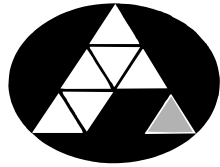


POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma

Antti Leppänen
Lari Sistonen

RAKENNUSAUTOMAATIO JA SEN SOVELTAMINEN PIENOIS-
MALLIYMPÄRISTÖSSÄ

Opinnäytetyö
Toukokuu 2012



POHJOIS-KARJALAN
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2012
Tietotekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
p. (013) 260 6800

Tekijä(t)
Antti Leppänen ja Lari Sistonen

Nimeke
Rakennusautomaatio ja sen soveltaminen pienoismalliympäristössä
Toimeksiantaja
Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä perehdyttiin rakennusautomaatioon ja sen soveltamiseen pienoismallitalossa. Projektin toteutettiin yhdessä rakennustekniikan opiskelijoiden kanssa. Rakennustekniikan opiskelijat laskivat talon rakenteelliset arvot.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli lämmityksen mallintaminen pienoismallitalolla ja opetusvälineen tekeminen rakennusautomaation tuleville kursseille. Työ piti sisälleen lämmitysjärjestelmät, ilmanvaihdon ja häiriöiden simuloinnin.

Pienoismallitalolle mietittiin sen toiminnot ja niiden automatisointi. Pienoismallilla pyrittiin mallintamaan oikeaa pientaloa pienemmällä aikaskaalalla. Pienoismalliin asennettiin sähköiset lattialämmitys- ja sähköpatterijärjestelmät. Automaatiolla mitattiin lämpötiloja ja tehtiin järjestelmän testaus.

Työ tehtiin Siemens S7 -logiikalla ja Beckhoffin hajautetulla I/O:lla. Testausta ja käyttöä varten tehtiin käyttöliittymä SIMATIC WinCC flexible -ohjelmalla. Pienoismalliin asennettiin ilmanvaihtojärjestelmä, jolla pyrittiin mallintamaan sen vaikutusta lämmitykseen.

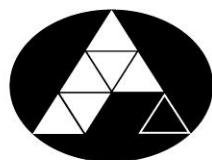
Pienoismalli toimintoinen saatiin valmiiksi ja talon toiminnot testatuksi. Pienoismallin lämmitykselle tehtiin askelvastekokeita. Askelvastekokeiden tulosten avulla tehtiin laskelmat pienoismallin ja oikean talon vastaavuudesta. Pienoismalli vastasi lämpöhäviöiltään ja suunnitelmiltaan oikeaa taloa hyvin. Pienoismallia voidaan käyttää rakennusautomaation opetuksessa ja sitä voidaan esitellä uusille opiskelijoille ja vierailijoille.

Kieli
Suomi

Sivuja 118
Liitteet 9
Liitesivumäärä 28

Asiasanat

rakennusautomaatio, ilmanvaihto, sähkölämmitys



NORTH KARELIA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS
May 2012
Degree Programme in Information Technology
Karjalankatu 3
FIN 80200 JOENSUU
FINLAND
Tel. 358 - 13 - 260 6800

Author(s)
Antti Leppänen ja Lari Sistonen

Title
Building Automation and Its Application to Scale Model
Commissioned by
North Karelia University of Applied Sciences

Abstract

This thesis concentrates on building automation, and its application in a scale model. The project was carried out with civil engineering students. They calculated the house's structural values.

The purpose of thesis was to simulate heating with the scale model and to make a teaching tool for future building automation courses. The work included heating systems, ventilation and failure simulation.

Functionality and automation were considered for the model of the house. The aim of the scale model was to model a real single-family house with a smaller time scale. The scale model was installed with an electric floor heating and electric radiator systems.

Temperature measuring and system testing were made with automation. The work was done with Siemens S7-PLC and Beckhoff distributed I/O. User interface for testing and use was made with SIMATIC WinCC flexible. A ventilation system was installed to the scale model, with the aim to model its effects on heating.

