

SAVONIA



OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN ALA

MAALÄMPÖPUMPUN YHDISTÄ- MINEN RAKENNUSAUTOMAATI- OON

TEKIJÄ Eetu Valkeapää

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Eetu Valkeapää	
Työn nimi Maalämpöpumpun yhdistäminen rakennusautomaatioon	
Päiväys	29.07.2025
	26/0
Yhteistyötaho Fidelix Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä opinnäytetyössä toteutettiin malliprojekti, jossa liitettiin maalämpöpumppu osaksi rakennusautomaatiota hyödyntäen Modbus-väylää. Toteutus tehtiin Fidelix Oy:n urakoimaan kohteeseen, jossa maalämpöjärjestelmä oli osa suurempaa lämmönjaon toteutusta. Väyläliitoksen tarkoituksena on ohjata ja kerätä mittaus- ja hälytystietoja maalämpöjärjestelmän laitteilta.</p> <p>Opinnäytetyö aloitettiin tutustumalla rakennusautomaatiojärjestelmään ja sen osa-alueisiin. Rakennusautomaatiojärjestelmän läpikäymisen lisäksi perehdyttiin kiinteistön elinkaaren, Modbus-väylän ja maalämpöpumpun toimintaan. Malliprojektin toteutus piti sisällään suunnittelun, väyläohjelmoinnin ja toteutuksen kohteella.</p> <p>Tuloksena malliprojektista saatiin toimiva Modbus-väyläliitos osaksi suurempaa lämmönjaon kokonaisuutta.</p>	
Avainsanat Modbus, Maalämpö, Rakennusautomaatio	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	5
2	RAKENNUSAUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ.....	6
2.1	Hallintotaso.....	7
2.2	Automaatiotaso	7
2.2.1	I/O-moduulit ja MultiLINK.....	7
2.2.2	Logiikan ohjelmointi	8
2.3	Kenttätaso	8
2.4	Graafinen näyttöpäätte	8
3	SUUNNITELMAT	11
3.1	Järjestelmäkaavio.....	11
3.2	Säätökaavio.....	11
4	ELINKAARI	13
4.1	Historia- ja energiaraportointi	13
4.2	Hälytykset.....	13
5	MODBUS	14
5.1	Heksadesimaali	14
5.2	Pollaus.....	15
5.3	Väyläasetukset	15
6	MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄ.....	16
6.1	Toimintaperiaate.....	16
7	TOTEUTUKSEN VAIHEET	18
7.1	Toteutus.....	18
7.1.1	Maalämpöpumppujärjestelmä.....	18
7.1.2	MultiLINK-asetukset.....	18
7.1.3	Modbus-rekisterit	20
7.1.4	Modbus -ohjelmointi.....	20
7.2	Näyttöpäätteen grafiikat	21
7.2.1	Prosessin asetussivu	22
7.3	Testaus.....	23
8	POHDINTA.....	24
9	YHTEENVETO	25
	LÄHTEET	26

KUVALUETTELO

Kuva 1. Automaation päätasot (Muokattu lähteestä ST 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2025, 10)	6
Kuva 2. Fidelix MultiLINK (Valkeapää 2025)	8
Kuva 3. Näyttöpäätteen grafiikkaa (Valkeapää 2025)	9
Kuva 4. Säättökäyrä ulkolämpötilasta (Valkeapää 2025)	9
Kuva 5. Aikaohjelma (Valkeapää 2025)	10
Kuva 6. Järjestelmäkaavio (Valkeapää 2023)	11
Kuva 7. Modbus RTU-kehys (Muokattu lähteestä Modbustools, n.d)	15
Kuva 8. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (Muokattu lähteestä Gebwell Oy, n.d.)	16
Kuva 9. Modbus-liittynän eteneminen (Valkeapää 2025)	18
Kuva 10. Kuvankaappaus asetussivulta (Valkeapää 2023)	19
Kuva 11. Kuvankaappaus portin asetuksista (Valkeapää 2023)	19
Kuva 12. Kuvankaappaus IEC-koodista (Valkeapää 2023)	20
Kuva 13. Logiikan rekisterialueet (Valkeapää 2023)	21
Kuva 14. Maalämpöjärjestelmän grafiikkakuva (Valkeapää 2023)	22
Kuva 15. Maalämpöjärjestelmän asetussivu (Valkeapää 2023)	22

1 JOHDANTO

Maalämpöpumppujen liitokset eri rakennusautomaatiojärjestelmiin lisääntyvät jatkuvasti. Yleisin tapa liittää maalämpöpumppu osaksi rakennusautomaatiojärjestelmää on tehdä rakennusautomaation ja maalämpöpumpun välille väyläliitos. Väyläliitokset mahdollistavat helpon ja nopean tavan liittää omalla logiikalla toimiva maalämpöjärjestelmä osaksi rakennusautomaatiojärjestelmää. Tässä työssä väyläliitosten tutkinta rajataan Modbus-väylään ja sen toimintaan.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa toimiva väyläyhteys maalämpöjärjestelmän ja ohjelmoitavan logiikan välille käyttäen Modbus-väyläkommunikaatiota. Ohjelmakoodin ja Modbus-väylän avulla muodostetaan suunnitelmien mukainen malliprojekti.

Työn tavoitteena on tuottaa työn tilaajalle malliprojekti tilanteesta, jossa väyläliitynnän avulla liitetään maalämpöjärjestelmä rakennusautomaatioon. Malliprojektin avulla käydään läpi työvaiheita, jotka ovat oleellisia väyläyhteyden toiminnan varmistamiseksi. Lisäksi tavoitteena on tehdä toteutus siten, että väyläyhteyden mahdollistamia toimintoja päästään hyödyntämään tilaajan asiakkaan kohteella sen elinkaaren aikana.

Opinnäytetyön tehdään yhteistyössä Fidelix Oy:n kanssa ja se suoritetaan osana projektia, joka sisältää maalämpöpumpun liitoksen osaksi rakennusautomaatiota. Projektin valmistuminen on aikataulutettu keväälle 2023.

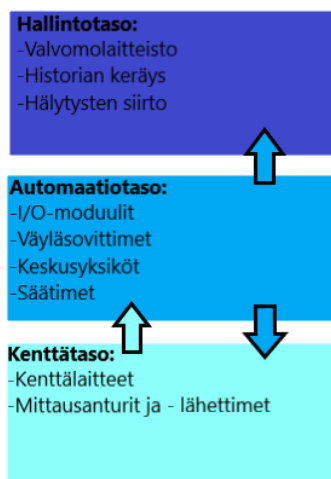
2 RAKENNUSAUTOMAATIOJÄRJESTELMÄ

Rakennusautomaatiojärjestelmä on talotekniikan osa, jonka avulla hallitaan kiinteistön lämmitystä, ilmastointia ja ilmanvaihtoa. Rakennusautomaation järjestelmän toiminta perustuu tiedonkeruuseen ja sen hyödyntämiseen erilaisissa säätöpiireissä. Rakennusautomaatiojärjestelmän avulla pyritään ylläpitämään kiinteistön taloteknisiä prosesseja mahdollisimman energiatehokkaasti. Energiatehokkuutta pyritään parantamaan hyödyntämällä kerättyä tietoa olosuhteista ja toimintatiloista kiinteistöissä. Tietoa voidaan kerätä myös muista kiinteistön järjestelmiltä kuten turvavalo-, murto- ja paloilmotinkeskuksilta. Ylläpidon lisäksi rakennusautomaatiojärjestelmällä mahdollistetaan vikatilanteiden valvonta, mikäli prosessit eivät toimi suunnitellulla tavalla. Energiatehokkuutta parannetaan myös keräämällä kiinteistön käyttäjälle tietoa olosuhteista ja energiaa kuluttavista laitteista. Näiden historiatietojen pohjalta käyttäjä pystyy tekemään erilaisia olosuhte- tai toimintamuutoksia vähentääkseen energiankulutusta. Lisäksi selkeä järjestelmä helpottaa talotekniikan eri prosessien ymmärtämistä, täten helpottaen kiinteistöhuoltoa ja käyttäjää. (ST 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2018, 21.)

Rakennusautomaatiojärjestelmä on myös tehokas tapa pienentää kiinteistön ylläpitokustannuksia. Kiinteistöjen prosessien tehokas optimointi vähentää kuluja energiansäästön lisäksi myös vähentämällä ylläpidon kustannuksia. Kun talotekniikkaa ohjataan rakennusautomaatiojärjestelmällä, vältetään tilanteita, joissa kiinteistön ylläpitäjän on jatkuvasti tarpeellista muokata säätöjä järjestelmässä. (ST 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2018, 21.)

Rakennusautomaatiojärjestelmä on mahdollista siirtää myös verkkoon tai etäkäytettävälle tietokoneelle. Tällöin käyttäjän on mahdollista tarkastella prosessien toimintaa etänä, jolloin jokainen vikatilanne ei vaadi kohdekäyntiä kiinteistössä. Etäkäytöllä mahdollistetaan prosessien muokkaaminen ja optimointi. Etäkäytön avulla voidaan myös siirtää mahdollisia kulutustietoja, kuten vesi-, lämpö- tai sähköenergiatietoja suoraan kiinteistön ylläpidon haltuun, eikä niitä tarvitse käydä lukemassa paikan päällä olevista mittareista. (ST 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2018, 221.)

Rakennusautomaatiojärjestelmä on laaja kokonaisuus, joka muodostuu useammasta eri päätasosta. Päätasojen avulla jaetaan järjestelmä kolmeen eri tasoon: kenttätasoon, automaatiotasoon ja hallintotasoon. Kuvassa 1 on esitettyä rakennusautomaation päätasot.



