



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Petri Aho

Rakennusautomaation opetusympäristön kehittäminen toisen asteen koulutukseen

Opinnäytetyö

Kevät 2025

Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatio

Tekijä: Petri Aho

Työn nimi alaotsikoineen: Rakennusautomaation opetusympäristön kehittäminen toisen asteen koulutukseen.

Ohjaaja: Sami Rinta-Valkama

Vuosi: 2025

Sivumäärä: 99

Liitteiden lukumäärä:

Ammatillisen koulutuksen sähkö- ja automaatioalan perustutkintoon sisältyy tutkinnon osa Rakennusautomaatioasennukset, jonka laajuus on 45 osaamispistettä. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää ja suunnitella rakennusautomaation opetusympäristö toisen asteen koulutukseen. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Seinäjoen koulutuskuntayhtymä Sedu ja työ tehtiin Törnäväntien kampuksen sähköosastolle. Törnäväntien kampukselle oli valmistunut syksyllä 2024 uudet tilat ja uudisrakennuksessa oli varattuna opetustila rakennusautomaation opetusta varten. Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää opetusympäristöä vastaamaan rakennusautomaation asentajan ammattitaitovaatimusten täyttämistä, teorian ja harjoitteiden suhteen.

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin, mitä on rakennusautomaatio sekä selvitettiin, mitkä ovat Sedun tämänhetkiset valmiudet rakennusautomaation opetuksen suhteen. Työssä tutkittiin opetushallituksen sähkö- ja automaatioalan perustutkinnon rakennusautomaatioasennuksien ammattitaitovaatimukset. Työelämän vaatimuksia selvitettiin kyselyn avulla. Kysely lähetettiin alueen yrityksille, jotka ilmoittivat verkkosivustoillaan toimivan rakennusautomaatioalalla. Yrityksiltä kysyttiin, mitä ammattitaitovaatimuksia heillä on tulevien ammattiin valmistuneiden suhteen. Näiden aineistojen avulla tehtiin suunnitelma, miten rakennusautomaation opetusta kehitetään Sedussa ja Törnävän kampuksella.

Rakennusautomaatio sijoittuu koko kiinteistön alalle. Pedagogisesti haasteena oli saada luokkahuoneeseen mahtumaan tarvittavia laitteistoja. Työelämäpalautteen perusteella rakennusautomaation opetukseen toivottiin sisältöä pääosin ilmanvaihdon, lämmityksen ja valaistuksen ohjaukseen. Työn lopputuloksena määriteltiin rakennusautomaation opetukseen tarvittavat teoriaosuudet sekä suunniteltiin harjoitusympäristö. Valaistuksen ja asuinrakennuksien ohjauksen harjoitteluun suunniteltiin monikäyttöinen alusta, eri järjestelmiä varten. Ilmanvaihdon ja lämmityksen osalta pohdittiin tarvittavia laitehankintoja.

¹ Avainsanat: rakennusautomaatio, ohjausjärjestelmät, säätö, energiatehokkuus, opetustilat

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Bachelor of Engineering, Automation Engineering

Specialisation: Electric Automation

Author: Petri Aho

Title of thesis: Developing the teaching environment of building automation for vocational education

Supervisor: Sami Rinta-Valkama

Year: 2025

Number of pages: 99

Number of appendices:

Vocational qualification in electrical engineering and automation technology includes building automation installations. The purpose of the thesis was to plan a building automation teaching environment for vocational education. The client was Seinäjoki Joint Municipal Authority for Education, Sedu electrical department in Seinäjoki. New facilities were completed at Törnävä campus in autumn 2024. The premises are reserved for teaching building automation. The challenge of teaching building automation is that it is very diversified and connected to many different industries. Automation systems also operate in a wide area encompassing complete properties and thus having the necessary equipment in one classroom is difficult. Companies that operate in the industry were asked to tell which are the key topics that should be covered when teaching building automation. They also answered a question about the requirements they had for a new employee.

First, the study examined the professional requirements set for the employees working with building automation by the Finnish National Agency for Education. Secondly it was clarified what the present state of teaching building automation was at Sedu. The gained information was then used to plan the right kind of environment to the classroom.

The feedback received from companies was mostly about the heating and ventilation system but also the lighting of a building. As a result of the thesis, the necessary theoretical contents for building automation training were identified and teaching environment was planned. The multi-purpose environment was developed for lighting adjustments and the home automation systems of detached houses.

¹ Keywords: building automation, control system, adjustment, energy efficiency, teaching premises

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	1
Thesis abstract	2
SISÄLTÖ	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	10
1 JOHDANTO	11
1.1 Työn tausta	11
1.2 Työn tavoite.....	12
1.3 Työn rakenne	12
1.4 Seinäjoen koulutuskuntayhtymä Sedu	13
2 RAKENNUSAUTOMAATIOJÄRJESTELMÄT	14
2.1 Rakennusautomaatio	14
2.2 Kiinteistöautomaatio	15
2.3 Rakennusautomaation rakenteet.....	16
2.3.1 Hallintotaso	16
2.3.2 Automaatiotaso	17
2.3.3 Kenttälaitetaso	17
2.4 Hajautetut järjestelmät.....	17
2.5 Rakennusautomaation ohjaustavat	18
2.5.1 Signaalityypit.....	18
2.5.2 Kenttäväylä	19
2.5.1 Sarjaliikennestandardi.....	20
2.5.2 Langaton ohjaus	21
2.6 Fyysiset ja langattomat tiedonsiirtomediat.....	21
2.6.1 Kierretty pari.....	22
2.6.2 Koaksiaalikaapeli	22
2.6.3 Optiset kuidut	22
2.6.4 Datasähkö.....	23

2.6.5	Radioverkko	24
2.6.6	Infrapuna	25
2.7	Verkkotopologiat	26
2.7.1	Väylätologia	26
2.7.2	Rengastologia	27
2.7.3	Tähtitologia	28
2.7.4	Mesh-topologia	28
2.7.5	Muut topologiat	29
2.8	Tiedonsiirtoprotokollat	29
2.8.1	BACnet	30
2.8.2	KNX	31
2.8.3	Modbus	33
2.8.4	M-Bus	34
2.8.5	DALI	35
2.8.6	EnOcean	38
2.8.7	FREEatHOME, LonWorks, X10	38
3	Rakennuksen energianhallinta	40
3.1	Lämmitys	42
3.2	Ilmanvaihto	43
3.3	Viilennys ja ilmastointi	48
3.4	Valaistus	51
3.5	Säätötekniikka	53
3.5.1	Säätimen viritys	55
3.5.2	Säädön toiminnallisuus	57
4	Rakennusautomaation dokumentit ja komponentit	59
4.1	Dokumentit	59
4.1.1	Laitetunnukset ja järjestelmämerkinnät	59
4.1.2	Laite- ja pisteluettelo	63
4.1.3	Sijaintipiirustukset	64
4.1.4	Säätökaavio ja toiminnankuvaus	64
4.2	Anturit ja lähettimet	67

4.2.1	Lämpötila-anturi ja jäätymissuoja-anturi.....	68
4.2.2	Mittalähettimet.....	69
4.2.3	Kosteus-, vesivuotoanturi ja sääasemat	71
4.2.4	Kaasuanturit.....	73
4.2.5	Läsnäolo- ja valoisuusanturit.....	74
4.3	Toimilaitteet.....	75
4.3.1	Venttiilit	75
4.3.2	Ilmanvirtojen toimilaitteet.....	76
4.4	Moottorit ja pumput.....	78
4.5	Alakeskukset	79
4.6	Säädin	80
4.7	Rajapinta	81
4.8	Kaapelit	81
4.9	Langaton asennus.....	82
4.10	Valvomo	84
5	Nykyinen opetusympäristö ja kehittämisen perustelut	87
6	Tulokset.....	93
7	Yhteenveto	95
	LÄHTEET	96

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo

Kuva 1. Keskitetty rakennusautomaation hierarkia (sovellettu Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 33).....	16
Kuva 2. Keskitetyn ja hajautetun järjestelmän toiminnallisuuden eroavaisuudet (sovellettu Piikkilä & Sahlstén 2017, s. 12–13).	18
Kuva 3. Yksimuotokuitu ja monimuotokuitu (sovellettu HTFUTURE, 2021).....	23
Kuva 4. Väylätologia (sovellettu Liedes ym., 2022, s. 17).....	27
Kuva 5. Rengastologia (sovellettu Liedes ym., 2022, s. 18).	27
Kuva 6. Tähtitologia (sovellettu Liedes ym., 2022, s. 17).....	28
Kuva 7. Mesh-topologia (sovellettu Liedes ym., 2022, s. 19).....	29
Kuva 8. BACnet-laiteprofiilit (sovellettu Liedes ym., 2022, s. 73).....	31
Kuva 9. KNX-järjestelmä (KNX Finland, 2025).	33
Kuva 10. DALI-järjestelmä ja kaapelointi MMJ 5x1,5S (sovellettu Liedes ym., 2022, s. 80).....	36
Kuva 11. Energiatehokkuusluokitus (sovellettu Alanne ym., 2024, s. 197).....	41
Kuva 12. Erään rakennuksen kaukolämmönvaihdin ja energianmittaus esitettynä.....	42
Kuva 13. Erään rakennuksen koteloitu ilmavaihtokone.	45
Kuva 14. LTO-järjestelmät (sovellettu Alanne ym., 2024, s. 123).	47
Kuva 15. Jäähdytysjärjestelmät (sovellettu Motiva, 2016).	50
Kuva 16. Energiatehokkuuden toteutuminen eri valaistuksen ohjauksilla (sovellettu Alanne ym., 2024, s. 92).	52
Kuva 17. Avoin ohjaus ja kompensointisäätö (sovellettu Ristimäki, 2023a).....	53

Kuva 18. Takaisinkytkentä- ja kaskadisäätö (sovellettu Ristimäki, 2023a).	54
Kuva 19. Säätokertoimen (k-kerroin) laskuesimerkki.	55
Kuva 20. Säädön huojunta asetusarvon ympärillä (sovellettu Suomäki & Vepsäläinen, 2013, s. 20).	56
Kuva 21. Tyypillinen onnistunut PID-säätökäyrä (sovellettu Suomäki & Vepsäläinen, 2013, s. 73).	57
Kuva 22. Lineaarinen ja logaritminen säätö.	57
Kuva 23. Rakennusautomaation laite- ja signaalitunnusten muodostuminen (sovellettu Sähkötieto, 2019, s. 4).	62
Kuva 24. Esimerkkejä erään rakennuksen laite- ja pisteluetteloista.	63
Kuva 25. Erään rakennuksen säätökaavio ja ote toiminnankuvauksesta sekä ote ohjelmatoiminnasta.	64
Kuva 26. Säättökaavion alakeskuksen pisteet.	65
Kuva 27. Säättökaaviossa olevan ryhmäkeskuksen merkinnät ja kytkimet, jotka liittyvät automaation ohjaukseen.	65
Kuva 28. Säättökaavion järjestelmän kuvaus, johon on lisätty alle selityksiä yleisemmistä LVI-piirrosmerkeistä.	66
Kuva 29. Tarkasteltu säätökaavio kokonaisuudessaan.	66
Kuva 30. Erään rakennuksen säätökaavio, palopellit ja ohjaustavat.	67
Kuva 31. Kanavalämpötilamittauspaikat (sovellettu Sähkötieto, 2014, s. 7).	69
Kuva 32. Erään rakennuksen mittauslähettäjiä.	70
Kuva 33. Anturin asennusetäisyys kanavassa (sovellettu Sähkötieto, 2014, s. 8).	71
Kuva 34. Erään rakennuksen mittauslähetin kanavistossa.	71

Kuva 35. Erään rakennuksen vesivuotohälytys komponentteja.	72
Kuva 36. Oppilaitoksen läsnäolo- ja valoisuudentunnistulaitteita	74
Kuva 37. Erään rakennuksen toimilaitteita ilman- ja nesteensäätöön.	75
Kuva 38. Erään rakennuksen venttiilejä toimilaitteilla.	76
Kuva 39. Erään rakennuksen ilmamääräsäädin (IMS) ja palopeltimoottori.	78
Kuva 40. Erään rakennuksen ilmanvaihdossa käytetyt EC-puhaltimet ja kiertovesipumppu.	79
Kuva 41. Erään rakennuksen valvonta-alakeskus ja keskuksessa olevia komponentteja.	80
Kuva 42. Oppilaitoksen opetuksessa käytettäviä rakennusautomaation kaapeleita.	82
Kuva 43. Erään rakennuksen lämmönjakografiikka valvomosta.	85
Kuva 44. Erään rakennuksen IV-koneen valvomonäyttö.	85
Kuva 45. Erään rakennuksen tilan ilmamäärävirtojen seuranta ja poistoilman CO ₂ - määrän seuranta.	86
Kuva 46. Sedun opetuksessa käytettävät KNX-, DALI- ja Casambi-järjestelmät.	87
Kuva 47. Oppilaitoksen opetuksessa käytettävät palo- ja tilaturvalaitteistot.	88
Kuva 48. Luokkahuone, harjoitusalueen prototyypin suunnittelu ja levyyn tuleva tasokuva.	93
Taulukko 1. OSI-Mallin kerrokset ISO (IEC 7498-1).	19
Taulukko 2. Modbus RTU -viestin rakenne (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 140).....	34
Taulukko 3. Energialuokitus ja kerroinmenetelmä. (sovellettu Alanne ym., 2024, s. 197).	41
Taulukko 4. Poistoilmaluokat (sovellettu Talotekniikkainfo, 2024a).	46

Taulukko 5. Ilmastointijärjestelmien jaottelu (sovellettu Sandberg, 2016, s. 129).	49
Taulukko 6. Rakennusautomaation yleisempiä laitetunnuksia (Sähkötieto, 2020b, s. 9)...60	
Taulukko 7. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien merkintäperiaatteet (Sähkötieto, 2020b, s.1).....	61
Taulukko 8. Signaalitunnusten tyypit. (Sähkötieto, 2019, s. 7).....	62
Taulukko 9. Rakennusautomaation mitattavia suureita (Suomäki & Vepsäläinen, 2013, s. 25–26).....	68
Taulukko 10. Palonrajoittimien palonkestävyyden luokitusajat minuutteina (Oksanen, 2012, s. 50).....	77

Käytetyt termit ja lyhenteet

BACnet	Building automation and control systems, rakennusautomaatio- ja ohjausjärjestelmät
CAV	Constant Air Volume System, vakioilmavirtajärjestelmä
CLO	Constant Light Output, vakiovalovirran kompensointijärjestelmä
DALI	Digital Addressable Lighting Interface, Dali-järjestelmä
EC	Electronically Commutated, elektronisesti kommutoitu
ETS	Engineering Tool Software, KNX-järjestelmän ohjelmisto
HCL	Human centric lighting, nimitys päivänvalo-ohjaukselle
I/O	Input/output, tulo/lähtö
IMS	Ilmamääräsäätö
KNX	Konnex, standardoitu kiinteistöautomaatioväylä
LTO	Lämmöntalteenotto
LVISK	Lämpö, vesi, ilmanvaihto, sähkö, kylmä
RAU	Rakennusautomaatio
RTU	Remote Terminal Unit, etäpääteyksikkö
VAK	Valvonta-alakeskus
VAV	Variable Air Volume System, muuttuva ilmavirtajärjestelmä
VOC	Volatile organic compound, orgaanisia yhdisteitä

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Automaatiolla tarkoitetaan sellaisen tekniikan käyttämistä, jonka avulla toiminta tapahtuu ilman ihmisen suorittavaa tai ohjaavaa osuutta (Koskinen, 2018, s. 3–5). Automatisoituja laitteita tiedetään olleen jo ennen vuosituhannen alkua käytössä Egyptissä ja myös Kreikassa. Laite ajanottoon oli nimeltään vesikello (Klepsydra) ja siinä on käytetty takaisinkytkennän periaatetta. Teollinen vallankumous aloitti automaation kehityksen teollisuudessa. Rakennuksien automatisointi otti merkittävän askeleen 1970-luvun energiakriisin aikaan. Samalla vuosikymmenellä yleistyivät myös mikroprosessorit. Vuonna 1973 alkanut energiakriisi toi mukanaan myös suomalaisille määräyksiä ja sääntelyjä energian säästämiseksi. Määräykset liittyivät rakennuksien lämpötilojen säätelyyn, mutta myös esimerkiksi liikkeiden näyteikkunoiden valaistukseen. Valaistus sallittiin vain aukioloaikoina. Nykyaikaisessa sähköistetyssä rakennuksessa automatisointia on enemmän tai vähemmän käytössä.

Automaatio ei saa kuitenkaan olla itseisarvo (Suomäki & Vepsäläinen, 2013, s. 10). Automaation on tuotettava aina jotakin. Kiinteistöissä automaation on tarkoitus säästää energiaa tai helpottaa rakennuksen toimintojen käyttöä. Investoiminen rakennusautomaatioon on kannattavaa vain, mikäli se on oikein suunniteltu, oikein mitoitettu, ohjeiden mukaan asennettu sekä järjestelmä on oikein säädetty. Lisäksi rakennusautomaation elinkaaren aikana järjestelmää huolletaan ja käytetään oikein. Edellä mainittujen menetelmien toteutuessa voidaan saavuttaa kiinteistön automatisoimisen asetetut hyödyt ja säästöt.

Rakennusautomaation suunnittelu ja ohjelmoiminen on yleisesti insinööritason työtä (Sandberg, 2016, s. 12–13). Asentaminen ja kunnossapito on asentajatason työtä. Olkoon tehtävä insinööri- tai asentajatason, on molempien ammattiryhmien menestyksellisessä tehtävän hoidossa tiedettävä talotekniikasta ja rakennusautomaatiosta. Talotekniikan keskeinen osa on LVISK-tekniikka. Tämä sisältää lämmitys-, vesi, ilmanvaihdon, sähkötekniikan ja kylmätekniikan. Talotekniikkaan kuuluu myös kulunvalvonta, viestintä- sekä palontorjuntajärjestelmät. Uuden asioiden oppimisessa on ensin saavutettava perustaso, jonka jälkeen voidaan kehittyä eteenpäin. Pedagogillisesti rakennusautomaation opetuksessa,

perustutkinnossa haastetta tuo alan monialaisuus sekä laajuus. Rakennusautomaatiota voidaan opettaa teoriassa sekä myös simuloinnin avulla. Kuitenkin ymmärrys ja oppiminen tehostuu useasti asennusharjoitustehtävissä.

1.2 Työn tavoite

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella ja kehittää rakennusautomaation opetusympäristö toisen asteen koulutukselle. Opetusympäristöä kehitetään Seinäjoen koulutus-
kuntayhtymän 2024 syksyllä valmistuneisiin tiloihin. Opetushallituksen ePerusteista löytyvät Sähkö- ja automaatioalan perustutkinto ja tutkinnon osista Rakennusautomaatioasennukset, 45 osaamispistettä (106405) (Opetushallitus, 2021). ePerusteisiin on listattu ammattitaitovaatimukset. Ammatillisen koulutuksen tavoite on saavuttaa ammattitaitotaso, mikä mahdollistaa työllistymisen koulutuksen jälkeen. Tästä syystä on perusteltua ottaa mukaan myös työelämän tarpeet rakennusautomaation ammattitaitovaatimuksen osalta. Tässä opinnäytetyössä alueen työelämän vaatimuksia rakennusautomaation opetukseen suhteen, selvitettiin kyselyn avulla. Kyselyyn osallistui rakennusautomaatioalalla toimivia yrityksiä.

Opetushallituksen ammattitaitovaatimuksista voidaan tarkastella mitä rakennusautomaation tutkinnonosaan sisältyy. Haasteena koulutuksessa onkin, miten nämä toteutetaan. Oppilasryhmäkoot vaihtelevat Sedulla 15–22 henkilön välillä. Laadukkaan opetuksen varmistamiseksi opetusympäristössä on kaikille oltava jotain tehtävää samanaikaisesti. Teoriaopetus sekä eri järjestelmien simuloimiset onnistuvat kerralla isommallekin ryhmälle. Opetuksessa tyypillisesti on käytössä vain yksi luokkahuone, kun taas työelämässä rakennusautomaation asennustehtävät ovat monentyyppisessä ympäristössä, koko kiinteistön alueella. Työelämän palaute on tärkeää myös opetustilan rajallisuuden vuoksi sekä työelämälähtöisen opetuksen saavuttamiseksi rakennusautomaation osalta.

1.3 Työn rakenne

Opinnäytetyön varsinainen osuus alkaa osiossa kaksi ja siinä tarkastellaan ensin rakennus- ja kiinteistöautomaatiota käsitteitä yleisesti. Luvut 2, 3 ja 4 ovat teoriaosuuksia, joiden perusteella myös muodostuu opetuksen teorian runko. Teoriaosiossa kaksi, yleisen

rakennusautomaation osuuden jälkeen, käsitellään rakennusautomaation ohjaustavat, käytettävät tiedonsiirtomediat, verkkotopologiat sekä yleiset protokollat. Kolmannessa luvussa keskitytään rakennuksen energianhallintaan ja energiantehokkuuteen sekä säätötekniikkaan. Luku neljä muodostuu rakennusautomaatiossa käytetyissä dokumenteista sekä komponenteista. Dokumentti ja komponentti -osiossa selitetään myös rakennusautomaatioasentajan tarvitsemia tietoja kaavioista ja laitteiden asennukseen liittyviä ohjeistuksia. Viides osuus on nykytilan kartoitus oppilaitoksen rakennusautomaation opetuksesta ja tarkastellaan Opetushallituksen ammattitaitovaatimukset sekä työelämästä saatu palaute. Luvussa kuusi on tulokset opetusympäristön kehittämiseen ja lopuksi luku seitsemän on yhteenveto opinnäytetyön teosta.

1.4 Seinäjoen koulutuskuntayhtymä Sedu

Seinäjoen koulutuskuntayhtymä Sedu järjestää ammattilista koulutusta nuorille sekä aikuisille (Seinäjoen koulutuskuntayhtymä (Sedu), i.a -a). Sedulla on järjestämislupa 90 tutkintoon. Tutkinnon muodostuvat 31 perustutkinnosta, 32 ammattitutkinnosta sekä ja 27 erikoisammattitutkinnosta. Sedulla on kampuksia Seinäjoella, Ilmajoella, Kurikassa, Lapualla ja Ähtärissä. Seinäjoen koulutuskuntayhtymän omistaa 1.1.2016 lähtien 17 eri kuntaa. Omistajakunnat ovat: Alajärvi, Alavus, Ilmajoki, Isokyrö, Karijoki, Kauhajoki, Kauhava, Kristiinankaupunki, Kuortane, Kurikka, Lapua, Multia, Seinäjoki, Soini, Teuva, Virrat ja Ähtäri. Päätoimista henkilöstöä koulutuskuntayhtymässä on yli 600 ja vuonna 2024 opiskelijoita oli noin 5000. Sedussa tehdään vuositasolla lähes 2000 tutkintoa.

Sähkö- ja automaatioalan perustutkintoa Seinäjoella voi opiskella Törnäväntien kampuksella (Sedu, i.a -b). 2025 yhteishaussa sähkö- ja automaatioalan perustutkintoon Seinäjoelle oli paikkoja tarjolla 64. Lisäksi jatkuvan haun, ammatti- tai erikoisammattitutkinnon, sekä oppisopimuskoulutuksen myötä Törnäväntien kampuksella sähköalaa opiskelee vuositasolla noin 200 opiskelijaa. Uusia tiloja ja opetusympäristöä on Törnävän kampukselle valmistunut syksyllä 2024 rakennushakkeen myötä. Uudisrakennuksessa on valmistunut 70 m² tila sähköosaston käyttöön, rakennusautomaation opetusympäristöä varten.

2 RAKENNUSAUTOMAATIOJÄRJESTELMÄT

2.1 Rakennusautomaatio

Rakennusautomaatiolla säädetään, ohjataan ja valvotaan kiinteistön energiankulutusta, sisäolosuhteita, valaistusta sekä vaikutetaan kiinteistön käyttömukavuuteen (Suikkanen, 2022). Automaation määrä kiinteistöissä on ollut noususuhdanteinen. Uudistettu rakennusten energiatehokkuusdirektiivi (Euroopan parlamentit ja neuvoston direktiivi 2024/1275) astui voimaan EU-maissa 28. toukokuuta 2024. Direktiivin tavoite on saavuttaa täysin hiilidioksidipäästötön rakennuskanta 2050 vuoteen mennessä. Direktiiviin on kirjattu automaatio- ja ohjausjärjestelmän asentamisesta muihin kuin asuinkiinteistöihin, missä lämmitysjärjestelmien ja ilmastointijärjestelmien nimellisteho on 290 kilowattia vuoteen 2025 mennessä. Valaistuksen osalta direktiivissä kirjataan vähintään 290 kilowatin nimellistehon omaavan rakennuksen on varustettava automaattisella valaistuksen säätölaitteilla ja läsnäolo-ohjauksella vuoteen 2028 mennessä. Asetus ei koske asuinrakennuksia. Nimellisteho tulee direktiivin mukaan laskemaan 70 kW:iin ennen vuotta 2030.

Oikein suunniteltuna, rakennettuna, käytettynä ja huollettuna rakennusautomaatio tuo lisäarvoa ja säästää energiakustannuksissa kiinteistölle (Fidelix, 2024, s. 13). Rakennusautomaatiojärjestelmä kiinteistössä on normaalisti yhden toimittajan toteuttama järjestelmä. Rakennusautomaation elinkaari on 10–15 vuotta. Automaation saneeraus johtuu monesti siitä, ettei järjestelmään ole enää saatavilla komponentteja tai järjestelmä on toimimaton. Uudisrakentamisessa rakennusautomaation kustannukset ovat noin 1 %:n luokkaa rakennuksen kokonaisurakasta.

Energian säästämässä on tiedostettava kuinka kaikki vaikuttaa kaikkeen. Suomäen ja Vepsäläisen (2013, s. 11–12) esimerkin mukaan ilmanvaihdon sisäpuhalluksen lämpötilan nosto +20 asteesta +23 asteeseen vaikuttaa välittömästi lämmitykseen ja sisätiloissa oleviin henkilöihin. Lämmitystermostaatti sulkeutuu ja lämmitysveden jäähtyminen vähenee. Rakenteet alkavat kerätä lämpöä ja samalla sisäilman laatu heikkenee. Jos samaan aikaan auringonsäteily osuu sisätilaan, aiheutuu siitä ilmanvaihdon lämpötilan laskun, koska huoneistoon tulee liian kuuma. Kaikella tällä on vaikutusta energiankulutukseen. Automaatiolla voidaan saavuttaa terveellinen ja viihtyisä sisäilma energiatehokkaasti.

Piikkilän ja Sahlstéin (2017, s. 24–25) mukaan rakennusautomaation tai sen toiminnallisuudesta suorannaisia viranomaismääräyksiä on kovin vähän. Toiminnallisuudet, viranomaismääräykset sekä vaatimukset rakennusautomaatiojärjestelmälle saadaan sisätilojen käytön ja kiinteistön energiatehokkuuden koskevista määräyksistä. Tyypillisesti standardeissa kuitenkin määritellään rakennusautomaatiojärjestelmiin liittyvien komponenttien toimintoja ja niiden rakenteita. Standardeja on esimerkiksi kenttäväylyistä sekä signaaleista ja niiden käytöstä. Esimerkkinä standardista EN 55014 löytyy vaatimukset kenttäväylän soveltuvuudesta räjähdysvaarallisissa tiloissa ja IEC-60381-1 määrittelee analogiset virtasignaalit, IEC60381-2 määrittelee analogiset jännitesignaalit. ST-kortistoon on koottu rakennusautomaatiojärjestelmään koskevia säädöksiä ja määräyksiä sekä näitä koskevien ohjeiden löydettävyyttä (Sähkötieto, 2020a).

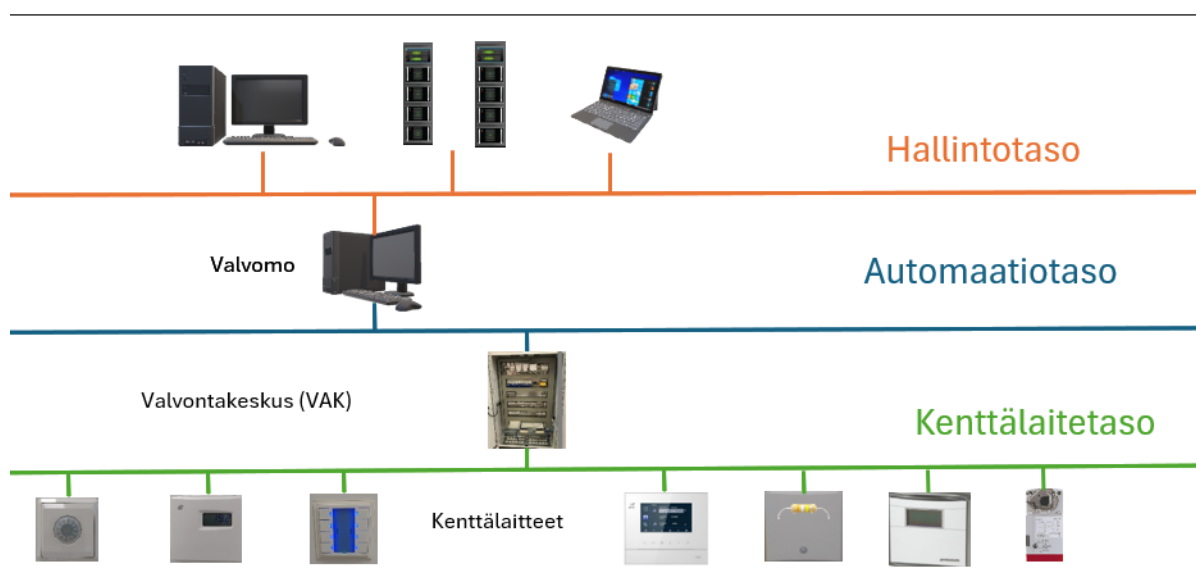
2.2 Kiinteistöautomaatio

Kiinteistö- ja rakennusautomaatio käsitteet arkipuheessa sekoittuvat usein toisiinsa rakennuksen automaatiosta puhuttaessa. Tilastokeskuksen (Tilastokeskus, i.a.-a) mukaan rakennuksella tarkoitetaan kiinteästi paikalleen rakennettua, omalla sisäänkäynnillä varustettu rakennelmaa. Kiinteistöllä (Tilastokeskus, i.a.-b) puolestaan tarkoitetaan kiinteistörekisteriin merkittyä maa- tai vesialueen omistuksen yksikköä. Kiinteistöön lasketaan omistettavat rakennukset sekä myös kiinteistön kiinteät laitteet.

Metstan (Metsta, 2019) standardisointiryhmän (Metsta, SR 247) mukaan automaatio-käsitteen ratkaisee se, mihin automaatio kohdentuu. Kiinteistöautomaatiostandardikomitean 15. marraskuuta vuonna 2019 laaditussa julkaisussa SR 247 esitetään rakennus- ja kiinteistöautomaation käsitteiden erot. Kiinteistöautomaatiosta puhutaan kokonaisuudesta. Kiinteistöautomaatio sisältää LVISK lisäksi myös muita järjestelmiä, joten laitetoimittajakin on yleensä useita. Muita järjestelmiä ovat mm. palo- ja tilaturvallisuus, kulunvalvonta, sisä- ja ulkovalaistukset sekä kiinteistön ulkopuoliset toiminnot esimerkiksi sähköautojen lataus- asemat. Rakennusautomaation katsotaan kuuluvan kiinteistöautomaatioon. Opetushallituksen ammattitaitovaatimukset on kirjattu nimikkeellä rakennusautomaatiojärjestelmät, joten tässä opinnäytetyössä tarkastellaan rakennusautomaatiokäsitettä.

2.3 Rakennusautomaation rakenteet

Rakennusautomaatiojärjestelmiä on periaatteessa kahta eri perusmallia (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 10). Perinteinen keskitetty järjestelmä ja toisena hajautetut järjestelmät. Rakennusautomaatiojärjestelmän perinteinen perusrakenne muodostuu kolmesta tai neljästä eri tasosta Rakennusautomaation hierarkiassa alimmaisella tasolla on kenttälaitteet. Toisessa tasossa ovat alakeskukset ja ylimmän tason muodostaa hallinnolliset laitteet sekä valvomot. Tason on yhdistetty tiedonsiirtoyhteydellä (kuva 1).



