimintamalleja. Painotettiin alan merkitystä energiatehokkuuden parantamisessa ja kestäväen kehityksen edistämisessä, ja pohdittiin digitalisaation vaikutusta niin alan osaamistarpeisiin kuin uusien liiketoimintamahdollisuuksien syntymiseenkin.

Rakennusautomaatio ja talotekniikka muodostavat kiinteän kokonaisuuden, jossa rakennusautomaatio toimii talotekniikan aivoina, ohjaten ja optimoiden sen eri osa-alueita. Tämän kokonaisuuden hallinta on kehittynyt merkittävästi

viime vuosina, ja uudet teknologiat ovat mahdollistaneet entistä tehokkaampia ja joustavampia ratkaisuja kiinteistöjen ohjaukseen.

Eryisesti pilvipohjaiset valvomot nousevat keskiöön tarjoamallaan joustavuudella, skaalautuvuudella ja etäohjattavuudella. Adair-monimerkkivalvomo erottuu joukosta ainutlaatuisella tavalla mahdollistamalla eri valmistajien laitteiden saumattoman yhdistämisen yhdeksi yhtenäiseksi järjestelmäksi. Tällä on merkittävä vaikutus paitsi kiinteistön hallinnan yksinkertaistamiseen, mutta myös kustannustehokkuuden parantamiseen.

Adairin kyky integroida kiinteistöjä osaksi kulutusjoustoja on merkittävä askel kohti kestävämpää ja älykkäämpää energiankäyttöä, josta hyötyvät niin kiinteistönomistajat kuin energiayhtiötkin. Adairin saama positiivinen palaute asiakailta, jotka arvostavat sen helppokäyttöisyyttä, visuaalisuutta ja monipuolisia ominaisuuksia, vahvistaa entisestään sen asemaa tulevaisuuden valvomoratkaisuna.

Rakennusautomaatiojärjestelmien rooli tulee korostumaan tulevaisuudessa entisestään kiinteistöjen energiatehokkuuksien parantamisessa. Pilvipalveluiden ja tekoälyn hyödyntäminen tarjoaa valtavasti hyödyntämätöntä potentiaalia älykäsien ja oppivien järjestelmien kehittämiseen.

Lähteet

- 1 Buildings. Verkkoaineisto. Kansainvälinen energiajärjestö. <<https://www.iea.org/energy-system/buildings>> Luettu 6.7.2024.
- 2 Sähköinfo Oy. (2024). ST 709.00 Kiinteistön hallintajärjestelmien peruskäsitteet ja terminologia. 4: Järjestelmiin liittyvä terminologia.
- 3 Rakennusautomaatio. Verkkoaineisto. TEPA-termipankki. <<https://termipankki.fi/tepa/fi/haku/rakennusautomaatioj%C3%A4rjestelm%C3%A4>> Luettu 6.7.2024.
- 4 Kiinteistöautomaatio. Verkkoaineisto. TEPA-termipankki. <<https://termipankki.fi/tepa/fi/haku/kiinteist%C3%B6automaatio>> Luettu 6.7.2024.
- 5 Sähköinfo Oy. (2024). ST 710.10 Rakennusautomaatiojärjestelmän hyödyntäminen.
- 6 Sähköinfo Oy. (2018). ST-käsikirja 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. 5.2.1: Integroinnin lähtökohdat.
- 7 Sähköinfo Oy. (2013). ST 736.00 Rakennusautomaatiototeutuksen projektinhallinta.
- 8 Webinars. Verkkoaineisto. Smart Buildings Academy. <<https://www.smart-buildingsacademy.com/mini-courses#webinars>> Luettu 6.7.2024.
- 9 Granlund. Verkkoaineisto. Fonecta Finder. <<https://www.finder.fi/Insin%C3%B6%C3%B6ritoimisto+suunnittelutoimisto/Granlund+Oy+p%C3%A4%C3%A4konttori/Helsinki/yhteystiedot/140025>> Luettu 6.7.2024.
- 10 Courses. Verkkoaineisto. Smart Buildings Academy. <<https://www.smart-buildingsacademy.com/course-catalog>> Luettu 6.7.2024.
- 11 Kurssit. Verkkoaineisto. Sähköinfo Oy. <<https://www.sahkoinfo.fi/product/group/113>> Luettu 6.7.2024.
- 12 Asunnot ja asuinolot. Verkkoaineisto. Tilastokeskus. <https://stat.fi/til/asas/2020/01/asas_2020_01_2021-10-14_fi.pdf> Luettu 6.7.2024.
- 13 Asuinrakennusten korjaustarve 2020–2050. Verkkoaineisto. Pellervon taloustutkimus PTT. <<https://www.ptt.fi/julkaisut/asuinrakennusten-korjaustarve-2020-2050/>> Luettu 6.7.2024.
- 14 Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020–2050. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Suomen-EPBD-2a-ilmoitus_final_10-03-2020-242AE19E_F497_4A38_8DF2_95556530BA53-156573.pdf/37a549e9-b330-5f8c-d863-2e51f2e8239a/Suomen-EPBD-2a-ilmoitus_final_10-03->