The scale model with its functions was completed and the functions were tested. Step response tests were made to the heating of the scale model. Equivalence calculations for the scale model and the real house were made by using the step response test results. The scale model corresponded well to a real house concerning heat losses and plans. The scale model can be used in teaching building automation and it can be presented to new students and visitors.

Language
Finnish

Pages 118
Appendices 9
Pages of Appendices 28

Keywords

building automation, ventilation, electric heating

Sisältö

1	Johdanto	6
2	Rakennusautomaatio	7
2.1	Rakennusautomaation osa-alueet	8
2.2	Rakennusautomaation merkitys kiinteistöissä	11
2.2.1	Energiatodistus	12
2.2.2	Rakennusautomaation vaikutus energiatehokkuuteen	13
2.3	Rakennusautomaatiojärjestelmän rakenne	15
2.3.1	Järjestelmien hierarkkinen rakenne	16
2.3.2	Integroidut rakennusautomaatiojärjestelmät	18
2.3.3	Kiinteistökohtainen rakennusautomaatiojärjestelmä	19
2.4	Rakennusten sähkölämmitys	19
2.5	Rakennusten ilmanvaihto	23
2.5.1	Ilmanvaihdon tarve	23
2.5.2	Ilman jako huoneisiin	24
2.5.3	Ilmastointijärjestelmät	26
2.5.4	Lämmöntalteenotto	28
2.6	Rakennusautomaatiojärjestelmän tiedonsiirto ja taloteknisten järjestelmien integrointi	31
2.6.1	Rakennusautomaation perinteinen hierarkia	32
2.6.2	Rakennusautomaation tietoturvasuus	34
2.6.3	Rakennusautomaatiojärjestelmien integrointi	35
2.7	Rakennusautomaatiojärjestelmän käyttöliittymät	36
3	Pienoismallin suunnittelu	37
3.1	Vaihtoehdot ja valinta	37
3.2	Talon kuvaus	39
3.2.1	Rakenne	39
3.2.2	Toiminnot	41
3.2.3	Huonekohtaiset määritykset	43
3.3	Talonsiirtokehikko	45
3.4	Järjestelmän suunnittelu	45
3.4.1	Kenttäsuunnittelu	45
3.4.2	Laitteiston suunnittelu	46
3.4.3	Ohjelmiston suunnittelu	48
3.4.4	Käyttöliittymän suunnittelu	49
4	Toteutus	50
4.1	Keskuksen kokoaminen	50
4.2	Logiikka ja hajautettu I/O	51
4.3	Talonsiirtokehikko	57
4.4	Ohjelmat	59
4.4.1	Lämmitys	59
4.4.2	Ilmanvaihto	60
4.4.3	Häiriöiden simulointi	60
4.5	Käyttöliittymän toteutus	61
4.6	Talon liittäminen automatiikkaan	66
4.6.1	Lattialämmitys	66
4.6.2	Huonelämpötilamittaukset	68
4.6.3	Sähköpatterit	69
4.6.4	Ilmanvaihdon liittäminen automatiikkaan	70

4.6.5 Turvatoiminnot	75
4.6.6 Häiriöt	75
5 Testaus	76
5.1 Laitteiston testaus	76
5.2 Järjestelmän toiminnallisuuden testaus	79
6 Tulokset	80
7 Pohdinta	80
Lähteet.....	84

Liitteet

Liite 1	Talon siirtokehikko
Liite 2	Tarvikelista
Liite 3	Sähkökaapin layout
Liite 4	KytKentäkuvat
Liite 5	Lämmitysjärjestelmien ohjelmien rakenne
Liite 6	Tuloilmapuhaltimen ohjelma
Liite 7	Häiriöiden ohjelmointi
Liite 8	Lattialämmityksen vastuslangan pituudet ja tehot
Liite 9	Testausraportti

1 Johdanto

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu. Projekti toteutettiin kahden rakennustekniikan opiskelijan kanssa. Tarkoituksena oli perehtyä rakennusautomaatioon ja kehittää pienoismalliympäristö, jolla voidaan havainnollistaa omakotitalon lämmitystä ja ilmanvaihtoa. Pienoismallitalo toteutettiin opetuskäyttöä varten.