Kuva 1. Keskitetty rakennusautomaation hierarkia (sovellettu Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 33).

2.3.1 Hallintotaso

Hallintotaso on rakennusautomaation hierarkian ylin taso (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 10). Tämä taso sisältää valvomon ja on rajapinta käyttäjän ja järjestelmän välillä. Valvomon avulla voidaan graafisesti esittää rakennuksen ohjattavat prosessit. Prosesseja voidaan tarkkailla reaaliajassa, muokata asetusarvoja ja tarkastella sekä kuitata mahdollisia vika-hälytyksiä. Valvomon keräämästä datasta saadaan kiinteistön toiminnoista koottua raportteja. Kiinteistöjen valvontaan on kehitetty pilvipohjaisia valvomoja, joihin voidaan kerätä rakennuksen talotekniset järjestelmät samaan käyttöliittymään ja voidaan ohjata helposti etänä.

2.3.2 Automaatiotaso

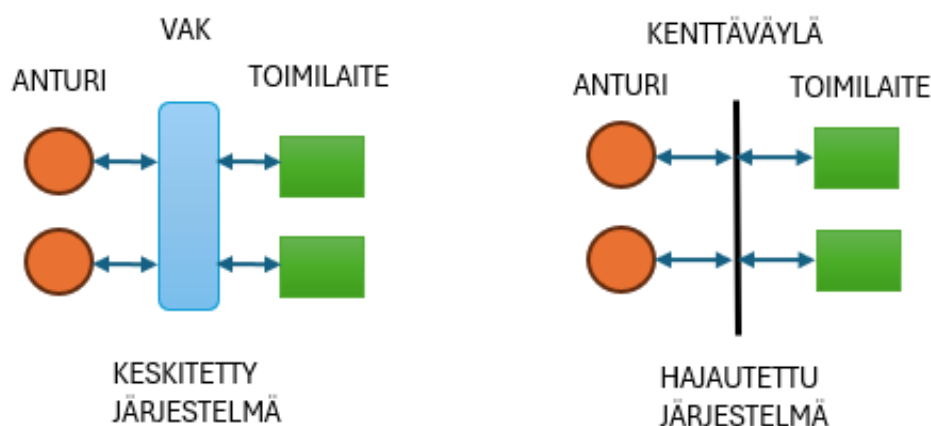
Automaatiotaso sisältää rakennusautomaation kenttälaitteiden hallintaan tarvittavat ohjaimet (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 12). Valvonta-alakeskus (VAK) kerää mittalaitteiden välittämät tiedot, jotka välitetään ohjauskäskynä tietyn toiminnan toimilaitteelle. Alakeskuksessa kentältä tulevat mittausviestit muutetaan fysikaaliseksi suureiksi ja suoritetaan tarvittavat laskennat.

2.3.3 Kenttälaitetaso

Rakennusautomaatiojärjestelmän kenttälaitteet ovat kiinteistön eri puolelle olevia toimilaitteita, lähettimiä ja antureita (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 10–11). Ulkotilojen valaistuksessa käytetään liike- ja hämärätunnistimia ja sisätiloissa liiketunnistimia. Katkaisimiin voidaan ohjelmoida eri valaistustiloja käyttötarpeiden mukaan. Ilmanvaihdon säätöön kenttälaitteilla voidaan vaikuttaa kosteus- tai kaasupitoisuusantureilla. Yleisin kaasupitoisuusmittaus tapahtuu hiilidioksidiantureilla. Rakennuksen lämmittämistä säädetään ulko- tai sisätilalämpötila-antureiden sekä lähettimien mittaustiedolla. Kenttätasoon kuuluu myös venttiilimootorit ja säätimet. Kenttälaitteet ovat yhteydessä automaatiotasoon kenttälaittekaapeloinnilla, mikä yhdistää kenttälaitteen alakeskuksen moduuliin. Kenttälaitetason tehtävänä on siirtää tieto automaatiotasolle.

2.4 Hajautetut järjestelmät

Hajautetut järjestelmät eroavat keksittyihin järjestelmiin niin, että kenttälaitteet toimivat kenttäväylän avulla itsenäisesti ilman keskusyksion erillistä ohjausta (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 17). Sääto- sekä ohjaustoiminnot on hajautettu eri laitteille. Hajautetussa järjestelmässä esimerkiksi huonekohtainen valaistus tai lämmitys voidaan toteuttaa kenttälaitetasolla suoraan (kuva 2). Hajautettua järjestelmää voidaan kuvata useana rinnakkain toimivana järjestelmänä, jossa jokainen osapuoli ymmärtää samaa kieltä. Toiminta edellyttää avoimuutta. Rakennusautomaation osalta avoimuudella tarkoitetaan, ettei mikään taho tai toimija omista tiettyä tekniikkaa. Protokollat ovat kaikkien käytettävissä ja laitteistot voidaan vapaasi valita markkinoilta eri laite- sekä järjestelmätoimittajien valikoimista.



Kuva 2. Keskitetyn ja hajautetun järjestelmän toiminnallisuuden eroavaisuudet (sovellettu Piikkilä & Sahlstén 2017, s. 12–13).

2.5 Rakennusautomaation ohjaustavat

Vuosisadan alkupuolella (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 28) virtausta, lämpötilaa ja painetta säädettiin kentällä manuaalisesti visuaalisen havainnon tai mittarin mukaan. 1960 tuli analogisignaalistandardi 4-20 mA, jota käytetään laajasti vielä teollisuuden parissa. Digitaalinen signaaliprosessorin tulo 1970-luvulla mahdollisti tietokoneiden käytön instrumenttijärjestelmien valvonnassa ja kontrolloinnissa keskeisillä paikoilla. 1970-luvulta lähtien on käytetty ohjelmoitavaa logiikkaa (PLC). 1980-luvulla älykkäät anturit kehittyivät niin, että anturit voitiin asentaa digitaalisiksi kontrollereiksi mikroprosessoriympäristöihin. Väylätekniikka yleistyi 1990-luvulla. Nykyisin langattomuus on yleistynyt myös rakennusautomaatiossa. Tilatietoja ja mittaustietoja voidaan jakaa langattomasti ja tehdä valaistushjauksia. Laitteet voivat kommunikoida keskenään muodostaen esimerkiksi ZigBee-, Bluetooth- tai Wlan-yhteyden avulla Mesh-verkon.

2.5.1 Signaalityypit

Standardi IEC60381-1 määrittelee analogiset virtasignaalit ja IEC-60381-2 määrittelee analogiset jännitesignaalit (Liedes ym., 2022, s. 28). Standardi IEC-60929 puolestaan määrittelee 1–10 V elektronisten liitäntälaitteiden ohjaukset ja standardi IEC 60946 määrittää jännitteeseen perustuvat binäärisignaalit. Analogia kanavassa voidaan käyttää jänniteviestiä väliltä 0–10 V Jänniteviestivaihtoehtoja on käytössä yleisesti 2...10 V, 0...5 V tai -

10...+10 V. Virtaviestinä käytetään 0–20 mA sekä 4–20 mA. Esimerkiksi 4–20 mA:n virtaviestin käytön etuna on, että sitä voidaan samalla käyttää kaapelivian havaitsemiseen sekä hoitaa lähettimen tehonsyöttö.

Digitaaliset viestit toimivat binäärilogiikalla (Liedes ym., 2022, s. 28). Kaikki laskutoimitukset suoritetaan 2-kantajärjestelmässä, jossa pienin yksikkö on bitti. Bitillä on kaksi mahdollista tilaa, 0 (epätosi) ja 1 (tosi). Viestien bitit esitetään tyypillisesti jännitetasoina ja jännitetasoja on 0...5 V, sarjamuotoisessa -12 V...+12 V tai -15 V...+15 V. Releistyksen yhteydessä käytetään jännitetasoja: 0 V / 12 V, 0 / 24, 0 / 48 V ja 0 / 110 V.

2.5.2 Kenttäväylä

Kenttäväylien standardisointi aloitettiin 1985 (Piikkilä & Sahlstén, 2017. s. 24). Tavoite oli saada aikaan eri laitevalmistajien yhteistoiminnallisuus. ISO on standardissaan (International Organization for Standardization (ISO), 1994, s. 28) on määritellyt OSI-mallin (Open Systems interconnection), joka kuvaa tiedonsiirtoprotokollien yhdistelmää seitsemässä kerroksessa (taulukko 1). Jokaisella kerroksella on erityiset toiminnot ja vastuut. Tämä malli on kehitetty tietoliikennejärjestelmien suunnitteluun. Mallia on käytetty kenttäväylän standardoiden määrittelyssä. Malli toimii periaatteella, jossa jokainen kerros tarjoaa palveluja ylemmän tason kerrokselle, ja näin data siirtyy kohti ylempää kerroksesta.

Taulukko 1. OSI-Mallin kerrokset ISO (IEC 7498-1).

7.	Application layer (Sovelluskerros)
6.	Presentation (Esitystapakerros)
5.	Session (Yhteyskerros)
4.	Transport (Kuljetuskerros)
3.	Network (Verkkokerros)
2.	Link (Siirtoyhteyskerros)
1.	Physical (Fyysinen kerros)

Ensimmäinen kerros, (1) fyysinen kerros, huolehtii fyysisellä tasolla tiedonsiirron muodostamisesta bittivirroista sähköiseksi signaaliksi ja moduloimalla ne medialle ja myös purkaen niitä takaisin bittivirroiksi (Liedes ym., 2022, s. 21–22). Siirtoyhteyskerroksen (2) tehtävänä on tiedonsiirto kahden suoraan yhdistetyn solmun väillä ja fyysisen tason virheentarkastukset. Verkkokerros (3) välittää ylempien kerroksien tietoliikennettäpaketteja laitteiden välillä.

Kuljetinkerros (4) varmistaa tiedonsiirron toteutumisen, huolehtii mm. loogisen osoitteen muuttamisesta. 5. kerros (yhteyskerros) muodostaa, ylläpitää ja purkaa yhteydet käyttäjän ja sovelluksen välillä. Tietojen esittäminen, tiedon pakkaaminen ja salaaminen tapahtuu esitystapakerroksessa (6) ja (7) sovelluskerros sisältää tietoliikennearkkitehtuurin käyttöpalvelut, kuten resurssien valvonta ja toisen viestintäosapuolen tunnistamisen.

Kenttäväylä on digitaalinen ja kaksisuuntainen väyläliityntäinen tietoliikennetarkaisu, joka yhdistää älykkäät mittaukset- ja ohjauslaitteet, muun automaation, näytöt sekä käyttöliittymät (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 28–30). Kenttäväylän periaatteena on, että käytetään yhtä väyläkaapelia ohjaukseen monilukuisen kaapeloinnin sijasta. Kenttäväylä kulkee laitteiden välillä. Kaapeli päätetään päätevastuksin. Kenttäväylä mahdollistaa kenttälaitteiden parametrisoinnin väylän kautta. Väyläohjaus perustuu tiedon välittämiseen tietyn protokollan mukaisesti.

Väylään kytketty laite lähettää digitaalisen sanomapaketin väylälle (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 13). Sanoma sisältää osoitteen mihin sen toiminta kohdistuu, toimintakäskyn ja tarkastussumman. Tarkastussumma on matemaattinen suure, jolla sanoman vastaanotto tarkistetaan. Mikäli käsky ja tarkastussumma ei täsmää tarkastuksessa, toimintaa ei suoriteta.

2.5.1 Sarjaliikennestandardi

RS-485 on standardi sarjaliikenneväylälle. Sen on laatinut EIA (Electronics Industries Association) (Härkönen, 2024, s. 129). Standardi tunnetaan myös nimellä TIA/EIA-485-A, ja on hyväksytty alun perin 1998. RS-485 on yleisesti käytetty automaatiojärjestelmissä ja myös rakennusautomaatiossa. Ominaista RS-485 sarjaliikenneväylässä on hyvä häiriönsieto sekä suuri tietoliikennenoisuus. RS-485:n data kulkee kahdella johtimella, joiden välinen polaarisuus ilmaisee signaalin. Kolmas johdin on referenssijännitteelle, joten väylällä ei sallita tehon syöttöä lainkaan. Väylän molemmissa päissä tulisi käyttää päätevastuksia ja vastuksen resistanssin on oltava sama kuin käytetyn kaapelin ominaisresistanssi. RS-485-standardi suosittelee väyläkaapeleita 120 Ω :n ominaisuusresistanssilla. Väylän jännitetaso on -7 V...+12 V.

RS-485 esiintyy kahtena versiona: Yksi kierretty johdinpari ja toinen: kaksi kierrettyä johdinparia (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 50). Sekundaarilaitteet lähettävät toista paria pitkin sanoman. Tämä menetelmä auttaa saavuttamaan useamman pisteen välisen viestinnän RS-485-väylää voidaan käyttää maksimissaan 32 laitteeseen. Kaapelin suurin sallittu pituus on 1200 metriä ja RS-485-standardin suurin sallittu tiedonsiirtonopeus on 10 Mbit/s. RS-485-standardin edeltävät versio on RS-422 ja sitä edelsi versio RS-232.

2.5.2 Langaton ohjaus

Langaton asennus sopii erityisesti saneerauskohteisiin, mutta sitä asennetaan myös uudiskohteisiin (Liedes ym., 2022, s. 94). Tiedonsiirto tapahtuu radiotaajuuden avulla. Laittevalmistajat käyttävät Mesh-verkkotopologiaa mikä mahdollistaa langattoman verkon paremman ja luotettavan kantavuuden. Mesh-verkossa laitteet ovat yhteydessä toisiinsa. Langattomassa valo-ohjauksessa valokatkaisin ei tarvitse kaapelointia, vaan kytkin toimii itsenäisellä virtalähteellä, tyypillisesti paristolla. Valasimen ja kytkimen kaapeloinnin pois jättäminen vähentää myös rakennuksen palokuormaa. Laittevalmistajat käyttävät langattomassa ohjauksessa useasti Bluetooth-, Wlan- tai Zigbee-tietoliikenneprotokolia käyttötarkpeiden mukaan.

2.6 Fyysiset ja langattomat tiedonsiirtomediat

Rakennusautomaation tiedonsiirtomediat perustuvat langallisiin tai langattomiin ratkaisuihin (Liedes ym., 2022, s. 44). Langalliset ovat kaapeloituja eli fyysisiä ratkaisuja ja langattomat ovat sähkömagneettisten aaltojen etenemistä vapaassa tilassa. Molemmat tavat sisältää useita toteutustapoja, ominaisuuksia ja käyttötapoja. Fyysiseen ryhmään kuuluvat erilaiset kierretyt parikaapelit, koaksiaalikaapelit ja optiset kuidut. Johtimen ominaisuudet ovat tärkeässä asemassa siirtoyhteyden laadun kanssa. Langattomiin ratkaisuihin kuuluvat sekä näköyhteydellä toimivat että satelliitteihin perustuvat mikroaaltolinkit ja suuntaamattomiin radioaaltoihin perustuva kommunikaatio. Langattomassa siirrossa lähetysantennin ominaisuudet ja radioteiden häiriöttömyys ratkaisevat.

2.6.1 Kierretty pari

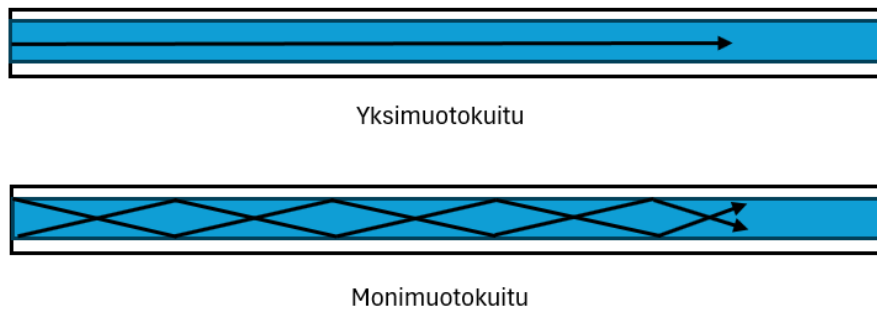
Kierretty pari (TP, Twisted Pair) muodostuu kahdesta eristetyistä johtimista, jotka on kierretty tosiinsa ympäri (Liedes ym., 2022, s. 44). Parikaapeli voi olla suojaamaton tai suojattu. Suojaamattomassa kaapelissa (U/UTP) suojaus perustuu parien symmetriaan. Häiriön sieto voidaan pitää määritetyissä rajoissa, kun kaapelin parikierto on riittävän tasainen sekä lyhytnousuinen. Metallisuojaalla varustettuja on parisuojattuja (U/FTP) ja vaippasuojattuja (F/UTP). Lisäksi on olemassa pari- ja vaippasuojattuja (F/FTP) versioita. Nykyään parikaapeleiden käyttökohde on yleiskaapelointi ja lähiverkot sekä muut kiinteistön sisäverkot. Parikaapelien kategoriat ovat: Cat5e, Cat6, Cat6a, Cat7, Cat7a ja Cat8. Liittiminä käytetään RJ11- ja RJ45-liitintä.

2.6.2 Koaksiaalikaapeli

Koaksiaalikaapeli muodostuu kolmesta pääosasta (Liedes ym., 2022, s. 45). Ulommainen osa on PVC-muovikuoren suojaama, palmikoimalla tehty metallijohdin. Ulommaisesta kerroksen sisällä on yleensä polyeteenistä tehty eristekerros ja sisimpänä kuparijohdin. Koaksiaalikaapeli tunnetaan paremmin television antennikaapelina. Koaksiaalikaapelin hyviä puolia on leveä siirtokaista ja erityisen hyvä häiriönsieto. Heikko puoli koaksiaalikaapelilla on kaapelin jäykkyys. Koaksiaalikaapelia käytetään mm. datasiirtosovelluksissa, yhteisan- tenni- ja kaapelitelevisioverkkojen kaapelina.

2.6.3 Optiset kuidut

Optinen kuitu on puhdasta kvartsilasia ja kuidun osat koostuvat kuori- ja ydinosasta (Liedes ym., 2022, s. 45). Näiden kerroksien välissä on taitekerroinero. Optisen kuidun ominaisuudet mahdollistavat signaalin siirtämisen kuituun ja signaalin etenemisen kuidussa mahdollisimman häviöttömästi. Optiset kuidut erotellaan kahteen pääluokkaan: monimuotokuituihin ja yksimuotokuituihin (kuva 3). Yksimuotokuidun ytimen halkaisija on 9 μm ja kuoren halkaisija 125 μm . Monimuotokuidun ytimen halkaisijat vaihtelevat eri luokkien mukaan, ytimen halkaisija välillä 50–62,5 μm ja kuoren halkaisija on sama kuin yksimuotokuidulla eli 125 μm .



Kuva 3. Yksimuotokuitu ja monimuotokuitu (sovellettu HTFUTURE, 2021)

Optiset monimuotokuidut on jaettu omiin alaluokkiinsa. Luokat ovat jaoteltu seuraavasti: OM1, OM2, OM3, OM4 ja OM5 (Liedes ym., 2022, s. 45). Kasvava numero tarkoittaa parempaa suorituskykyä. OM1- ja OM2-monimuotokuituja ei tulisi enää asentaa. Monimuotokuidut OM1 ja OM2 ovat tunnusväriltään oransseja, mutta OM1-kuituja löytyy myös harmaana. OM3 tunnistaa sinivihreästä väristä, OM4 on violetti ja OM5-luokan kuitu on väriltään vihreä.

Yksimuotokuidussa valosignaali etenee yhdessä muodossa (Liedes ym., 2022, s. 45–46). Tämä tapa mahdollistaa suuren, lähes rajattoman tiedonsiirron ja pitkät siirtoyhteydet. Yksimuotokuitu on tästä syystä laajasti käytössä niin asuinkiinteistöissä kuin mannertenvälisissä yhteyksissä. Yksimuotokuidun tunnusväri on keltainen, ja kuitu luokitellaan kahteen eri luokkaan: OS1 ja OS2. Optiset kuidut ovat immuuneja sähkömagneettisille häiriöille, joten kuidun käyttöä eivät häiriölliset ympäristöt haittaa. Optisilla kuiduilla ja verkoilla on keskeinen rooli nykyaikaisessa tiedonsiirrossa. Kaikki runkoyhteydet toteutetaan optisilla kuiduilla, mukaan lukien 4G- ja 5G-tukiasemien kaapeloinnit.

2.6.4 Datasähkö

Datasähkö tarkoittaa sähköverkon avulla tapahtuvaa tiedonsiirtoa (Liedes ym., 2022, s. 47). Datasähkön lyhenne on sama kuin ohjelmoitavalla logiikalla (PLC), mutta lyhenne tulee sanasta Power-line communication. Sähköverkon etu muihin siirtotekniikoihin on, että se tarjoaa helpon kytkemisen kodin laitteisiin ja koko rakennukseen lähiverkon ilman lisäkustannuksia. Datasähkö mahdollistaa käytännössä aina avoimena olevan, symmetrisen

kaksisuuntaisen yhteyden, johon voidaan liittyä jokaisesta pistorasiasta. Tieto kulkee sähköverkon kautta ja se muutetaan pieneksi sähköjännitteen vaihteluksi. Sähköverkkoja ei ole suojattu tämän taajuisilta häiriöiltä. Tiedonsiirtoa voidaan sähköverkossa tehostaa niin, että datasiignaalit lähetetään eri taajuuksilla ja useita kanavia pitkin. Datasähkön haasteena on sähköverkkojen kohina sekä mahdolliset signaalien heijastumiset.

2.6.5 Radioverkko

Toinen langattomien toteutuksien vaihtoehto on radioverkko (Liedes ym., 2022, s. 46–47). Radioverkko soveltuu niin uudisrakentamiseen kuin jälkiasennuksiin. Usein saneerausissa langaton verkko on ainoa kustannustehokas vaihtoehto. Kommunikointi ei vaadi fyysistä kaapelia antureiden ja toimilaitteiden välille, vaan liikenne hoidetaan radiotaajuuksilla. Radioaallot kulkevat langatonta siirtoteitä pitkin, niissä sähkömagneettisten aaltojen kulkua ei suunnata tiettyyn suuntaan antennien avulla, vaan säteilyn sallitaan edetä kaikkiin suuntiin (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 82). Tätä siirtoteitä kutsutaan radiotieksi. Radiotien etuna mutta myös haittana on sen leviäminen seinien läpi. Näköyhteyttä ei tarvita, mutta tietoturvallisuuden vuoksi tarvitaan liikenteen salausta.

Yleisin langattomien verkkojen (WLAN) tekniikka on Wi-Fi (Liedes ym., 2022, s. 46). Wi-Fi-versioita on julkaistu Wi-Fi 0–7, näistä ensimmäiset versiot on nimetty jälkeensä. Käytännössä suurempi numero tarkoittaa parempaa suorituskykyä ja kapasiteettia.

Mobiiliverkkoteknologiaa, (4G, 5G) hyödyntäviä privaattiverkkoja rakennetaan yritysten ja julkisen toimijoiden tarpeisiin (Liedes ym., 2022, s. 46). Etuna on hyvä tietoturva, laadukas tuki liikkuvalla päätelaitteella ja koordinoitua taajuuksia. Koordinoiminen varmistaa, että tietoliikenne on luotettavaa ja häiriötöntä.

WLAN- ja mobiiliteknologia tarjoaa suuren tiedonsiirtokapasiteetin, mutta useasti rakennusautomaatiosovellus ei vaadi sitä (Liedes ym., 2022, s. 46–47). Langattomat anturit tuottavat yleensä pientä määrää dataa ja sitä halutaan siirtää mahdollisimman pienellä teholla. Siirtoyhteys rajoittuu useasti yhden tai muutaman huoneen säteeseen. Tähän voidaan käyttää Bluetooth-tekniikkaa. Nykyisessä Bluetooth-versiossa on kaksi toimintavaihtoehtoa. Bluetooth Classic -versiota käytetään pääasiassa langattoman äänen suoratoistoon

(Bluetooth, 2025). Bluetooth Low Energy (LE) sopii tehonkulutukseltaan esimerkiksi rakennusautomaation anturikäyttöön. Bluetooth LE -radio lähettää dataa yli 40 kanavalla 2,4 GHz:n ISM-taajuuskaistalla ja tukee useita tietoliikennetopologioita kuten Point to point, broadcast ja mesh.

Lisäksi rakennuksen automaatiossa käytetään ZigBee-teknologiaa (Liedes ym., 2022, s. 47). Standardi (IEEE 802.15.4) määrittää alhaisen langattoman verkon toiminnan. Standardi julkaistiin 2003, ja se loi perustan ZigBee-teknologialle. Suosiota lisää myös ZigBee-teknologian alhaiset valmistus- ja käyttökustannukset sekä järjestelmän vähäinen tehon tarve. Zigbeeen käytöllä saavutetaan hieman Bluetoothia parempi verkon kattavuus. Bluetoothin kantavuuden ilmoitetaan olevan 10 m ja Zigbeeen kantama 10–20 m vaikkakin teknisten määritelmien mukaan kantama näköyhteydellä on 10–100 m. Zigbee-verkko toimii samalla 2,4 GHz:n taajuuskaistalla, mitä käyttää myös Wi-Fi ja Bluetooth.

LoRaWAN on spesifinen langaton tiedonsiirtoverkko, joka on tarkoitettu nopeaan mutta vähäiseen tiedonsiirtoon (Digita, 2025). Suomessa Digita kehittää LoRaWAN-verkkoa. LoRaWAN-ratkaisut sopivat erityisesti pienten datamäärien lähettämiseen ja vastaanottamiseen, näissä lähetysetaisyydet voivat olla kymmeniä kilometrejä. Tiedonsiirtonopeus on 0,3–50Kb/s ja tyypilliset datamäärät ovat muutamia kymmeniä tavuja. LoRaWAN-tiedonsiirtoverkkoa voidaan hyödyntää rakennuksissa olevien anturien tuottaman datan lähettämiseen ulkopuolisille keskusverkkopalveleille, esimerkiksi energiakulutustietojen lähettämiseen. LoRaWAN-päätelaitteet ovat täysin irrallaan internetistä erotetussa verkossa ja päätelaitteet eivät käytä IP-protokollaa.

2.6.6 Infrapuna

Infrapuna vaatii toimiakseen näköyhteyden laitteiden välillä (Liedes ym., 2022, s. 47). Lähetytapa voi olla suunnattu tai hajautettu koko huonetilaan. Infrapunatekniikalla tiedonsiirto toimii samassa huonetilassa noin 30 metrin matkalla. Infrapuna voidaan suunnata kahden pisteen väliseen tiedonsiirtoon suuremmalla nopeudella sekä vähemmällä häiriöllä. Infrapunatekniikan käytön etu on, ettei se leviä seinien läpi. Tekniikka on yksinkertaista ja kustannustehokasta. Haittapuolena on vaadittu näköyhteys tai voimakkaampi tehon käyttö. Ulkoisen valon lähde häiritsee infrapunayhteyttä.

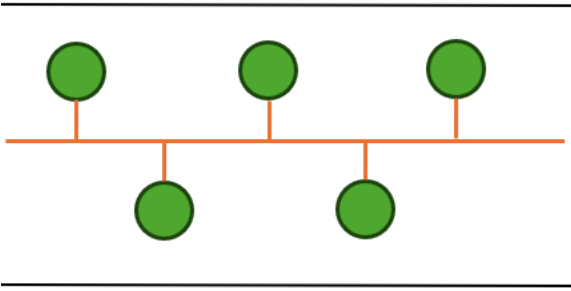
2.7 Verkkotopologiat

Tietoverkon perusrakennetta kutsutaan verkkotopologiaksi (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 55). Verkkotopologia kuvaa tapaa miten laitteet on liitetty toisiinsa. Topologia ei ota kantaa siihen, millä laitteet ovat kytkettynä toisiinsa. Verkon topologia erotellaan fyysiseen topologiaan ja loogiseen topologiaan. Fyysinen topologia tarkoittaa rakennetta, miten laitteet on liitetty toisiinsa. Fyysinen topologia ei ota kantaa siihen, kuinka laitteet viestivät keskenään. Fyysisen topologian avulla ei voi päätellä verkon toimintaperiaatetta.

Looginen topologia tarkoittaa sitä, miten sanoma liikkuu verkossa (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 55). Looginen topologia tarkoittaa toimintomallia, mitä verkko käyttää toimintaperiaatteena. Mahdollista on, että lähiverkko näyttää ulkoisesti täysin erilaiselta kuin sen toimintaperiaate antaa ymmärtää. Verkon perustopologiat ovat väylä-, rengas- ja tähtitopologia. Langattomien yhteyksien yleistyttyä puhutaan myös mesh-topologiasta. Muita verkon topologioita ovat puu-, vapaa-, sekä yhdistelmätopologia. Kaikissa verkkotopologioissa mikä tahansa laite voi lähettää toiselle laitteelle tietoa. Tämä on mahdollista väylällä vain yksi laite kerrallaan. Jokaisella laitteella on oma yksilöllinen osoitteensa minkä perusteella se erotellaan toisista verkon laitteista. Laitteet voivat kuunnella väylällä kulkevaa tietoa, mutta vain laite jolle sanoma on osoitettu, voi tiedon lukea.

2.7.1 Väylätopologia

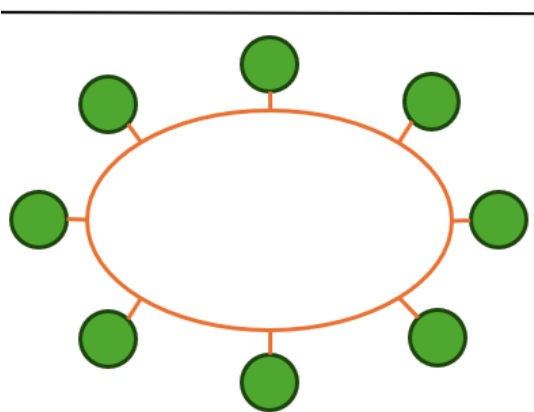
Väylätopologia (kuva 4) tarkoittaa, että kaikki laitteet ovat kiinnitetty samaan kaapeliin (Liedes ym., 2022, s. 17). Kaapelin päitä ei ole liitetty toisiinsa. Verkon kaikkien laitteiden käytössä on vain yksi kaapeli, joten tieto voi siirtyä kahden laitteen välillä yksi sanoma kerrallaan (kuva 3). Väylälle lähetty sanoma on luettavissa jokaisella väylän laitteilla samaan aikaan. Väylätopologian etuja on sen yksinkertainen luotettava malli sekä uusien laitteiden lisäämisen helppous ja laaja käytettävyys.



Kuva 4. Väylätopologia (sovellettu Liedes ym., 2022, s. 17).

2.7.2 Rengastopologia

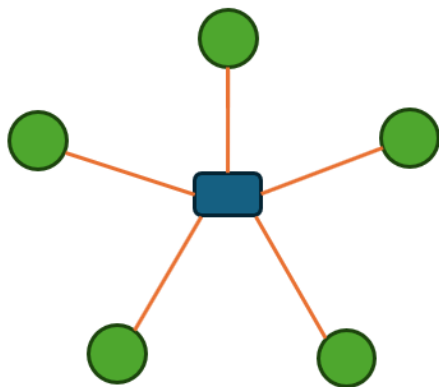
Rengastopologiassa verkko muodostaa renkaan (Piikkilä & Sahlstén, 2017. s. 57). Ensimmäisen laitteen lähettävä tieto saapuu tietyn ajan päästä lähettäjälle itselleen. Väylätopologiassa jokainen laite kuulee sanoman lähes yhtä aikaa, mutta rengastopologiassa sanoman kuulee jokainen laite kerrallaan. Näin renkaan jokaisen laitteen liitin toimii myös signaalintoistimena, eli välittää sanoman eteenpäin. Rengastopologian heikko puoli on laiterikko. Mikäli renkaan yksi laitteista rikkoontuu, se voi halvaannuttaa koko verkon toiminnan. On myös vaarana, että sanoma voi jäädä kiertämään verkkoon eikä seuraavalle sanomalle vapaudu kaistaa. Rengastopologian käyttö kuitenkin mahdollistaa laajemman käyttöalueen. Rengas on suosittu automaatiojärjestelmissä käytettynä siirto- sekä toimistoverkkona (kuva 5).



Kuva 5. Rengastopologia (sovellettu Liedes ym., 2022, s. 18).