- 2020-242AE19E_F497_4A38_8DF2_95556530BA53-156573.pdf> Luettu 6.7.2024.
- 15 Hiilineutraali Suomi 2035, kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. Verkkoaineisto. Työ- ja elinkeinoministeriö. <<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/164321>> Luettu 6.7.2024.
 - 16 Fossiilivapaa kaukolämpö- ja -kylmäverkko. Verkkoaineisto. Smart Energy Transition -hanke. <http://smartenergytransition.fi/wp-content/uploads/2019/04/Clean-DHC-discussion-paper_SET_2018.pdf> Luettu 6.7.2024.
 - 17 Climate Data Online. Verkkoaineisto. National Oceanic and Atmospheric Administration. <<https://www.ncei.noaa.gov/cdo-web/>> Luettu 6.7.2024.
 - 18 How to use digitalisation to support Net Zero goals. Verkkoaineisto. Priva Scandinavia AB. <<https://www.priva.com/buildings/knowledge/net-zero-goals-and-digitalisation>> Luettu 6.7.2024.
 - 19 Good Indoor Air Quality Leads to Good Decisions. Verkkoaineisto. Vaisala Oy. <<https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/VIM-G-HVAC-Good-Indoor-Air-Quality-Application-note-B211681FI.pdf>> Luettu 6.7.2024.
 - 20 Vastusarvotaulukko. Verkkoaineisto. Produal Oy. <https://www.produal.com/media/pdf/Temperature_sensor_characteristics_fi.pdf> Luettu 6.7.2024.
 - 21 JVS 24 -käyttöohje. Verkkoaineisto. Produal Oy. <<https://produal-pim.rockon.io/rockon/api/v1/int/extmedia/open-File/01TGWJBKG7DZYS47X6BJDI7WD6LL5VPX5H>> Luettu 6.7.2024.
 - 22 Smart Building Solutions. Verkkoaineisto. ABB Oy. <https://library.e.abb.com/public/449d48e082964c12a2b206a103576891/Webinar-ABB-Cylon-February-2021_PR_EN_V1-0_9AKK107991A8225.pdf> Luettu 6.7.2024.
 - 23 Sähköinfo Oy. (2018). ST 711.15 Ohjelmistojen dokumentointi.
 - 24 Sähköinfo Oy. (2022). ST-käsikirja 21 Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto.
 - 25 RS-232. Verkkoaineisto. RealPars B.V. <<https://www.realpars.com/blog/rs232>> Luettu 6.7.2024.
 - 26 TRIAC-8-C. Verkkoaineisto. Fidelix Oy. <<https://www.fidelix.com/products/triac-8-c/>> Luettu 6.7.2024.
 - 27 Technical Resources. Verkkoaineisto. The Modbus Organization. <<https://www.modbus.org/tech.php/>> Luettu 6.7.2024.