Rakennusalan opiskelijoiden tehtävänä oli suunnitella ja rakentaa pienoismalli oikeasta omakotitalosta ja tehdä rakennusmääräyskokoelma D5:n mukainen energialaskenta. Meidän tehtävänä oli suunnitella ja toteuttaa talon lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmät sekä niihin vaikuttavien häiriöiden simulointi.

Lähtökohtana oli oikea omakotitalo, jonka erilaiset arvot suhteutettaisiin skauskertomien avulla pienoismalliin. Pienoismallin opetuskäyttöä varten toteutuksessa tuli ottaa huomioon erilaiset suojaukset.

Ennen varsinaisen työn aloittamista pyrittiin, onko vastaavanlaisia pienoismalleja aiemmin tehty. Mikkelissä oli toteutettu samaan käyttötarkoitukseen pienoismalli, mutta talon toimintoja ei ollut suhteutettu oikean talon mukaisesti. (Turtiainen 2011)

Opinnäytetyön teoriaosa rajattiin niin, että lukija saisi rakennusautomaatiosta yleisesti kattavan kuvan, joka kuitenkin koskisi käytännössä tehtyjä asioita. Lähdemateriaalina käytettiin mahdollisimman uutta tietoa. Tämän takia tietoa rakennusautomaatiosta otettiin paljon samoista lähteistä, koska uutta materiaalia ei ollut paljon saatavilla. Lämmitysjärjestelmiä käsittelevä kappale rajattiin vain sähkölämmitykseen, koska pienoismallitalossa ei ollut vesikiertoon perustuvaa järjestelmää.

2 Rakennusautomaatio

”Rakennusautomaatio määritellään erilaisiksi automaattisiksi säätö-, valvonta-, ohjaus- ja hälytystoiminnoiksi, joiden avulla hallitaan kiinteistöjen LVIS-prosesseja” (Forsman, Happonen, Kaleva, Kari, Koivisto, Koskenranta, Muttilainen, Mäki, Nummelin, Nurminen, Sahala, Sahlstén, Saikkonen, Sarkkinen & Virkki 1998, 27).

Kiinteistö- eli rakennusautomaatio on yksi automaatiotekniikan merkittävistä osa-alueista. Automaatiolaitteet säätävät lämmityksen ja ilmanvaihdon sopivaksi ja näin saavutetaan parempi viihtyvyys asunnoissa ja työpaikoilla. Turvallisuuden lisäämiseksi rakennuksiin hankitaan paloilmoittimia, murtohälyttimiä ja muita valvontalaitteita. Elintarvikkeiden säilyvyyttä varastoinnin aikana pyritään parantamaan automaattisilla kylmäkoneilla. Käyttökustannuksia vähennetään keskitetyillä säätö- ja valvontajärjestelmillä, joiden tietokonetoiminnot luovat uusia mahdollisuuksia automaatiosovelluksiin. Hajautettujen järjestelmien ansiosta järjestelmien muuttaminen myös myöhemmin on mahdollista ja helppoa. (Värjä & Mikkola 1999, 3.)

Kiinteistö- eli taloautomaation toiminnot ja ominaisuudet ovat samankaltaisia kuin prosessiautomaatiossa. Sitä kuitenkin ajatellaan omana ryhmänä, koska talojen valvonta ja säätökohteet ovat erilaisia kuin teollisuuden säätökohteet. (Värjä & Mikkola 1999, 5.)

Kiinteistöautomaation yleisimpiä käytettäviä toimintoja ovat suureiden mittaukset, energian ja vesimäärän laskenta, laitteiden toimintojen ohjaukset ja säädöt, valvonta- ja hälytystoiminnot, raportointi ja tiedon kokoaminen sekä keskitetty kiinteistöjen valvonta, jonka avulla mahdollistetaan isompien kokonaisuuksien automaatiotoiminnot. (Värjä & Mikkola 1999, 5.)