2.7.3 Tähtitopologia

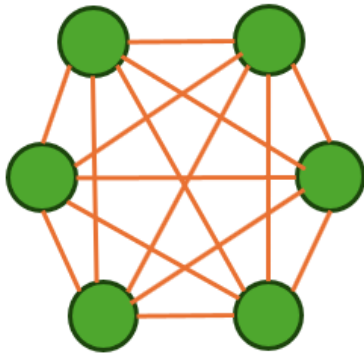
Tähtitopologiassa kaikki laitteet on kytketty samaan pisteeseen (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 58). Tähtitopologiassa yhteydet kulkevat keskusosan kautta kytkentäkeskukseen. Kytkentäkeskus muodostaa yhteyden laitteiden välille. Optisiin verkkoihin tähtitopologia on todettu parhaaksi vaihtoehdoksi. Laitteiden lisääminen ja poistaminen on helppoa. Sen heikkoutena on kytkentäkeskuksen vikaantuminen. Tämä tekee verkon täysin toimintakyvyttömäksi (kuva 6).



Kuva 6. Tähtitopologia (sovellettu Liedes ym., 2022, s. 17).

2.7.4 Mesh-topologia

Mesh-topologiassa (kuva 7) kaikki laitteet ovat yhteydessä toisiinsa (Liedes ym., 2022, s. 17). Mesh-topologiaa kutsutaan myös mesh-verkoksi. Tätä käytetään usein langattomissa verkoissa, joissa kaikki laitteet voivat lähettää viestiä toisilleen ilman kaapeloinnin tuomia rajoituksia. Mesh-topologiaa voidaan käyttää myös langallisessa verkossa, mutta kaapelointi muodostasi kohtuuttomat kustannukset. Mesh-verkko voi olla myös osittain yhdistetty, silloin vain osa laitteista viestii keskenään.



Kuva 7. Mesh-topologia (sovellettu Liedes ym., 2022, s. 19).

2.7.5 Muut topologiat

Yleisempien väylä-, tähti- ja rengastopologioiden lisäksi käytössä on muitakin topologioita (Liedes ym., 2022, s. 19). Puu-, vapaa ja yhdistelmätopologiat ovat yleisempien topologioiden sekoituksia. Nämä topologiat ovat joustavia ja mahdollistavat tiedonsiirron toteutuksen kohteen kannalta parhaimmaksi. Joustava toteutustapa säästää työssä ja kaapelikustannuksissa. Haittapuolena, esimerkiksi saneerauskohteessa on, että liiallinen joustavuus saattaa aiheuttaa monimutkaisuutta ja järjestelmän hallinta voi muuttua lisäyksien jälkeen haastavaksi.

2.8 Tiedonsiirtoprotokollat

Protokolla tarkoittaa yhteiskäytäntöä, joka voi olla tietty käytäntö tai standardi (Liedes ym., 2022, s. 71). Yhteiskäytäntö määrittelee laitteiden tai ohjelmien väliset yhteydet. Laitteiden viestiminen mahdollistuu annetun protokollan mukaisesti. Protokolla on näin keskustelusäännöstö, johon liittyy keskustelukieli tai toimintalogiikka. Keskustelu tapahtuu sanomien välityksellä, ja sanomien tarkkaan määritelty syntaksi kertoo miten sanomat rakentuvat. Rakennuksen sisäistä tiedonsiirtoa voidaan toteuttaa useilla eri tavoilla. Järjestelmiä markkinoilla on tarjolla useita, ja niitä syntyy ja poistuu jatkuvasti. Jokaisella tekniikalla on hyvät ja huonot puolensa. Toteutustapa valitaan kohteen käytön ja tarpeen mukaan. Seuraavaksi kerrotaan muutamista yleisesti käytössä olevista protokollista.

2.8.1 BACnet

BACnet tulee sanoista ”Building Automation and Control Networks” ja BACnet on standardoitu, yksi yleisemmin rakennusautomaatiossa käytetyimmistä avoimesta tiedonsiirtoprotokollasta (BACnet, 2025). BACnet on kehitetty erityisesti LVI-tekniikan ohjaukseen ja se on kehitetty Yhdysvalloissa 1980-luvun loppupuolella. BACnetillä voidaan ohjata muitakin rakennuksen järjestelmiä. BACnet ei ole riippuvainen mistään määrätystä laite- tai ohjelmointialustasta, vaan se toimii kaikkien BACnetiä tukevien laitteiden tai järjestelmien sekä myös valvomoiden välillä.

BACnet Testing Laboratories (BLT)-sertifiointi varmistaa laitteiden välisen yhteensopivuuden ja sertifioidut tuotteet voidaan tunnistaa BLT-merkistä tai vaihtoehtoisesti etsiä laite BLT-tietokannoista (Härkönen, 2024, s. 129). Primäärilaitteiden (entinen master) tulee olla taaksepäin yhteensopivia. Tämä mahdollistaa vanhojen laitteiden pitkän elinkaaren. Suosituimmat tiedonsiirtomediat ovat Ethernet-kaapelointi (BACnet/IP) tai RS-485-väylä (BACnet/MSTP) BACnet ympäristössä. Langattomissa ympäristöissä tiedonsiirtomediana on ZigBee.

BACnet toiminta perustuu OSI-mallin, fyysinen kerros, siirtokerros, verkkokerros ja sovel-luskerros (Liedes ym., 2022, s. 72). BACnet-verkossa laitteet mallinnetaan objekteina, joilla on eri ominaisuuksia. Objekteja ovat esimerkiksi asetusarvot tai aikaohjelmat. BAC-net määrittelee 8 eri laiteprofiilia (kuva 8). Tämä määritelmän ajatuksena on, ettei jokaisen laitteen tarvitse ymmärtää kaikkea protokollan mukaista tietoa, vaan ainoastaan laitteelle määritetyn tason tarpeellista dataa.

Valvomotaso

BACnet Operator Workstation (B-OWS)
tai
BACnet Advanced Operator Workstation (B-AWS)



BACnet TCP/IP

Automaatiotaso

BACnet Building Controller (B-BC)
&
BACnet Advanced Application Controller
(B-AAC)

VAK



VAK



BACnet TCP/IP

Kenttätaso

BACnet Application Specific Controller (B-ASC)
BACnet Smart Actuator (B-SA)
BACnet Smart Sencor (B-SS)
BACnet Gateway (B-GW)



Kuva 8. BACnet-laiteprofiilit (sovellettu Liedes ym., 2022, s. 73).

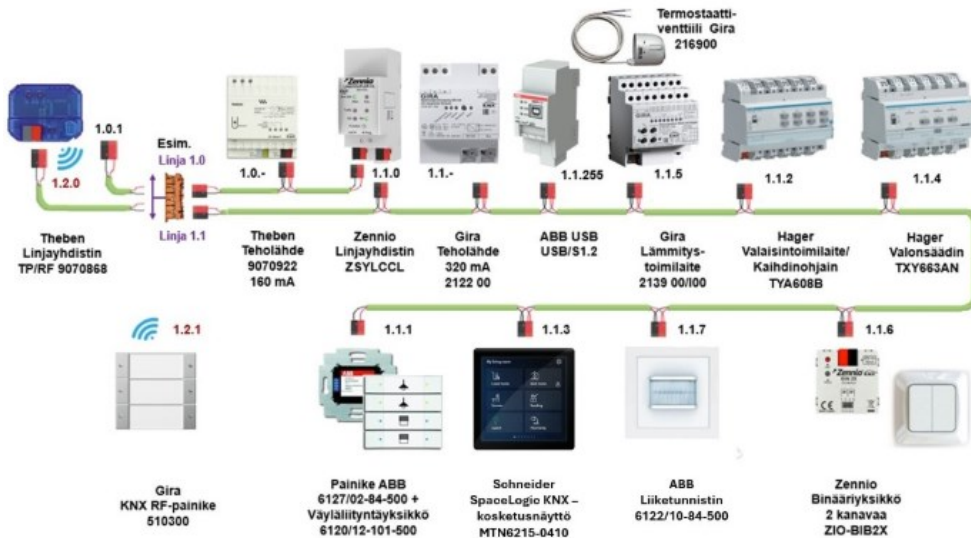
2.8.2 KNX

KNX on rakennusten automaatiassa globaalisti käytössä oleva protokolla, joka on määritelty kansainvälisessä standardissa ISO/IEC 14543 (Liedes ym., 2022, s. 74). KNX-tekniikka periytyy EIB (European Installation Bus) -järjestelmästä, joka kehitettiin 1980-luvun lopulla Saksassa keskeisten sähkölaitevalmistajien toimisesta (Härkönen, 2024, s. 9–12). Avoin standardi auttaa laitevalmistajia, urakoitsijoita, suunnittelijoita sekä myös käyttäjiä, varsinkin kun rakennettu järjestelmä ei ole mistään tietystä laitevalmistajasta riippuvainen. Avointa KNX-standardia ylläpitää KNX Association -organisaatio, jonka jäsenet muodostuvat KNX- laitevalmistajista. Organisaation tehtävänä on mm. koordinoida KNX-laitteiden sertifiointia, mikä mahdollistaa kaikkien eri valmistajien KNX-tuotteiden liittämisen yhteen. KNX-ohjelmointi tehdään maksullisen PC-ohjelman ETS (Engineering Tool Software) avulla, ja vuonna 2025 on ohjelmasta käytössä versio ETS6. KNX-järjestelmä voidaan yhdistää myös muihin protokollisiin erilaisilla rajapinnoilla esimerkiksi BACnet tai DALI.

Väyläpohjaisessa KNX-järjestelmässä laitteet viestivät itsenäisesti (Liedes ym., 2022, s. 74–75). Järjestelmä muodostuu linjoista ja nämä muodostavat alueita. Linjaan voidaan liittää 256 laitetta, linjoja voi olla alueessa 15 ja alueita enimmillään 15. Ennen vuotta 2019 käyttöön otetuissa järjestelmissä noudatetaan enintään 64 laitteen määrää linjassa. Järjestelmän laitemäärä voi olla näin runkolinjan kanssa 15 x 15 x 256 kpl. Tiedonsiirtomediana käytetään kierrettyä parikaapelia, valokuitua, langatonta verkko tai normaalia sähköverkkoa. Topologiana sallitaan väylä-, tähti- tai puutopologiaa, mutta ei rengastopologiaa. KNX-järjestelmän sovellus toimii OSI-mallin kaikilla seitsemällä kerroksella.

Järjestelmän standardoidut kaapelityypit ovat YCYM2x2x0,8 sekä J-Y(St)Y2x2x0,8, joiden tunnusväri on vihreä, mutta yleisesti on myös käytetty väyläkaapelia KLM 4x0,8 (Liedes ym., 2022, s. 75–77). KNX-parikaapelilaitteet käyttävät 30 VDC:n (SELV) pienoisjännitettä. Samaa kaapelia käytetään viestimiseen sekä laitteiden käyttöjännitteelle. Linjan kokonaispituus saa olla sanomasignaalin heikkenemisen vuoksi enintään 1000 metriä. Teholähteen ja väylälaitteen maksimietäisyys 350 metriä. Suurin sallittu etäisyys kahden väylälaitteen välillä 700 metriä.

Pienimmillään KNX-järjestelmän (kuva 9) asennus on yksi tehonlähde, yksi toimilaite sekä yksi anturi ja nämä on yhdistetty väyläkaapelilla toisiinsa (Härkönen, 2024, s. 25–26). Anturi lähettää sanoman toimilaitteelle mittaus- tai tilanneilmaisutietona. Toimilaite vastaanottaa sanoman ja muuttaa sen toiminnaksi. Tehonlähde tuottaa väylään kytkettyjen laitteiden tehosyötön 30 VDC:n jännitteellä. Tehonlähde ei lähetä eikä vastaanota sanomia. Järjestelmä käyttää kahdenlaisia osoitteita: yksilöllinen osoite sekä ryhmäosoite. Yksilöllinen osoite osoittaa laitteen sijainnin järjestelmässä, ja ryhmäosoitteita väylälaitteet käyttävät keskinäiseen viestintään. Rakennettavassa järjestelmässä ensimmäinen väylälaitte saa yksilöllisen osoitteen 1.1.1 ja seuraava laite 1.1.2 jne. Ohjelmoimattoman väylälaitteen yksilöllinen osoite on 15.15.255. Yksilöllisiä osoitteita käytetään ainoastaan ohjelmointivaiheessa.



Kuva 9. KNX-järjestelmä (KNX Finland, 2025).

2.8.3 Modbus

Modbus on avoin tiedonsiirtoprotokolla, joka otettiin käyttöön vuonna 1979 (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 140). Modbus-protokolla kehitettiin alun perin ohjelmoitavien logiikoiden yhdistämiseen avoimessa tiedonsiirtoväylässä. Nykyään Modbus-protokolla on myös käytössä laajasti rakennusautomaatiossa. Modbus-protokollaa käyttäviä laitteita voi valmistaa kuka tahansa ilman erillistä korvausta protokollan kehittäjille. Protokollan virallinen sivusto löytyy internetistä osoitteesta modbus.org. Sivustoa ylläpitää voittoa tavoittelematon järjestö, joka koostuu Modbus-käyttäjistä ja -laitteiden valmistajista.

Modbus-organisaation (Modbus, 2020) tiedotteen mukaan Modbus-protokollan toiminta on toteutettu asiakas-palvelin arkkitehtuurilla (client-server). Modbus kattaa ISO-mallin kerrokset 1 (fyysinen), 2 (siirtoyhteys) ja 7 (sovellus). Modbus TCP -protokolla toimii edellä mainittujen kerroksien lisäksi OSI-mallin kerroksissa 5–6 (yhteys- ja esitystapakerros). Modbus-kehyskiä on olemassa kolme: Modbus RTU, Modbus ASCII ja Modbus TCP/IP (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 140). Modbus RTU ja ASCII on tyypillisesti toteutettu sarjaväylän, esimerkiksi RS-485 avulla ja TCP/IP käyttää Ethernet-liitäntää. Modbus RTU on kompakti binaarinen datanesitysmuoto ja ASCII on taas tekstipohjainen esitysmuoto. Ethernet-liitäntää suositetaan, koska se mahdollistaa nopean ja joustavan tiedonsiirtoyhteyden.

Modbus-väylään liitettävälle laitteelle tulee yksilöllinen osoite (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 140–141). Protokollan perusversiossa on yksi primäärilaitte (entinen master), ja tiedonsiirrossa primäärilaitte lähettää sekundaarilaitteelle käskyn vaihtaa jotakin rekisteriarvoa tai komentaa lähettämään takaisin arvoja laitteen rekisteristä. Modbus RTU -viestin merkkikehys (taulukko 2) alkaa vähintään 3,5 tavun aloitustauolla. Seuraavaksi tulee yhden tavun osoite, yksi tavu (8 bittiä). Kolmantena on toiminto, 1 tavu. Neljäs kohta on datan osuus 0–252 tavua ja tätä seuraa tarkastussumma 2 tavua. Viestikehys päättyy vähintään 3,5 tavun lopetukseen.

Taulukko 2. Modbus RTU -viestin rakenne (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 140).

Aloitus	Osoite	Toiminto	Data	Tarkistus	Lopetus
vähintään 3,5 tavun tauko	1 tavu	1 Tavu	0–252 tavua	2 tavua	vähintään 3,5 tavun tauko

Modbus-laitteilla tiedonsiirtonopeudet ovat 9,6 kbit/s ja oletuksena on 19,2 kbit/s. (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 142–143). RS-232-järjestelmässä voidaan käyttää yhtä primäärilaitetta ja yhtä sekundaarilaitetta ja kaapelin maksimipituus on 15 metriä. RS-485-järjestelmässä voi olla yhtä isäntälaitetta kohden, 31 kenttälaitetta ja kaapelin suurin sallittu pituus on 1,2 km. Yhteen primäärilaitteeseen voidaan kytkeä 247 sekundaarilaitetta.

2.8.4 M-Bus

M-Bus (Meter-Bus) -protokolla on suunniteltu mittatietojen siirtämiseen, väylä ei sovellu hälytyksien ilmaisemiseen (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 146–147). M-Bus-protokolla perustuu EN 1437-3 eurooppalaiseen standardiin, missä määritellään yleiset vaatimukset lämpöenergiamittaustietojen tiedonsiirtoon. M-Bus on toteutettu OSI-mallin 1 (fyysinen kerros), 2 (siirtoyhteyshierros) ja 7 (sovelluskerros) mukaan. Mittaustietojen lukemiseksi päätelaitteilta M-Bus toimii kahdella johtimella, johtimissa kulkee myös päätelaitteen käyttöjännite. Tiedonsiirron takaamiseksi väyläjännite ei saa alittaa 24 voltia missään järjestelmän päätelaitteella.

Päätelaitteita ovat esimerkiksi energiamittarit sähkö-, vesi- tai kaasumittarit (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 146–147). M-Bus-protokolla voidaan toteuttaa väylä-, tähti- tai yhdistelmätopologialla, mutta rengastopologia on kielletty. Kaapelointi voidaan toteuttaa normaali signaalikaapelia käyttäen (KLMA) tai vastaavia signaalikaapeleita. Ulkotiloissa ja maakaapeloinneissa on käytettävä asennukseen soveltuvia VOMHBU tai JAMAK ARM kaapeleita. Kaapelointi voidaan toteuttaa jopa useamman kilometrin matkalle, riippuen halutusta suorituskyvystä. Matkaa voidaan pidentää myös käyttämällä toistimia. Päätelaitteet toimivat primääri-sekundaarilaite-menetelmällä. Tiedonsiirto voi tapahtua kerrallaan vain yhteen suuntaan, joten kerralla voi viestiä vain yksi laite keskuksen välillä. Siirtonopeus on välillä 300 bit/s – 38,4 kbit/s. Tasomuuntimet voivat muuttaa M-Bus protokollan erilaisiksi liittynöiksi, kuten RS-232, RS-485, Ethernet tms. M-Bus-protokollaa voidaan myös käyttää langattomasti (wM-Bus, wireless M-Bus). Langattomassa järjestelmässä on tärkeää, että laite pysyy toimimaan pitkiä aikoja paristovirtalähteen voimalla.

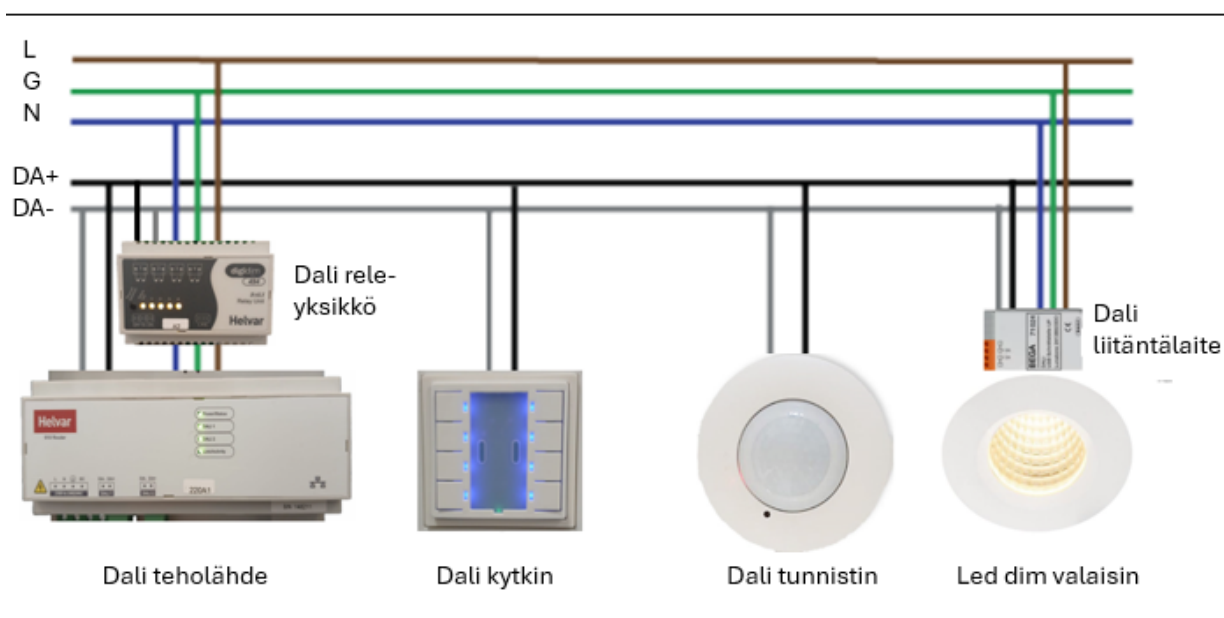
2.8.5 DALI

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) on digitaalinen osoitteellinen ohjausväylä, joka on tarkoitettu pelkästään valaistuksen ohjaukseen (Härkönen, 2024, s. 131). DALI on standardoitu maailmanlaajuisesti standardissa IEC 62386, jossa määritellään väylään liitettävien laitteiden ominaisuudet ja induktiivisten kuorimien yhteensopivuudet. DALI:n kehitys alkoi eri laitevalmistajien toimesta 1990-luvun puolivälin jälkeen korvaamaan analogisen 1–10 V:n valaistuksen säätötapaa.

Ensimmäinen kehitysversio Dalista ei edellyttänyt sertifiointia laitevalmistajilta, joten toiminnallisuutta eri valmistajien välillä ei oltu varmistettu (DALI Alliance, 2025). Vuonna 2014 IEC 62386 -standardilaajennuksen myötä alkoi kehitys DALI 2 -sertifiointiohjelma, joka varmistaa DALI-laitteiden yhteensopivuuden. DALI Alliance myöntämän DALI-2 tuotesertifiointiprosessin läpäisseet tuotteet ovat oikeutettuja käyttämään DALI-2-logon tavaramerkkejä.

DALI-väylässä on kaksi signaalijohdinta, minkä avulla digitaalinen signaali siirretään kaikkien järjestelmässä olevien laitteiden välillä (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 148–149). DALI-järjestelmän liitälaitteisiin liitetään yleensä vaihe, nolla ja suojamaajohto (kuva 10).

DALI-kaapelointi ei vaadi kierrettyä paria tai eristettyä parikaapelia eikä järjestelmässä vaadita päätevastuksien käyttöä. Johtimien sekä ohjainten tulee olla kuitenkin verkkojännitteen kestäviä.



Kuva 10. DALI-järjestelmä ja kaapelointi MMJ 5x1,5S (sovellettu Liedes ym., 2022, s. 80).

Ohjauspiiri on galvaanisesti erotettu päävirtapiiristä ja sen nimellisjännite on 16 V (Liedes ym., 2022, s. 80). Järjestelmää ei kuitenkaan lueta pienjännitejärjestelmäksi (SELV), vaan järjestelmän on täytettävä verkkojännitteen vaatimukset kaksoiseristyksen suhteen. DALI-kaapeloinnissa voidaan käyttää monijohtokaapelia MMJ 5x1,5 S, siinä musta ja harmaa johdin toimii DALI-väylän ohjauksessa. DALI-tiedonsiirtonopeus on 1200 bit/s ja väylän datansiirtoon käytetään Manchester-koodausta. Manchester-koodauksessa muutos signaalissa tapahtuu jokaisen bitin keskellä. Kaapeloinnin maksimipituus 1,5 mm²:n signaalijohtimilla on 300 metriä. DALI-väylän jännitealenema saa olla enintään 2 V ja virtalähteen sallittu maksimivirta on 250 mA. Kaapeloinnin pituus l voidaan laskea kaavasta (1) (TRIDONIC, 2020):

$$l = \frac{\gamma * S * U_v}{2 * I} \quad (1)$$

Missä

- γ on sähkönjohtavuus $m / (\Omega \cdot mm^2)$
- S on kaapelin poikkipinta-ala
- Uv on jännitealenema
- I on virta

DALI-väylän topologia voi olla väylä, tähti tai näiden yhdistelmä, mutta rengastopologiaa ei voida käyttää (Liedes ym., 2022, s. 81). DALI-linjassa on teholähde, johon voidaan saada enintään 64 yksilöllistä osoitetta valaisimien liitäntälaitteille. Normaalisti yksi valaisin tarvitsee yhden osoitteen, mutta poikkeuksia ovat turvavalot ja suurikokoiset led-valaisimet. Turvavalot yleensä käyttävät kahta osoitetta ja isokokoiset erikoisvalaisimet jopa neljää osoitetta. DALI-järjestelmää voidaan käyttää omana erillisenä järjestelmänä, eikä sitä ole pakko liittää rakennuksen automaatiojärjestelmään. DALI on kuitenkin mahdollista yhdistää eri valmistajien rajapintojen väylämuuntimien avulla, esimerkiksi Modbus-, LON- tai KNX-väylään. Liittämisen jälkeen rakennuksen valaistus on myös riippuvainen kiinteistön automaation toiminnallisuudesta.

DALI-järjestelmän ohjelmointi tehdään yleensä tietokoneohjelmalla, mutta myös LCD- kosketusnäyttö ja rajoitetusti kauko-ohjainohjelmointi on mahdollista (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 150). Ohjelmointipisteet voivat olla USB-liitännäisiä tai sarjaporttiliitännäisiä. Tietokoneelta data siirretään DALI-ohjelman avulla järjestelmään, esimerkiksi Helvar Toolbox -ohjelmaa käyttäen. Järjestelmässä ei ole keskusyksikköä, vaan ohjelmoitavat tiedot tallentuvat itse väylälaitteisiin. Jokaisessa DALI-laitteessa on muisti, joten sähkökatko ei poista ohjelmoituja tietoja. Liitäntälaitteita voidaan ohjata yksittäin tai ryhmissä. Kaikkia liitäntälaitteita voidaan ohjata ns. broadcast-komennolla.

Järjestelmässä voidaan lähettää erilaisia sanomia, kuten statusviestit tai vian tunnistusviestit (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 151). Ohjelmointia voidaan muokata jälkeenpäin, ja järjestelmää on helppo laajentaa, teholähteen kapasiteetin huomioon ottaen. DALI-viesti on 8 bittinen numerosarja, jossa nolla (0) on poissa päältä -tilanne. DALI-standardi määrittelee valotason logaritmisella säätökäyrällä, jota kaikkien DALI-laitteiden ja ohjaimien on noudatettava. Säätökäyrällä 0,1–100 %, 0,1 %:n arvo vastaa tasoa yksi. Lähettimen 0-bittiä vastaa 0 V ja 1-bittiä vastaa 16 V ($\pm 4,5V$). Vastaanottimen 0–1 bitin jännitearvot ovat

samat sillä erotuksella, että toleranssi on $\pm 6,5$ V. Määrittelemättömällä alueella bittiä ei luokitella nolaksi tai ykköseksi. Alemman ja ylemmän jännitetaso riittävä ero tekee DALI-väylän lähes immuuniksi sähköiselle kohinalle.

2.8.6 EnOcean

EnOcean on paristoton ja langaton tiedonsiirtojärjestelmä, joka kehitettiin 2000-luvun alkupuolella (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 145). Alun perin suljettu järjestelmä muutettiin avoimeksi, ja EnOcean-radiostandardi on kansainvälisesti standardissa ISO/IEC 14543-3-10. Järjestelmän lähetystaajuus Euroopassa on 868 MHz, ja kantama on enintään 300 metriä vapaassa tilassa ja 30 metriä rakennuksen sisällä. Kantamaa voidaan lisätä toistimilla. Tiedonsiirtonopeus on 125 kbit/s. Sanomat ovat lyhyet (noin 1ms) ja vähän energiaa kuluttavia. Viestintä perustuu Point-To-Point-yhteyteen. Energian kytkin- ja anturilaitteet saavat liikkeestä, valosta ja lämpötilaeroista.

2.8.7 FREEatHOME, LonWorks, X10

Free@home on ABB:n kehittämä järjestelmän kotiautomaatioon (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 138). Järjestelmällä voidaan ohjata rakennuksen valaistusta, lämmitystä, jäähdytystä, ilmanvaihtoa, kaihdinohjauksia sekä ovipuhelinjärjestelmää. Väyläpohjainen free@home on ominaisuuksiltaan KNX-järjestelmän tyylinen ja suunniteltu lähinnä pienkohteisiin, kuten omistusasuntoihin. Toteutustapoja on kaksi, keskitetty tai hajautettu ohjaus. Keskitetyssä väylä viedään ainoastaan anturille ja hajautetussa anturi ja toimilaite on samassa laitteessa. Järjestelmään voidaan liittää 64 väylälaitetta. Topologioista voidaan valita tähti, puu tai väylä, mutta ei rengastopologiaa. Käyttöönottoon tarvitaan tietokone, tabletti tai älypuhelin ja järjestelmä voidaan liittää kodin verkkoon.

LonWorks-tekniikka kehitettiin 1990-luvulla Amerikassa, ja se oli silloin edelläkävijä avoimen ja hajautetun järjestelmien kehityksessä (Liedes ym., 2022, s. 82–83). LonWorks-tekniikalla on mahdollista kattaa rakennuksen automaation perustoiminnot ja Lon-verkolla voidaan ohjata monia rakennuksen eri järjestelmiä. Tiedonsiirtomediaan on kierretty pari, sähköverkko, infrapuna, radioverkko tai kuitukaapeli ja topologiana voidaan käyttää väylää, tähtiä tai puuta. Muiden järjestelmien tapaan rengastopologiaa ei suositella.

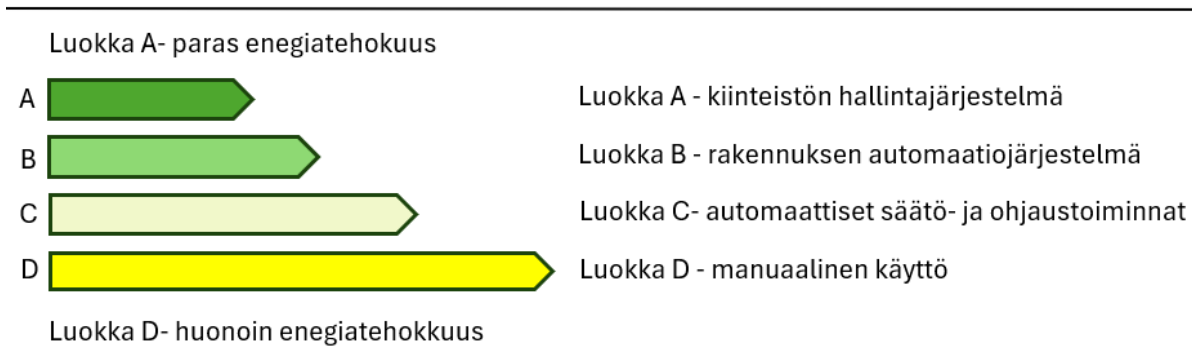
X-10-protokolla toimii vaihtosähköverkon kautta, lähetin ja vastaanotin -menetelmällä (Liedes ym., 2022, s. 81). Tiedonsiirtoon on määritelty myös infrapuna sekä radiotie. X-10 mahdollistaa 256 eri osoitetta, joten se soveltuu lähinnä pieniin automaatioprojekteihin. X-10-signaali lähetään sähköverkossa, sillä hetkellä, kun vaihtosähköverkon jännite on nolla eli 50 kertaa sekunnissa. X-10 on käytössä pääosin USA:ssa, jossa sähköjärjestelmä on eri kuin Euroopassa. Komponentit eivät sovi sellaisenaan eurooppalaiseen sähköjärjestelmään.

3 Rakennuksen energianhallinta

Vuorisen (Alanne ym., 2024, s. 26–27) mukaan rakennuksilla on merkittävä vaikutus energian käytössä. Suomessa rakennusten energiankäyttö on noin 40 % energian loppukäytöstä ja tuottaa 30 % edestä kasvihuonekaasuja. Rakennusten energiankulutus muodostuu lämmityksestä, ilmanvaihdosta, jäähdytyksestä sekä valaistuksesta ja sähkölaitteiden käytöstä. Lämmitykseen kuluu Suomessa kaikesta käytetystä energiasta noin neljäsosa ja asuinrakennuksien osuus loppukulutuksesta on noin 20 %. Asuinrakennuksissa suurin osa energiasta, noin kaksi kolmasosaa kuluu tilojen lämmitykseen, noin 17 % käyttöveden lämmitykseen, sähkölaitteisiin ja valaistukseen noin 14 % ja pelkästään saunan lämmitykseen energiaa kuluu 5 %. Asuinrakennusten lämmittämiseen kuluu vuosittain 40–45 TWh.