- 28 Tuotteet. Verkkoaineisto. Fidelix. <<https://www.fidelix.com/fi/tuotteet/>> Luettu 6.7.2024.
- 29 BACnet. Verkkoaineisto. Smart Buildings Academy. <<https://blog.smart-buildingsacademy.com/tag/bacnetip>> Luettu 6.7.2024.
- 30 Sähköinfo Oy. (2019). ST-käsikirja 23 KNX-järjestelmän perusteet.
- 31 Subnetting. Verkkoaineisto. Comparitech Ltd. <<https://cdn.comparitech.com/wp-content/uploads/2018/05/Subnetting-Cheat-Sheet.pdf>> Luettu 6.7.2024.
- 32 Network topologies. Verkkoaineisto. Sagarfive. <<https://sagarfive.in/networking/network-topologies/>>
- 33 Courses. Verkkoaineisto. Smart Buildings Academy. <<https://www.smart-buildingsacademy.com/course-catalog>> Luettu 6.7.2024.
- 34 Courses. Verkkoaineisto. Smart Buildings Academy. <<https://www.smart-buildingsacademy.com/course-catalog>> Luettu 6.7.2024.
- 35 WEBs-N4. Verkkoaineisto. Honeywell Inc. <<https://www.honeywellbuildings.in/bms/building-control-system/webs-n4>> Luettu 6.7.2024.
- 36 Sähköinfo Oy. (2019). ST 710.02 Rakennusautomaation tietoturva.
- 37 Tosibox Plaftorm. Verkkoaineisto. Tosibox Oy. <<https://www.tosibox.com/>> Luettu 6.7.2024.
- 38 Security Research Report: I Own Your Building (Management System). Verkkoaineisto. Applied Risk Ltd. <<https://applied-risk.com/resources/i-own-your-building-management-system>> Luettu 6.7.2024.
- 39 Honeywell Inc. (1997). Engineering Manual of Automatic Control for Commercial Buildings: I-P Edition.
- 40 Solutions. Verkkoaineisto. Grundfos. <<https://www.grundfos.com/solutions/>> Luettu 6.7.2024.
- 41 Pumput. Verkkoaineisto. Kolmeks. <<https://kolmeks.com/pumput/>> Luettu 6.7.2024.
- 42 Smart Building Solutions. Verkkoaineisto. ABB Oy. <https://library.e.abb.com/public/449d48e082964c12a2b206a103576891/Webinar-ABB-Cylon-February-2021_PR_EN_V1-0_9AKK107991A8225.pdf> Luettu 6.7.2024.
- 43 Palopeltien käyttö. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. <<https://talotekniikkainfo.fi/page/export/html/155>> Luettu 6.7.2024.