2.1 Rakennusautomaation osa-alueet

Lämmitys

Laadukas sisäilmasto ylläpitää käyttäjiensä terveyttä ja parantaa viihtyvyyttä ja työtehoa. Laatuun vaikuttaa useita tekijöitä kuten lämmitys, ilmastointi, ilmanvaihto, materiaalit sekä kunnossapito. (Rakennustieto Oy 2007, 5.)

Kansantalouden kannalta lämmityksellä on suuri merkitys, koska lämmitysenergian osuus Suomen primäärienergian käytöstä on noin kolmannes. Riippumatta käytettävästä lämmitystavasta aiheutuu lämmityksestä aina ympäristöhaittoja. Tätä silmällä pitäen tulisi lämmitysratkaisut tehdä niin, että energiaa menisi hukkaan mahdollisimman vähän. (Rakennustieto Oy 2007, 5.)

Lämmityslaitteilla lämmitetään rakennusten tilat, käyttövesi ja rakennuksen ilmanvaihdon ottama tuloilma. Lämmitysjärjestelmää valittaessa tulee ottaa huomioon mm. rakennuksen käyttötarkoitus ja koko, energiantarve ja sijainti. (Rakennustieto Oy 2007, 5.)

Ilmanvaihto

Ilmanvaihdolla tarkoitetaan yleisesti huoneilman laadun ylläpitämistä ja parantamista huoneen ilmaa vaihtamalla. Ilmastoinnilla tarkoitetaan puolestaan huoneilman puhtauden, lämpötilan, kosteuden ja ilman liikkeen hallintaa tulo- tai kierrätysilmaa käsittelemällä. (Korkala & Laksola 2009, 47.)

Rakennukset ovat ihmisten tärkein elinympäristö, koska ihmiset viettävät 80-90 % ajastaan sisätiloissa. On hyvin tärkeää, että rakennuksen olosuhteet ovat kunnossa. Sisäilmastolla tarkoitetaan rakennuksen ympäristötekijöitä, joilla on vaikutusta ihmisen terveyteen ja viihtyvyyteen. Sisäilmastotekijöillä on myös vaikutusta rakennuksen rakenteiden kuntoon. (Holopainen, Pasanen, Railio, Säteri & Virranta 2008, 11.)

Sisäilmasto jaetaan kahteen osaan: lämpöoloihin ja sisäilman laatuun. Lämpöoloihin vaikuttavat sisäiset ja ulkoiset lämpökuormat, lämmitys- ja jäähdytysjär-

jestelmät sekä ilmanvaihto. Sisäilman laatu määritellään siten, että kuinka paljon on epäpuhtauspäästöjä suhteessa ilmanvaihdon määrään. (Holopainen ym. 2008, 11.)

Kulunvalvonta

Kulunvalvontajärjestelmän tarkoituksena on pitää yllä toimitilojen turvallisuutta, suojata kohteen omaisuutta, ohjata kulkua sekä rajoittaa luvatonta kulkua. Kulunohjaus ja luvattoman kulun rajoittaminen kohdistuu ulkopuolisiin kuin myös yrityksen omaan henkilökuntaan. Yrityksen oman henkilökunnan kulkua ohjataan erilaisilla aika- ja osastorajoituksilla ja ulkopuolisten henkilöiden kulku on estetty sellaisiin tiloihin, mitkä on tarkoitettu vain yrityksen henkilökunnalle. (Hovinen, Kauppi, Leskinen, Vuorinen & Vironen 2007, 41.)

Kaikki tieto kulunvalvonnasta tallennetaan lokitiedostoihin keskusyksikköön. Jälkeenpäin tätä tietoa voidaan tarvittaessa hyödyntää. Kulkutapahtumia voidaan säilyttää keskusyksikössä joko kuukausia tai vuosia riippuen muistikapasiteetista. (Hovinen ym. 2007, 41.)

Rikosilmoitinjärjestelmät

Rikosilmoitinjärjestelmän tehtävä on ilmoittaa rikoksesta valvomalla kohteeseen tapahtuvaa tunkeutumista sekä siellä olevaa liikettä. Hälytys voidaan lähettää haluttaessa eri paikkoihin joko hälytyskeskukseen, vartiointiliikkeelle tai kohteen omistajille. Hälytys voidaan myös ilmoittaa paikallisesti esim. äänimerkillä. Tällöin hälytyksen tietoa ei välitetä kohteesta eteenpäin. (Kinnunen 2008, 11.)