Rakennuksen energiatehokkuus määritellään laskennallisen E-luvun mukaan (Alanne ym., 2024, s. 46–48). E-luvun yksikkö on kWh/m²vuosi, ja se määritellään ostoenergian mukaan. Energialuokat määräytyvät asteikolla A–G. Energiatehokkuuden indikaattorina olevaa E-lukua direktiivissä (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2024/1275) ei kuitenkaan määritellä tuleeko se uusitumattoman vai kokonaisprimäärienergian käytöstä. Näin eri Euroopan maat saattavat laskea E-luvun eri tavoilla. Kaikilla Euroopan mailla E-luvun laskenta perustuu ostoenergiaan. Eroa on kuitenkin siinä, käytetäänkö uusiutumattoman energian kertoimia vai kokonaisprimäärikertomia tai rakentamisen ohjauksen kertoimia, missä otetaan huomioon mm. päästöt, ostoenergia, energian hinta ja saatavuus. Myös on maita, jotka ottavat itsetuotetun energian muualla viemisen huomioon. Lisäksi eroja on siinä, mitä energiankulutuksia otetaan E-luvun laskennassa mukaan ja mitä jätetään pois. Suomessa laskenta perustuu uusiutumattoman primäärienergian käytön vähentämiseen.

Rakennusautomaatio jaetaan neljään eri energiatehokkuusluokkaan (Alanne ym., 2024, s. 197). Energialuokat ovat välillä A–D (kuva 11), jossa A-luokka omaa parhaimman energiatehokkuuden ja D-luokka huonoimman Tätä luokitusta voidaan käyttää hyväksi rakennusautomaation suunnittelussa. Suunnittelija saa tilaajalta kohteeseen halutun energiatehokkuusluokituksen, ja tämän perusteella voidaan suunnitella kohteen energiatehokkuus sekä siihen tarvittavat laitteistot.



Kuva 11. Energiatehokkuusluokitus (sovellettu Alanne ym., 2024, s. 197).

Luokituksella saadaan kerroin, (taulukko 3), jolla energiankulutusta korjataan valaistuksen, sähkölaitteiden osalta sekä omalla kertoimella lämmityksen ja jäädytyksen osalta. Oletus taso on C, ja sen kerroin yksi.

Taulukko 3. Energialuokitus ja kerroinmenetelmä. (sovellettu Alanne ym., 2024, s. 197).

Energiantehokkuusluokat	A	B	C	D
Valaistus ja laitesähkö	0,86–0,96	0,93–0,96	1	1,04–1,10
Lämmitys ja jäädytys	0,7–0,86	0,73–0,91	1	1,10–1,59

Käytännössä A-tehokkuusluokka mahdollistaa tehokkaan energiahallinnan rakennuksessa, ja automaatiota käytetään ohjaamiseen, säätöön, kulutuksen seurantaan, raportointiin ja poikkeamien ennakointiin sekä vähentämään tarpeetonta energiankulutusta (Alanne ym., 2024, s. 200). B-luokan järjestelmässä on esimerkiksi huonesäätimet liitetty rakennuksen automaatiojärjestelmään jollain tiedonsiirtomenetelmällä ja voidaan optimoida järjestelmän toimintaa, esimerkiksi lämpötilan, valaistuksen tai ilmanvaihdon ohjausta tietyinä käyttöaikana. Tehokkuusluokka C vastaa tavanomaisia automatisoituja säätö- ja ohjaustapoja rakennuksessa. C-luokassa on automaatio kevyemmin toteutettuna kuin B-luokassa, esimerkiksi huonesäätimet eivät kommunikoi keskenään. D-luokituksessa ratkaisut ovat manuaalisia, esimerkkinä tässä ovat käsikäyttöiset sähkökytkimet tai patteriventtiilit. Uu- sissa järjestelmissä ei tulisi enää käyttää D-luokituksen ratkaisuja.

3.1 Lämmitys

Motivan (Motiva, 2024a) mukaan jo 1 °C tiputus huonelämpötilassa, säästää 5 % lämmityskuluissa. Tehontarvetta voi nostaa myös erisuuruisten lämpötilojen ylläpitäminen vierekkäisissä tiloissa (Alanne ym., 2024, s. 44). Rakennuksen sisäisistä ilmavirtauksista ja lämmönsiirrosta johtuen, 1 °C ero huoneiden välillä aiheuttaa avoimeen oveen läpivirtauksen, joka on suuruudeltaan 150 l/s. Tämä aiheuttaa tehontarpeen lisäystä 180 W/°C. Energiatoteutus lämmityksessä alentaa käyttökustannuksia ja vähentää rakennuksen päästövaikutusta

Rakennuksen yleisimmät lämmönluovutuslaitteet ovat radiaattorit (patterit) ja lattialämmitys, mutta myös puhallinkonvektoreita sekä muita vaihtoehtoja säteilylämmityksessä käytetään (Alanne ym., 2024, s. 96–97). Keskuslämmityksellä tarkoitetaan rakennuksessa useampien tai kaikkien tilojen lämmitystä putkistossa kulkevan lämmönsiirtoaineen avulla. Tapoja tuottaa lämpöä rakennuksiin on useita, näitä ovat mm. kaukolämpö, sähkö- tai öljylämmitys, aurinkokeräimet sekä lämpöpumppulämmitys tai kiinteät polttoaineet kuten esimerkiksi puu (mts. 131). Myös näiden eri yhdistelmät eli hybridijärjestelmien käyttö on yleistynyt rakennuksien lämmityksessä. Hybridijärjestelmässä voidaan käyttää kullakin hetkellä edullisinta energiamuotoa. Asuinrakennuksissa yleisesti hyödynnetään kahta eri lämmitystapaa, esimerkiksi öljy- ja lämpöpumppulämmitys tai puulämmitys ja aurinkoenergia-yhdistelmää. Suurempien kiinteistöjen osalta yleistä on, että lämmitys hoidetaan kaukolämpövaihtimella (kuva 12). Kulutusta seurataan etäluettavan energiamittarin avulla.



Kuva 12. Erään rakennuksen kaukolämpövaihdin ja energiamittaus esitettynä.

Kaukolämpövaihtimen rinnalle on kehitetty myös hybridijärjestelmiä, joilla voidaan hyödyntää vaihtoehtoista energianlähdettä (NIBE, 2025). Esimerkiksi NIBE HEAT -hybridiratkaisuista löytyy ulkoilman (airHEAT), poistoilman (reHEAT), maalämmön (rockHEAT) ja jäteveden (wasteHEAT) laitteistoja lämpöenergian hyödyntämiseksi Catetherm-kaukolämpökeskuksen kanssa. Hybridijärjestelmien energiatehokkuuden toteutuminen kuitenkin vaatii automaation osalta hyvää suunnittelua sekä toteutusta ja käyttäjän laitteiston ymmärrystä. Jonkin osa-alueen epäonnistuminen kasvattaa pahimmillaan takaisinmaksuaikaa.

3.2 Ilmanvaihto

Suomen ilmaston vuoksi rakennuksia lämmitetään ja energiatehokkuuden kannalta rakenteet on tehtävä mahdollisimman tiiviiksi (Alanne ym., 2024, s. 111). Energiantehokkuus ei saa vaikuttaa sisäilman laatuun, eikä vahingoittaa rakenteita. Suomi on maailman johtavia sisäilmatekniikassa ja sisäilmatutkimuksessa. Energiatehokas sisäilma voidaan saavuttaa lämmön talteenoton ja tarveohjatun ilmanvaihtotekniikan avulla. Ympäristöministeriön asetuksessa (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017) ilmanvaihdon ja ilmastoinnin käsitteet määritellään seuraavasti:

- Ilmanvaihdolla tarkoitetaan sisäilman laadun ylläpitämistä ja parantamalla huoneen ilmaa vaihtamalla.
- Ilmastoinnilla tarkoitetaan sisäilman puhtauden, lämpötilan kosteuden ja ilman liikkeen hallintaa tulo- ja kierrätysilmaa käsittelemällä.

Rakennuksen ilmanvaihto voidaan toteuttaa vakioilmavirtajärjestelmällä tai muuttuvailmavirtajärjestelmällä. (Sandberg, 2016, s.131–132). Vakioilmavirtajärjestelmä CAV (Constant Air Volume System) on edullinen vaihtoehto ja sopii rakennuksiin, missä tilojen lämpöolot pysyvät samoina ja järjestelmällä huolehditaan vähintään asetuksien minimi-ilmavirrat. Muuttuvailmavirtajärjestelmässä VAV (Variable Air Volume System) voidaan tulo- ja poistoilmaa muuttaa tarpeen mukaan, esimerkiksi huonekohtaisella säädöllä (mts. 133–134).

Muita tärkeitä rakennusautomaatioon liittyviä ilmanvaihdon käsitteitä määritellään ympäristöministeriön asetuksessa (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017):

- Kiertoilma, mikä tarkoittaa samaan huonetilaan palautuvaa ilmaa.
- Siirtoilmasta puhuttaessa ilma siirtyy tilasta toiseen, esimerkiksi makuuhuoneesta WC-tilaan oven alta.
- Palautusilma, mikä tarkoittaa osittain tai kokonaan tuloilmana palautettavaa ilmaa.
- Poistoilma, joka johdetaan pois huonetilasta.
- Tuloilmalla tarkoitetaan ilmaa, joka johdetaan tilaan.
- Ulkoilma, mikä johdetaan hallitusti ilmanvaihdon kautta sisätiloihin sekä ulospuhallusilma, joka johdetaan rakennuksesta ulos (ns. jäteilma).

Suomessa on vuodesta 1995 saakka ollut käytössä sisäilmastoluokitus (Alanne ym., 2024, s. 40). Luokitus on päivitetty kolme kertaa 1990-luvun jälkeen. Luokituksella voidaan suunnitella investointikustannuksien mukainen sisäilmasto. Sisäilmastoluokitus muodostuu kolmesta eri laatuluokasta:

- S1, yksilöllinen sisäilmasto
- S2, hyvä sisäilmasto
- S3, tyydyttävä sisäilmasto

Sisäilmastoluokka S1 on paras, ja luokassa vaatimuksena on mm. erittäin hyvän ja hajuton ilmanlaatu, eikä vetoa ja yllämpenemistä esiinny (Hengitysliitto, 2025). S2 sisältää hyvän lämpö- ja ilmanlaadun eikä häiritseviä hajuja esiinny, kuitenkin yllämpenemistä saattaa esiintyä kesäpäivinä. S1- ja S2-luokituksessa määritellään myös valaistus- ja ääniolosuhteiden hallinta. S3-luokassa sisäilman laatu ja lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät maankäyttö- ja rakennuslaissa annetut säädökset.

Energiatehokkuusdirektiivissä (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2024/1275) korostuu sisäilmaston ja ilmanvaihdon merkitys. Esimerkiksi artiklan 13 kohdassa 5 edellytetään, että päästöttömät, muut kuin asuinrakennukset on varustettava sisäilmalaadun mitaus-, seuranta-, ja säätölaitteella. Rakennuksen sisäilmastosta voidaan mitata ilmankosteutta, sisälämpötilaa, radonpitoisuutta, VOC-yhdisteitä sekä hiilidioksidipitoisuutta. Mittatietoja voidaan käyttää sisäilmaston parantamiseen ilmavaihtotekniikalla, hyödyntäen rakennusautomaatiojärjestelmää. Radon on hajuton, mauton ja näkymätön radioaktiivinen kaasu, jota nousee maaperästä. VOC-yhdisteet ovat peräisin rakennus- ja sisustusmateriaaleista

tai tilan käyttäjien toiminnoista, esimerkiksi siivousainesta. Sisäilman hiilidioksidi (CO₂) on osittain peräisin ulkoilmasta ja osittain tilan käyttäjistä.

Ilmankäsittelykoneet jaotellaan 4 eri ryhmään (Alanne ym., 2024, s. 122):

- pienet ilmanvaihtokoneet
- koteloidut ilmankäsittelykoneet
- toimintavalmiit ilmankäsittelykoneet
- erilliset puhaltimet

Pienet ilmanvaihtokoneet ovat asennusvalmiita ja sisältävät sähkö ja automaatiotoiminnot, lähinnä toimivat lähinnä asuntokohtaisesti omakoti-, rivitalo tai kerrostaloasunnoissa (Sandberg, 2016, s.164–165). Yleisesti käytössä olevat koteloidut ilmankäsittelykoneet rakentuvat vakiomittaisista ja lämpöeristetyistä moduuleista, jotka sisältävät ilmanvaihtoon tarvittavat komponentit.

Koteloidut ilmankäsittelykoneet (kuva 13) asennetaan tyypillisesti erilliseen konehuoneeseen (Sandberg, 2016, s.164–165). Nykyisin koteloidussa koneessa on laitteen sisäiset johdotukset tehtaalla valmiiksi asennettuna. Automaatiourakkaan kuuluu tyypillisesti koneen ulkopuolisten laitteiden instrumentoiminen, kytkentä sekä toimintakokeet.



Kuva 13. Erään rakennuksen koteloitu ilmavaihtokone.

Toimintavalmiit ilmapuhaltimet ovat valmiita yksiköitä, jotka voidaan asentaa esimerkiksi valmiin rakennuksen katolle ulkoseinään (Sandberg, 2016, s. 192–193). Käytännössä koneissa tai konehuoneissa on kaikki laitteistot ja niissä on sähkö- ja automaatiolaitteet keskuksineen valmiina sekä ilmanvaihtokone toimitetaan toimintatavastettuna asennuskohteeseen. Rakennuksen putki-, sähkö- ja automaatioliitokset kytketään valmiin koneiston liitännäspisteissä asennusvaiheessa.

Erillisillä puhaltimilla tarkoitetaan laitteita, joihin ei liity suoranaisesti muita toiminto-osia, korkeintaan sulkupelti (Sandberg, 2016, s. 195–196). Erillispuhaltimiin luetaan esimerkiksi liesituulettimet, huippuimurit, savunpoistimurit, kanavapuhaltimet ja keskipakopuhaltimet.

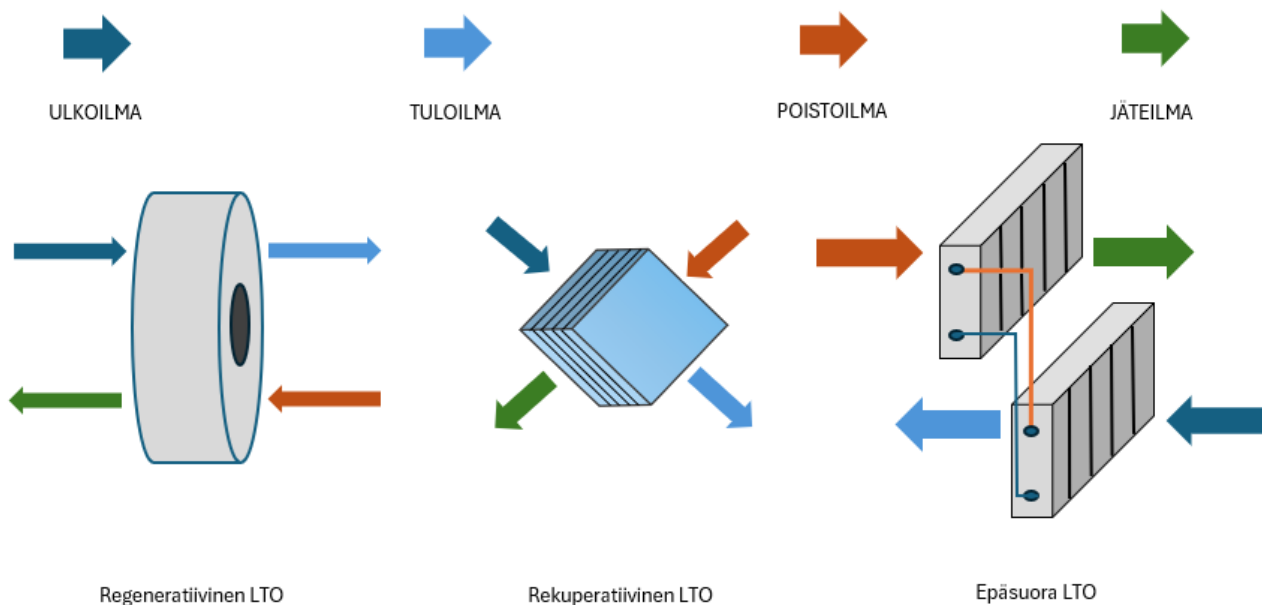
Nykyisin koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdonjärjestelmä sisältää lämmöntalteenoton (LTO) (Alanne ym., 2024, s. 118). Lämmöntalteenottoa vauhditti vuonna 2003 voimaan tulleet rakentamismääräykset. Niiden mukaan lämmöntalteenoton puuttuessa vastaava energiahukka on kompensoitava esimerkiksi lisäeristämällä. Lämmöntalteenottoa voidaan myös toteuttaa pelkässä poistoilmanvaihdossa, jossa poistoilmasta lämpö hyödynnetään yleensä käyttöveden lämmittämiseen. Lämmöntalteenottotapaa määrittää kustannukset, mutta myös poistoilman laatu. Poistoilman laatu määritellään poistoilmaluokkien (taulukko 4) avulla (Talotekniikkainfo, 2024a).

Taulukko 4. Poistoilmaluokat (sovellettu Talotekniikkainfo, 2024a).

Luokat	Käytön rajoitus	Tilaesimerkit
Luokka 1	Sopii palautus- ja siirtoilmaksi	Ei hajukuormituksia, toimistotilat, opetustilat
Luokka 2	Ei palautusilmana, mutta siirtoilmana WC- ja pesutilat	Asuinhuoneet, ruokailutilat, myymälät
Luokka 3	Kosteaa, kemikaaleja, hajuja sisältävää poistoilmaa	WC- ja pesutilat, saunat, keittiöt, ulkoviivenevarastot
Luokka 4	Ilmaa ei käytetä palautus- eikä siirtoilmana	Grillit, likapyykkitalat, autokorjaamot, kemikaalien käsittelyhuoneet, suurpesuloiden tilat

Jos poistoilma on puhtainta (1 luokka), ja myös tietyn rajauksin luokassa 2 ja jopa luokassa 3, voidaan käyttää kaikkia LTO-järjestelmiä (Alanne ym., 2024, s. 118). Käytännössä lämmöntalteenoton pyörivän lämmönsiirtimen käyttö soveltuu vain luokassa 1, mutta myös alemmissa luokissa, mikäli ilmanvaihto palvelee rajattua tilakokonaisuutta, kuten asuinhuoneistoa. Luokka 4 edellyttää epäsuoraa lämmöntalteenottoa väliainetta käyttäen. Lämmön talteenoton (kuva 14) yleisempiä järjestelmiä ovat (mts. 123):

- Regeneratiivinen LTO, mikä yleisemmin tarkoittaa pyörivää lämmönsiirintä. Tämä tapa soveltuu vain poistoilma luokan ollessa 1 tai huoneistokohtaisissa järjestelmissä. Lämpötilahyötysuhde on korkea, jopa 90 %.
- Rekuperatiivinen LTO eli lämmönlevysiirrin. Vaihtoehdot: vastavirta- tai ristivirta-lämmönsiirrin. Hyötysuhde on 50–80 %.
- Epäsuora LTO on järjestelmä, missä poisto- ja tuloilma ei sekoitu lainkaan toisiinsa. Sitä käytetään saneerauskohteissa sekä poistoilmaluokan ollessa 4 kohteissa. Lämpö siirtyy jäätymättömän väliaineen avulla tulolimaan. Hyötysuhde 40–60 %.



Kuva 14. LTO-järjestelmät (sovellettu Alanne ym., 2024, s. 123).

Ulkoilman laskiessa alle 0° C tuloilman ja lämpimän sekä kostean poistoilman kohdatessa lämmöntalteenoton kohdalla alkaa kosteus jäätymään huurteeksi (Sandberg, 2016, s. 178). Mikäli huurtumista ei poisteta, on vaarana lämmöntalteenoton umpeen jäätyminen ja mahdollinen rikkoutuminen. Huurtumisen estoon tarvitaan järjestelmä. Automaatiikan avulla se voidaan tunnistaa ja poistaa ajoissa. Tämä kuitenkin tarkoittaa sitä, että talteenoton hyötysuhde heikkenee, kun huurretta poistetaan tai sen muodostumista estetään. Huurtuminen voidaan tunnistaa paine-eromittauksen avulla ja lämpötilan tai lämpötilakosteusanturien yhdistelmillä. Huurteenestojärjestelmä riippuu siitä mitä LTO-tyyppiä käytetään. Pyörivässä lämmöntalteenotossa voidaan huurretta poistaa pyörimisnopeuden hidastamisella (mts. 179). Levylämmönsiirtimen sulatus tapahtuu ristivirtalevylämmönsiirtimissä lohkosulatuskäyttämällä. Lohkosulatuksessa osa lämmönsiirtimen osista suljetaan ulkoilmalta ja lämmin poistoilma sulattaa kyseiset lohkot (mts. 181–183). Vastavirtalämmönsiirtimen sulatus voidaan hoitaa lohkosulatusmenetelmällä, mutta lisäksi voidaan tarvita esilämmityspatteria. Epäsuorassa lämmöntalteenotossa poistoilmapatterin huurtuminen estetään nestevirran säätämällä, mikä tarkoittaa lämmöntalteenoton rajoittamista (mts. 184).

3.3 Viilennys ja ilmastointi

Rakennuksen korkeita sisälämpötiloja voidaan hallita jäähdytyksellä tai viilennyksellä. Tilojen jäähdytyksellä tarkoitetaan järjestelmää, jossa sisälämpötila pyritään pitämään tavoitearvossa lähes kaikissa tilanteissa (Talotekniikkainfo, 2024b). Tilojen viilennyksellä tarkoitetaan pienitehoista järjestelmää, missä sisälämpötilan nousua pyritään rajoittamaan tuloilman lämpötilaa laskemalla tai muilla viilennysjärjestelmillä. Viilennyksellä pyritään leikkaamaan lämmön nousuja sekä mahdollisesti poistamaan sisäilmasta kosteutta. Viilennystä asuinrakennuksissa voidaan hoitaa esimerkiksi ilmalämpöpumpun viilennystoiminnan tai vesikiertoisen lattiaviilennyksen avulla. Ilmanvaihtokoneen ja automaatiikan avulla sisäilmaa voidaan viilentää myös hyödyntäen yöaikana viileämpää ulkoilmaa. Yötuuletuksessa on huomioitava, ettei tuloilman lämpötila ole liian viileää. Yleisesti yötuuletuksen alimpana sallittuna lämpötilana pidetään noin 15 °C. Liian viileän ilman johtaminen lämpimään sisäilmaan voi aiheuttaa kondenssiriskin, on sitten kyseessä viilennys tai koneellinen jäähdytystoiminto.

Ilmastointijärjestelmällä tarkoitetaan ilmanvaihdon, -suodatuksen, -jäädymyksen sekä -lämmityksen ja mahdollisesti ilman kosteuden hallittua toimintaa (Motiva, 2016). Ilmastointijärjestelmät (taulukko 5) jaotellaan neljään eri ryhmään.

Taulukko 5. Ilmastointijärjestelmien jaottelu (sovellettu Sandberg, 2016, s. 129).

ILMA	ILMA-VESI	VESI	HAJAUTETUT
Vakioilmavirta Muuttuvilmavirta kone-, vyöhyke-, huonekohtainen säätö	Puhallinkonvektori Suutinkonvektori Jäädymyspalkki Jäädymyspaneeli Jäädymyskatto ja -lattia	Puhallinkonvektori Muut puhallinpat- terijäädymysjärjes- telmä	Huoneisto- tai huonekohtaiset jäädymyslaitteet Ilmalämpöpumput
Käyttökohteet	Käyttökohteet	Käyttökohteet	Käyttökohteet
Vakioilmavirta -liiketilat -aulat -ruokalat Muuttuvilmavirta -opetustilat -neuvottelutilat -auditoriot	-toimistohuoneet -opetustilat -hotellihuoneet -pienet liike- ja neuvottelutilat -avokonttorit	-peruskorjauskoh- teet -liiketilat -ravintolat -hotellihuoneet	-peruskorjauskoh- teet -toimistohuoneet -hoitoalan rakennukset -tekniset tilat

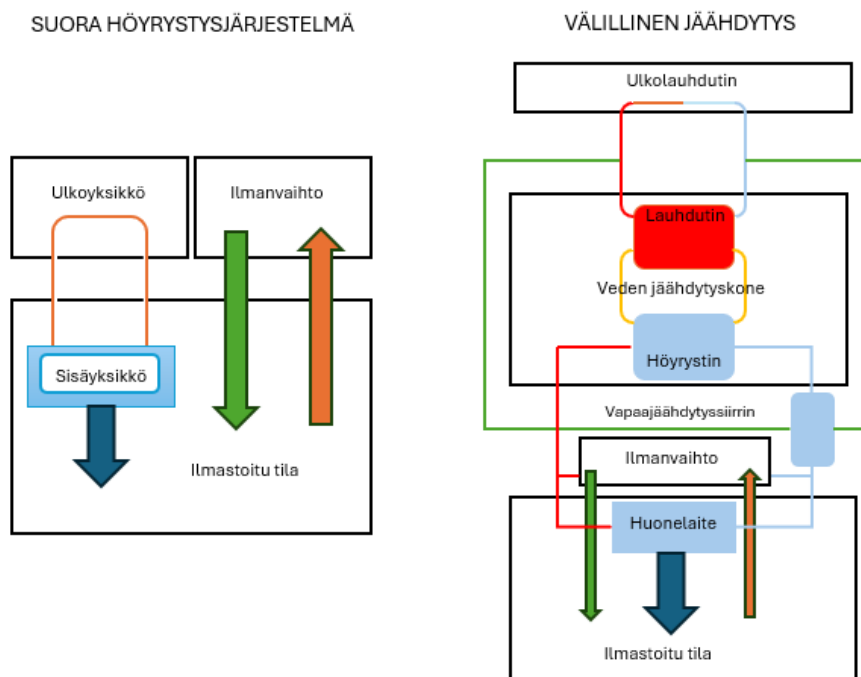
Liian korkea tai liian matala huonelämpötila heikentää viihtyvyyttä ja sisäilmaston laatua (Motiva, 2016). Esimerkiksi optimilämpötila työn tuottavuuden kannalta on 20–24 asteen välillä. Sisäilman lämpötilan noustessa 28 asteeseen työtalon alenee jopa 40 %. Tilojen jäädymyksen kustannukset ovat kuitenkin murto-osa siitä, mitä työtalossa menetetään liian korkean sisäilman lämpötilalla. Jäädymytämisen on oltava tarpeenmukaista ja sen tarve on minimoitava. Jäädymyksen tarpeen pienentämiseen voidaan käyttää ns. passiivisia menetelmiä eli varjostavia kasveja, heijastavia ikkunasuojia, mutta myös automaation avulla toimivia aurinkosuojia tai kaihtimia. Rakennuksen jäädymytstarpeeseen vaikuttaa haluttu huonelämpötila, lämpökuorman hallinta sekä sähkö- ja valaistusratkaisut.

Koneelliset jäädymytjärjestelmät voidaan jakaa kahteen ryhmään (Motiva, 2016):

- suora jäädymytjärjestelmä
- epäsuora eli välillinen jäädymytjärjestelmä

Suorahöyryjärjestelmä toteutetaan niin, että kylmäaine kiertää suoraan ilmaa jäädyttävässä höyrystimessä (Motiva, 2016). Suorahöyryjärjestelmä on tyypillisesti hajautettu, mutta sitä voidaan hyödyntää keskitetyssä järjestelmässä. Suorahöyryjärjestelmä tunnetaan myös split-järjestelmänä, mikä koostuu jäähdyttävästä ja ilmaa kierrättävästä sisäyksiköstä sekä kompressorin ja lauhduttimen muodostavasta ulkoyksiköstä. Yleisempiä pienempiä split-järjestelmiä ovat asuinrakennuksien ilmalämpöpumput. Suorahöyryjärjestelmän etuna on kustannus- ja energiatehokas järjestelmä (kuva 15).

Välillisen jäähdytyksen toimintatapa on, että tilan lämpö poistetaan lämmönsiirtonesteinä toimivan veden välityksellä (Motiva, 2016). Vesi jäähdytetään jäähdytyskoneen höyrystimessä keskitetysti tai vaihtoehtoisesti kaukojäähdytyksen lämmönsiirtimessä. Välillisen järjestelmän etu on pieni kylmäainetäyttö ja hyvät säätömahdollisuudet (kuva 15). Energiatehokkuuden kannalta automaation on estettävä tilojen jäähdytyksen ja lämmityksen yhtäaikainen käyttö. Lämpötiloja voidaan tarkastella valvomon avulla.



Kuva 15. Jäähdytysjärjestelmät (sovellettu Motiva, 2016).

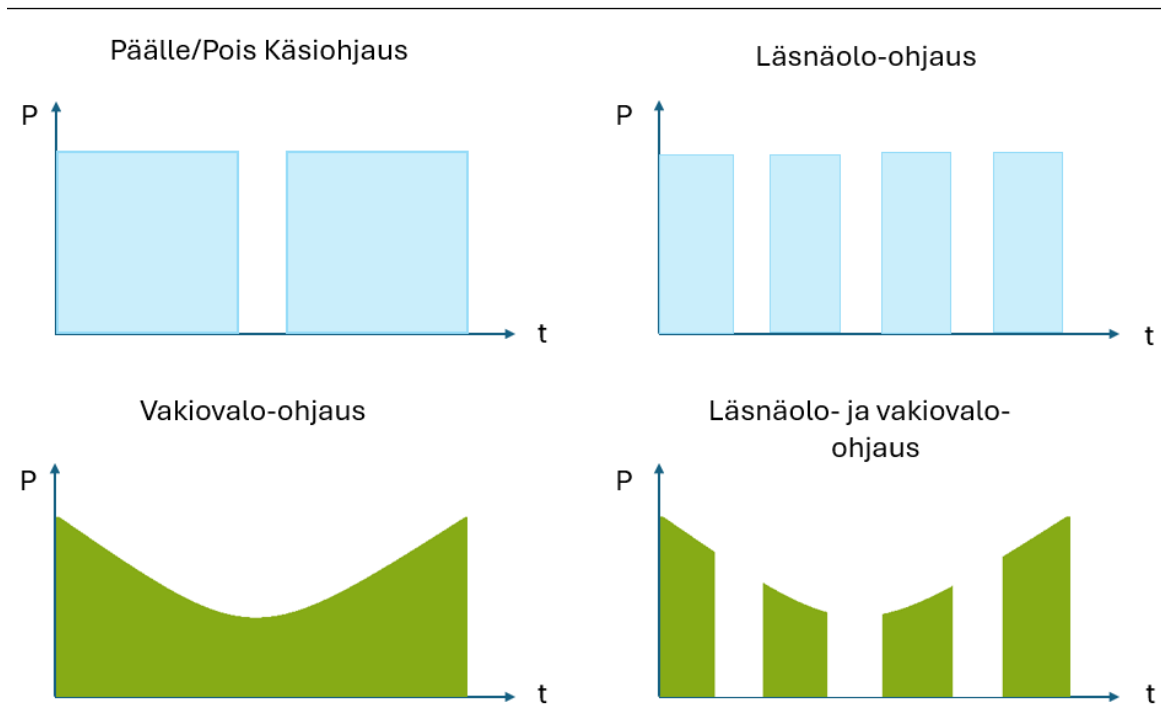
3.4 Valaistus

Valaistus vaikuttaa rakennuksen käyttäjien viihtyvyyteen siinä missä hyvälaatuinen sisäilma (Alanne ym., 2024, s. 90). Hyvässä valaistuksessa työtiloissa huomioitavaa on esimerkiksi valaistuksen riittävyys, tasaisuus, värinasto ja häikäisy. Valomäärän eli valovirran mittaava yksikkö on Lumen (Lm). Lumen antaa kokonaiskuvan valolähteen valomäärästä riippumatta mihin suuntaan valo osoittaa. Mitä suurempi lumen arvo, sitä kirkkaampi valonlähde on. Valaistusvoimakkuuden yksikkö on luks (lyhenne lx). Yksi luks on yksi lumen neliometriä kohden. Luksi-arvo ilmaisee pinnalle tulevan valon määrän. Kuitenkin ihmiskäsi näkee toisaalta vain pinnalta heijastuneen valon ja tämän ns. pinnankirkkauden suure valaistustekniikassa on luminanssi (L). Valaistusvoimakkuussuosituksia toimistossa on 500 lx, myymälöissä 300...500 lx ja erittäin suurta tarkkuutta vaativissa työpisteissä 1000 lx. Valonväri mitataan Kelvin-asteikolla (K) ja sillä ilmoitetaan valon värilämpötila. Tyypillisesti liiketiloissa käytetään 2700–4000 K värilämpötilaa. Värilämpötilasta puhuttaessa käytetään asteikolla 2700–3000 K lämminvalkoinen, 4000 K on viileä valkoinen, päivänvalo 5500 K ja ns. sininen taivas on yli 8000 K.