Kuva 1. Automaation päätasot (Muokattu lähteestä ST 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2025, 10)

Rakennusautomaatiojärjestelmässä on mahdollista myös, että jokin laitekokonaisuus kuuluu useampaan automaatiotasoon (ST 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2018, 21). Opinnäytetyön kohteena oleva maalämpöjärjestelmä sijaitsee osittain automaatiotasolla ja osittain kenttätasolla. Maalämpöjärjestelmää ohjaava säädin sijoittuu automaatiotasolle, kun taas maalämpöjärjestelmästä löytyvät mittaukset ja toimilaitteohjaukset sijoittuvat kenttätasolle.

2.1 Hallintotaso

Hallintotasolla voidaan käyttää GSM-verkkoa, minkä avulla lähetetään käyttäjälle tieto järjestelmän hälytyksistä. Lisäksi on mahdollista yhdistää valvonta-alakeskus tietokoneeseen, jolloin prosessien valvonta onnistuu tietokoneen avulla. Suuremmissa kohteissa yhteen tietokonevalvomoon voidaan yhdistää useampi valvonta-alakeskus, jolloin etävalvomosta voidaan tarkastella useampaa keskusta ja niiden prosesseja samanaikaisesti. (ST 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2018, 60.)

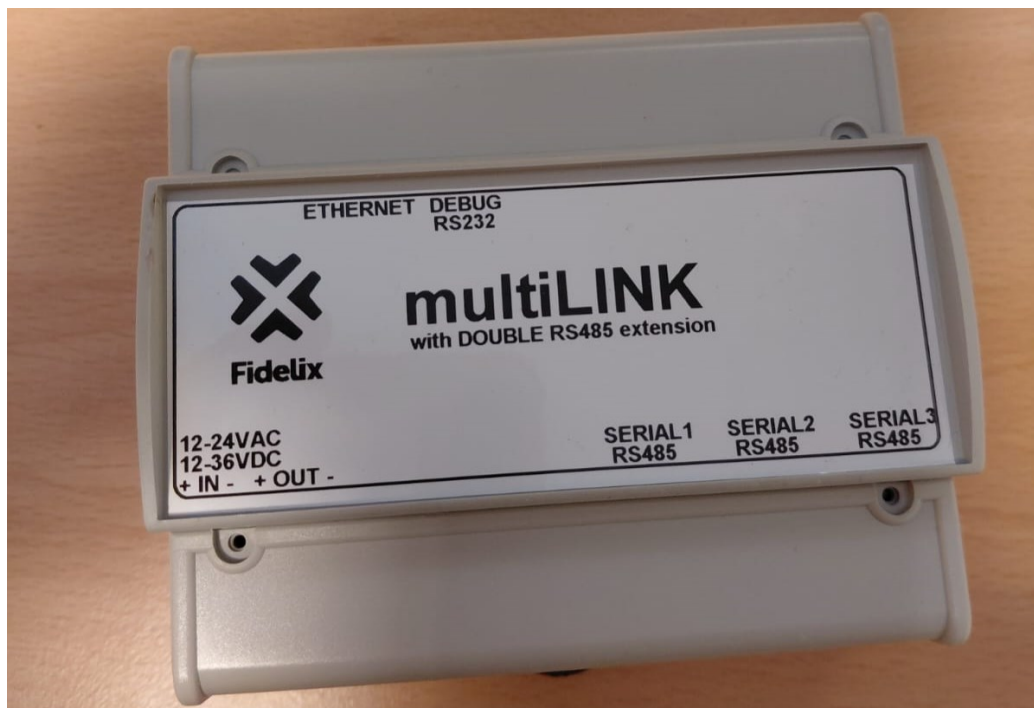
Rakennusautomaatiojärjestelmän tavoitteena on ohjata prosesseja ja prosessien säätöjä halutulla tavalla. Prosessia valvotaan erilaisilla toimilaitemittauksilla ja mittausten mukaan prosessia pyritään ohjaamaan tarkasti. Prosessin suunnitellusta tilanteesta poikkeavista ongelmista muodostetaan hälytyksiä, joiden avulla havaitaan prosessissa tapahtuvat viat. Mittauksien avulla voidaan myös tarkastella eri prosessien tarvitsemaa energiamäärä ja esimerkiksi yhdistää kiinteistöjen sähkö- ja vesimittauksia järjestelmään. Näiden mittauksien avulla voidaan varmistaa kiinteistöjen mahdollisen energiatehokas ylläpito. (ST 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2018, 60.)

2.2 Automaatiotaso

Automaatiotasolla sijaitsevat laitteet, joilla voidaan kerätä tietoa kenttätason laitteista tai ohjata kenttätason laitteita. Automaatiotasolta löytyvät valvonta-alakeskus, jossa sijaitsevat I/O-moduulit, CPU-keskusyksikkö, ja mahdolliset väyläliityntään tarvittavat komponentit. Tietoa voidaan siirtää hallintotasolle hyödyntäen internettiä, Ethernet-yhteyttä tai GSM-verkkoa. (ST 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2018, 60.)

2.2.1 I/O-moduulit ja MultiLINK

Fidelixin valvonta-alakeskuksista löytyy erilaisia I/O-moduuleita, joiden avulla voidaan liittää fyysisesti erilaisia järjestelmiä tai niiden mittauksia osaksi logiikkaa. Logiikka kommunikoi I/O-moduuleiden kautta väyläyhteyksiä hyödyntäen. Valvonta-alakeskuksesta löytyy myös erilaisten väylien liittämiseen tarkoitettu Fidelix multiLINK -mediamuunnin, jonka avulla voidaan lukea ja kirjoittaa tietoa Ethernet-, M-bus-, Modbus- ja RS232-liittymän avulla. MultiLINK sisältää integroidun web-palvelimen, jonka avulla on mahdollista muokata mediamuuntimen ominaisuuksia. (Fidelix Oy, n.d)



Kuva 2. Fidelix MultiLINK (Valkeapää 2025)

2.2.2 Logiikan ohjelmointi

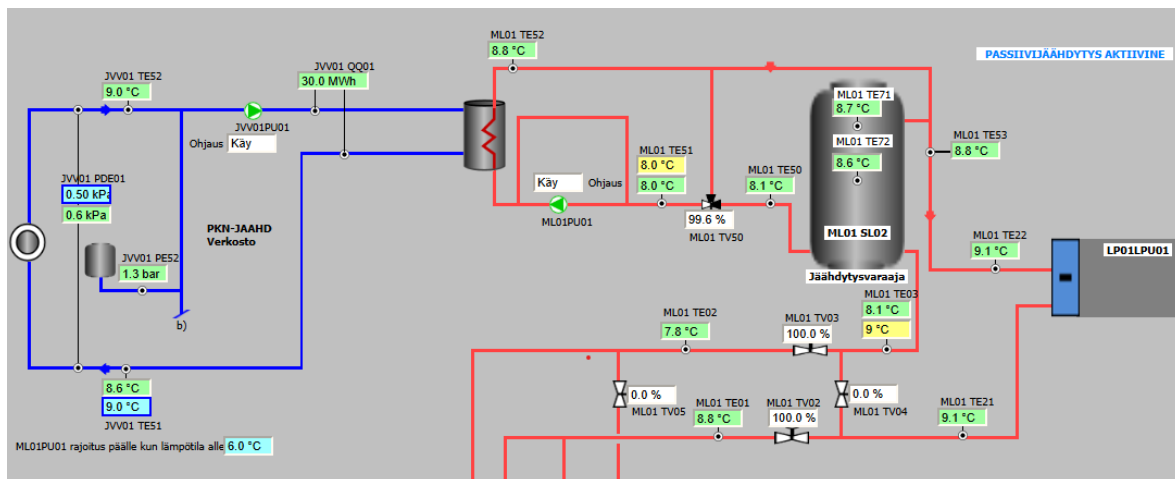
Logiikan ohjelmointiin käytetään OpenPCS-sovellusta, joka mahdollistaa ohjelmoinnin IEC 61131-3 -standardin mukaisesti. Ohjelmointikielenä käytetään Structure Textiä eli ST:tä. Structure text on yksi viidestä IEC 61131-3 -standardin ohjelmointikielistä. Ohjelmointikoodissa käytetään tekstiä, jonka avulla suoritetaan eri funktioita. Ohjelmointikielenä ST:n etuja ovat sen helppokäyttöisyys, sillä ohjelmakoodin ollessa tekstimuodossa on sen siirtely ja korjaus helposti toteutettavissa. Lisäksi toimivaa ohjelmakoodia on helppo kopioida ja muokata muihin käyttötarkoituksiin sopivaksi. (AutomationDirect, n.d).

2.3 Kenttätaso

Kenttätasolla sijaitsevat toimilaitteet, kuten erilaiset ohjauspisteet ja mittauspisteet. Kenttätason laitteet ovat yhteydessä automaatiotason I/O-moduuleihin joko langattomasti tai kaapeloituna. Kenttätasolla sijaitsevat myös mahdolliset laitteet, jotka yhdistetään kenttäväylällä moduuleihin. (ST 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2018, 61.) Malliprojektissa kenttätasolla sijaitsevat useat lämpötilan mittaukset, venttiilimoottorit sekä Thermian maalämpöjärjestelmän omat mittaukset.