- 44 Lämmitys ja ilmanvaihto. Verkkoaineisto. Hedegren Oy. <<https://www.hedegren.com/fi/talotekniikka-ja-teollisuus/lammitys-ja-ilmanvaihto/>> Luettu 6.7.2024.
- 45 Fidelix Academy. Verkkoaineisto. Fidelix Oy. <<https://info.fidelix.com/academy/>> Luettu 6.7.2024.
- 46 Lämmöntalteenotto jätevedestä. Verkkoaineisto. Energiatukku Oy. <https://energiatukku.fi/index.php?route=product/product&language=fi-fi&product_id=170/>. Luettu 6.7.2024.
- 47 Suomeen myydyt lämpöpumput, kumulatiivinen. Verkkoaineisto. Suomen lämpöpumppuyhdistys SULPU ry. <<https://www.sulpu.fi/wp-content/uploads/2022/01/SULPU-lampopumpputilasto-2021-kuvaajat.pdf>> Luettu 6.7.2024.
- 48 Lämmitys ja jäähdytys. Verkkoaineisto. LVI-More Oy. <<https://www.lvi-more.fi/lammitys-ja-jaahdytys/>> Luettu 6.7.2024.
- 49 Fighter 410P. Verkkoaineisto. Nibe Oy. <<https://www.nibe.fi/assets/documents/11501/031027-4.pdf>> Luettu 6.7.2024.
- 50 Ilmavesilämpöpumppujen asentajan opas. Verkkoaineisto. Nibe Oy. <<https://installer.nibe.eu/download/18.6170c680180c00279ec1bbaa/1653297641427/NIBE%20ilmavesilp%20asentajan%20opas%2004%202019%20LowRes.pdf>> Luettu 6.7.2024.
- 51 Energy-efficient and ecological geothermal won the pound of heating systems. Verkkoaineisto. Jäsپی Oy. <<https://jaspi.fi/en/2020/12/28/energy-efficient-and-ecological-geothermal-won-the-pound-of-heating-systems/>> Luettu 6.7.2024.
- 52 Kaukolämmön hybridikytkennät. Verkkoaineisto. Tampereen Energia Oy. <<https://www.tampereenergia.fi/energiaratkaisut/yrityksille/teknisen-suunnittelu-ja-urakointi/teknisen-suunnittelun-materiaalipankki/kaukolammon-hybridikytkennat/>> Luettu 6.7.2024.
- 53 ABB. Verkkoaineisto. <https://library.e.abb.com/public/449d48e082964c12a2b206a103576891/Webinar-ABB-Cylon-February-2021_PR_EN_V1-0_9AKK107991A8225.pdf> Viitattu 6.7.2024
- 54 Jäsپی: Suurten kiinteistöjen lämmitysratkaisut. Verkkoaineisto. <<https://jaspi.fi/wp-content/uploads/2023/11/Jaspi-kiinteistolampoesite-1123-web.pdf>>. Luettu 6.7.2024.
- 55 Smart Building Solutions. Verkkoaineisto. ABB Oy. <https://library.e.abb.com/public/449d48e082964c12a2b206a103576891/Webinar-ABB-Cylon-February-2021_PR_EN_V1-0_9AKK107991A8225.pdf> Luettu 6.7.2024.

- 56 Sähkölämmitys teollisuuteen. Verkkoaineisto. Termax Oy. <<https://termocal.fi/wp-content/uploads/termask30-750esitesuomi.pdf>> Luettu 6.7.2024.
- 57 Kiinteistökatilat. Verkkoaineisto. Termax Oy. <https://termocal.fi/wp-content/uploads/223636_trio_3.pdf> Luettu 6.7.2024.
- 58 Käänteispalo-puukattilat. Verkkoaineisto. Termax Oy. <https://termocal.fi/wp-content/uploads/613372_puukattilat_suomi.pdf> Luettu 6.7.2024.
- 59 Lämmön kausivarasto, Vantaa. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <https://vantaanenergia.s3.eu-west-1.amazonaws.com/uploads/20220204091944/CTES_YVA_yleisotilaisuus_03022022_esitykset.pdf> Luettu 6.7.2024.
- 60 Kulutusjousto. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <<https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyssahkomarkkinoiden-kehityshankkeet/kysyntajousto/>> Luettu 6.7.2024.
- 61 Clean district heating. Verkkoaineisto. Smart Energy Transition -hanke. <http://smartenergytransition.fi/wp-content/uploads/2019/04/Clean-DHC-discussion-paper_SET_2018.pdf> Luettu 6.7.2024.
- 62 Sähkön kysyntäjoustopotentiaalin kartoitus Suomessa. Verkkoaineisto. Fingrid Oyj. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/sahkomarkkinat/kysyntajousto/fingrid_julkinen_raportti_kysyntajousto_16062014.pdf> Luettu 6.7.2024.