Rakennusautomaation osalta valaistuksessa energiatehokkuus saavutetaan valaistuksen ohjauksella. Tilan päälle/pois-kytkentä kuluttaa tyypillisesti eniten energiaa, varsinkin jos käyttäjä ei sammuta tilasta valaistusta pois lähtiessään (Alanne ym., 2024, s. 92). Valaistusta voidaan ohjata läsnäolotunnistimella, jolloin valot himmentyvät tai sammuvat, mikäli tila ei ole käytössä. Vaihtoehtoisesti valaistusta voidaan ohjata myös päivänvalon mukaan. Tätä ohjaustapaa kutsutaan vakiovalo-ohjaukseksi. Jos päivänvaloa on tilaan saatavilla runsaasti, voidaan vakiovalosensoreiden avulla keinovalon määrää suurentaa tai pienentää.

Led-tekniikassa puhutaan myös vakiovalovirrasta (Decrolux, 2022). Vakiovalovirta ei liity vakiovalo-ohjaukseen, vaan vakiovalovirta CLO (Constant Light Output) tarkoittaa järjestelmää, joka kompensoi valotehon heikkenemistä. Ledien valovirta eli kirkkaus heikkenee käyttöiän pidentyessä. Mikäli halutaan valotehon säilyminen tavoitetasolla mahdollisimman pitkään, joudutaan käyttöiän alussa syöttämään valaistusjärjestelmää isommalla teholla. CLO-toiminnolla lediä voidaan alkuun ohjata pienemmällä valoteholla ja valovirtaa kasvatetaan ledien käyttötuntien lisääntyessä. Kompensointi tapahtuu ohjelmoitavalla liitäntälaitteella, jonka avulla ledien valovirta kasvaa vähitellen ledin käyttötuntien lisääntyessä.

Energiatehokkain keino on käyttää vakiovalo-ohjausta ja läsnäolotunnistusta yhdessä (Alanne ym., 2024, s. 92). Kuvassa 16 on kuvattu suuntaa-antava tilanne, miten luokkahuoneessa voisi energiatehokkuutta toteuttaa eri valaistuksen ohjauksella. Oletuksena on, että käsiohjaksella sammutetaan valaistus kerran, päivän pidemmän tauon aikana.

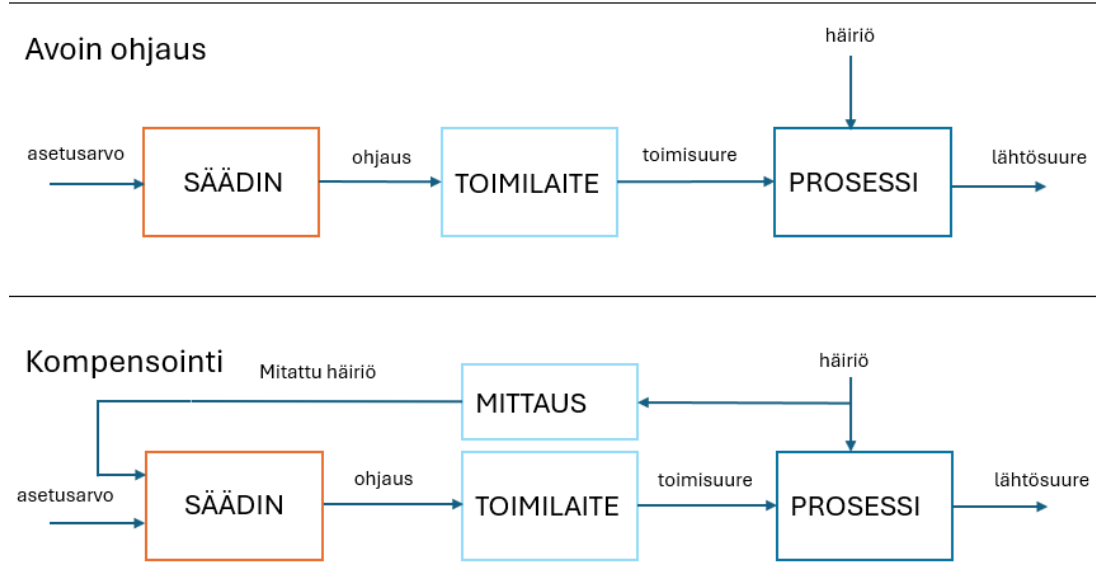


Kuva 16. Energiatehokkuuden toteutuminen eri valaistuksen ohjauksilla (sovellettu Alanne ym., 2024, s. 92).

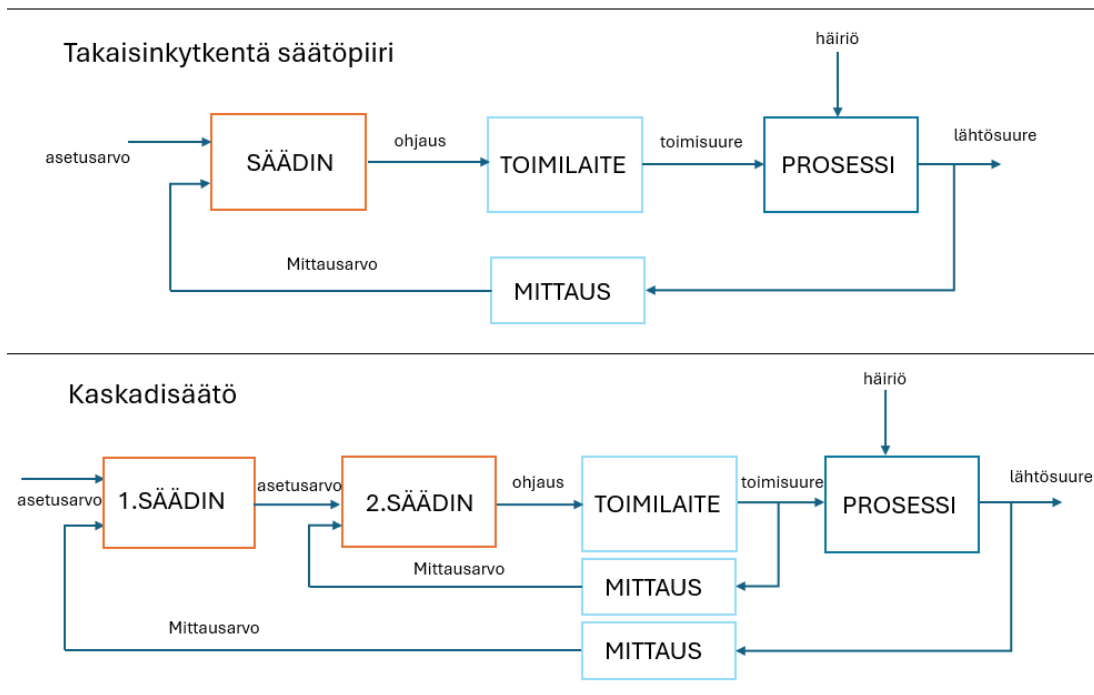
Valaistusta voidaan myös ohjata värilämpötilan mukaan jäljitellen näin luonnonvalon vuorokausirytmiiä (Glamox, i.a.) Valaistustekniikkaa kutsutaan yleisnimityksellä Human-centric Lighting (HCL)-käsitteellä eli ihmiskeskeinen valaistusjärjestelmä. Muita valaistusohjaustapoja on tilanneohjaus, missä luodaan painikkeille erilaisia valmiita valaistustilanteita. Aikaohjauksessa voidaan käyttää astronomista kellokytkintä, jonka avulla voidaan määrittää valaistustilanteet aikavyöhykkeiden ja vuodenaikojen mukaan. Hämäräkytkinohjauksessa anturi huomio muuttuvan valomäärän ja porrastautomaatti huolehtii valaistuksen automaattisesta sammumisesta asetetun ajan jälkeen. Ohjauksen avulla voidaan energiaa valaistuksessa säästää 50–90 % verrattaessa ohjaamattomaan valaistukseen (Motiva, 2024b). Energiatehokkuuden toteutuma vaatii kuitenkin hyvän suunnittelun, oikean asennustavan ja komponentit, toimivat ohjelmanratkaisut sekä käyttäjän opastuksen ja huolto-ohjelman noudattaminen.

3.5 Säättötekniikka

Säättötekniikassa keskeinen peruskäsite on säätöpiiri (Suomäki & Vepsäläinen 2013, s. 35–37). Rakennuksissa säätöpiiriä käytetään lämmityksessä ja ilmanvaihdossa sekä jäädytyksessä. Säätöpiiriä lämmityksessä voidaan tarkastella esimerkiksi tilalla, mitä lämmitetään. Mikäli tilassa on aina sama lämpötila, jonka käyttäjä määrittelee, on kyseessä vakiarvosäätö eli avoin ohjaus (kuva 17). Jos tilan lämpötilaan vaikutetaan ulkolämpötilalla, puhutaan kompensoidusta säädöstä (kuva 17). Sisälämpötilan mukaan ottaminen säätöpiiriin ulkolämpötilan kanssa mahdollistaa tarkemman säätöjärjestelmän ja tästä säätöpiiristä käytetään nimitystä kaskadisäätö. Kaskadisäätö muodostuu pääsädöstä ja pääsätöä seuraavasta apusädöstä (kuva 18). Hyvin tyypillinen säätöpiiri automaatioissa on myös takaisinkytkentäsäätöpiiri (kuva 18). Ilmanvaihtokoneen vesikiertoisessa lämmityspiirissä puhutaan yleisesti sekoitussäädöstä. Sekoitussäätöpiiri perustuu lämmönvaihtimelta tulevan kuumen veden ja ilmanvaihtokoneen omassa lämmityspiirissä kiertävän veden sekoittamiseen. Säätöpiiri koostuu säätimestä, toimilaitteesta, säädettävästä prosessista ja mittalaitteesta. Häiriöllä kuvataan esimerkiksi lämpötilan muutosta.



Kuva 17. Avoin ohjaus ja kompensointisäätö (sovellettu Ristimäki, 2023a).



Kuva 18. Takaisinkytkentä- ja kaskadisäätö (sovellettu Ristimäki, 2023a).

Jokaisella mitattavalla laitteella on oma säätökertoimensa (Talotekniikkainfo, 2023, s. 40). Laitekohtainen säätökerroin ilmoitetaan k-kertoimena. K-kerroin on valmistajan taholta valmiiksi määritelty ja on myös tavallisesti merkittynä laitteeseen. Ilmanvaihtolaitteessa säätökerroin määrittelee, kuinka suuri ilmavirta kulkee laitteen läpi tietyllä paine-erolla. Ilmavirtamittareihin laskentakaavat on sisäänrakennettu, mutta tarvittaessa ilmavirta voidaan laskea mitattusta paine-erosta k-kertoimen avulla kaavalla (2).

$$q_v = k * \sqrt{\Delta p_m} \quad (2)$$

Missä

q_v = ilmavirta (l/s)

k = säätökerroin

Δp_m = mitattu mittauspaine (Pa)

Kaavassa (2) lämpötila ja ilmanpaine ovat vakio-tilassa (20 °C ja 1013 mbar) ja tulos on litraa/sekunnissa (Talotekniikkainfo, 2023, s. 40). Paineen, lämpötilan ja ilman tiheyden välillä on yhteys. Kylmä ilma on tiheämpää kuin lämmin ilma. Tämä muutos voidaan myös laskea, mutta karkeasti 10 °C:een muutos vaikuttaa n. 2 % mitattuun ilmavirtaan.

Valmistaja tyypillisesti ilmoittaa laitteelle annetulla k-kertoimella saadun tuloksen yksikön teknisissä tiedoissa ja mittapoikkeaman prosenteissa. Esimerkiksi valmistaja ilmoittaa ilmanvaihtokoneen tulopuhaltimen k-kertoimen luvulla $0.0686813 \pm 10 \%$, mitatun paineen ollessa (kuva 19) 744,3 Pa.



744.3 Pa

$$q_v = 0.0686813 * \sqrt{744.3 \text{ Pa}}$$

$$= 1.87375$$

Valmistaja ilmoittaa mittalaitteen valinnaksi m^3/s $\pm 10 \%$, joten litraa/sekunnissa saadaan kertomalla tulos 1000.

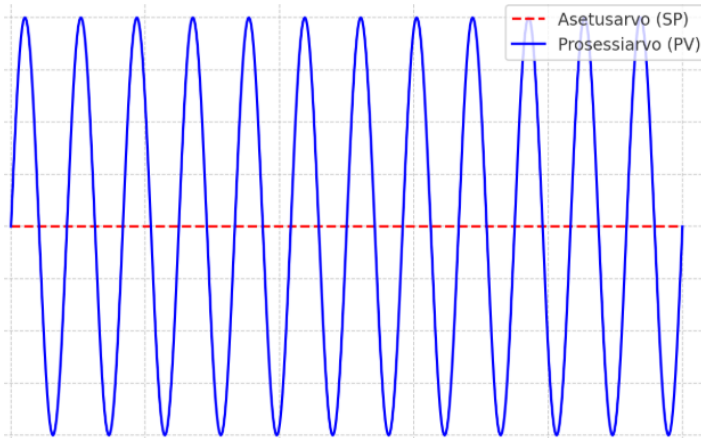


1854 l/s

Kuva 19. Säätokertoimen (k-kerroin) laskuesimerkki.

3.5.1 Säätimen viritys

Säädin on säätöpiirin laite, joka laskee tarvittavan ohjauksen toimilaitteelle (Suomäki & Vepsäläinen, 2013, s. 23). Ohjauksen laskenta tapahtuu mittauseronviestin ja matemaattisen kaavan avulla. Laskentatapa riippuu siitä, mikä säätömuoto on kyseessä. Säädessä pyritään pääsemään asetusarvoon mahdollisimman sujuvasti. Vaarana on, että säätö jää huojumaan (kuva 20) asetusarvon molemmin puolin asetusarvoa (mts. 20).

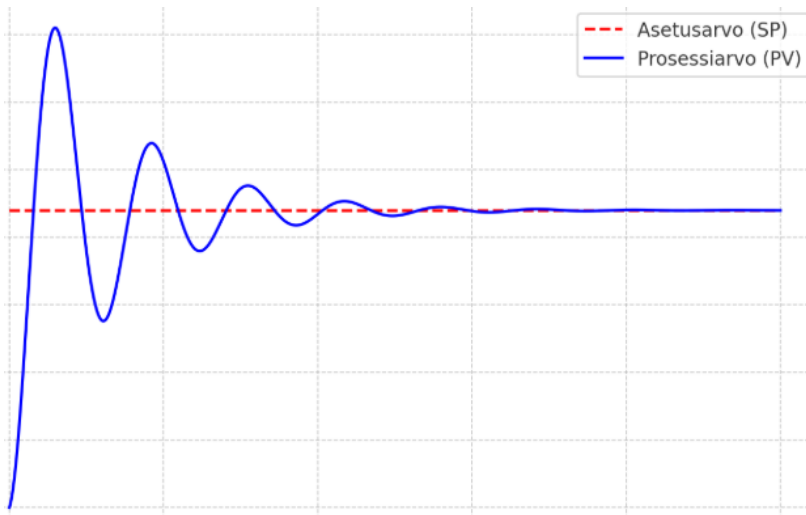


Kuva 20. Säädön huojunta asetusrvon ympärillä (sovellettu Suomäki & Vepsäläinen, 2013, s. 20).

Asetusrvoon pääsemiseen ja värähtelemisen vaimenemiseen tarvitaan eri säätömuotoja. Tyypillisimmät säätömuodot ovat P, PI, PD sekä PID (Suomäki & Vepsäläinen, 2013, s. 72):

- P-säätö (proportionaalinen) vahvistaa säädön toimintaa. P-säädöllä saadaan esimerkiksi venttiili avautumaan nopeasti tai maltillisemmin. P-säädön arvon eli vahvistuksen (K_p) ollessa suuri avautuu venttiili nopeammin. Pelkästään P-säätöä käytettäessä on vaarana, että säätöpiiri jää jatkuvaan värähtelevään tilaan.
- I-säädöllä (integraali) korjataan säätöpiirin toimintaa niin, että säätöpoikkeama saataisiin nolnaan. I-säätö poistaa pysyvän virheen ja soveltuu hyvin tasaisiin, tarkkoihin tai hitaisiin prosesseihin. I-säätöä käytetään usein P-säädön kanssa.
- D-säätö (derivaatta) ennakoii säätöpoikkeamaa, ja pyrkii estämään ennen kuin poikkeama ehtii syntyään. D-säätö reagoi virheen muodostumiseen ja parantaa säätimen reagoitokykyä.

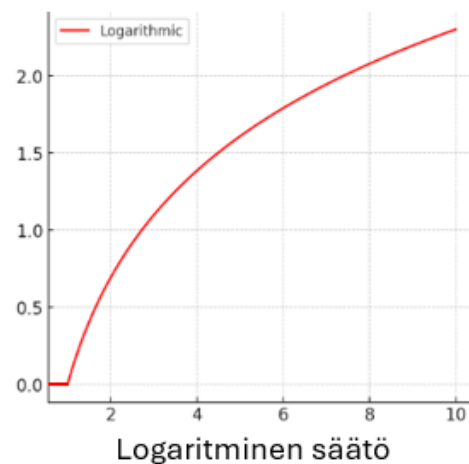
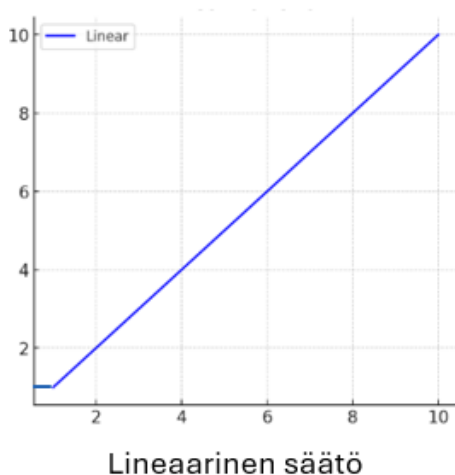
Rakennusautomaatiossa käytetään tyypillisesti PI-säätöä (Suomäki & Vepsäläinen, 2013, s. 72). PI-säätimessä integrointia käytetään suhdesäädöstä johtuvan säätöpoikkeaman korjaamiseen. D-osa lisätään, mikäli säätöpiirin halutaan toimivan nopeammin ja ennakoitavammin. Kuvassa 21 on PID-säätökäyrä, missä nähdään toimilaitteen avautuminen P-säädön vahvistuksella. Toimilaitte aukeaa ja I-säätö alkaa vaimentamaan säätökäyrän värähtelyä. D-säätö laskee muutosnopeutta, ja ennakoii poikkeamaa, jonka avulla säädettävä kohde vakautuu annetulle asetusrvolle.



Kuva 21. Tyypillinen onnistunut PID-säätökäyrä (sovellettu Suomäki & Vepsäläinen, 2013, s. 73).

3.5.2 Säädön toiminnallisuus

Säätöpiirin virityksessä on otettava myös huomioon aika, mikä kuluu siihen ennen kuin säädettävä suure alkaa vaikuttamaan säätötoimenpiteeseen (Suomäki & Vepsäläinen, 2013, s. 21–22). Tämä on säätöpiirin kuollut aika. Säätötavaksi on mahdollista valita tasainen eli lineaarinen säätökäyrä tai logaritminen säätökäyrä, jossa muutos on aluksi nopeaa ja hidastuu ajan myötä (kuva 22). Säätökäyrätapoja voidaan käyttää niin valaistuksessa, kuin muissakin rakennusautomaation säätöpiireissä.



Kuva 22. Lineaarinen ja logaritminen säätö.

PID-säätimen virittäminen voidaan tehdä laskennallisesti, mutta laskennallinen virittäminen vaatii järjestelmän kokonaisvaltaisen tuntemuksen (Ristimäki, 2021). Useasti järjestelmässä on häiriötekijöitä, joten säätimen virittäminen kokeellisesti on vaivattomampi vaihtoehto. Menetelminä voidaan käyttää Ziegler-Nichols askelvastemenetelmää tai värähtelyrajamenetelmää. Kuitenkin hyvään lopputulokseen voidaan päästä myös kokeilemalla esimerkiksi:

- Kasvattamalla P-arvo siihen asti, kun vaste alkaa värähdellä tai vastaavasti pienentämällä kunnes värähtely tasaantuu.
- Suurta säätöpoikkeamaa poistetaan I-arvoa kohottamalla.
- Ohjauksen hitautta kasvatetaan D-arvolla.

Useasti optimaalinen säätökäyrä löytyykin kokeile-testaa-korjaa toimintojen avulla.

4 Rakennusautomaation dokumentit ja komponentit

Opinnäytetyössä tehdyn työelämän kyselyn perusteella, rakennusautomaatioasentajan tehtävissä vaaditaan osaamista dokumenttien tulkinnassa, komponenttietoisuutta, asennusteknistä osaamista sekä säätö- ja prosessitoiminnan ymmärrystä. Rakennusautomaatioasentajan tulisi pystyä tulkitsemaan automaatiidokumenttien lisäksi myös tarvittaessa rakennus- ja LVISK-kuvia. Tarvitaan myös ymmärrystä ilmanvaihtokoneen ja lämmityksen toimiperiaatteista sekä rakennuksen toiminallisuudesta eri tilanteissa.

4.1 Dokumentit

Rakennusautomaatioasentajalle ei kuulu varsinaisten LVISK-komponenttien asentaminen, vaan ne asentaa putki-, ilma- tai sähköurakoisija. Kuitenkin laitteiden toiminnan ymmärtämisen sekä ohjauksen kytkemisen vuoksi pitää osata myös tulkita kunkin laitteen alakohdaisia kuvia. Rakennusautomaatioasentajan tehtävissä dokumenteista tulkitaan mm. järjestelmän toimintaselostuksia, piste- ja laiteluetteloja, sijaintipiirustuksia ja säätökaavioita.

4.1.1 Laitetunnukset ja järjestelmämerkinnät

Rakennusautomaation yleisemmät laitetunnukset (taulukko 6) muodostuvat SFS-ISO 14617-6-standardista, tyypillisesti kirjainlyhenteet tulevat englanninkielestä (Sähkötieto, 2020b, s. 9). Lisäksi on suomenkielestä tulevia lyhenteitä kuten, VAK (valvonta-alakeskus), RLK (riviliitinkotelo) ja SLK millä tarkoitetaan säätölaitekotelo.

Taulukko 6. Rakennusautomaation yleisempiä laitetunnuksia (Sähkötieto, 2020b, s. 9).

Tunnus	Selite	Tunnus	Selite
EC	Sähkötehon säädin	PC	Painesäädin
EE	Sähkötehon mittaus	PDA	Paine-erokytkin
EQ	Sähkötehomäärälaskuri	PDC	Paine-eron säädin
FC	Virtaussäädin	PDE	Paine-eroanturi
FG	Pellin toimilaite	PDI	Paine-eromittari
FI	Ilmavirtausmittari	PE	Paineanturi
FQ	Vesimäärälaskuri	PI	Painemittari
FSA	Virtausvahti	PS	Painekytkin
FT	Virtauslähetin	PSA	Painehälytin
FV	Venttiilin toimilaite	QE	Pitoisuusmittaus
HS	Painike (Hätäseis)	QQ	Lämpömäärälaskuri
KS	Ajastinkellokytkin	TC	Lämpötilan säädin
LC	Pinnankorkeussäädin	TE	Lämpötila-anturi
LE	Pinnankorkeusanturi	TI	Lämpötilamittari
LSA	Pinnankorkeuskytkin	TS	Ohjaus-/hälytystermostaatti
LT	Pinnankorkeuslähetin	TZA (+)	Jäätymisvaaratermostaatti (Yliämpö)
MC	Suhteellinen kosteussäädin	XE	Valoisuusanturi
ME	Suhteellinen kosteusanturi	XS	Hämäräkytkin
MI	Suhteellinen kosteusmittaus	ZS	Rajakytkin

Muita tunnuksia, jotka liittyvät LVISK alojen kautta rakennusautomaatioon on esimerkiksi: (Sähkötieto, 2020b, s. 9–16).

- IMS on ilmavirtasäädin, JLP jälkilämmityspatteri ja ELP esilämmityspatteri
- P on pumppu, KO kostutin ja VM vesimittari
- LOI on läsnäoloilmaisin, VVA vakiovaloanturi ja SC on taajuusmuuttaja
- WSA vesivuotohälytin ja SPK savunpoistokone ja PP palopelti.

Lyhenteitä on käytössä suuria määriä ja ohjeistuksesta voidaan poiketa kohdekohtaisesti, esimerkiksi saneerauskohteissa (Sähkötieto, 2020b, s. 1). Jokainen laite rakennuksessa on merkittynä dokumentteihin omalla laitetunnuksellaan. Laite tulisi tunnuksen perusteella pystyä paikantamaan kiinteistöstä ja tunnistamaan, minkä järjestelmän laite on kyseessä. Merkitsemiseen on käytössä ohjeistuksia ja suosituksia. Tunnus tulisi ohjeistuksen mukaan muodostaa taulukon 7 mukaisesti:

Taulukko 7. Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien merkintäperiaatteet (Sähkötieto, 2020b, s.1).

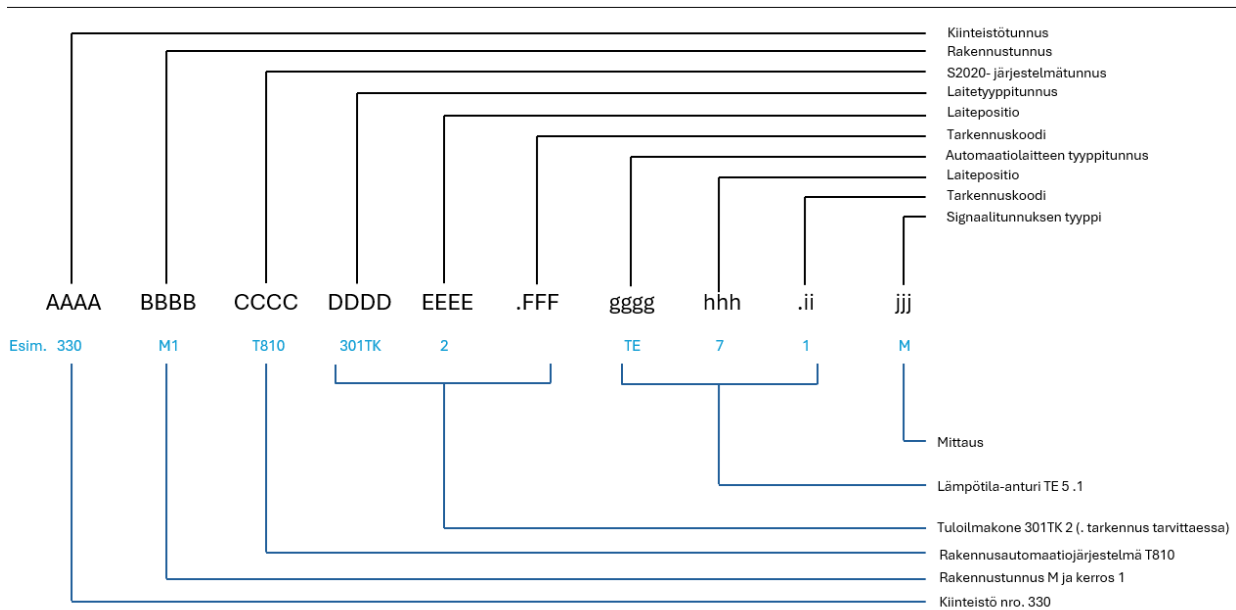
kiinteistötun- nus	rakennus- tunnus	S2022- jär- jestelmätun- nus	laitetyyppi- tunnus	laitepositio	tarkennus- koodi
AAAA	BBBB	CCCC	DDDD	EEEE	.FFF

Esimerkiksi 330 M1 T810 VAK 01 tarkoittaisi: kiinteistö nro 330, rakennus M ja ensimmäinen kerros, T810 tarkoittaa rakennusautomaatiojärjestelmää ja sen valvonta-alakeskus nro 1 ja tarkennuskoodia ei tarvita. Käytännössä riippuen kohteen laajuudesta tai esimerkiksi merkintätilan koosta voidaan joitakin tunnusosia jättää käyttämättä.

Järjestelmänumeroinneissa käytäntö vaihtelee alalla paljon (Sähkötieto, 2019, s. 6). Laitetyyppitunnus (DDDD) muodostuu laitteen tyyppiin viittaavasta järjestysnumerosta ja siihen liittyvästä kirjanyhdistelmästä, mutta järjestelmän lukuvälit voivat vaihdella. Laitteistot ja otellaan esimerkiksi seuraavasti:

- Lämmitysjärjestelmät 100–199
- Vesi- ja viemärijärjestelmät 200–299
- Ilmastointijärjestelmät 300–399
- Kylmätekniset järjestelmät 400–499
- Sähkö- ja erillisjärjestelmät 900–999

Rakennusautomaatiolaitteen laitettunnus muodostetaan ST 711.16 (kuva 23) mukaan laajentamalla taulukon 7 mukaista tunnusta, lisäämällä automaatiolaitteen laitetyyppitunnus (gggg), laitepositio (hhh) ja tarkennuskoodi (.ii) (Sähkötieto, 2019, s. 4). Tämän lisäksi tarvitaan vielä signaalitunnus (jjj) tyyppi.



Kuva 23. Rakennusautomaation laite- ja signaalitunnusten muodostuminen (sovellettu Sähkötieto, 2019, s. 4).

Rakennusautomaation laitepositiotunnus (hhh) perustuu laitteen sijaintipaikkaan prosessissa ja juoksevaan numeroitiin (Sähkötieto, 2019, s. 7). Samaa positionumerointia käytetään samanlaisessa paikoissa ja prosessissa. Esimerkiksi ulkona oleva laite saa tyypillisesti jokaiseen laitepositionumeroksi 00, eli 100 TE 00 tarkoittaisi lämmitysjärjestelmän ulkolämpötilaa mittaavaa lämpötila-anturia. Tunnuksessa voidaan ilmaista, onko laite huone-tilassa, tuloilmakanavassa, LTO:n jälkeen tai poistoilmakanavassa jne. Laitepositioiden merkitsemisessä on kuitenkin eroja ja positiot selvennetään muissa dokumenteissa.

Signaalitunnuksen (jjj) tyypin ilmaisuun käytetään taulukossa 8 esitettyjä kirjaimia (Sähkötieto, 2019, s. 7):

Taulukko 8. Signaalitunnusten tyypit. (Sähkötieto, 2019, s. 7).

Tyyppi	Selite	Tyyppi	Selite
A	Hälytys	L	Tilanneohjaus
C	Säädin	M	Mittauspiste
F	Fiktiivinen piste	O	Ohjauspiste
G	Globaalipiste	R	Raja-arvo
I	Indikointi	S	Säätöviesti
Q	Kokonaislaskuri	T	Aikaohjelma

Automaatiojärjestelmässä käytetään tilatiedosta sanaa indikointi (Härkönen ym., 2018, s. 69). Indikointitiedon avulla voidaan valvomosta nähdä, esimerkiksi palopeltimoottorien tilatiedot ja toiminnallisuudet. Rakennusautomaation laitemerkintöjen ilmaisuissa on eroja, koska ne ovat useasti tilaaja- tai suunnittelutoimistokohtaisia. Kuitenkin merkintä noudattaa pääosin ohjeistusta. Tärkeintä kuitenkin on, että laitteistot on merkitty samalla tavalla kuin rakennuksen dokumenteissa, esimerkiksi pisteluettelossa tai säätökaaviossa. Loppukäyttäjälle laitteistot merkitään merkintäkilvin. Kilpeen mahtuu tietyn verran tietoa, joten tyypillisesti siitä selviää järjestelmän laitetyyppitunnus, laitepositio ja tarkennus tai signaalityyppi, esim. 301TK TE 16.1 M. Merkintäkilvet asennetaan laitteen läheisyyteen, joko tarakiinnityksellä tai muulla luotettavalla kiinnitystavalla. Myös työaikaisesta merkinnästä on huolehdittava koko projektin ajan.