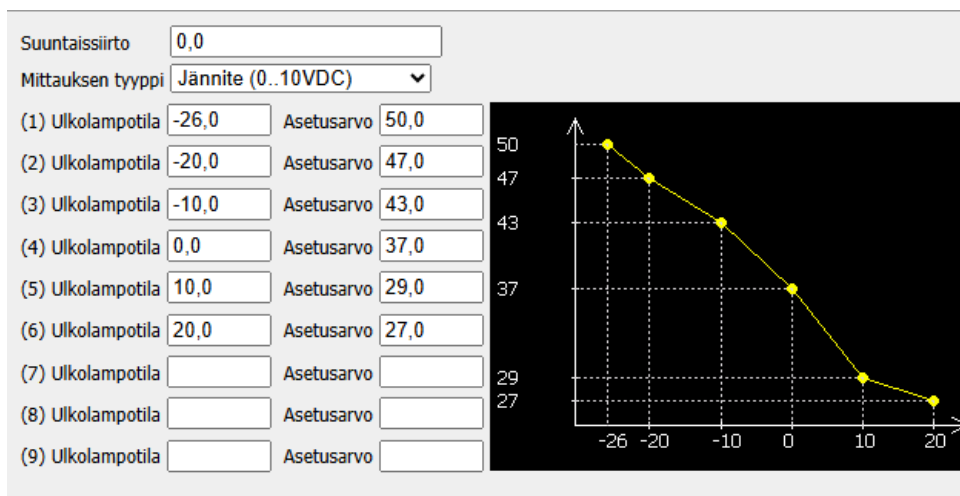
2.4 Graafinen näyttöpäätte

Käyttäjän kannalta rakennusautomaatiojärjestelmän keskeinen osa on selkeä ja helppokäyttöinen näyttöpäätte, jossa esitetään prosessi ja sen eri toiminnot. Näytön kautta voidaan valvoa ja ohjata prosessin toiminnallisia ominaisuuksia. Näyttöä voidaan mukauttaa käyttäjän toiveiden mukaisesti esimerkiksi näyttämään lämpötilamittauksia ja niiden historiatietoja. Lisäksi näytöltä on mahdollista tarkastella vikahälytyksiä, mikä helpottaa vian paikantamista. Näyttö mahdollistaa myös energiankulutuksen seurannan energiaraporttien avulla. (ST 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2018,70)



Kuva 3. Näyttöpäätteen grafiikkaa (Valkeapää 2025)

Näyttöpäätte mahdollistaa käyttäjälle prosessin paikallisen tarkastelun. Sen kautta voidaan myös ohjata prosessin eri ominaisuuksia. Muokattavia toimintoja ovat esimerkiksi säätökäyrät ja aikaohjelmat, joilla hallitaan prosessin toimintaa erilaisissa tilanteissa. Kuvassa 4 on esitetty säätökäyrä, jonka avulla asetusrvoa säädetään ulkolämpötilan mukaan. Kuvan 4 vasemmalla puolella on esitetty ulkolämpötila ja vasemmalla puolella asetusrvo lämmitysverkostolle kyseisessä lämpötilassa.



Kuva 4. Säätökäyrä ulkolämpötilasta (Valkeapää 2025)

Aikaohjelmien avulla prosessissa tapahtuvia muutoksia hallitaan kellonajan mukaisesti. Niiden hallinnalla voidaan saavuttaa energiansäästöä, kun prosesseja ei pidetä käynnissä silloin, kun niille ei ole tarvetta. Kuvassa 5 on esitetty erään ilmanvaihtokoneen aikaohjelma, jolla ilmanvaihtokone sammutetaan yön ajaksi ja käynnistetään uudestaan aamulla. Näyttöpäätteen kautta käyttäjä voi myös tarkastella ja kuitata prosessin aiheuttamia hälytyksiä. Hälytysten avulla käyttäjälle ilmoitetaan, mikäli prosessi ei toimi halutulla tavalla. Rakennusautomaatiojärjestelmä voi esimerkiksi antaa hälytyksen, jos jokin kenttälaitetason mittaussanturi tai -lähetin on hajonnut. (ST 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2018, 224.)

Muuta aikaohjelmaa

AK1_TK07_AIKAOHJ_T -- TK07 TK/PK, Aikaohjelma

Peruuta Korjaa Kopioi tapahtumia

	1:	2:	3:	4:	5:	6:	Pri:
Ma	05:30 Nopea	18:00 Seis					16 ▾
Ti	05:30 Nopea	18:00 Seis					16 ▾
Ke	05:30 Nopea	18:00 Seis					16 ▾
To	05:30 Nopea	18:00 Seis					16 ▾
Pe	05:30 Nopea	18:00 Seis					16 ▾
La	07:00 Nopea	15:00 Seis					16 ▾

Kuva 5. Aikaohjelma (Valkeapää 2025)

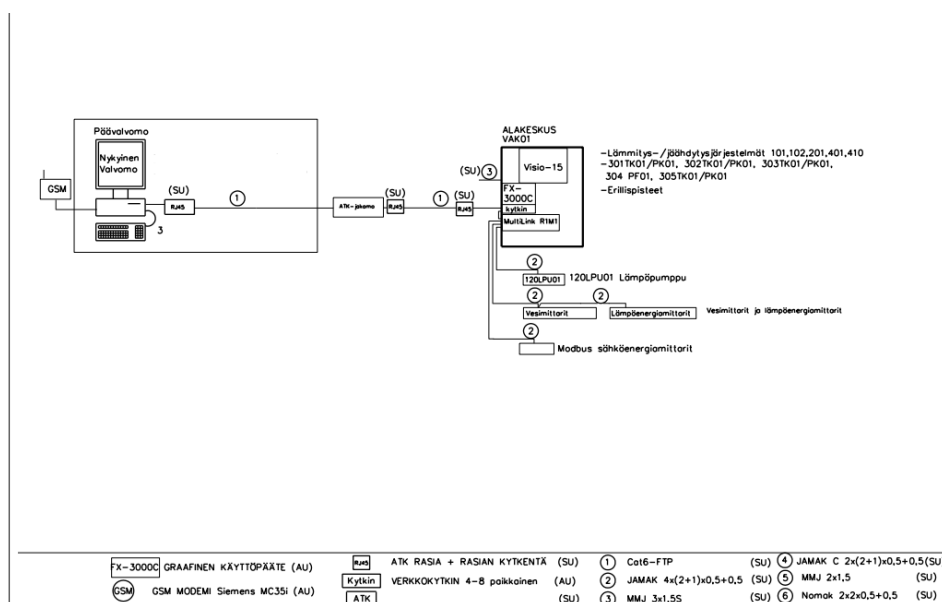
3 SUUNNITELMAT

Rakennusautomaatiojärjestelmän suunnittelusta vastaa tyypillisesti siihen erikoistunut suunnittelija. Rakennusautomaation suunnitelmat koostuvat säätökaavioista, toimintaselostuksista, järjestelmäkaavioista sekä erilaisista kytkentäkaavioista. Näistä dokumenteista käy ilmi suunnitellut toiminnot, jotka rakennusautomaatiojärjestelmän tulee pitää sisällään. (ST 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2025, 78.)

3.1 Järjestelmäkaavio

Järjestelmäkaaviossa on esitetty rakennusautomaatioon liittyvät järjestelmät. Järjestelmäkaaviossa on esitetty muun muassa valvonta-alakeskukseen liittyvät väyläjärjestelmät, joihin kuuluvat energiamittarit, vesimittarit sekä muut LVI-väylälaitteet, kuten ilmanvaihtokoneet ja maalämpöjärjestelmät. Järjestelmäkaaviossa esitetään kaikki valvonta-alakeskukseen liittyvät valvonta-alakeskukset, mikäli kohteessa on useampi valvonta-alakeskus. Lisäksi järjestelmäkaaviosta nähdään, mitkä järjestelmät ovat osana mitäänkin valvonta-alakeskusta. (ST 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2018, 166-167.)

Järjestelmäkaaviosta löytyy esitettyinä mahdolliset hälytys- ja etäkäyttölaitteet, kuten GSM-modeemi tai etävalvonnan mahdollistava pilvivalvomo. Näiden laitteiden esitys kaaviossa on kohdekohtaista, eikä jokaiseen kohteeseen tule pilvivalvomoa tai GSM-modeemia. (ST 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2018, 166–167.) Kohteessa valvonta-alakeskus 2 pitää sisällään maalämpöpumpun, lämmönjaon ja siihen liittyvät väylämittaukset, sekä GSM-modeemin.



Kuva 6. Järjestelmäkaavio (Valkeapää 2023)

3.2 Säätökaavio

Säätökaavioista käy ilmi mihin kohtaan järjestelmiä toimilaitteet ja mittausanturit sijoittuvat. Säätökaavioihin on merkittynä ohjaukset ja mittaukset. Säätökaavioihin on myös merkitty kuka vastaa eri laitteiden hankinnasta ja asennuksesta. Maalämpöjärjestelmän säätökaavioissa on esimerkiksi mai-

ninta, että säätö- ja ohjauskeskus sisältyvät maalämpöjärjestelmän toimitukseen, jolloin vain väyläliitoksen tekeminen kuuluu rakennusautomaatiourakoitsijalle. (ST 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2025, 102–104.)

Säätökaavioiden liitteenä olevissa toimintaselostuksissa esitellään mitä toimintoja rakennusautomaatiolta vaaditaan. Toimintaselostuksen tarkoitus on auttaa ymmärtämään säätökaavioissa esitettyjen pisteiden tarkoitusta. Toimintaselostuksessa on eritelty ominaisuuksia, joiden mukaan järjestelmä tulee toteuttaa. Tällaisia toimintoja ovat esimerkiksi erilaiset säätötoiminnot, lukitukset tai hälytysten muodostumisen ehdot. (ST 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät 2025, 106.)