4.1.2 Laite- ja pisteluettelo

Laiteluettelossa esitetään laitekohtaiset tiedot kaikista kohteen rakennusautomaation kentälaitteista (Härkönen ym., 2018, s. 172–174). Luettelosta selviää kentälaitteiden mitoitus-tiedot, esimerkiksi anturien mitta-alueet. Laiteluettelot voivat olla erillisiä dokumentteja tai ne voidaan esittää säätökaavioiden yhteydessä. Pisteluettelosta voidaan myös tehdä erillinen luettelo, mistä selviää laitteen positio, laite, VAK-tunnus tai I/O-moduuli, fyysiset kyt-kentäpisteet (DO, DI, AO, AI), toimintaselostus, (säätö ja hälytys) sekä kaapelointi- tai väylätiedot (kuva 24).

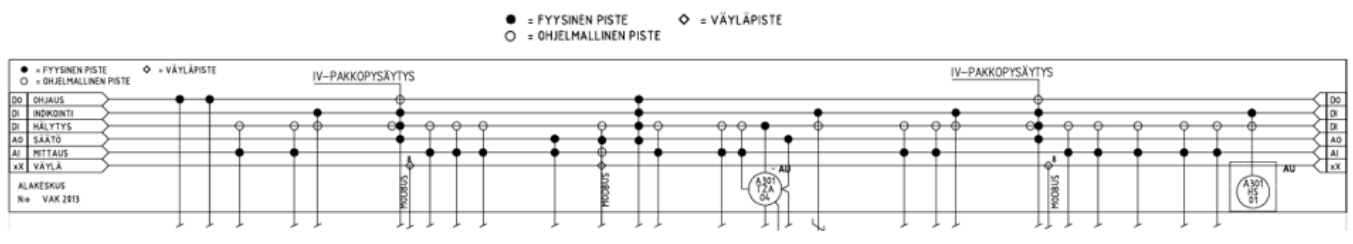
Muutos	Laitteen tunnus	Laitteen nimi ja käyttötapa	Liittyvä RAU-asakkeijan no	Alakeskus	DO) Ohjauk	DI) K-tila	DI/A) Häilyys	AO) Säättö	AI) Mittaus	DO) Väyläpisteet	Väyläprotokolla	Vanha laite	Toimittaa
	A 301 PDIE 01	Paine-eroanturi , Käyttötapa: Suodatin Tuloilma	A6301	A VAK 2013 Atakeskus					1			-	AU
	A 301 PF 01	Poistoilmapuhallin , Käyttötapa: Poistoilmapuhallin	A6301	A VAK 2013 Atakeskus								-	IU
	A 301 TE 01	Lämpötila-anturi , Käyttötapa: Kanava Tuloilma	A6301	A VAK 2013 Atakeskus					1			-	AU
	A 301 TF 01	Tuloilmapuhallin , Käyttötapa: Tuloilmapuhallin	A6301	A VAK 2013 Atakeskus								-	IU
	A 301 TI 01	Lämpömittari , Käyttötapa: Kanava Tuloilma	A6301	A VAK 2013 Atakeskus								-	AU
	A 301 P 02	Pumppu , Käyttötapa: LTO	A6301	A VAK 2013	1	1	1	1				-	IU

Laiteluettelo

Pisteluettelo

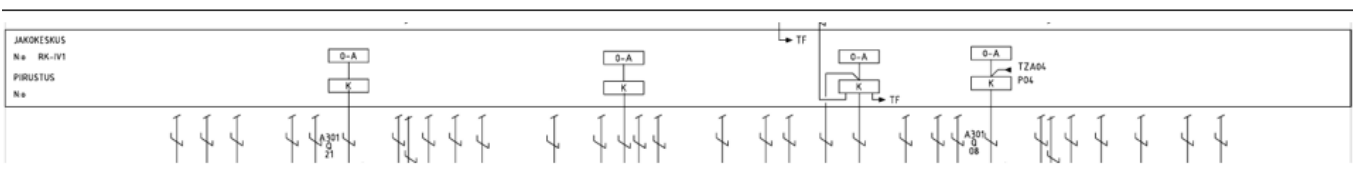
Kuva 24. Esimerkkejä erään rakennuksen laite- ja pisteluetteloista.

Säätökaavion yläosassa kuvataan alakeskuksen (VAK) pisteet. Alakeskuksen (VAK) pisteet (kuva 26) voidaan ilmaista ohjelmallisena-, fyysisenä- tai väylään liittyvänä pisteenä (Härkönen ym., 2018, s.168). Alakeskuksessa olevia pisteitä ovat ohjaus, tilatieto eli indikointi, hälytys, säätö, mittaus ja väylä. Säätökaavion alakeskuksen kohtaan merkitään myös VAK:n sisältämät mahdolliset apulaitteet, esimerkiksi kuvassa 26 on merkittynä jäätymissuojatermostaatti (TZA).



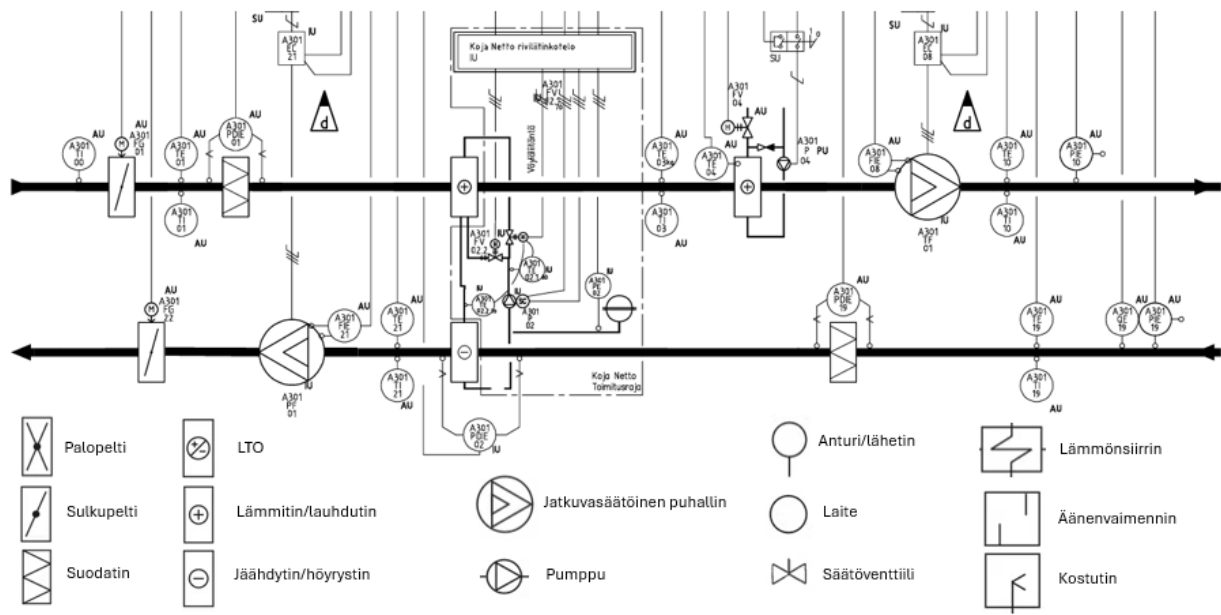
Kuva 26. Säätökaavion alakeskuksen pisteet.

Fyysinen piste tarkoittaa esimerkiksi jotain mittauspistettä ja siitä saatavaa anturin mittatietoa, kuten lämpötilatietoa (Härkönen ym., 2018, s. 168). Mittaustiedon ohjelmallisen raja-arvojen ylittyessä, ohjelmallisen pisteen avulla voidaan antaa hälytys valvomoon tai erilliselle päätteelle. Säätökaaviossa kuvataan myös se ryhmäkeskus, mihin kyseiset rakennusautomaation laitteet liittyvät. Säätökaavion ryhmäkeskuksen kohdassa kuvataan automaatiolaitteiden lukitukset ja kytkimet (kuva 27).



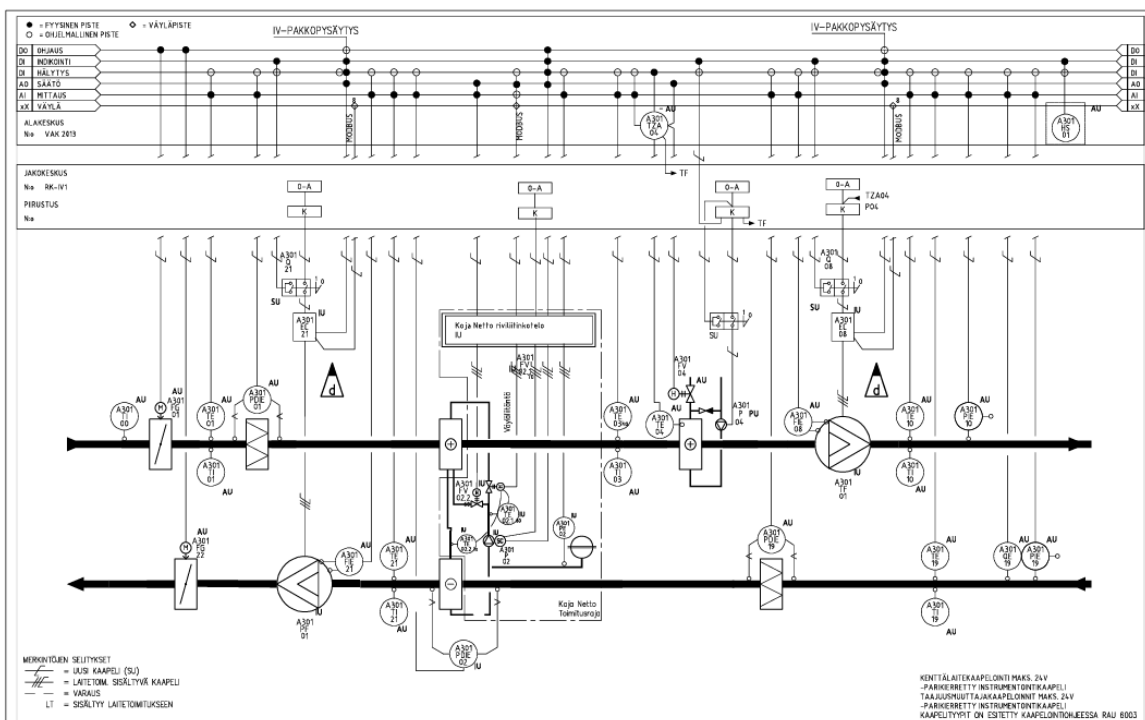
Kuva 27. Säätökaaviossa olevan ryhmäkeskuksen merkinnät ja kytkimet, jotka liittyvät automaation ohjaukseen.

Kytkentä- ja säätökaavio voi olla yhteispiirustus LVI ja RAU-suunnittelijoilta, mikä helpottaa urakoitsijoiden yhteistyötoimintaa (Härkönen ym., 2018, s. 168). Säätökaaviossa on laite-numerot ja laitepositiot, ja prosessin ja järjestelmän piirrosmerkit (kuva 28). Piirrosmerkkejä käytetään standardien SFS-ISO 14617-5 ja SFS-ISO 14617-6 mukaan sekä hyvin yleisesti käytössä on jo kumotun rakentamismääräyskokoelman D4 piirrosmerkkejä. Myös nykyaikaisempia ja havainnollisempia piirrosmerkkejä on alettu käyttämään suunnittelutoimistojen toimesta.



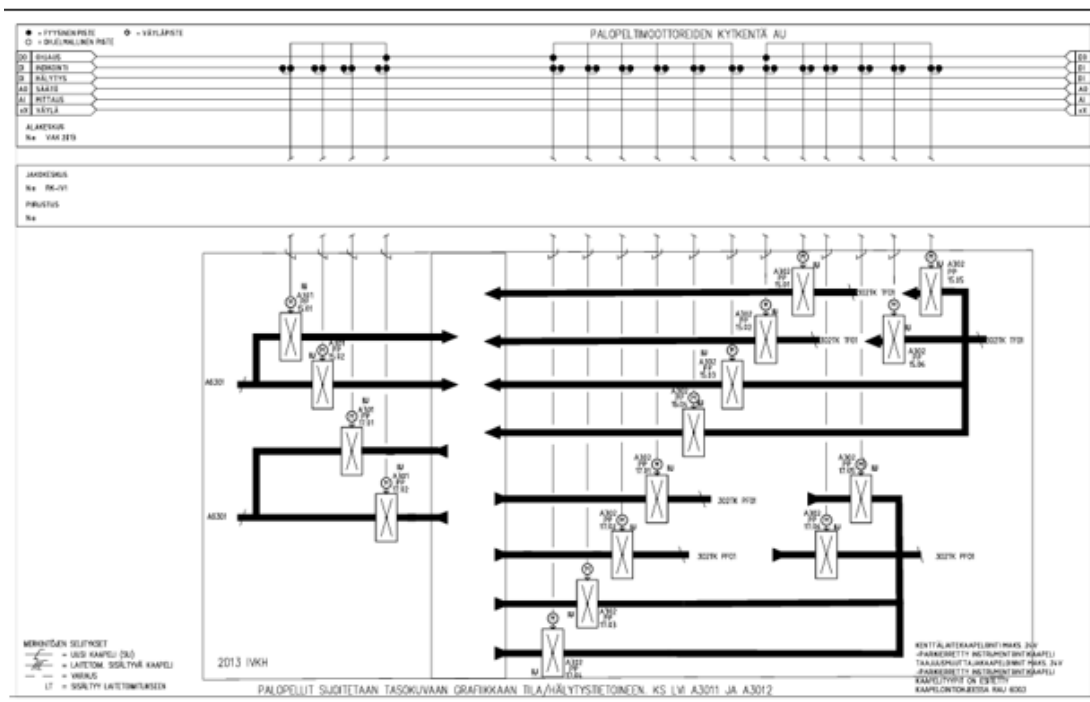
Kuva 28. Säätkäavion järjestelmän kuvaus, johon on lisätty alle selityksiä yleisemmistä LVI-piirrosmerkeistä.

Kaapeloinnit ilmoitetaan säätkäaviokuvassa tai erillisessä kaapelointiohjeessa (Härkönen ym., 2018, s. 168). Säätkäavioon myös merkitään mahdolliset valmiiden komponenttien toimitusrajat (kuva 29).



Kuva 29. Tarkasteltu säätkäavio kokonaisuudessaan.

Säätökaaviolla voidaan myös esittää palopeltien ja niiden toimilaitteiden kytkennät ja toiminnallisuudet (kuva 30) (Härkönen ym., 2018, s. 148).



Kuva 30. Erään rakennuksen säätökaavio, palopellit ja ohjaustavat.

4.2 Anturit ja lähettimet

Rakennusautomaatiossa ohjattavan tilan tai prosessin mittaaminen tapahtuu aina anturien tai lähettimien avulla (Suomäki & Vepsäläinen, 2013, s. 25–26). Anturin toimintaperiaate perustuu mitattavaan suureeseen reagoimalla sähköjohtavuuden eli resistanssin muutoksella. Lähetin taas muuttaa mitattavan suureen sähköiseksi standardiviestiksi. Mittaavia laitteita on aktiivisia, se tarvitsee ulkoisen käyttöjännitteen, sekä passiivisia mittalaitteita, jotka toimivat ilman ulkoista käyttöjännitettä. Säätimet ja ohjaukset toimivat aina anturien ja lähettimien tietojen varassa, riippumatta siitä mikä todellinen tilanne on. Huollon ja kunnossapidon kannalta onkin syytä ymmärtää komponenttien toiminta vikatilanteiden varalta. Rakennusautomaatiossa mitattavia suureita esitetään taulukossa 9:

Taulukko 9. Rakennusautomaation mitattavia suureita (Suomäki & Vepsäläinen, 2013, s. 25–26).

Prosessi	Sähkö
<ul style="list-style-type: none"> • lämpötila • paine • kosteus • virtaus • kaasut (CO₂, VOC, CO) 	<ul style="list-style-type: none"> • valoisuus • vastus • liike • jännite • virta • ääni

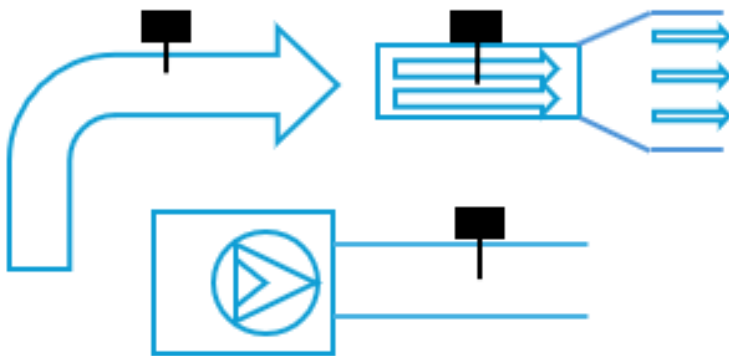
4.2.1 Lämpötila-anturi ja jäätymissuoja-anturi

Rakennusautomaation toiminnoissa lämpötilaa mitataan useasta paikasta (Härkönen ym., 2018, s. 82–83). PTC-anturin (Positive Temperature Coefficient) resistanssi kasvaa lämpötilan noustessa ja NTC-anturin (Negative Temperature Coefficient) resistanssi laskee lämpötilan noustessa. Rakennusautomaatiossa lämpötiloja mitataan eri tiloista, joten johdotuksen pituus saattaa olla suuri. Tästä syystä pieniohmisia antureita ei pidä käyttää. Käytetyimpiä lämpötilamittauksiin käytettäviä laitteet ovat Pt100-, Pt1000-, Ni1000-, NTC10k- ja NTC20k- anturit.

Antureiden asennuksessa on otettava huomioon seuraavia asioita (Sähkötieto, 2014, s. 5): Huonelämpötila-anturien asennuskorkeus 1500 mm, sijoitus sisäseinään ja keskimääräistä oleskelualuetta edustavaan paikkaan. Huone-anturi, jossa on asetuskytkimiä tai säätökytkimiä tai laite on näytöllä varustettu, asetetaan anturitalan valokytkimien läheisyyteen. Vältetään kylmien tai lämpöisten lähteiden läheisyydet, kuten ulkoseinät, ikkunat, lämmityslaitteet, suora auringon säteily, Ilmastoinnin tuloilma, verhot ja isot huonekalut sekä nurkat, komerot tai syvennykset.

Ulkolämpötilamittauksessa anturi asennetaan varjoisaan paikkaan, ilmasuunnista optimaaliset ovat pohjoinen ja luode ja läpivienti tiivistetään huolellisesti (Sähkötieto, 2014, s. 5). Suositusasennuskorkeus on vähintään 2,5 m ja mittatarkkuuden varmistamiseksi ulkolämpötila-anturin asennuksessa vältetään aurinkoista seinää, ikkunan tai oven päällystää, poistoilma-aukkojen läheisyyttä, jäähdytyskoneen lauhduttimen läheisyyttä sekä syvennyksiä, terasseja ja parvekkeita.

Ilmanvaihtokoneissa lämpötila-anturin sauvan mittakohdan on yletyttävä keskimäärin kanavan kolmanneksen alueelle massavirtauksen kohdalle, huomioitavaa on kanavan mahdollisen eristeen paksuus (Sähkötieto, 2014, s. 6). Kanavalämpötilaa mitattaessa anturin osa on sijoitettava virtauksen kannalta keskeiselle, nopealle ja mahdollisimman pyörteisen virtauksen kohdalle (kuva 31). Yli 1500 mm läpimitaltaan olevissa kanavissa tai esimerkiksi lämmöntalteenottokennon tai sekoitusyksikön jälkeen käytetään keskiarvoantureita. Kanavaan tehdyn liitoksen läpiviennin on oltava aina tiivis, ja anturin asentaminen vaakasuoraan estää mahdollisen kosteuden valumisen anturia kohden. Mikäli anturista on luettavissa arvoja, asennuksessa on otettava luettavuus huomioon. Kaapeliin jätetään huolto-lenkki.



Kuva 31. Kanavalämpötilamittauspaikat (sovellettu Sähkötieto, 2014, s. 7).

Jäätymissuoja-anturi sijoitetaan ilmastointikoneessa patterin alareunaan paluuvesipuolelle ripaputkeen sen kylmimpään kohtaa (Sähkötieto, 2014, s. 7). Jäätymishälytyksen kuittaus-painike sijoitetaan mitattavan patterin kanssa samaan huonetilaan. Mikäli patteri muodostuu useasta osasta, varustetaan jokainen patteri omalla jäätymissuojatermostaatilla.

4.2.2 Mittalähettimet

Paine-erolähettimet ovat suunniteltu osaksi rakennusautomaation mittaus- ja valvontalaitteeksi (Produal, 2025). Eri ominaisuuksilla olevia lähettimiä käytetään yleisesti LVI-järjestelmissä ja käyttökohteita esimerkiksi on (kuva 32):

- tuulettimien, puhaltimien ohjaukseen ja säätöön
- paineen ja virtauksen valvontaan sekä venttiilien ja ilmapeltien ohjaukseen
- puhdastilojen paineen sekä suhteellisen kosteuden valvontaan
- ilmanvaihtokanavien sekä radiaalipuhaltimien ilmavirtauksen tai paineen valvontaan
- järjestelmän suodattimien valvontaan

Lähettimen toiminta perustuu paineen muutoksesta, sisäisen mittauskalvon ja venymäliuskojen liikkeeseen (Härkönen ym., 2018, s. 85). Venymäliuskojen venyminen muuttaa vastusarvoa, mikä muutetaan halutuksi standardisignaalksi. Elementissä tapahtuu siirtymää, jota täytyy kompensoida. Valmistaja ilmoittaa onko laite varustettu automaattisella nollapisteen kalibroinnilla (esimerkiksi Modbus RTU) vai onko laite varustettu manuaalisella nollausnapilla. Paine-erolähettimissä on tyypillistä, että mitattavat yksiköt, vasteaika, jännite tai virtaviesti sekä käytettävät säätökäyrät valitaan jumpperin avulla.

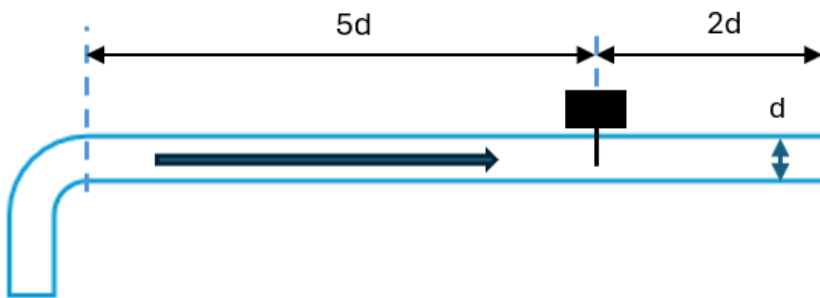


Kuva 32. Erään rakennuksen mittauslähettämiä.

Mittalähettimien asennuksissa huomioitavia asioita on (Sähkötieto, 2014, s. 7):

Asennetaan oikeanlaiset mittausyhteet kanavaan, jolla saavutetaan tarvittava tiiveysluokka. IV-kanavan painemittauksen tulee olla kanaviston suoralla osuudella ja riittävällä etäisyydellä mutkista, haaroista tai venttiileistä. Etäisyyden tulee olla vähintään 5 kertaa kanavan halkaisija, kun kyseessä on tulovirtaus. Poistovirtauksessa etäisyyden tulee olla kaksinkertainen kanavan halkaisijaan nähden (kuva 33). Ilmanvaihtokoneen painesäätöä ohjaava paineanturi asennetaan runkokanaviston puoliväliin. Muuttuvailmavirtajärjestelmässä paineanturi asennetaan paikkaan kanavistossa, missä painehäviöstä on kulunut noin 2/3 osaa. Laitevalmistajan toimesta saattaa olla valmiita mittausyhteitä ilmanvaihtokoneessa paine-erolähettimiä varten. Mikäli näin ei ole tehdään paine-eromittauksia varten

paineletkuille reiät mitattavan laitteen molemmille puolille. Lähettimeen varmistetaan plus- ja miinusletkujen oikea asennustapa. Valitaan lähettimen oikeat asetusarvot ja laitekaapeleihin jätetään huoltolenkki. Mittauslähettimen näyttö tulee olla luettavissa (kuva 34).



Kuva 33. Anturin asennusetäisyys kanavassa (sovellettu Sähkötieto, 2014, s. 8).



Kuva 34. Erään rakennuksen mittauslähetin kanavistossa.

4.2.3 Kosteus-, vesivuotoanturi ja sääasemat

Kosteus määritellään vesihöyryn määränä ilmassa (Härkönen ym., 2018, s. 88). Yleisesti käytetään termiä suhteellinen kosteus (RH), joka ilmoitetaan prosenttiyksikkönä. Kosteusanturi mittaa anturia ympäröivän ilman kosteuspitoisuutta. Kosteus on riippuvainen lämpötilasta ja paineesta. Useasti kosteusanturin yhteydessä on myös lämpötilamittaus. Esimerkiksi koneellisen jäähdytyksen kondenssiriskiä voidaan tarkastella

kastepistelämpötilan määrittämisellä. Rakennuksen liian matala suhteellinen kosteus aiheuttaa käyttäjälle epämiellyttävää oloa ja terveydellisiä ongelmia, esimerkiksi limakalvojen ärtyminen. Liian suuri suhteellinen kosteus taas aiheuttaa haittavaikutuksia rakenteille. Kosteutta rakennusautomaatiossa voidaan mitata ulkotiloista ja sisätiloista, joko huonekohtaisesti tai ilmanvaihtokanavasta.

Vesivuotoantureita käytetään rakennusautomaatiossa tunnistamaan mahdolliset vesivuodot tai mahdollisesti myös vuotavat glykolineesteet (kuva 35) (Härkönen ym., 2018, s. 88). Vuotoriskipaikkoihin asennetaan vesivuotoanturit. Anturien toiminta perustuu vastusmuutokseen, ja se toimii yhdessä vesivuotoreleen tai oman hälytinlaitteen kanssa. Vuotovahdeja käytetään myös asuinrakennuksissa, esimerkiksi lämmitysjakotukkien koteloissa tai keittiössä, nämä laitteet ovat tyypillisesti patterikäyttöisiä. Vedenkulutusta mittaavan vuotovahdin voi asentaa suoraan putkistoon. Vuotovahdi voidaan kytkeä langattomaan verkkoon (WLAN) ja sitä hyödyntäen käyttäjälle ilmoitetaan hälytykset sekä kulutusseuranta. Laitte katkaisee veden virtaamisen, mikäli havaitaan poikkeamaa veden käytössä. Seurantaa ja hälytyksiä voidaan saada myös etäluettavista vesimittareista.



Kuva 35. Erään rakennuksen vesivuotohälytys komponentteja.

Sääasemassa on useasti monta eri toimintaa ja näin myös eri suureita mittaavia antureita (Härkönen ym., 2018, s. 86). Sääasema voi mitata lämpötilaa, tuulen suuntaa ja voimakkuutta, ilman suhteellista kosteutta, ilmanpainetta, vesi- tai lumisadetta sekä valoisuutta. Tyypillistä on, että sääasemassa on oma lämmitysvastus, minkä avulla asema voi sulattaa toiminnallisesti tärkeän anturin ympäriltä lumi- tai jääkerroksen. Asennuksissa kosteusanturin sijoituksesta kanavaan pätevät samat säännöt kuin kanavalämpötilamittauksessakin, erotuksena kuitenkin vähintään kolmen metrin suojaetäisyys kostutuslaitteesta. Vesivuotoanturit asennetaan valmistajan ohjeiden mukaan.

4.2.4 Kaasuanturit

Kaasupitoisuuksia voidaan mitata rakennuksen sisältä erilaisella antureilla (Härkönen ym., 2018, s. 86). Kaasupitoisuuksien mittaukseen on käytössä sähkökemiallisia kennoja, katalyytti- ja puolijohdeantureita sekä infrapuna-antureita. Sisäilmasta mitataan yleisemmin CO₂-pitoisuutta. Hiilidioksidi (CO₂) on yksi sisäilman epäpuhtauksista, josta on Suomessa olemassa viranomaispäätös enimmäispitoisuudesta. Haitalliseksi hiilidioksidipitoisuudeksi on määritelty 5000 ppm (part per million). Sisäilmastoasetuksen (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017) mukaan sisäilman hiilidioksidi huonetilan suunniteltuna käyttöaikana saa olla enintään 1450 mg/m³ (800 ppm) suurempi kuin ulkoilman pitoisuus. Sisäilman hiilidioksidi on osittain peräisin ulkoilmasta, joka vaihtelee 400 ppm molemmin puolin. Sisäilmastoluokan S1:n maksimiarvo on 700 ppm, S2:n 900 ppm ja S3:n 1200 ppm. Yksi ihminen tuottaa hiilidioksidia huonetilaan noin 20 l/h. CO₂-Anturin toiminta perustuu yleisesti infrapuna-tekniikkaan.

Ilmanlaatuanturit mittaavat VOC- yhdisteitä sisäilmasta (Härkönen ym., 2018, s. 86). VOC (volatile organic compounds) -yhdisteitä on erilaiset haihtuvat orgaaniset yhdisteet, esimerkiksi pesu- ja siivoustuotteet, maalit tai liuotin- ja raaka-ainejämien hajoamistuotteet. VOC-yhdisteet voivat aiheuttaa rakennuksen käyttäjille ärsytysoireita. Eri yhdisteille on annettu toimenpiderajoja mutta Suomessa VOC-yhdisteiden ohjeellinen kokonaispitoisuuden toimenpideraja raja-arvo on 400 µm/m³, ja yksittäisen haituvan orgaanisen yhdisteen toimenpideraja on 50 µm/m³ (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksesta 545/2015). Radonpitoisuuden viitearvo vuosikeskiarvona on 300 Bq/m³. Uudet asuinrakennukset suunnitellaan niin, ettei raja-arvo ylitä 200 Bq/m³. Pysäköintiloista voidaan mitata myös hiilimonoksidi (CO) -arvoja, ilmanvaihdon säätämiseksi. CO₂-anturit voidaan sijoittaa poistoilmakanavaan tai suoraan seinille, mahdollisimman keskeiselle paikalle. Varsinkin huonekohtaisessa anturissa, saattaa olla yhdistettynä muitakin mittauksia.

4.2.5 Läsnaölo- ja valoisuusanturit

Läsnaöloanturien avulla pyritään havaitsemaan rakennuksen käyttäjät ja tämän tekniikan avulla voidaan ohjata tilan valaistusta, ilmanvaihtoa tai jäähdytystä (Härkönen ym., 2018, s. 87). Tunnistimia on seinään, kattoon tai ulkotiloihin asennettavia ja niiden tunnistusalueiden keilat riippuvat ominaisuuksista ja asennuskorkeudesta (kuva 36). Läsnaöloanturin toiminta perustuu passiiviseen infrapunatekniikkaan.

Tyypillisesti valoisuusantureita käytetään ulkovalaistuksen ohjaamiseen, mutta nykyisin valoisuusantureita asennetaan myös sisätiloihin (Härkönen ym., 2018, s. 87). Sisätiloissa voidaan mitata luonnonvalon määrää, jolloin voidaan automaation avulla säätää keinova-
loa tiloissa. Anturien toimintaperiaate perustuu valodiodiin ja mittausalueita on erilaisia käyttökohteen mukaan esimerkiksi 0–2000 lux.

Läsnaölotunnistin on asennettava tiloihin niin, että huoneessa tunnistin reagoi myös istuviin paikallaoloihin (Sähkötieto, 2014, s. 11). Tunnistus toimii optimaalisesti, kun asennetaan 360 astetta keilaava ilmaisimien tilan kattoon. Liikunta- tai vastaavissa tiloissa käytetään useampia ilmaisimia ja tyypillisesti seinäasennuksena, jolloin asennuskorkeussuositus on kolme metriä. Liikuntatiloissa ilmaisimet suojataan aina iskulta. Valoisuusanturit asennetaan niin, ettei ohjattava valaistus vaikuta anturin saamaan mittatietoon.

Suora auringonvalo anturille on estettävä, ja valittava paikka, missä anturi ei ole likaantumisen alttiina (Sähkötieto, 2014, s. 11). Huonetiloihin vakiovalosäätöjennistimien sijoitetaan tilan yläosaan niin, että anturi huomio tilan pinnasta heijastuvan valon, mutta ei ole vaikutuksessa auringon tai valaisimen valoon.