Laiteluettelon avulla esitetään projektin sisältämät kenttätason laitteet. Siitä selviää eri laitteiden teknisiä tietoja, kuten laitteen positio eli nimi järjestelmässä. Lisäksi se voi sisältää laitteiden teknisiä vaatimuksia. Esimerkiksi lämpötilamittauksessa laitteella vaatimuksena voi olla tietty lämpötila-alue, jota mittausanturi pystyy lukemaan. Laiteluetteloon voidaan sisällyttää kohteessa käytettävät venttiilien tyypit tai ne voidaan tuoda ilmi erillisessä venttiililuettelossa. (ST 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2025, 107.) Malliprojektin laiteluettelo pitää sisällään maalämpöjärjestelmään liittyvät laitteet, kuten lämpötilan ja paine-eron mittaukset.

4 ELINKAARI

Rakennusautomaatiojärjestelmän tavoitteena on hallita sisätilojen olosuhteita niin, että energiankulutus pysyy mahdollisimman pienenä. Tavoitteen saavuttamiseksi on tärkeää hyödyntää kohteen valmistumisen jälkeen järjestelmän tuottamia historiatietoja ja hälytyslokeja. (ST-Käsikirja 22 Rakennusten automaation valvomot. 2023, 7.)

4.1 Historia- ja energiaraportointi

Rakennusautomaatiojärjestelmän avulla voidaan kerätä prosessin mittaus- ja säätöpisteistä historiatietoa, jota hyödynnetään säätöjen optimoinnissa. Mittausten historiatietojen avulla voidaan tarkastella prosessimuutoksia valitulla aikavälillä ja esimerkiksi seurata, miten sisäolosuhteet vaihtelevat vuorokauden aikana. Nämä vaihtelut liittyvät tilojen käyttöasteeseen eri ajankohtina. (ST-Käsikirja 22 Rakennusten automaation valvomot. 2023, 55.)

Historiadatan perusteella voidaan tehdä säätömuutoksia esimerkiksi maalämpöpumpun lämmitysverkostojen asetusarvoihin. Seuraamalla ulko- ja sisälämpötiloja voidaan havaita tilojen liika lämpeneminen. Historiadatan pohjalta voidaan tällöin lämmitysverkostojen lämpötiloja laskea, vähentäen lämmitysenergian tarvetta. (ST-Käsikirja 22 Rakennusten automaation valvomot. 2023, 55.)

Energia raportoinnin avulla kohteen energiankulutusta voidaan seurata eri aikaväleillä. Energiankulutustiedot tuodaan rakennusautomaatiojärjestelmään, jossa kulutusmittauksiin perustuvat raportit muodostetaan. Yleisimpiä seurattavia suureita ovat veden kulutus sekä sähkö- ja lämmitysenergiankulutus. Näiden mittausten avulla voidaan analysoida kulutuksen vaihtelua esimerkiksi vuodenaikojen välillä tai tarkastella aikaohjelmien ja säätömuutosten vaikutuksia energiatehokkuuteen. (ST-Käsikirja 22 Rakennusten automaation valvomot. 2023, 40.)

4.2 Hälytykset

Rakennusautomaatiojärjestelmän avulla tuotetaan hälytyksiä, jotka välitetään huoltohenkilöstölle. Hälytyksiä jaetaan eri prioriteettiluokkiin niiden kiireellisyyden perusteella. Tämän luokituksen avulla voidaan määrittää, mitkä hälytykset edellyttävät välitöntä reagointia kiinteistöhuollon toimesta ja mitkä voidaan tarkastaa myöhemmin. (Meriläinen, 2024).

Maalämpöjärjestelmän järjestelmässä kiireellisimmät hälytykset liittyvät pumpun toimintaan. Pumpulta voidaan väyläkommunikaation avulla lukea koontihälytyksiä A- ja B-luokasta. A-luokan hälytykset voivat pysäyttää maalämpöpumpun, joten ne vaativat nopeita huoltotoimenpiteitä. Mikäli näihin hälytyksiin ei reagoida ajoissa, seurauksena voi olla häiriöitä paitsi maalämpöjärjestelmässä, myös koko lämmitysverkostossa. Jos ilmanvaihdon lämmitysverkostossa ilmenee ongelmia, ei ilmanvaihtokoneiden lämmityspattereille kierrä enää riittävän lämmintä vettä. Tämän seurauksena kone pysähtyy joko jäätymissuojauksen tai ohjelmallisen lukituksen avulla aiheuttaen hälytyksen.

5 MODBUS

Modbus on yksi yleisimmin käytetyistä kenttäväyläprotokollista automaatiojärjestelmissä. Kenttäväylät ovat standardoituja tietoliikenneprotokollia, joiden avulla voidaan liittää useita laitteita tai logiikoita osaksi suurempaa järjestelmää. (DO Supply Inc., 2023)

Modbus-väylää käytetään laajalti prosessiteollisuudessa ja kiinteistöautomaation ratkaisuissa. Sen etuna on yhteensopivuus eri laitevalmistajien tuotteiden välillä, ja pelkkä väyläyhteys riittääkin tiedonsiirtoon, mikä tekee siitä kustannustehokkaan vaihtoehdon. Modbus-protokollassa tieto kulkee primäärilaitteen ja jopa 247 sekundaarilaitteen välillä. Primäärilaitte lähettää väylän kautta luku- ja kirjoituspyyntöjä, joiden avulla se voi hakea tietoa sekundaarilaitteilta tai ohjata niiden toimintoja. (ST 21 Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto. 2022, 77–79)

Modbus-protokollasta on olemassa kolme yleistä kehysmuotoa. Modbus ASCII (Modbus American Standard Code for Information Interchange), Modbus RTU (Remote Terminal Unit), jota käytetään esimerkiksi maalämpöpumppujen yhteydessä, sekä Modbus TCP/IP, jota käytetään yleisesti Ethernet-liitynnöissä. (ST 21 Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto. 2022, 77–79.)

5.1 Heksadesimaali

Modbus-kommunikaatiossa väylän kommunikaation selkeyttämiseksi käytetään tiedonsiirrossa hyödyksi heksadesimaaleja. Heksadesimaali on 16-kantainen numerointijärjestelmä, jossa käytetään numeroita 0–9 ja kirjaimia A–F. Numerot 0–9 vastaavat desimaaliarvoja 0–9, ja kirjaimet A–F arvoja 10–15. Alla olevassa taulukossa 1 on havainnollistettu numeroiden ja kirjainten vastaavuus desimaali- ja binäärimuodoissa. Suuren tietomäärän siirtämisessä heksadesimaali helpottaa binäärijonon käsittelyä, sillä se tiivistää pitkät ykkösistä ja nolista koostuvat ketjut luettavampaan muotoon. (Techtarget, 2025)

Taulukko 1. Numerointijärjestelmä (Muokattu lähteestä Techtarget,2025)

Heksadesimaali	0	1	2	3	4	5	6	7
Desimaali	0	1	2	3	4	5	6	7
Binääriluku	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111
Heksadesimaali	8	9	A	B	C	D	E	F
Desimaali	8	9	10	11	12	13	14	15
Binääriluku	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111

5.2 Pollaus

Modbus RTU -tiedonsiirrossa primääri-laite lähettää kyselyn sekundaarilaitteelle. Kyselyn muodostuminen on esitettyä kuvassa 6.

Aloitus	Osoite	Toiminto	Data	CRC, Tarkistussumma	Lopetus
Tauko(min 3,5 tavua)	1 tavu	1 tavu	0-252 Tavua	2 tavua	Tauko(min 3,5 tavua)

Kuva 7. Modbus RTU-kehys (Muokattu lähteestä Modbustools, n.d)

Ensimmäisenä primääri-laite muodostaa viestiin yhden tavun mittaisen osoitteen, joka vastaa vastaanottavan sekundaarilaitteen osoitetta. Osoitteen on oltava välillä 1–247, jolloin suurin mahdollinen binääriesitys tälle on 11110111, eli heksadesimaalina F7. Tämän jälkeen viestiin lisätään toiminto sekä kyseiselle toiminnolle kuuluva data. Toiminto määrittää, mitä tietoa laitteelta halutaan saada tai mitä sille halutaan kirjoittaa. Data -osiossa laitteelta kysellään kyseisen toiminnon datarekisterien tietoja, kuten tilatietoja, mittaustuloksia tai energiamittareiden lukemia. Useamman rekisterin data voidaan kysyä yhdellä viestillä määrittelemällä rekisteriväli, jolta tietoa halutaan. Viestin loppuun liitetään kahden tavun pituinen CRC-tarkistussumma, joka lasketaan koko viestin sisällöstä. CRC toimii tietoturvan ja eheyden tarkistuksena, sillä se kertoo vastaanottajalle, mitä sisältöä on lähetetty, ja auttaa havaitsemaan mahdolliset siirtovirheet. (Modicon,1996.)

Sekundaarilaite vastaa viestiin kuvan 6 mukaisesti. Onnistunut vastaus sisältää saman osoitteen, toimintokoodin ja CRC-tarkistussumman kuin alkuperäinen kysely. Vastaus sisältää lisäksi pyydetyn datan. Primääri-laite tarkistaa vastausta vertaamalla CRC-tarkistussummaa alkuperäiseen. Jos summat eivät täsmää, tulkitaan viesti virheelliseksi ja väylässä tapahtuu virhe. (Modicon,1996.)