Läsnaölotunnistin



Hämäräkytkin



Valoisuusanturi IP54

Kuva 36. Oppilaitoksen läsnaölo- ja valoisuudentunnistuslaitteita

4.3 Toimilaitteet

Toimilaitteet ovat esimerkiksi ilmanvaihdon sulkupeltien tai nesteverkoston venttiilien ohjaamiseen olevia laitteita (kuva 37) (Härkönen ym., 2018, s. 92). Toimilaitteet ovat kaksiasentoisia (on/off) tai portaattomasti ohjautuvia, yleisesti 0–10 V DC viestillä toimivia. Ohjausta voidaan suorittaa 3-pisteohjauksella (ns. auki-seis-kiinni). Toimilaitteiden moottorit ovat AC/DC-moottoreita tai askelmoottoreita. Käyttöjännite on 230 V AC tai 24 V AC/DC. Toimilaitteessa on oltava asennonosoitus, josta on tulkittavissa laitteen toiminta (Sähkö-tieto, 2014, s. 13). Toimilaitteen vääntömomentin ja sulkuvoiman on oltava riittävä ohjattavalle laitteelle. Laitteen sulkeutuminen ja avautuminen on tarkastettava asennuksen ja virityksen yhteydessä.



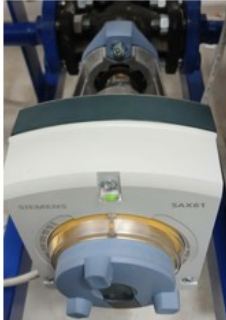
Kuva 37. Erään rakennuksen toimilaitteita ilman- ja nesteensäätöön.

4.3.1 Venttiilit

Venttiilin toiminta perustuu venttiilikaran liikkumiseen lineaarisesti tai kiertämällä (Härkönen ym., 2018, s. 92–93). Toimilaite ajaa venttiiliä sille määritetyn ajoajan perusteella, tyypillisesti 30–120 s. Säätoventtiilit ovat normaalisti istukkaventtiilejä, joiden karaan kiinnitettyllä keilalla tai lautasella muutetaan virtauksen määrää. Ominaisuuskäyrä voi olla lineaarinen tai tasaprosenttinen. Venttiilille annetaan ominaisuusvirtausarvo, k_{vs} -arvo, joka tulee virtauksen määrästä m^3/h tietyllä paine-erolla.

Muita venttiilityyppejä on palloventtiilit, jotka soveltuvat LVI-prosesseihin ja läppäventtiileitä käytetään suurissa auki/kiinni-suluissa (Härkönen ym., 2018, s. 92–93). Pienventtiilejä on usein käytössä lämmitys- ja jäähdytysverkoston jälkisäädöissä. Magneettiventtiilin toiminta

perustuu venttiin ja toimilaitteen yhdistelmään, jossa karan liike syntyy sähkömagneettisen kelan avulla. Magneettiventtiilit soveltuvat on/off-ohjauksiin (kuva 38).



Venttiili moottorilla



Magneettiventtiili



Säätöventtiilejä

Kuva 38. Erään rakennuksen venttiilejä toimilaitteilla.

Venttiilitoimilaitte asennetaan venttiin niin, että asennon osoitin on tarkasteltavissa ja käsiohjaukseen on päästävää käsiksi (Sähkötieto, 2014, s. 13–14). Venttiili toimilaitetta ei saa asentaa venttiin alapuolelle. Laitteen asteikon tulee kuvata säädettävän prosessin vaikutussuuntaa. Ajosuunnat ja liikepituudet tarkistetaan, ja kaapeloinnissa on huomioitava vedonpoisto ja tiivistysholkki sekä kaapeliin jätetään huoltolenkki.

4.3.2 Ilmanvirtojen toimilaitteet

Ilmanvaihtojärjestelmässä ilman virtauksen säätöön tai rajoittamiseen käytetään säätö- tai sulkupeltejä (Härkönen ym., 2018, s. 94–95). Peltimoottorien toimintatapa on auki/kiinni tai portaaton eli suhteellisesti ohjattava. Sähkökatkon ja siitä seuraavan mahdollisen jäätymisvaaran varalta esimerkiksi kriittisen, raitis- ja jäteilmapelttien toiminnan on oltava jousipalautteinen, joten peltimoottorin toimintaperiaate on oltava virrattomana kiinni ja jousipalautteinen. Peltimoottorien käyttöjännitteet ovat tyypillisesti 24 AC/DC V tai 230 AC V. Säätöviestinä on 0–10 V DC tai 2–10 V DC. Valmistajat ilmoittavat peltimoottorien vääntömomentit ja moottorit valitaan säädettävän pellin koon mukaan, 5 Nm vääntömomentti jokaista säädettävää peltineliötä kohdin.

Peltimoottorin asennus tapahtuu säädettävän laitteen akseliin tai mahdollisesti tähän tarkoitukseen valmistettuun vipumekanismiin (Sähkötieto, 2014, s. 14). Toimilaitte asennetaan asennon osoittimen ollessa nolla-asennossa ja säädettävän pellin ollessa kiinni ja asteikon tulisi kuvata pellin toimimissuuntaa. Asennon osoittimen on oltava tarkasteltavissa ja käsiohjaukseen on päästävä käsiksi. Kaapeloinnissa on huomioitava vedonpoisto, tiivistysholkki ja huoltolenkki.

Rakennuksen paloturvallisuuden takia ilmanvaihtojärjestelmä ei saa myötävaikuttaa palon tai savukaasujen leviämiseen vaaraa aiheuttavalla tavalla (Oksanen, 2012, s. 50). Rakennuksien paloluokitukset määritellään P0-, P1-, P2- ja P3-luokituksilla Ilmanvaihdossa rakennusosiin kohdistuvat vaatimukset kuivataan merkinnöillä tiiviys (E), eristävyys (I) ja rajoitettu savuvuoto (S). Merkintöjen jälkeen ilmoitetaan palonkestävyysaika minuutteina (taulukko 10) esimerkiksi EI 60.

Taulukko 10. Palonrajoittimien palonkestävyyden luokitusajat minuutteina (Oksanen, 2012, s. 50).

EI	15	20	30	45	60	90	120	180	240
E			30		60	90	120		

Ilmanvaihtokanavat kulkevat läpivientien kautta eri tiloihin ja näin eri palo-osastoille (Oksanen, 2012, s. 21–22). Palokatolla tarkoitetaan kohtaa, missä läpiviennistä kulkee taloteknisiä järjestelmiä tilojen läpi, ja tämä kohta on tiivistetty hyväksytyllä menetelmällä. Ilmanvaihtokanavassa palokatkon kohdalla on palonrajoitin eli palopelti (kuva 41), joka sulkeutuu automaattisesti lämpötilan tai savukaasun vaikutuksesta. Palonrajoittimen sulkeutumislämpötila yleensä on $70\text{ °C} \pm 5$, mutta vain erityisistä syistä, esimerkiksi tilan korkean käytölämpötilan vuoksi voidaan myös valita $20\text{ °C} \dots 30\text{ °C}$ suurempi lämpötila. Palopellin jatkuva toimintakunto on varmistettava säännöllisellä koekäytöllä ja mahdollisella vikahälytyksellä. Toimilaitte sallii pellin kiinni menemisen virrattomana, joten automaation avulla voidaan toiminta testata esimerkiksi kerran kuussa. Toimilaitteen mikrokytkimet indikoivat automaatiojärjestelmälle ja valvomolle tilatiedon kiinni/auki.

Ilmamääräsäätöisessä järjestelmässä tavoite on ylläpitää tarpeellinen virtaus paineenvaihtelusta huolimatta (Härkönen ym., 2018, s. 95). Tarpeenmukaisella ilmanvaihtojärjestelmällä voidaan tulo- sekä poistoilmanvaihto ohjata tilakohtaisella ilmamääräsäädöllä (IMS)

(kuva 39), käyttäen apuna esimerkiksi tilan hiilidioksidi- tai lämpötilatietoa. IMS-yksikön läpi menevää ilmavirtaa säädetään paine-erolähtetimen, säädinyksikön ja säätöpellin avulla. Toiminta voi perustua myös ultraäänianturin toimintaan paine-erolähtetimen sijasta.



IMS = Ilmamääräsäädin



Palopelti toimilaitteella

Kuva 39. Erään rakennuksen ilmamääräsäädin (IMS) ja palopeltimoottori.

4.4 Moottorit ja pumput

Ilmanvaihtokoneessa puhallinmoottoreina käytetään useasti hyvän hyötysuhteen omaavia EC-moottoripuhallin tyyppiä (kuva 40) (Härkönen ym., 2018, s. 97–98). EC-moottori (Electronically Commutated DC motor) on elektronisesti kommutoitu tasavirtamoottori. EC-moottori on energiatehokkaampi kuin perinteinen taajuusmuuttajalla ohjattu oikosulkumoottori. EC-moottori ei tarvitse taajuusmuuttajaa, vaan tehon säädön hoitaa moottorin oma elektroniikka. Tasavirtamoottori voidaan kytkeä sähköverkkoon säätöyksion avulla, joka tyypillisesti on integroituna moottoriin. Pyörimisnopeutta voidaan ohjata automaation 0–10 V DC ohjausviestillä tai väylän avulla, alueella 0–100 %. EC-moottorin huonona puoleena on, ettei niitä saada valmistettua niin tehokkaita kuin muista tyypillisistä moottorivaihtoehdoista, mutta useasti rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmät vaativat n. 5 kW moottoritehoja. Tähän tarkoitukseen kyseiset moottorit sopivat hyvin. Suurempia tehoja EC-moottoreilla saadaan ns. puhallusseinällä, johon on asennettu useampi EC-moottorilla oleva puhallin. EC-moottori ei aiheuta taajuusmuuttajien kaltaisia suurtaajuushäiriöitä, joten EC-moottorin ja jakokeskuksen välinen kaapelointi voidaan toteuttaa normaalilla moottorikaapelilla. EC-moottorien alasajo täytyy aina tehdä hallitusti ohjausviestin avulla. Pelkkä vaihejännitteen katkaiseminen moottorilta, saattaa aiheuttaa moottorin rikkoutumisen. Tyypillisesti alasajo voidaan tehdä hallitusti valvomosta.

Suurempia tehoja tarvittaessa voidaan käyttää muita moottorityyppejä kuten perinteiset oikosulkumoottorit (kuva 40), kestomagneettimoottorit (PM-moottori) ja tahtireluktanssimoottorit (Sähkötieto, 2018, s. 3). Nämä moottorityypit tarvitsevat taajuusmuuttajan rinnalle. Taajuusmuuttajan oikea toiminta edellyttää parametrisoinnin, johon laitevalmistajilla on omat ohjeistukset. Perusparametrien asetteluun kuuluu mm. maksimi- ja minimitaajuudet, käyttötaajuus sekä ylivirtaraja, käynnistys- ja pysähdyshidastukset sekä lukitus-, esto- ja ohjausparametrit. Kestomagneettimoottorien parametrisointi saattaa vaatia laskentaa muiden parametrien perusteella.

LVIK-järjestelmässä käytetään nesteiden liikuttamiseen putkistoissa pumppuja. (Suomäki & Vepsäläinen, 2013, s. 45). Pumppuja on lämmitysjärjestelmissä ja ilmanvaihtokoneen yhteydessä. Pumppujen käyntiä voidaan ohjata rakennusautomaation avulla ja niiden käynti- ja tilatiedoista saadaan informaatiota valvomoon. Pumppuja ohjataan tarvittaessa taajuusmuuttajilla (kuva 40).



EC-moottori puhaltimet

Taajuusmuuttaja ja oikosulkumoottori

Pumppu

Kuva 40. Erään rakennuksen ilmanvaihdossa käytetyt EC-puhaltimet ja kiertovesipumppu.

4.5 Alakeskukset

Valvonta-alakeskus (VAK) on rakennusautomaatiojärjestelmälle tarkoitettu keskus, mihin liitetään rakennuksen kentälaitteet (Piikkilä & Sahlstén, 2017, s. 32). Kentälaitteet liitetään alakeskuksessa tulo- ja lähtöpiireihin. Tulopiiristä puhuttaessa käytetään kirjainta I (Input) ja lähtöpiiristä O (output)-kirjainta. Fyysinen I/O -liitäntäpiste-termiä käytetään, kun halutaan erotella I/O-pisteet ohjelmallisista, fyysisesti kytkettäviin pisteisiin. Fyysiset I/O -pisteet jaotellaan digitaalisiin (DI/DO), analogisiin (AI/AO) sekä pulssilaskentapisteisiin (kuva 41).

Valvonta-alakeskuksessa on rakennusautomaation ohjainyksikkö, jonka avulla kenttälaitteilta saatu data käsitellään (Härkönen ym., 2018, s. 68–69). Alakeskus voi muodostua kiinteäpisteisestä CPU-yksiköstä tai I/O-moduuleista koostuvista yksiköistä ja alakeskus sisältää jonkun valmistajan rakennusautomaatiojärjestelmän sekä ohjaukseen tarvittavat komponentit mm. keskusyksikön, I/O-moduulit, virtalähteet ja releet sekä termostaatit. I/O-moduuli on keskukseseen sijoitettu elektroniikkamoduuli, johon kenttälaitteista tuleva signaaliapeli liitetään. Alakeskukset voivat toimia itsenäisenä yksikkönä tai ne ovat yhteydessä hallintotasoon. Tämä mahdollistaa rakennusautomaation valvomisen sekä datan keruun.



Kuva 41. Erään rakennuksen valvonta-alakeskus ja keskuksessa olevia komponentteja.

4.6 Säädin

Säädin vertaa asetuservoa ja mittausarvoa, minkä jonkin anturi säätimelle lähettää. (Suomäki & Vepsäläinen, 2013, s. 23). Säädin pyrkii säilyttämään annetun tasapainotilan ohjaamalla järjestelmän toimilaitetta. Varsinkin asuinrakennuksissa on huonesäätimiä tai huonetermostaatteja, minkä avulla käyttäjä voi määritellä tilakohtaisen lämmityksen tai jäädytyksen. Tyypillistä on, että asuinrakennuksissa lämmityspiiriä ja lämmintä käyttövettä säätää yksikkösäädin. Säätimissä on valmiita säätökäyriä käytettävissä, ja usein käyttöönotto on suhteellisen vaivatonta.

4.7 Rajapinta

Rajapinnalla tarkoitetaan rajaa, missä kaksi tai useampi erillinen järjestelmän komponentti vaihtaa tietoja (Uusitalo ym., 2023, s. 44). Ohjelmointirajapinta API (Application Programming Interface) määrittelee, miten eri ohjelmat voivat keskustella keskenään. Rajapintoja tarvitaan esimerkiksi alakeskuksen ja jonkin erillisjärjestelmän, kuten lämpöpumpun integroimiseksi automaatiojärjestelmään. Rakennusautomaatiossa valvomon ja automaatiota-son välinen rajapinta on tyypillisesti TCP/IP-protokollapino ja rakennuksen yleiskaapelointiverkko. Tiedon kerääminen rakennuksen energiahallinnasta ja tämän datan hyötykäyttö on lisännyt erilaisia palveluja rakennusautomaation ympärille. Optimointipalvelut ja keskitetyt valvomoratkaisut edellyttävät myös palvelurajapintojen käyttöä, kuten esimerkiksi REST API.

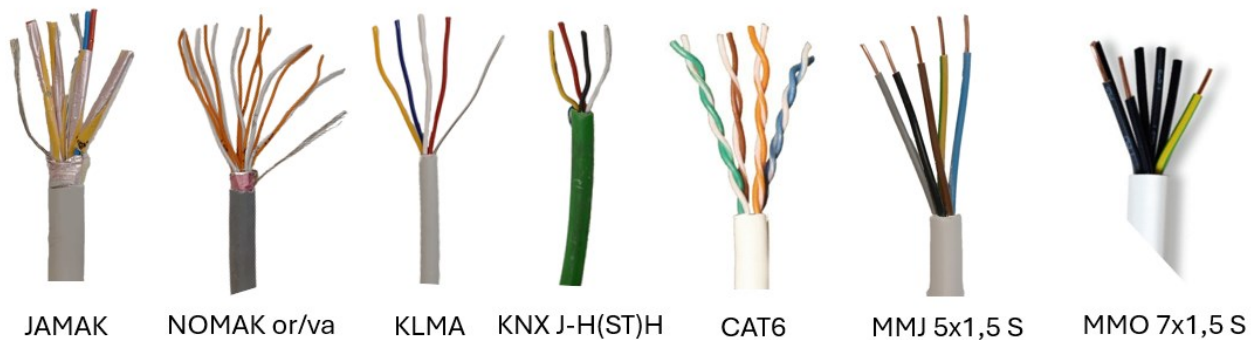
4.8 Kaapelit

Kierretyn parin parikierron tasaisuus on tärkeää säilyttää mahdollisimman hyvin (Liedes ym., 2022, s. 90–92). Tämä tarkoittaa, että kuoritun kaapelin parikiertoa avataan mahdollisimman vähän. Häiriösuojatuissa kaapeleissa suojat jatketaan luotettavasti jatkoksissa haaroituksissa ja kaikissa muissa kaapeloinnin liitoksissa. Rakennusautomaatiossa ns. kelluvan maadoituksen rakentaminen tarkoittaa, että suojat maadoitetaan yhteen potentiaalintauspisteeseen ja häiriöjohtimen toinen pää jätetään kytkemättä. Kenttälaitteelle jätetään huoltolenkki niin, että laitetta voidaan huollon aikana tarkastella.

Rakennusautomaation kaapeloinnissa käytetään instrumentointikaapeleita kuten NOMAK HF (kuva 42), jossa on kierrettynä numeroituna valkoinen ja oranssi pari (Härkönen ym., 2018, s. 104). NOMAK-kaapelia valmistetaan nykyään myös väreillä valkoinen ja sininen pari (Prysmian, 2025). Parien lukumäärä vaihtelee 2...48 ja yksi johdin on 0,5 mm² hehkutettua tinattua kuparia. Parempaa sähkömagneettistä häiriösuojaa tarvittaessa käytetään JAMAK HF (kuva 42), missä on kaksi johdinta ja maadoitusjodin suojattuna alumiinimuovinauhalla. Parit on eroteltu numeronauhalla ja johtimien värit ovat a-johdin sininen ja b-johdin punainen. Kaapeli kokoja on 2...24 pariin ja esimerkiksi 8 parinen ilmoitetaan 8x(2+1)x0,5. JAMAK käytetään esimerkiksi taajuusmuuttajan ohjauksessa.

KNX-järjestelmän sertifioidun kaapelin (kuva 42) tunnistaa vihreästä ulkovaipan väristä ja johtimien värit ovat musta, keltainen, valkoinen ja punainen (Härkönen, 2024, s. 81–82) KLMA (kuva 42)-merkinantokaapelissa johtimet on kerrattu pareiksi, ja johtimien värit ovat 4x0,8+0,8-kaapelissa sininen, keltainen, valkoinen ja punainen. Värit 2x0,8+0,8 ovat sininen ja keltainen. Kaapelin johtimet ilmoitetaan 2x2x0,8. DALI-järjestelmän kaapeloinnissa voidaan hyödyntää normaalia MMJ 5x1,5 S kaapelia. Ohjauskaapelina 450/750 V nimellisiin jännitteissä voidaan myös käyttää yleisesti MMO 7x1,5 (kuva 44).

Väyläkaapelina alakeskuksen ja valvomon välillä käytetään useasti CAT-6-kaapelia RJ-45-liittimillä (Sähkötieto, 2022, s. 14). RS-485-kenttäväylä kaapeliksi suositellaan käytettäväksi esimerkiksi BELDEN 9842-kaapelia, jonka nimellinen ominaisimpedanssi on 120 Ω (Belden, 2025). RS-485-väylän kytkemisessä varmistetaan, että A+ ja B-liittimiin on koko verkossa kytketty samat johtimet. Johdinparien ristiin kytkentä kohdassa väylän viestintä katkeaa. Päätevastuksilla tehty terminointi (120 ohmia) tehdään väylän molemmissa päissä. Väyläkaapelin hyllyasennuksessa vältetään liian jyrkkiä kaapelin taittoja ja liian tiukkoja johdinside kiinnityksiä. Automaatiokaapelointi asennetaan pienjännitekaapelin kanssa aina hyllyn vastakkaiselle puolelle.



Kuva 42. Oppilaitoksen opetuksessa käytettäviä rakennusautomaation kaapeleita.

4.9 Langaton asennus

Langattomat radiotaajuudella toteutetut ratkaisut mahdollistavat laitteiden sijoittelun vapaasti (Härkönen, 2024, s. 50). Radiosignaali ei edellytä näköyhteyttä lähettävän ja vastaanottavan laitteen välillä, mutta radiosignaalin kyky läpäistä materiaalia on rajallinen.

Metallista valmistettu sähkökeskus tai asennuskanavat estävät lähes täydellisesti radiosignaalin kulun. Tämän tyyppiset esteet luovat katvealueita lähettävän laitteen näkökulmasta, eikä signaalin vastaanotto ole katvealueella mahdollista. Asennustyössä voidaan huomioida yleisempien rakennusmateriaalin signaalin vaimentamisen suunta-antavalla ohjeistuksella:

- tavallinen kipsilevy vaimentaa noin 10 %
- tiiliseinä vaimentaa noin 30 %
- raudoitettu betoni vaimentaa noin 50–70 %
- metallilevy tai -ritilä vaimentaa noin 90 %
- tavallinen lasi vaimentaa noin 20 %
- selektiivinen lasi vaimentaa noin 40–50 %

Esimerkiksi väestösuojien betonivalu sisältää paljon harjaterästä, ja metallinen kalvo voi olla myös rakennuksen ulkoseinissä käytetyissä eristeissä (Härkönen, 2024, s. 50). Valmistajat ilmoittavat laitteissaan maksimikantoetäisyyksiä. Signaalin vaimenemista tapahtuu muidenkin kuin rakennusmateriaalien takia, esimerkiksi tilan tavaroista tai vaikkapa käyttäjistä. Tästä syystä on hyvin tyypillistä, ettei maksimikantomatkoja saavuteta. Mikäli laitteissa on erilliset antennit, signaalin voimakkuuden optimoimiseksi, on asennuksessa pyrittävä siihen, että antennit asetetaan aina pystysuuntaan. Radiosignaali on voimakkaampaa antennin sivuilla.

Radiosignaalin vaimenemisen lisäksi on mahdollista, että esteet heijastavat signaalin. Metallipinnat tai metallia sisältävät materiaalit heijastavat radioaaltoja voimakkaasti (Härkönen, 2024, s. 50–51). Heijastuksista toisinaan voi olla hyötyä tai haittaa. Jos heijastunut signaali kulkee katvealueen taakse, on heijastuksesta saavutettu hyötyä. Signaali voi kulkea lähettäjältä vastaanottimelle samanaikaisesti suoraan tai myös heijastuksen kautta. Eri reittejä kulkenut signaali on signaalien summa ja erilaisten etenemisaikojen vuoksi summasignaali saattaa olla voimakkaasti vaimentunut. Ilmiö voi olla kyseessä, jos vastaanotinta siirtäessä hieman signaalin voimakkuus vaihtelee paljon.

4.10 Valvomo

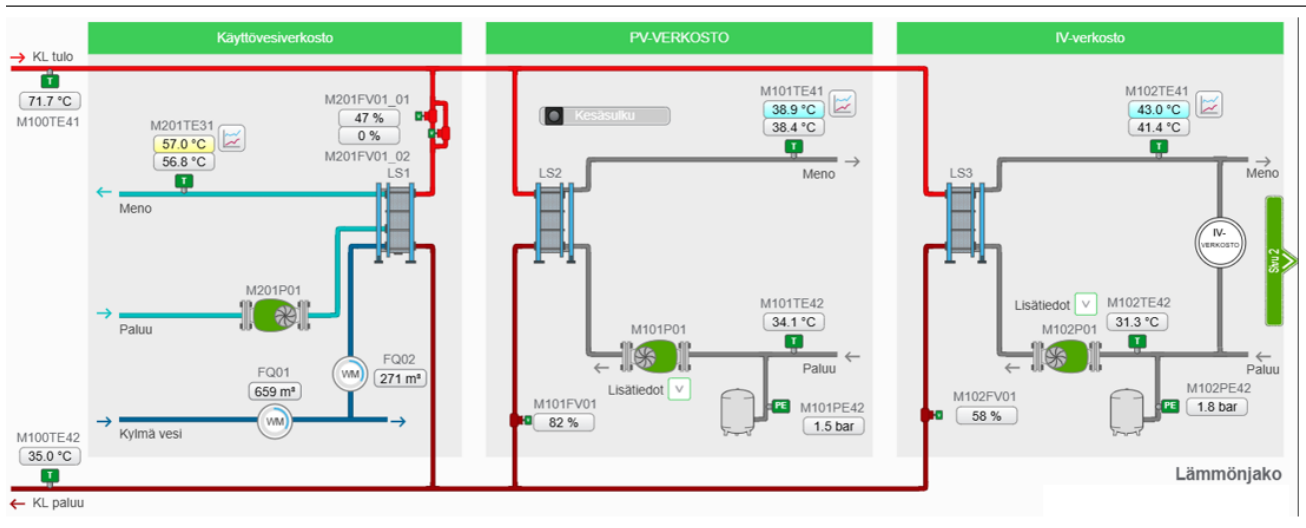
Rakennuksen automaatiota ohjataan, valvotaan ja seurataan valvomon avulla, etänä tai rakennuksen tiloista käsin (Uusitalo ym., 2023, s. 8–9). Valvomon avulla voidaan seurata reaaliajassa rakennuksen laitteiden toimintaa ja prosessia sekä pidetään yllä sisäolosuhteita ja energiatehokkuutta. Rakennusautomaation historiatietojen tallentamisen mahdollisuuden ja prosessien reaaliaikaisen seuraamisen ansiosta, valvomolla on keskeinen rooli vikatilanteiden ratkaisemisessa.

Valvomojärjestelmän hälytysvalvonnassa hälytykset ilmaistaan valo- tai äänimerkeillä, huomioväreillä, vilkuttavilla kuvakkeilla tai näiden yhdistelmillä (Uusitalo ym., 2023, s. 37). Ilmanvaihtojärjestelmien yleisempiä hälytyksiä ovat puhaltimien tai pumpun pysähtyminen, jäätymissuojan antamat hälytykset tai koneen käyntitila ei vastaa ohjauksen tilaa.

Rakennusautomaatiojärjestelmän hälytykset on jaettu hälytysluokkiin (A–B–C–D) tai vastaavasti numeroluokitukseen (1–2–3–4) (Uusitalo ym., 2023, s. 63). Hälytysluokituksilla kerrotaan kiireellisyys eli hälykseen tarvittava reagointinopeus:

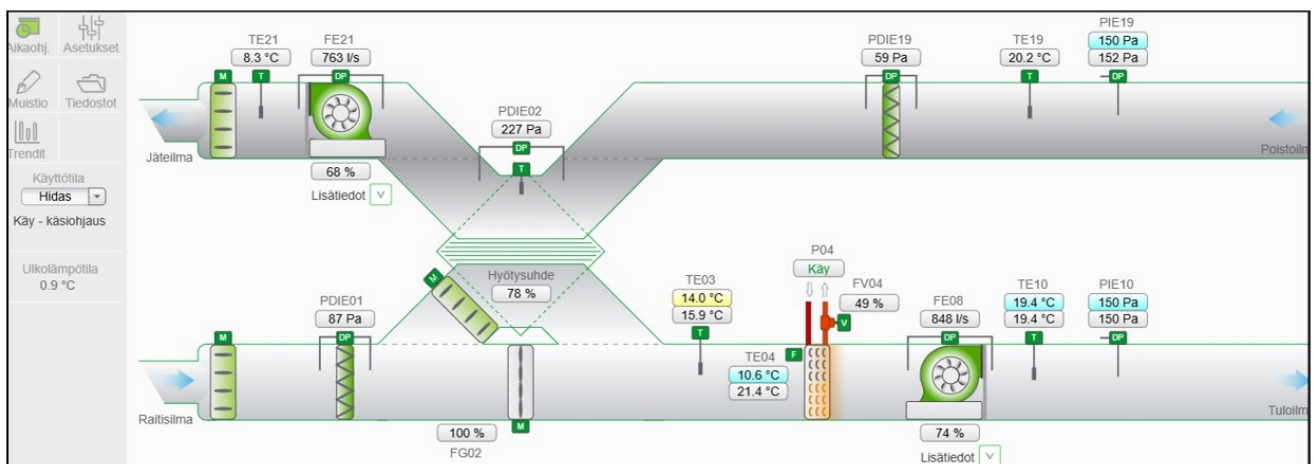
- A-luokan hälytys on turvallisuuteen, merkittävään taloudelliseen vahinkoon tai hengen ja terveyden vaaraan liittyviä. A-luokan hälytyksiin on reagoitava välittömästi.
- B-luokan hälytykset ovat kiireellisiä prosessin vikatilanteita, mistä voidaan olettaa aiheuttavan laajempia laiterikkoja tai vahinkoja, esimerkiksi jäätymissuojahälytys.
- C-luokan hälytys sisältää prosessin ja erillispisteiden kiireettömiä hälytyksiä, esimerkiksi mittausraja-arvohälytykset tai puhaltimien ristiriitahälytykset.
- D-luokan hälytykset ovat huoltohälytyksiä, esimerkiksi suodatinvaihtohälytykset tai puhaltimien käyttötuntihälytykset.

Kuvan 43 esittävän valvomon näytöstä nähdään erikseen kuvan rakennuksen lämmönjakoprosessit, siitä voidaan tarkastella esimerkiksi meno- ja paluuveden lämpötiloja, kierto-vesipumpun toiminnallisuutta, verkoston painetta ja kulutusseurantaa.



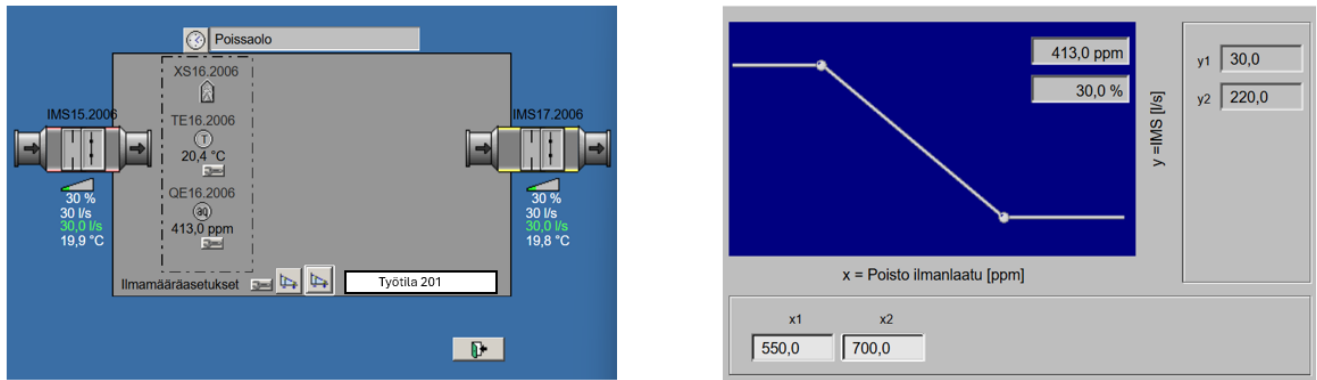
Kuva 43. Erään rakennuksen lämmönjakografiikka valvomosta.

Kuvan 44 valvomon näytöllä näkyvästä ilmanvaihtokoneen prosessista nähdään toiminnallisuus mm. puhaltimien toiminta ja ilmamäärä, raitis-, jäte-, tulo- ja poistoilman lämpötilat, paine-eromittaukset kanavasta ja suodattimien yli, LTO-hyötysuhde, peltien asentotiedot ja lämmityspatterin toiminta.



Kuva 44. Erään rakennuksen IV-koneen valvomonäyttö.

Huonekohtaisia ilmamäärämittauksia voidaan myös tarkastella valvomosta käsin: Ilmamääräsäätimien, poisto- ja tuloilman määrä, lämpötila ja tilatieto. Pitoisuusmittaus QE ja läsnäoloanturien XS ja lämpötila TE näkyvät näytöllä (kuva 45).



Kuva 45. Erään rakennuksen tilan ilmamäärävirtojen seuranta ja poistoilman CO₂-määrän seuranta.