5.3 Väyläasetukset

Modbus-väylän toiminta edellyttää, että kaikilla väylässä olevilla laitteilla on samat siirtonopeusasetukset, eli väylän nopeus (bittiä sekunnissa) on identtinen kaikilla porteilla. Lisäksi väylän laitteiden tulee käyttää samaa pariteettia, jonka avulla laite pystyy tarkistamaan viestissä liikkuvan datan ykkösten määrän. Vaihtoehtoina pariteetille on parillinen, pariton tai ei pariteettia. (Modicon,1996)

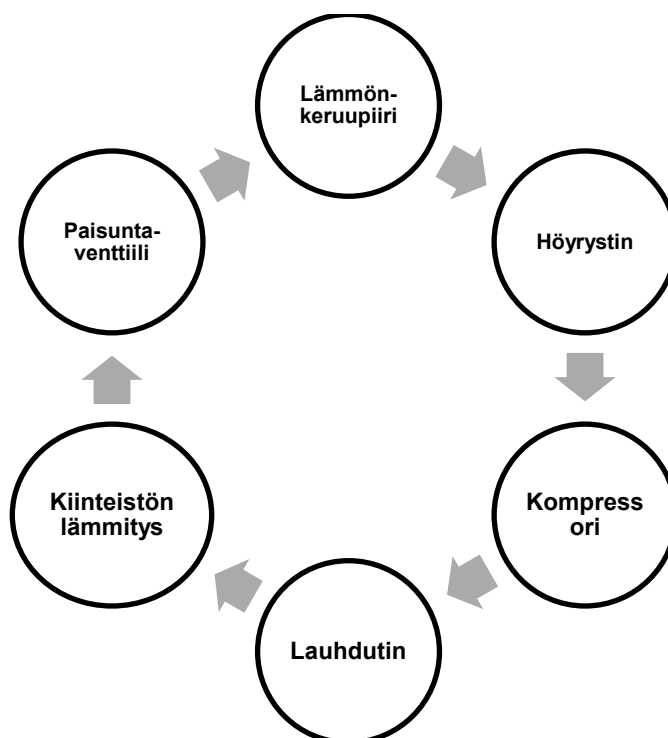
6 MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄ

Maalämpöjärjestelmä koostuu maalämpöpumpusta, joka kerää geotermistä energiaa maassa olevan energiakaivon avulla. Energiakaivon on sijoitettu putkisto, jossa maalämpöpumppu kierrättää nestettä, joka kerää lämpöenergiaa talteen kompressorin avulla. Kierrätetyn nesteen energia siirretään maalämpöpumpulta energiavaraajaan, josta sitä voidaan hyödyntää kohteen lämmittämisessä. Lisäksi maalämpöjärjestelmän kanssa on hyvä olla vaihtoehtoinen lämmitysmuoto varmistamaan lämpöenergian riittäminen. Lisälämmitysmuotoina voidaan käyttää kaukolämpöä tai sähköllä toimivia lämmityskeinoja. (Kempainen, 2022, 46–47.)

Maalämpöjärjestelmää on myös mahdollista käyttää jäähdytyskäytössä, jolloin lämpöenergiaa kerätään kiinteistöistä maalämpöpiiriin. Lämpöenergian kerääminen tapahtuu yleensä ilmanvaihtokoneiden kautta. Lämpöenergia eli lämmin ilma siirretään lauhduttimen ja maalämpöpumpun avulla takaisin energiakaivon. Energiakaviossa kerätty lämpöenergia lämmittää energiakaivoja. (Kempainen, 2022, 54.)

6.1 Toimintaperiaate

Maalämpöpumpun toiminta perustuu siihen, että maassa kiertävästä lämmönkeruupiiristä kerätään lämpöenergiaa talteen. Maalämpöjärjestelmän oma säädin ohjaa maalämpöpumpun toimintaa. Keruupiirissä kiertää neste, joka kerää maasta lämpöä nesteen kiertäessä putkistossa. Lämmönkeruupiiristä lämpöenergia saadaan kerättyä talteen siten, että keruupiirin neste johdetaan maalämpöpumpun höyrystimelle, jossa maalämpöpumpun kylmäaine höyrystyy. Höyry siirretään höyrystimeltä kompressorille, jossa kaasu puristetaan korkeaan paineeseen, jolloin kaasu lämpenee. Kompressorilta kuuma kaasu siirtyy lauhduttimelle, jossa tuotettu lämpö siirretään kiinteistön käytettäväksi. Maalämpöpumpun kylmäaine siirtyy paisuntaventtiiliin läpi, jossa se palaa takaisin nestemäiseen muotoon. Paisuntaventtiililtä kylmäaine palaa takaisin höyrystimelle. (Gebwell Oy, n.d.)



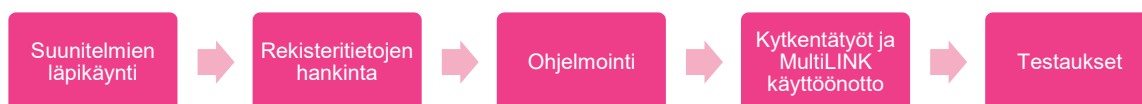
Kuva 8. Maalämpöpumpun toimintaperiaate (Muokattu lähteestä Gebwell Oy, n.d.)

Kohteessa kerätään kahdella maalämpöpumpulla lämpöenergiaa kahdeksasta energiakaivosta, joista jokainen on noin 300 metriä syvä. Maalämpöpumpuilta lämpöenergia siirtyy putkistoa pitkin kahteen käyttövedenvaraajaan ja yhteen sähkökattilaan, josta energia jaetaan lattialämmityksen ja ilmanvaihdon lämmönsiirtimille käytettäväksi. Maalämpöpumpulla tuotettu jäähdytysenergia kertyy jäähdytysvaraajan, jolloin ylimääräinen lämpöenergia siirretään jäähdyttäessä takaisin energiakaivoihin. Lisäksi kohteen ylimääräinen lämpöenergia siirretään jäähdyttäessä takaisin energiakaivoihin.

7 TOTEUTUKSEN VAIHEET

Opinnäytetyö etenee automaatioprojektille tyypilliseen tapaan eli ensimmäisenä tutustutaan suunnittelijan tuottamiin suunnitelmiin, joiden pohjalta aloitetaan järjestelmän toteutus. Suunnitelmiin perehtyminen on tärkeää, sillä niissä ilmaistaan mitä toimintoja kyseinen järjestelmä pitää sisällään.

Suunnitelmien pohjalta kohteen ala-asemaan tehdään ohjelmakoodi, jonka avulla suunnitelmissa esitellyt toiminnot toteutetaan. Projektin aikana kohteella tehdään ala-aseman kytkentätyöt, jossa tehdään tarvittavat laitekytkennät, sekä otetaan käyttöön väyläsovitin ja siihen liitettävä maalämpöpumppu. Kytkeäntöiden ja ohjelmoinnin jälkeen suoritetaan järjestelmän testaukset. Testauksessa maalämpöpumpun väylätoiminnot testataan.



Kuva 9. Modbus-liitynnän eteneminen (Valkeapää 2025)

7.1 Toteutus

Projektin toteutusvaiheessa maalämpöjärjestelmään tehdään suunnitelmien mukaiset ohjelmat, jotka pitävät sisällään säätökaavioissa esitetyt toiminnot. Toimintojen käyttöönotto tapahtuu logiikkaan tehtävällä ohjelmakoodilla. Ohjelmakoodin lisäksi kohteelle lisätään MultiLINK-mediamuunnin, jonka avulla maalämpöpumppu liitetään Modbus-väylällä yhteys logiikkaan. Logiikalle luodaan selkeät grafiikkakuvat, jotka mahdollistavat käyttäjälle prosessin tarkastelun ja säätämisen.

7.1.1 Maalämpöpumppujärjestelmä

Rakennusautomaation ohjelmakoodin avulla maalämpöpumpun avulla kerätty lämpöenergia jaetaan lämmönjakoverkoston eri piireihin hyödyntämällä lämpötilamittauksia ja säätäviä venttiilimoottoreita. Venttiilimoottoreita säätämällä hallitaan, kuinka paljon lämpöenergiaa pumpulta siirretään lämmitysverkostojen käyttöön. Maalämpöpumppuna kohteessa on Thermian Mega L, joka käyttää etanolin ja vesiliuoksen sekoitusta lämmönkeruunesteenä. Thermian Mega L on yhteydessä valvonta-alakeskuksen logiikkaan väyläliitoksella. Väylän avulla maalämpöpumpulta luetaan rekisteritietoja, joiden avulla voidaan kerätä tietoa prosessista. Lisäksi maalämpöpumpulle kirjoitetaan rekisteritietoja, joilla voidaan määrittellä esimerkiksi pumpulle ohjearvo siitä, kuinka paljon lämpöä sen tulee tuottaa. Kirjoitettavien rekisteritietojen avulla voidaan myös ohjata maalämpöpumppu seis, mikäli sen tuottamalle lämpöenergialle ei ole tarvetta. Maalämpöpumpun asennuksen ja sen vaatimat putkityöt kohteella suorittaa putkiurakoitsija ja rakennusautomaatioon liittyvien kaapeleiden vetämisen suorittaa sähköurakoitsija.

7.1.2 MultiLINK-asetukset

Maalämpöpumpun yhteys ala-asemaan saadaan muodostettua lisäämällä MultiLINK-mediamuunnin, jonka asetuksia voidaan muokata. Muokkaus tapahtuu kirjautumalla laitteeseen sisälle tietokoneella,

josta sille voidaan määritellä mediamuuntimen asetuksia. Kirjautuminen tapahtuu liittämällä tietokone verkkokaapelilla kiinni MultiLINKin verkkoporttiin. Internet-selaimen avulla kirjoitetaan MultiLINKin IP-osoite hakupalkkiin, jolloin selaimeen aukeaa asetussivu. Kuvassa 10 on esitettyä MultiLINKin kirjautumissivu.

multiLINK - Settings

Serial number:	MC D493A0802C7D
Software Version:	V1.4.001.055
Device ID:	multiLINK
Save New Device ID	

LAN Settings

[LanSettings.htm](#)

LAN Statistics

[LanStatistics.htm](#)

Serial Settings

[SerialSettings.htm](#)

MODBUS List

[CommList.htm](#)

Email settings

[Email.htm](#)

Event Log

[EventLog.htm](#)

Kuva 10. Kuvankaappaus asetussivulta (Valkeapää 2023)

Asetussivulta voidaan hallita MultiLINKin asetuksia, kuten IP-osoitetta ja erilaisia kommunikointiasetuksia. Väylän asetuksia päästään muokkaamaan SerialSettings.htm -kohdasta. Painamalla linkkiä aukeaa kuvan 11 mukainen asetussivu, jossa on määriteltynä sarjaporttien asetukset.

Serial port 1

Friendly Name	Maalämpöpumppu		
Mode	UDP to Serial ▼		
Serial speed	19200 ▼		
Data bits	<input checked="" type="radio"/> 8 bits	<input type="radio"/> 7 bits	
Parity	<input checked="" type="radio"/> None	<input type="radio"/> Even	<input type="radio"/> Odd
Stop bits	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 1.5	<input type="radio"/> 2
120ohm terminating	<input checked="" type="radio"/> enabled	<input type="radio"/> disabled	
Remote IP	10.100.1.202		
Remote Port	10006		

Kuva 11. Kuvankaappaus portin asetuksista (Valkeapää 2023)

Asetussivulle voidaan määritellä MultiLINK-laitteen porttiin tunnistettava nimi kohtaan Friendly name. Lisäksi valitaan Mode-kohtaan toiminto, jolla portin halutaan toimivan. Tämän jälkeen tarkastetaan maalämpöpumpun väyläasetuksista minkälaiset väylän asetusarvot ovat maalämpöpumpun säätimellä. Nämä arvot asetellaan sarjaportin asetuksiin Serial speed, Data bits, Parity ja Stop bits -kohdissa. Serial speedin avulla määritellään väylän tiedonsiirtonopeus. Alimmaisena määritellään logiikan IP-osoite, johon kyseinen MultiLINK-laite kommunikoi. Kyseisessä tilanteessa määritellään Remote IP:ksi ala-aseman IP-osoite 10.100.1.202. Remote Porttiin syötetään logiikalle määriteltävä portti, johon se liitetään.

7.1.3 Modbus-rekisterit

Maalämpöjärjestelmän ollessa yhteydessä rakennusautomaatiojärjestelmään Modbus RTU-väylällä, tarvitaan ohjelmakoodia, minkä avulla voidaan lukea ja kirjoittaa väylän avulla maalämpöjärjestelmän rekisteritietoja. Väylän kautta luettavia tietoja ovat lämpötilat, energiamittaukset, kompressoreiden tiedot, pumppujen tilatiedot ja mahdolliset hälytykset maalämpöjärjestelmästä. Väylän kautta kirjoitettavia tietoja ovat lämpötilojen rajoitukset, käyttöveden lämmittämisen aloitus- ja pysäytysrajat ja menoveden lämpötilan säätöpisteet.

Kohteen ohjaimen Modbus-rekisteritiedot saadaan listauksena maalämpöpumpun toimittajan kautta. Listauksista ilmenee säätimen kautta luettavat ja kirjoitettavat rekisteritiedot. Näiden tietojen pohjalta valmistellaan sellainen ohjelmakoodi, jolla voidaan kirjoittaa ja lukea tietoa väylän ja rekisterilistauksen avulla.

7.1.4 Modbus -ohjelmointi

Ohjelmointi tapahtuu infoteamin OpenPCS-sovelluksen avulla. Modbus -ohjelmointia varten maalämpöjärjestelmän toimittajalta tilataan tarvittavat väylärekisteri tiedot, joiden avulla pystytään ohjelmoimaan logiikalle koodi. Ohjelmakoodin avulla luetaan ja kirjoitetaan maalämpöpumpun rekistereitä. Ohjelmointi aloitetaan luomalla ohjelmaan lukupyynnöt halutuista informatiivisista rekistereistä. Logiikka lähettää ohjelman mukaisen lukupyynnön sekundaarilaitteelle, johon se vastaa antamalla rekisterin mukaisen vastauksen.

```
inputreg_4 := '', (***) 30005, Description: Compressor available gears *3 UNIT: 100 Dec: (***)
inputreg_5 := '', (***) 30006, Description: Compressor speed RPM UNIT: 1 Dec: (***)
inputreg_6 := '', (***) 30007, Description: External additional heater: Current demand (%) UNIT: 100 Dec: (***)
inputreg_7 := '', (***) 30008, Description: Discharge pipe temperature UNIT: 100 Dec: (***)
inputreg_8 := 'VAK02_600_MLP01_TE1_FM', (***) 30009, Description: Condenser in temperature UNIT: 100 Dec: (***)
inputreg_9 := 'VAK02_600_MLP01_TE2_FM', (***) 30010, Description: Condenser out temperature UNIT: 100 Dec: (***)
inputreg_10 := 'VAK02_600_MLP01_TE3_FM', (***) 30011, Description: Brine in temperature UNIT: 100 Dec: (***)
inputreg_11 := 'VAK02_600_MLP01_TE4_FM', (***) 30012, Description: Brine out temperature UNIT: 100 Dec: (***)
inputreg_12 := 'VAK02_600_MLP01_TE5_FM', (***) 30013, Description: System supply line temperature UNIT: 100 Dec: (***)
inputreg_13 := '', (***) 30014, Description: Outdoor temperature UNIT: 100 Dec: (***)
```

Kuva 12. Kuvankaappaus IEC-koodista (Valkeapää 2023)

Kuvassa 12 on kuvankaappaus ohjelmakoodista, jossa ohjelmakoodin avulla maalämpöpumpulta luetaan maalämpöpumpun mittaamia lämpötiloja. Kuvassa vasemmalla on esitettyä maalämpöjärjestelmän rekisterin tyyppi ja numero, jonka mukaan ohjelma lukee kyseisen rekisteritiedon. Rekisteristä luettu tieto siirretään ohjelmaan, määrittelemällä sille pistetunnus, johon kyseisen rekisterin tieto siirretään. Pistetunnuksen avulla rekisteristä luettu tieto saadaan siirrettyä osaksi graafista kuvaa.

Ohjelmakoodin lisäksi logiikalle määritellään mistä kyseinen rekisteri luetaan. Kuvassa 13 on esitettyä logiikan rekisterialueen määrittäminen. Aluksi määritellään väylältä luettavan rekisterin tyyppi Input Regs, joilla luetaan tietoa. Tämän jälkeen määritellään rekisterialue, josta tieto haetaan. IP-osoitteeksi määritellään MultiLINK laitteen IP-osoite ja IP-portiksi portti, johon maalämpöpumpun väylä on kytketty MultiLINK:ssä.

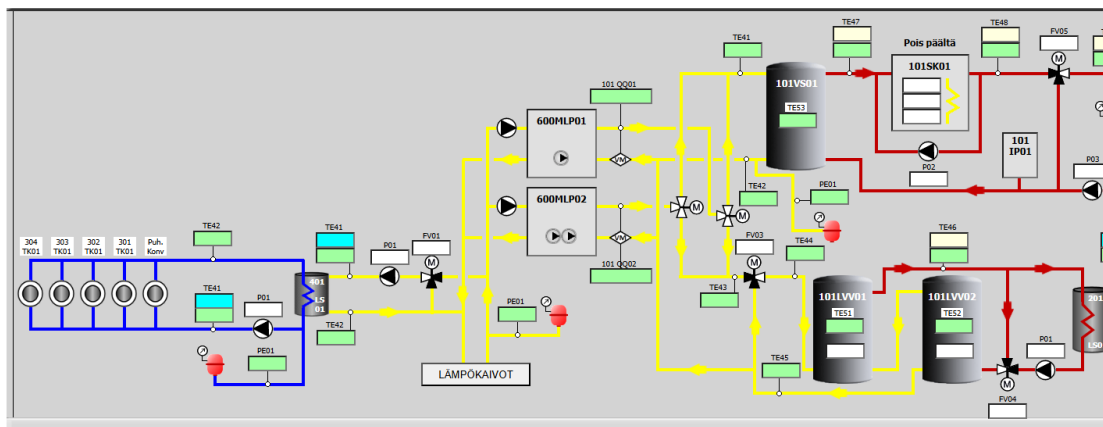
Väyläosoite	<input type="text" value="0"/>		
Rekisterien tyyppi	4=INPUT REGS (READ=4) ▼	TCP/IP moduli	<input checked="" type="checkbox"/>
Aloitusrekisteri	<input type="text" value="1"/>	IP osoite	<input type="text" value="10.100.1.97"/>
Rekisterien määrä	<input type="text" value="26"/>	IP portti	<input type="text" value="10001"/>
Debug	<input type="checkbox"/>		

Kuva 13. Logiikan rekisterialueet (Valkeapää 2023)

Luettavia registreitä kohteessa ovat lämpötilamittaukset, hälytykset, pumppujen käyntiajat ja pumppujen tilatiedot. Lisäksi maalämpöpumpulle halutaan lähettää rakennusautomaatiojärjestelmän kautta informaatiota, jolloin ohjelmoidaan kirjoituspyyntö maalämpöpumpulle. Kohteessa pumpulle kirjoitetaan esimerkiksi pumpun haluttu lämpötila, jota pumppu pyrkii tuottamaan. Pyrityt lämpötila kirjoitetaan pumpulle hyödyntämällä ulkolämpötilaa. Ulkolämpötilan avulla rakennusautomaatioon voidaan määrittellä, kuinka lämmintä vettä maalämpöpumpun tulee tuottaa.