Valvomosta nähdään käytännössä koko rakennusautomaatioprosessi ja tilatiedot ja ovat käyttöliittymät ovat visuaalisia ja graafisesti kehittyneitä tarkastelua varten (Uusitalo ym., 2023, s. 89) Vaikka valvomosta voidaan reaaliajassa ja historiatietojen perusteella tarkastella toimintaa sekä vikatilanteita on hyvin tyypillistä, ettei vika näy suoraan valvomon näytöltä, vaan vian syy joudutaan päättelemään eri tiedoista. Tämän tyyppisiä vikatilanneharjoituksia löytyy kirjallisuudesta, esimerkiksi ST-käsikirjan 22, Rakennusten automaation valvomot-kirjan liitteistä. Pääpiirteittäin valvomon näytöltä huomiota kannattaa kiinnittää värikoodeihin, asetusarvojen ja mittausarvojen vertaamiseen, tilannetietoihin ja historiatietoihin. Anturiviasta johtuvan mittausvirheen ilmaantuessa automaatiojärjestelmä toimii asetettujen arvojen ja mittaustietojen perusteella, välittämättä siitä mikä todellinen tilanne on.

5 Nykyinen opetusympäristö ja kehittämisen perustelut

Tässä luvussa tarkastellaan nykytilanne rakennus- ja kiinteistöautomaatio-opetuksen toteuttamisessa Seinäjoen Sedun Törnävän kampuksen sähkö-osastolla. Rakennusautomaation opetukseen on aikaisemmin valmistettu KNX-, DALI- ja Casambi-salkkuja, joiden avulla opiskelijat ovat voineet harjoitella eri järjestelmän käyttöönottoa sekä ohjelmoimista (kuva 46). Valaistusharjoitteita voidaan myös tehdä Pledj-järjestelmän tuotteilla.



KNX-salkku



DALI-salkku



CASAMBI-salkku

Kuva 46. Sedun opetuksessa käytettävät KNX-, DALI- ja Casambi-järjestelmät.

Muiden kiinteistö- ja rakennusautomaatiojärjestelmien osalta opetuksessa käydään läpi asennus- ja parametrisointiharjoitteita, antenni- ja yleiskaapelointi- sekä palo- ja tilaturvallisuusjärjestelmät (kuva 47) ja näiden lisäksi tutustutaan kameravalvontaan. Palo- ja tilaturvallisuusjärjestelmien osalta laitteistoja on uusittu sekä laajennettu, joten järjestelmien opetuksessa ei ole tällä hetkellä kehittämisen tarvetta.



DSC NEO hälytinjärjestelmä



Inim SmartLine paloturvajärjestelmä



TEKNOWARE turvavalokeskus

Kuva 47. Oppilaitoksen opetuksessa käytettävät palo- ja tilaturvalaitteistot.

LVISK-järjestelmien automaation opetuksessa ei tällä hetkellä ole mitään opetusympäristöä eikä teoriaosuutta. Valaistuksen asennusharjoitusten osalta ei ole varsinaista alustaa käytössä. Eri järjestelmien valaistuksen ohjausta tarkastellaan teorian ja ohjelman käyttöönoton kautta.

Rakennusautomaation opetusympäristön kehittäminen aloitettiin tarkastamalla Opetushallituksen määräyksen (Opetushallitus, 2021) ja sen 1.8.2022 voimaan tulleen Sähkö- ja automaatioalan perustutkinnon perusteet ja sen tutkinnon osa, rakennusautomaatioasennukset (106405). Perusteiden ammattitaitovaatimukset rakennusautomaatioasennuksista ovat:

Opiskelija valmistautuu rakennusautomaatioasennuksiin

- noudattaa rakennusautomaatioasennuksissa tarvittavia dokumentteja, ohjeita ja suunnitelmia
- tulkitsee rakennusautomaatiojärjestelmän laitteiden, komponenttien ja prosessien toimintaa dokumenttien, ohjeiden ja suunnitelmien perusteella
- varmistaa automaatioasennuksissa tarvittavat työvälineet, suojaimet ja materiaalit sekä varmistaa niiden kunnon
- arvioi rakennusautomaatioasennuksiin ja asennusympäristöön liittyviä riskejä
- suunnittelee oman työnsä niin, että oma ja muiden turvallisuus sekä ympäristön vahingoittumattomuus varmistetaan
- tuntee säätöpiirin muodostumisen, säätötavat ja säätömuodot

Opiskelija tekee rakennusautomaatioasennukset

- käyttää turvallisesti ohjeiden mukaisia suojaimia, työvälineitä, materiaaleja ja työmenetelmiä
- tekee rakennusautomaatioasennukset voimassa olevien säädösten, standardien, valmistajan ohjeiden ja asiakasympäristön vaatimusten mukaan
- asentaa ja käyttöönottaa anturit, tunnistusjärjestelmät ja toimilaitteet sekä virittää ne ohjeiden mukaisesti
- asentaa kenttä- ja rakennusautomaatiolaitteet ja ottaa ne käyttöön
- asentaa yleis- ja antennikaapelit
- asentaa palo- ja tilaturvallisuusjärjestelmien kaapelit
- tekee kenttäväyläasennukset
- konfiguroi kiinteistön eri toimintoja
- parametroi ja dokumentoi rakennusautomaatiojärjestelmän
- havainnoi, tulkitsee ja analysoi rakennuksen laitteiden tilaa, arvioi muutosten tarvetta sekä tekee tarvittavat muutokset säätöihin ja ohjauksiin
- etsii ja korjaa järjestelmän vikoja
- tekee työssään tarpeellisia sähköisiä mittauksia, tulkitsee saamiaan mittaustuloksia ja tekee tarvittavia toimenpiteitä mittaustulosten perusteella
- tekee yhteistyötä muiden työalueella toimivien henkilöiden kanssa

Opiskelija viimeistelee ja dokumentoi rakennusautomaatioasennukset

- tekee laite-, johdin- ja kaapelimerkinnät
- varmistaa, että rakennusautomaatiojärjestelmä toimii turvallisesti ja se on asennettu työlle asetettujen tavoitteiden mukaisesti
- tekee tarvittavat muutokset dokumentteihin
- huolehtii asennusympäristön viimeistelystä ja siisteydestä sekä asennustöissä syntyneiden jätteiden lajittelusta
- opastaa asiakasta rakennusautomaatiojärjestelmän käytössä

Opetushallituksen rakennusautomaatioasennuksien (106405) ammattitaitovaatimusten tarkastelun lisäksi tehtiin kysely lähialueen yrityksille, jotka ilmoittavat rakennusautomaation toimialakseen. Kyselyn tarkoitus oli kartoittaa työelämään tarvittavia osaamistarpeita sekä opetukseen haluttavia painotusalueita ja tiedustella työelämän kentällä havaittavia tietotaito puutteita, rakennusautomaatioasentajan opetuksen osalta. Kysely toteutettiin kesän 2024 aikana. Kysymykset lähetettiin sähköpostiviestillä, jossa ohjeistettiin listaamaan

huomioita sähköpostiviestiin. Lähetetyssä kyselyviestissä kerrottiin tulevasta yhteydenotosta noin viikon kuluessa, mikäli vastauksia haluttiin antaa puhelinkeskustelun aikana. Vastauksista 65 % saatiin sähköpostiviestinnällä yhteydenoton jälkeen. Kyselyssä ilmoitettiin, ettei opinnäytetyöhön kirjata vastaajien henkilötietoja. Vastauksia saatiin runsaasti ja palautteen perusteella rakennusautomaation opetuksen kehittämiseksi on todellista tarvetta. Kysymykset olivat seuraavat (toimialakohtaiset):

- Mitä osaamista tai perustietoja vaadittaisiin valmistuvalta sähkö- ja automaatioasentajalta rakennusautomaation osalta?
- Mitä asioita olisi tärkeää painottaa tai ottaa huomioon perustutkinnon opinnoissa nykypäivän rakennusautomaation opetuksessa?
- Mitä selkeitä osaamispuutteita työelämässä näkyy, mihin voitaisiin vaikuttaa perustutkinnon opetuksessa?
- Rakennusautomaatioasentajan perustietotaso liittyen muihin aloihin, kuin sähkö- ja automaatioalaan?

Kyselyyn osallistui yksi tai useampi edustaja yrityksistä ja vastauksista 35 % tuli yrityksiltä, jotka asentavat ja ohjelmoivat rakennusautomaatiojärjestelmiä. Viidennes vastauksista tuli talotekniikan suunnittelu- ja valvontayrityksiltä. 20 % sähköurakointiyrityksiltä, jossa toimintaan kuuluu mm. valaistuksen asennukset sekä ohjaukset. 25 % jakaantui rakennusautomaation konsultoinnin, laitteistovalmistajan tai julkisen sektorin toimijoiden kesken.

Vastauksissa oli paljon yhteneväisyyksiä ja LVIK-järjestelmien ohjauksessa suosituimmat painoarvot liittyivät rakennusautomaation dokumenttien ymmärtämiseen, kuten säätökaavioiden ymmärtämiseen, sähkö- ja kytkentäkuvien tulkitsemiseen, piirustusten lukutaitoon, josta automaation kuvien lisäksi myös LVISK- ja RAK-piirustukset. Huomioita on esitetty seuraavassa tiivistettynä.

- Säättökaavioiden, kytkentäkuvien sekä muiden rakennusautomaatio dokumentit ymmärrystä ja lukutaitoa
- LVIK-, sähkö-, automaatio-, rakennuspiirustusten lukutaito
- Rakennusautomaation komponenttien tuntemus, laitteen toiminnot ja tarkoitus
- Rakennusautomaatiolaitteiden oikeaoppiset asennustavat ja kytkennät
- Alakeskuksen (VAK) komponentit, kytkentäpisteet ja niiden kytkennät
- Varotoimet kuten paloturvallisuus ilmanvaihdossa, jäätymissuojat ja lukituspiirit
- Rakennusautomaation kaapelit ja käyttötarkoitukset
- Johdotuksissa huomioita siisteyteen
- Työnaikaiset merkinnät
- Langattoman tekniikan ja radiosignaalin toiminta
- Rajapintojen ymmärrys
- Valvomon grafiikalta havaittavat suorat tai epäsuorat viat
- Taajuusmuuttajien parametrisoinnit, EC- puhallinmoottori, pumppujen toiminallisuudet
- Väylätekniikan tuntemus, yleiset protokollat, väylän kytkentä ja liitokset
- IP- osoitteet ja etäkäyttöön liittäminen
- Perustason tuntemus ilmanvaihdon-, lämmitys- sekä jäähdytysprosessista
- Tuntemusta rakennusautomaation hybridilämmityksistä
- Pakettikoneiden ja koteloitujen koneiden erot rakennusautomaatiossa
- Indikoinnin ja mittaustietojen tarkoituksen ymmärtäminen
- Rakennuksen energiankulutus ja energianhallinta
- Säättötekniikka, PID- vaikutukset ja säätöportaot
- Vikatilanteiden selvittely, perusmittaustaidot (esim. kytkentävirheet)
- Komponenttien asennusharjoituksia
- Koulutusympäristön muunneltavuus
- Laaja-alainen kiinteistöhallinnan tuntemus on eduksi
- Suomen kielen kirjoitustaito
- Rakennustyömaan muiden urakoitsijoiden toiminnan huomioinen ja yhteistyön ylläpitäminen
- Rakennustyömaan työturvallisuusmääräyksien noudattaminen ja oman työn työturvallisuuden toteutuminen

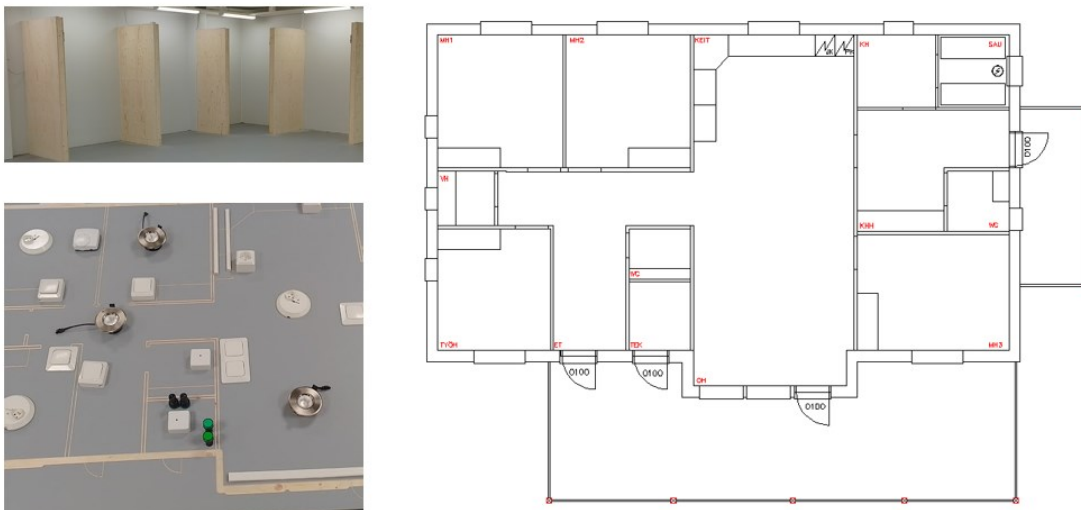
Työelämän palautteen huomioista dokumentointi, komponentit, asennustavat, alakeskuslaitteet, turvatoiminnot, puhaltimet, pumput, kaapelointi, rajapinnat sekä valvomo käsitellään tämän opinnäytetyön osiossa 4. Langatonta tekniikkaa käsitellään osiossa kaksi ja neljä. Väylä sekä protokollat tarkastellaan luvussa kaksi. Osiossa kolme käsitellään LVIK-prosessi, rakennuksen energianhallinta, ilmanvaihtolaitteistot ja säätötekniikka.

Huomion arvoista työelämän palautteessa oli, ettei perustutkinnosta valmistuvalta asentajalta vaadita erikseen minkään rakennusautomaationjärjestelmän ohjelmointiosaamista. Yritykset kouluttavat tarvittaessa käyttämänsä ohjelmiston ohjelmointitaidon, joten perusymmärrys ohjelmoinnista sekä kiinnostus ohjelmointia kohtaa riittää ammatillisesta perustutkinnosta valmistuvalle. Sedussa sähkö- ja automaation perustutkinnossa ohjelmoinnin perusteita opetetaan opiskelijoille esimerkiksi Sähkökäyttöjen asennukset -tutkinnon osassa. Valaistuksen ohjaamisen osalta ohjelmointitaidoista katsottiin olevan hyötyä.

6 Tulokset

Valaistusjärjestelmien ja asuinkiinteistökohtaisen väyläpohjaisten järjestelmien asennusharjoitusten lisäämiseen tarvitaan alusta, missä myös komponenttien asentamiseen ja vaadittavaan kaapelointiin on mahdollisuus harjoitteen kautta tutustua. Alustan tarkoitus on mahdollistaa monen eri järjestelmän asennusharjoitukset, kuten väyläohjaukset ja langattomat ohjaukset sekä perinteiset kaapelointitavat, joissa käytetään esimerkiksi rasiahimmennimiä. Alustaan suunniteltiin myös mahdollisuudet muihin asuinrakennuksien laitteistojen testaamiseen, kuten lattialämmityspiiriin, liike- ja läsnäolotunnistimille sekä ilmanvaihdon toiminnan kotona/poissa-kytkimen demonstroimiseen merkkivaloin.

Ratkaisuksi uuteen rakennusautomaatioluokkaan valmistetaan harjoitusseinien väliin monikäyttöiset alustat, joihin voidaan asentaa eri järjestelmiä. Alustaan sovitetaan omakotitalon tasokuva, jonka muodot jyrsitään 1900 x 1200 mm:n vanerilevylle. Asennukset tehdään uppoasennuksena ja putkitusten avulla kaapelointi vietään viereiselle asennusseinälle olevaan keskukseen, mihin asennetaan kulloinkin tarvittava laitteisto (kuva 48).



Kuva 48. Luokkahuone, harjoitusalustan prototyypin suunnittelu ja levyyn tuleva tasokuva.

Eniten kehitettävää rakennusautomaation opetuksessa Sedussa on LVIK-järjestelmän ohjauksien osalta. Tämän osuuden kehittämisen perustelut tulevat myös ePerusteista sekä suoraan työelämän palautteesta. Opetukseen luodaan teoriaosuus rakennusautomaatiosta. Teoriassa käydään läpi perusasioita väylätekniikasta ja eri järjestelmistä tämän

opinnäytetyön osuudesta kaksi, rakennuksen energiatehokkuudesta ja LVIK-laitteistojen perustiedoista sekä prosesseista, osiosta kolme, dokumenttien tulkinnasta ja rakennuksen automaatiolaitteiden toiminnoista sekä asennuksista luvusta 4. Näiden lisäksi rakennusautomaation opetukseen tulisi lisätä myös osuus väylä- ja säätötekniikan perusteista sekä säätöpiirin virityksestä ja myös prosessiautomaation perusteita. Osa tarvittavista opetuksista käsitellään myös muissa tutkinnonosissa, esimerkiksi taajuusmuuttajien käyttöötoa ja oikosulkumoottorien kytkentää käsitellään Sähkökäyttöjen asennukset, tutkinnonosissa.

Törnävän kampuksen uusien tilojen ilmanvaihtohuoneet ovat niin tilavia, että niissä voidaan käydä tutustumassa prosessiin myös isompien ryhmien kanssa. Instrumentointiharjoitusten ja toiminnallisuuksien testauksen sekä rakennusautomaation kenttälaitteiden asennusharjoituksiin tulisi saada käyttöön tarvittavia LVI-laitteistoja. IV- ja kaukolämpölaitteistoja on olemassa myös kompaktin kokoisia, mitkä sopisivat luokahuoneeseen.

Laitteistolle asennetaan yksi alakeskus, johon tulee jonkin valmistajan järjestelmä ja valmis ohjelmisto sekä mahdollisesti valmius valvomoon. Rakennusautomaation kenttälaitteet voidaan asentaa harjoitusseinien yhteyteen, joko seinille tai luokkaan rakennettuun IV-kanavistoon, oikeita asennustapoja noudattaen. Asennusharjoituksissa harjoitellaan merkintää, laitteiston instrumentoimista, kaapelointia, kytkentää (esim. EC-puhallinmoottorit, pumput, anturit, mittalähettimet, peltimoottorit, venttiilitoimilaitteet ym.) sekä laitteiden asentamista. Laitteistoista testataan sähköiset toiminnot sekä tarkastellaan ilmanvaihtokoneen ja kenttäväylän käyttöönottoa. Pyritään siihen, että opiskelija saavuttaisi perustason rakennusautomaation laitteistoista sekä prosessista ja osaisi tehdä oikeaoppisesti tarvittavat asennukset. Valvomon toiminnan tarkasteluun luodaan opettajalle koulurakennuksen etävalvomojärjestelmään tarkkailijatunnukset.

Yhdellä laitteistolla voidaan isomman ryhmän kanssa toimia niin, että oppilaat johdottavat harjoituksen tarvittavat kaapelit ja asentavat kenttälaitteet. Tämän jälkeen oppilas kytkee kenttälaitteen sekä alakeskuksen johdotuksen. Seuraavaksi oppilas vaihtaa seuraavalle laitteelle niin, että oppilas tutustuu seuraavan kenttälaitteen kytkemiseen. Kenttälaitteet asennetaan harjoitusseinille tai luokahuoneeseen asennettuun IV-kanavaan. Tätä opinnäytetyötä tehtäessä on käyty keskusteluja tarvittavista laitteistoista eri laitetoimittajien kanssa.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää opetusympäristö rakennusautomaation opetukseen toisen asteen koulutukseen Seinäjoen koulutuskuntayhtymälle. Rakennusautomaation perusopetuksen haasteet ovat alan tarvittavien tietojen monialaisuus. Sähkö- ja automaatioalan perusasioiden lisäksi on opetettava muiden eri alojen perusteita ja osittain on opetettava asioita, mitkä selkeästi kuuluvat jo kolmannen asteen opintoihin. Tätä opinnäytetyötä tehdessä jouduttiin useasti pohtimaan, kuuluuko käsiteltävä aihe enää perusopetuksen piiriin. Rakennusautomaatioasentajalta vaaditaan moniosaamista. Erikoisosaamisen kouluttaminen perustutkinnossa ei taas ole viisasta, koska se veisi paljon resursseja sekä työllistyminen mahdollistuisi vain rajatulle ryhmälle. Erikoisosaamistaidot syntyvät tyypillisesti vasta työuran aikana tai jatko- sekä täydennyskoulutuksissa.

Rakennusautomaation lisääntyminen tulevaisuudessa tulee kasvamaan entisestään. Pelkästään energiadirektiivien tiukentumiset sekä energianhintojen epävarmuudet, ajavat kiinteistöjen omistajia kohti energiatehokkaimpia ratkaisuja. Energiatehokkuus voidaan saavuttaa automaation avulla. Rakennusautomaatiojärjestelmiä markkinoille tulee ja poistuu jatkuvasti. Tekoälyn hyödyntäminen on tulossa vahvasti myös kiinteistöjen hallintaan. IoT-laitteet yhdistetään tekoälypohjaiseen alustaan ja näin voidaan analysoida, hallinnoida sekä optimoida energiankäyttöä automaattisesti. Jatkuvasti kasvavaan ja muuttuvaan alaan tarvitaan tulevaisuudessa monentyypisiä osaajia. Taidot kehittyvät, kun perusteet ovat hallinnassa. Perusteiden osaamisella voidaan varmistaa myös se, että laitteistot saadaan toimiaan myös niille suunnitellulla tavalla. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on toimia rakennusautomaation opetusympäristön kehittämisessä Sedussa, mutta myös apuna opetukseen tarvittavien materiaalien valmistelemisessä.

Rakennusautomaation monialaisuuden vaikutuksen vuoksi työelämän palautteen saaminen auttoi osaltaan rajaamaan opinnäytetyön sisällön valitsemista ja laajensi näkökulmia opinnäytetyön tekemiseen. Lisäksi palautteen avulla saatiin hyviä kehitysideoita opetuksen sisältöön. Yrityksiltä saatiin palautetta hyvin ja varsinkin puhelinkeskusteluissa nousi monta asiaa esille, mitä ei esimerkiksi pelkillä kyselylomakkeilla tulisi välttämättä ilmi. Suosittelemme lämpimästi vastaavanlaisissa opetukseen liittyvissä kehitystöissä ottamaan työelämän kannan sekä vaatimukset huomioon.

LÄHTEET

- Alanne, K., Holopainen, R., Hyvärinen, J., Kaappala, E., Ketomäki, J., Kurnitski, J., Könkö, S., Pylsy, P., Railio, J., Seppänen, O., Vuolle, M., Vuorinen, P., & Yrjölä, J. (2024). *Rakennusten energiatekniikka*. Talotekniikka-Julkaisut.
- BACnet. (21.1.2025). *About the BACnet Standard*. <https://bacnet.org/about-bacnet-standard/>
- Belden. (26.4.2025). *Modbus kaapeli*. <https://www.belden.com/products/cable/fieldbus-cable/modbus-cable#sort=%40catalogitemwebdisplaypriority%20ascending&numberOfResults=25>
- Bluetooth. (14.1.2025). *Bluetooth Wireless Technology*. <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>
- Digita. (14.1.2025). *Mikä on LoRaWAN*. <https://www.digita.fi/etusivu/palvelut-yrityksille/digitan-iot-palvelut/lorawan-teknologia/>
- DALI Alliance. (1.2.2025). *Esittelyssä DALI*. <https://www.dali-alliance.org/dali/>
- Decrolux. (2022). *What is CLO – Constant Lumen Output?* <https://decrolux.com.au/learning-centre/2022/what-is-clo-constant-lumen-output>
- Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (2024/1275). Direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202401275
- Fidelix. (2024). *Rakennusautomaatiojärjestelmä kiinteistöön. Tietopaketti onnistuneeseen automaatiojärjestelmän hankintaan*. <https://www.fidelix.com/wp-content/uploads/fidelix-rakennusautomaation-valintaopas-web-7.pdf>
- Glamox. (i.a.). *Human Centric Lighting. The powerful effect of light*. Haettu 23.4.2025, <https://www.glamox.com/en/pbs/human-centric-lighting/>
- Härkönen, K. (2024). *KNX-Teknologian perusteet. ST-käsikirja 23*. (4. uud. painos). Sähköinfo.
- Härkönen, P., Liedes, R., Mikkola, J., Piikkilä, V., Pusa, K., Sahala, A., Sahlstén, T., Sandström, B., Sirviö, A., Spangar, T., & Sulku, J. (2018). *Rakennusautomaatiojärjestelmät. ST-käsikirja 17*. (6. uud. painos). Sähköinfo.
- Hengitysliitto (17.2.2025). *Sisäilmaluokitus*. <https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/uudisrakennuksen-sisailma/sisailmastoluokitus/>

- HTFUTURE (2021). *Mitä eroa SMF:llä ja MMF:llä on?* <https://fi.oadm-cwdm-dwdm.com/info/what-s-the-difference-between-smf-and-mmf-72033299.html>
- International Organization for Standardization (ISO). (1994). *Information technology — Open Systems Interconnection — Basic Reference Model: The Basic* (ISO Standard No. 7498-1:1994). <https://www.iso.org/standard/20269.html>
- KNX Finland. (25.1.2025). *KNX- koulutusympäristö.* <https://www.knx.fi/index.php?k=224721>
- Koskinen, K. (2018). *Automaation historia, nykytila ja tulevaisuus: Automaatio – mistä se on tullut? Automaatiöväylä*, 4–5. https://www.automaatioseura.fi/site/assets/files/1380/automaatio_ennen_nyt_ja_tulevaisuudessa_av_artikkelisarja_2018.pdf
- Liedes, R., Piikkilä, V., Sahala, A., Sahlstén, T., & Sulku, J. (2017). *Kiinteistöjen valvomojärjestelmät, tietotekniset järjestelmät. ST-käsikirja 22.* Sähköinfo.
- Liedes, R., Uusitalo, S., Reinikainen, V., Erkkilä, V., & Koivisto, P. (2022). *Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto, tietotekniset järjestelmät. ST-käsikirja 21* (3. uud. painos). Sähköinfo.
- ModBus Organization (9.7.2020). *Modbus Organization Replaces Master-Slave with Client-Server.* <https://www.modbus.org/docs/Client-ServerPR-07-2020-final.docx.pdf>.
- Motiva. (2024a). *Hallitse huonelämpötiloja.* https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_arki/hallitse_huonelampotiloja
- Motiva. (2024b). *Valaistustieto.* https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/valaistustieto
- Motiva. (2016). *Viihtyisä työympäristö. Ilmastointi ja jäähdytys.* https://www.motiva.fi/files/11023/Viihtyisa_tyoymparisto_Ilmastointi_ja_jaahdytys_2016.pdf
- Metsta. (2019). *Kiinteistöautomaatio.* (SR 247) <https://metsta.fi/standardisointiryhma/kiinteistoautomaatio-sr-247/>
- NIBE. (16.2.2025). *NIBE HEAT. Hybridiratkaisut suuriin kiinteistöihin kaukolämmön rinnalle.* <https://www.nibe.eu/fi/fi/tuotteet/kiinteistolampopumput/nibe-heat-hybridiratkaisut>
- Oksanen, R. (2012). *Ilmanvaihtolaitteistojen paloturvallisuusopas.* SuLVI. https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ilmanvaihtolaitteistojen-paloturvallisuusopas-54E08A3C_E78E_4F7F_88C7_DD6F6CE5F652-118709.pdf/513c992e-1993-1707-6cab-c1635e68c9a9/Ilmanvaihtolaitteistojen-

paloturvallisuusopas-54E08A3C_E78E_4F7F_88C7_DD6F6CE5F652-118709.pdf?t=1603259430648

Opetushallitus. (15.12.2021). *Sähkö- ja automaatioalan perustutkinto. Rakennusautomaatioasennukset.* (Määräys OPH-4947-2021).

<https://eperusteet.opintopolku.fi/#/fi/ammattillinen/7854766/tutkinnonosat/7858750>

Piikkilä, V., & Sahlstén, T. (2017). *Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät, tietotekniset järjestelmät*, (2. uud. painos). Sähköinfo.

Produal. (26.4.2025). *Mittalähettimet.*

<https://www.produal.com/fi/mittalahettimet.html?page=1>

Prysmian. (26.4.2025). *Instrumentointikaapeleiden kaksikko valmiina.*

<https://fi.prysmian.com/node/156>

Ristimäki, N. (2023). *Säätötekniikka: Ohjaukset.* [PowerPoint-esitys]. SEAMK.

Ristimäki, N. (2021). *Säätötekniikka: PID-säätimen kokeellinen virittäminen.* [PowerPoint-esitys]. SEAMK.

Sandberg, E. (2016). *Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät: Perustietoa ilmastotekniikasta rakentamisen ja rakennusten käytön asiantuntijoille (2. p.).* Talotekniikka-Julkaisut. (Alkuperäinen teos julkaistu 2014).

Seinäjoen koulutuskuntayhtymä (Sedu). (i.a. -a). *Hallinto ja päätöksenteko.*

<https://sedu.fi/tietoa-sedusta/hallinto-ja-paatoksenteko/>

Seinäjoen koulutuskuntayhtymä (Sedu). (i.a. -b). Seinäjoki, Törnäväntien.

<https://sedu.fi/kampus/sedu-seinajoki-tornavantie/>

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015.

<https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2015/545>

Suikkanen, T. (7.11.2022). *Rakennusautomaation hyödyt kiinteistölle:*

Rakennusautomaatio. <https://helvis.fi/rakennusautomaation-hyodyt-kiinteistolle/>

Suomäki, J., & Vepsäläinen S. (2013). *Talotekniikan automaatio -käyttäjän opas.* Kiinteistöalan kustannus.

Sähkötieto. (2019). *Rakennusautomaation laite- ja signaalitunnukset.* (ST-kortisto 711.16)

Sähkötieto. (2022). *Rakennusautomaatiojärjestelmän suunnittelu.* (ST-kortisto 701.32)

- Sähkötieto. (2020a). *Rakennusautomaatiojärjestelmän säädökset, määräykset, standardit ja ohjeet.* (ST-kortisto 710.00)
- Sähkötieto. (2014). *Rakennusautomaatiolaitteiden yleisiä asennus- ja valintaohjeista.* (ST-kortisto 710.13)
- Sähkötieto. (2020b). *Sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien laitteiden ja tilojen merkitseminen.* (ST-kortisto 51.25)
- Sähkötieto. (2018). *Taajuusmuuttajakäytöt rakennusautomaatiossa. Asennus ja käyttöönotto.* (ST-kortisto 715.30)
- Talotekniikkainfo. (2024a). *Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas. 13 Poistoilmaluokat.* <https://talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/13-poistoilmaluokat>
- Talotekniikkainfo. (2024b). *Jäähdytys ja viilennys. Jäähdytyksen ja viilennyksen ero.* <https://talotekniikkainfo.fi/ratkaisut-etusivu/jaahdytyksen-ja-viilennyksen-ero>
- Talotekniikkainfo. (2023). *Ilmavirtojen mittaus ja tasapainotus.* https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/2024-01/Ilmavirtojen%20mittaus%20ja%20tasapainotus%20-opas_19.12.2023.pdf
- Tilastokeskus. (i.a. -a). *Rakennus* (Suomen virallinen tilasto). [https://stat.fi/meta/kas/rakennus.html#:~:text=Rakennuksella%20tarkoitetaan%20erillist%C3%A4%2C%20sijaintipaikalleen%20kiinte%C3%A4sti,rakennuksista\)%20erottavien%20seinien%20rajoittamaa%20tilaa.](https://stat.fi/meta/kas/rakennus.html#:~:text=Rakennuksella%20tarkoitetaan%20erillist%C3%A4%2C%20sijaintipaikalleen%20kiinte%C3%A4sti,rakennuksista)%20erottavien%20seinien%20rajoittamaa%20tilaa.)
- Tilastokeskus. (i.a. -b). *Kiinteistö.* (Suomen virallinen tilasto). <https://stat.fi/meta/kas/kiinteisto.html#:~:text=Kiinteist%C3%B6ll%C3%A4%20tarkoitetaan%20kiinteist%C3%B6rekisteriin%20kiinteist%C3%B6n%C3%A4%20merkitty%C3%A4,omistamat%20rakennukset%20ja%20kiinte%C3%A4t%20laitteet.>
- TRIDONIC. (1.2.2025). *Lighting know-how DALI Manual.* https://resources.tridonic.com/PDB/Ressource/Web_TR/brochures/es/DALI-manual.pdf
- Uusitalo, S., Asp, R., Liedes, R., Laaksonen, T., & Härkönen, K. (2023). *Rakennusten automaation valvomot.* *ST-käsikirja 22.* (2. uud. painos). Sähkötieto.
- Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009#Pidm46263580913264>