7.2 Näyttöpäätteen grafiikat

Näyttöpäätteen graafinen osuus tehdään FXeditor -ohjelmistosovelluksella. Näyttöpäätteen grafiikka maalämpöjärjestelmän kohdalla koostuu kahdesta kuvasta, lämmönjakojärjestelmän yleiskuvasta ja maalämpöjärjestelmän asetuksista ja mittauksista. Grafiikkakuvan luominen aloitetaan luomalla kuva lämmönjakojärjestelmästä, jossa näkyvät kaikki lämmönjakoon liittyvät toimilaitteet, mittaukset ja laitteet. Aluksi luodaan kuva vastaamaan säätökaavion mukaista lämmitysjärjestelmää. Kuva muodostetaan käyttämällä erilaisia FXeditorin sisäisiä symboleita. Symbolien avulla muodostettuun kuvaan lisätään säätökaaviossa esitetyt mittaus-, säätö-, ohjaus- ja hälytyspisteille tarkoitetut laatikot. Laatikoihin määritellään ohjelmoinnissa rakennusautomaatiojärjestelmän määritellyt pisteet, jolloin laatikoihin ilmestyy graafiselle näyttöpäätteelle mittausarvoja, säätöprosentteja ja tilatietoja ohjauksista.



Kuva 14. Maalämpöjärjestelmän grafiikkakuva (Valkeapää 2023)

Kuvassa 14 on esitettyä FXeditorin avulla tehty grafiikkakuva. Kuvassa keltaisena on esitettyä maalämpöjärjestelmän verkosto, sinisellä jäähdytysverkosto ja punaisella värillä lämmityspuolen verkosto. Keltaisena ja sinisenä piirreyissä verkostoissa kierrätetään etanolin ja vesiliuoksen sekoitusta ja punaisella piirreyssä verkostossa kierrätetään vettä. Kuvassa 14 keskellä on esitettyä kohteen maalämpöpumput, joiden positiot ovat 600MLP01 ja 600MLP02. Grafiikkakuvassa vasemmalla on esitettyä jäähdytyspiirit, joiden avulla jäähdytys tapahtuu kesäisin. Jäähdytyspiirit on nimetty suunnitelmien jäähdytyslaitteiden mukaisesti. Lisäksi kuvassa 14 on esitettyä maalämpöpumppujen energiamäärien mittaukset positiolla 101QQ01 ja 101 QQ02. Mittausten näkyminen grafiikkakuvassa mahdollistaa käyttäjälle energiankulutuksen tarkkailun myös näyttöpäätteeltä.

7.2.1 Prosessin asetussivu

Prosessikaavion lisäksi luodaan järjestelmälle asetussivu. Asetussivun kautta voidaan muokata erilaisia asetuksia liittyen prosessin toimintaan. Kuvassa 15 oikealla on esitettyä lämpimän käyttöveden asetuksia. Käyttäjä voi määrittellä prosessin toiminnalle raja-arvoja, joilla määritellään milloin maalämpöjärjestelmä tuottaa lämpöä lämpimän käyttöveden verkostoon. Alempana kuvassa 15 on määritelty asetukset sähkökattilan SK01 -toiminnalle tilanteita varten, joissa maalämpöjärjestelmä ei kykene tuottamaan riittävästi lämpöenergiaa. Oikealla kuvassa on esitettyä järjestelmän pumppujen toimintaan vaikuttavia asetuksia.

LÄMMIN KÄYTTÖVESI	JÄÄHDYTYKS	104 IV-VERKOSTO
Lämpötilan TE46 asetusarvo <input type="text"/> seuraa maallämmön käyttöveden asetusarvoa <input type="text"/> , suuntasirto <input type="text"/>	Jäähdytyksen ulkolämpötila käynnistysraja <input type="text"/>	Pumpun ulkolämpötila pysäytysraja <input type="text"/>
Käyttövesipumppu <input type="text"/> pysäytetään ja käyttövesiventtiili <input type="text"/> suljetaan lämpötilan noustessa yli <input type="text"/>	Pysäytysraja <input type="text"/>	Käynnistysraja <input type="text"/>
LVO1	Käynnistys myös jos jäähdytyspyyntöä <input type="text"/>	Yöpudotus <input type="text"/>
Sähkövastus <input type="text"/> Ohjataan päälle, jos varaajan lämpötila <input type="text"/> on alle käynnistysrajan <input type="text"/> viiveen <input type="text"/> ajan.	102 LL KUIVAT TILAT	Seisonta-ajan aikaohjelmat <input type="text"/>
Lämpötilan noustessa hystereesin <input type="text"/> verran otetaan käyntilupa pois.	Pumpun ulkolämpötila pysäytysraja <input type="text"/>	Pumppu <input type="text"/> Venttiili <input type="text"/>
LVO2	Pumpun käynnistysraja <input type="text"/>	105 IV/LL SAFARITALO
Sähkövastus <input type="text"/> Ohjataan päälle, jos varaajan lämpötila <input type="text"/> on alle käynnistysrajan <input type="text"/> viiveen <input type="text"/> ajan.	Pumpun menovesi pysäytysraja <input type="text"/>	Pumpun ulkolämpötila pysäytysraja <input type="text"/>
Lämpötilan noustessa hystereesin <input type="text"/> verran otetaan käyntilupa pois.	eroalue <input type="text"/>	Käynnistysraja <input type="text"/>
LÄMMITYSVERKOSTOT	Yöpudotus <input type="text"/>	Seisonta-ajan aikaohjelmat <input type="text"/>
Lämmitysverkostojen yhteisen menoveden asetusarvo <input type="text"/> on <input type="text"/> suurempi kuin lämmitysverkostojen maksimi-asetusarvo.	Seisonta-ajan aikaohjelmat <input type="text"/>	Pumppu <input type="text"/> Venttiili <input type="text"/>
Maalämpöpumpun asetusarvo <input type="text"/> on <input type="text"/> suurempi kuin yhteisen menoveden asetusarvo.	Pumppu <input type="text"/> Venttiili <input type="text"/>	
SK01	103 LL MÄRKÄTILAT	
Lämpötilan TE48 asetusarvo <input type="text"/> on <input type="text"/> matalampi kuin lämmitysverkoston menoveden asetusarvo	Pumpun ulkolämpötila pysäytysraja <input type="text"/>	
Jos lämmitysverkoston menoveden TE47 <input type="text"/> asetusarvo <input type="text"/> ei saavuteta, ohjataan sähkövastuksia portaittain päälle viiveen <input type="text"/> jälkeen.	Käynnistysraja <input type="text"/>	
Sähkövastukset ohjataan pois kun lämpötila TE47 on korkeampi kuin TE48 asetusarvo viiveen <input type="text"/> jälkeen.	Pumpun menovesi pysäytysraja <input type="text"/>	
6 kW <input type="text"/>	eroalue <input type="text"/>	
12 kW <input type="text"/>	Yöpudotus <input type="text"/>	
24 kW <input type="text"/>	Seisonta-ajan aikaohjelmat <input type="text"/>	
Pois päältä	Pumppu <input type="text"/> Venttiili <input type="text"/>	
1. Porras <input type="text"/> 2. Porras <input type="text"/> 3. Porras <input type="text"/> 4. Porras <input type="text"/> 5. Porras <input type="text"/> 6. Porras <input type="text"/> 7. Porras <input type="text"/>		

Kuva 15. Maalämpöjärjestelmän asetussivu (Valkeapää 2023)

Energian säästämiseksi kohteella on mahdollista sammuttaa lämmitysverkostojen pääpumppuja, joilla lämpöenergiaa kierrätetään järjestelmässä. Näille pysäytyksille asetellaan ulkolämpötilarajat. Ulkolämpötilarajan ylittyessä pumppu pysäytetään ja käynnistetään uudelleen, kun käynnistysraja on suurempi arvoltaan kuin ulkolämpötilaraja. Jäähdytysverkostossa toiminta on käänteinen lämmitysverkoston asetuksiin. Jäähdytyksen toiminta estetään, mikäli ulkolämpötila ei ole ylittänyt järjestelmään aseteltua raja-arvoa. Jäähdytyksen käynti estetään, kun ulkolämpötila laskee alle asetetun raja-arvon.

7.3 Testaus

Työmaalla tehtyjen kytkentätöiden jälkeen voidaan aloittaa kohteella testausvaihe, jossa varmistetaan laitteiden toimivuudet. Testauksen aikana testataan ja dokumentoidaan kohteen kaikki mahdolliset rakennusautomaatioon liittyvät pisteet. Pisteiden testaus aloitetaan kytkennöistä, joissa ei tarvita käyttöjännitettä mahdollisten väriin kaapeleiden käytön takia. Ensimmäisenä testataan vastusmittauksella toimivat lämpötilamittaukset. Jännitettä vaativien laitteiden testaus voidaan aloittaa, kun lämpötilojen mittausten osalta testaukset on saatu tehtyä. Jännitettä vaativien mittaustaitteiden testauksessa tarkistetaan, että näyttöpäätteen grafiikalle saadaan oikea lukema. Säädettävien toimilaitteiden osalta tarkistetaan, että laitteet säätävät suunnitellulla tavalla. Venttiilimoottoreissa testataan, että laite liikkuu auki ja kiinni asentoihin.

Maalämpöpumpun testaaminen aloitetaan varmistamalla väylän toimivuus niin, että väyläkommunikaatio toimii rakennusautomaation keskusyksikön kanssa. Väyläyhteyden kommunikoinnin toimimaan saamiseksi tulee varmistaa väylän kommunikointiasetuksista oikeat nopeudet, pariteetit ja pysäytysbitit. Väylän toimivuus voidaan varmistaa logiikan Modbus-sivulta, jonne määriteltynä olleet rekisterit näyttävät kommunikoinnin tilan. Väylän kommunikaation varmistamisen jälkeen tarkastellaan, onko väylän kautta luettavat tiedot samat ala-asemassa ja maalämpöpumpun säätimellä. Mikäli väyläyhteyttä ei saada toimimaan suoraan, voidaan kokeilla kääntää väyläkaapelin pareja päinvastaisiksi. Väyläyhteyden muodostumisen jälkeen käydään läpi maalämpöpumpun toimintoja, kuten maalämpöpumpun tilatieto ja pumpun ohjauksen toiminta. Kohde on valmiina asiakkaalle luovutettavaksi, kun kaikki rakennusautomaatioon liittyvät toiminnot ovat testattuna.

8 POHDINTA

Rakennusautomaatioprojekti onnistui hyvin ja lopputulos oli tilaajalle mieleinen. Tavoitteena oli laajentaa osaamistani väylälaitteiden liitoksissa, sekä saada toimiva liitos maalämpöpumpun ja alakeskuksen välille. Projektin yhteydessä laajensin osaamistani rakennusautomaatioprojekteissa, ohjelmoinnissa ja erityisesti Modbus-väyläliitosten tekemisessä. Eniten koin osaamiseni kasvaneen tilanteissa, joissa ohjelmakoodissa tai liitoksessa jotkin asiat eivät toimineet odotetulla tavalla. Vianetsintä pakotti syventymään järjestelmän toimintaan, jolloin ongelman korjaavat ratkaisut opettivat toiminnasta enemmän.

Rakennusautomaationprojektin kiireinen aikataulu hankaloitti työskentelyä, sillä ohjelmakoodiin syventymiseen olisi ollut syytä järjestää enemmän aikaa. Maalämpöpumpun liitos ja muun järjestelmän toiminta tuli saada toimimaan ennen kohteen luovutusta asiakkaan käyttöön. Projektin edetessä nopeasti osa materiaalista, kuten valokuvat kohteen lämmönjaosta opinnäytetyötä varten, tuli kerättyä heikosti.

Tiedonkeruu teoriaosuutta varten oli helppoa, sillä materiaalia liittyen Modbus-väylän toimintaan on todella laajasti saatavilla. Materiaalin paljous tuotti myös haasteita, sillä täytyi pohtia ja määrittellä, kuinka laajasti itse Modbus-väylän toimintaa työ käsittelisi. Väyläliitokset ovat kokonaisuutena laaja ja oli hyvä rajata työ käsittelemään Modbus-väylää.

Projektin aikana opin käyttämään ja konfiguroimaan Fidelixin MultiLINK -laitetta, jonka avulla väyläyhteys muodostettiin. Lisäksi pääsin laajentamaan ohjelmointitaitojani maalämpöpumppujärjestelmien parissa, sillä kohteen ohjelmakoodia tehdessä vastaan tuli monenlaisia ongelmia liittyen ohjelman toimivuuteen. Vianetsinnän avulla havaitsin ohjelmakoodista kohdat, joissa oli virheitä. Virheitä korjaamalla laajensin omaa osaamistani, sillä ohjelmakoodia korjatessa pystyin myös oppimaan virheistäni. Modbus-väylää käyttöönottaessa onnistuin saamaan väyläliikenteen toimimaan maalämpöpumpun ja rakennusautomaatiojärjestelmän välillä. Vaikka väyläliikenne ei aluksi lähtenyt kommunikoimaan, sain kollegoilteni opastusta siihen, miten toimia tilanteissa, jossa väyläkommunikaatio ei toimi suunnitellusti. Suurimmat haasteet liittyivät kuitenkin lähinnä opinnäytetyön kirjoittamiseen. Aikatauluhaasteiden vuoksi työn kirjoittaminen venyi odotettua pidemmälle.

Tulevaisuutta ajatellen koen opinnäytetyöni toimivan hyvänä pohjana työelämässä kohtaamilleni väyläliitoksille. Väyläliitoksien avulla tietoa voidaan kerätä enemmän ja nykyiseen ohjelmakoodiin on tulevaisuudessa mahdollista lisätä ominaisuuksia tarpeen mukaan. Jatkotoimeenpiteenä olisi hyödyllistä tuottaa vikatilanteita varten opas, johon jo havaitut vikatilanteet ja niiden korjauskehotukset olisi mahdollista koostaa. Opas nopeuttaisi vikatilanteissa toimimista, kun jo havaittuihin ongelma-kohtiin ei tarvitsisi etsiä ratkaisua alusta pitäen.

9 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tuottaa malliprojekti, jossa Modbus-kenttäväylää hyödyntämällä muodostetaan väyläliityntä rakennusautomaation ja maalämpöpumpun välille. Malliprojekti suoritettiin osana suurempaa kokonaisuutta kohteella, jonka rakennusautomaation työntilaaaja Fidelix Oy urakoi. Opinnäytetyön alussa esitetyt tavoitteet saavutettiin.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin rakennusautomaatiojärjestelmän eri osa-alueita. Osa-alueiden läpikäymisen tarkoitus oli muodostaa lukijalle kuva siitä, mistä osista rakennusautomaatiojärjestelmä koostuu. Opinnäytetyön väyläliityntä rajattiin Modbus-RTU:hun, jolla malliprojektissa olevaan maalämpöjärjestelmään liityttiin. Maalämpöjärjestelmän lämmöntuottoa tarkasteltiin sen toimintaperiaatteen kautta.

Opinnäytetyön toteutus aloitettiin tarkastelemalla suunnitelmia ja hankkimalla niiden pohjalta maalämpöjärjestelmän toimittajalta Modbus-rekisteritiedot. Rekisteritiedot saatua siirryttiin ohjelmointivaiheeseen, jossa luotiin ohjelmakoodi käyttäen Structured Text -ohjelmointikieltä. Ohjelmakoodin avulla maalämpöjärjestelmästä luettiin ja kirjoitettiin tarvittavat rekisteritiedot. Työmaalla kytkettiin maalämpöjärjestelmä rakennusautomaatiojärjestelmään hyödyntäen multiLINK-mediamuunninta. Mediamuuntimen väyläasetukset määriteltiin oikeanlaisiksi, jolloin lopputuloksena saatiin toimiva väyläyhteys logiikan ja maalämpöjärjestelmän välille. Maalämpöjärjestelmästä ja suunnitelmista saatujen tietojen avulla luotiin näyttöpäätteelle kuva, joka piti sisällään maalämpöjärjestelmän prosessin. Lopuksi työmaalla suoritettiin testaukset, joilla varmistettiin väylätoimintojen toimivuus.

Tuloksena saatiin tilaajalle onnistunut malliprojekti, jossa maalämpöjärjestelmän liitos onnistui suunnitelmien mukaisesti. Onnistuneesta toteutuksesta saatiin muodostettua kokonaisuus, joka käsittelee väyläliitokselle oleelliset työvaiheet. Lisäksi projekti, jonka osana väyläliitos tehtiin, luovutettiin onnistuneesti tilaajan asiakkaan käyttöön vuonna 2023.

LÄHTEET

- AutomationDirect, n.d. Automationdirect.com Structured Text.
https://cdn.automationdirect.com/static/helpfiles/ls_plc/Content/A_IntroductionTopics/LP001-2.htm
Viitattu 24.6.2025.
- DO Supply Inc., 2023. DOSupply. <https://www.dosupply.com/tech/2023/03/20/the-importance-of-fieldbus-in-industrial-automation/> Viitattu 23.6.2025.
- Fidelix Oy, n.d. <https://www.fidelix.com/wp-content/uploads/multiLINK-fi.pdf> Viitattu 19.3.2025.
- Gebwell Oy, n.d. www.gebwell.fi. <https://gebwell.fi/maalampo/miten-maalampo-toimii/> Viitattu 6.6.2025.
- Kemppainen, A., 2022. Taloyhtiön energiatehokkaat lämmitysratkaisut. 1. toim. Helsinki: Kiinteistömedia Oy.
- Mary, S., 2025. Techtarget. Päivitetty 20.2.2025 <https://www.techtarget.com/whatis/definition/hexadecimal> Viitattu 21.3.2025.
- Meriläinen, J., 2024. Buildwise Group. Päivitetty 30.1.2024 <https://www.buildwise.fi/rakennusautomaatio-tutuksi/> Viitattu 23.6.2025.
- Modbus tools, n.d. <https://www.Modbustools.com/Modbus.html> Viitattu 19.5.2025.1
- Modicon, 1996. Modbus.org. https://Modbus.org/docs/PI_MBUS_300.pdf Viitattu 22.3.2025.
- ST Käsikirja 22 Rakennusten automaation valvomot. 2023. Espoo: Sähkötieto Ry.
- ST Käsikirja 21 Taloteknisten järjestelmien tiedonsiirto. 2022. Espoo: Sähkötieto Ry.
- ST Käsikirja 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2018. Espoo: Sähkötieto Ry.
- ST Käsikirja 17 Rakennusautomaatiojärjestelmät. 2025. Espoo: Sähkötieto Ry.
- Valkeapää, Eetu 2025. Fidelix MultiLINK. Valokuva. 30.6.2025. Kuopio.