Rikosilmoitinjärjestelmä voidaan toteuttaa myös langattomana, jolloin säästetään kaapelin vetämiseltä ja sen kätkemiseltä. Kaikkiin kohteisiin langaton järjestelmä ei kuitenkaan sovellu, koska sähkömagneettiset häiriöt voivat aiheuttaa ongelmia sen toiminnassa. Rikosilmoitinjärjestelmän rakenne koostuu keskuksesta, ohjauslaitteista, hälytyksensiirtolaitteista ja ilmaisimista. (Kinnunen 2008, 11.)

Kameravalvonta

”Videovalvonta on valvontatekniikka, jossa valvontakameralla kuvataan jotakin kohdetta siten, että näin välittyntä kuvaa voidaan katsoa jossakin toisessa paikassa monitorista ja/tai kuva tallentuu myöhemmin katsottavaksi.” (Takala 1998, 4.)

Kameravalvonta on yrityksien ja yksityishenkilöiden laajasti käyttämä menetelmä, jolla tuotetaan jatkuvaa kuvallista tietoa halutusta kohteesta. Tietoa voidaan seurata reaaliaikaisesti tai tallentaa myöhempää käyttöä varten. (Finanssialan Keskusliitto 2006, 5)

”Kameravalvonnan tarkoitus on antaa asianmukainen heräte henkilö- tai omaisuusvahinkoja estävien tai rajoittavien toimenpiteiden aloittamiselle.” (Finanssialan Keskusliitto 2006, 5)

Paloilmoitinjärjestelmät

Paloilmoittimen tarkoitus on ilmoittaa ja varoittaa kiinteistössä olevia henkilöitä alkavasta palosta niin ajoissa, että kiinteistössä olevat henkilöt pääsevät turvaan laadittujen suunnitelmien ja ohjeiden mukaisesti. (Heino 2009, 11.)

Paloilmoitinjärjestelmä voidaan vaatia henkilöturvallisuuden perusteiden, halutessa suuria palo-osastoja tai vapaaehtoisesti jos halutaan turvata omaisuutta. (Holmén, Hovinen, Hyytiä, Hänninen, Juhonen, Marttila, Orrainen & Tarvainen 2004, 35-36)

”Paloilmoitin edellytetään yli 50 majoituspaikan majoitustiloihin ja yli 25 vuodepaikan hoitolaitoksiin sekä päivähoitolaitoksiin, jotka on tarkoitettu yli 25:lle hoidettavalle.” (Holmén ym. 2004, 36)

Valaistus

Yleensä valaistuksen ohjauksella tarkoitetaan ulko- ja sisävalaistuksen ohjausta erilaisten tarpeiden ja tilanteiden mukaan. Energiaa voidaan säästää, kun järjestelmälle määritellään erilaisia toimitiloja tarpeiden mukaan. Säästöjä voidaan esimerkiksi saavuttaa ohjaamalla valot sammuksiin rakennuksista tai rakennuksen osista, missä valoja ei sillä hetkellä tarvita. Toinen tapa saavuttaa energiänsäästöjä on säätää valaisimien valaistuksen voimakkuutta tarvittavalle tasolle, esim. päivällä saavutetaan tarvittava valaistuksen voimakkuus pienemmällä teholla kuin yöllä. (Eklund 2008, 16)

Ulkovalaistusta ohjataan yleensä silloin, kun rakennuksessa on automaatiojärjestelmä, johon on liitetty ulkovalaistus. Sisävalaistuksen ohjaus on yleensä käytävävalojen ohjausta tarpeen mukaan. Käytävävalojen ohjausta tehdään esimerkiksi julkisissa kiinteistöissä kuten sairaalat ja hotellit. (Eklund 2008, 17)

2.2 Rakennusautomaation merkitys kiinteistöissä

Energiatehokkuusvaatimukset ovat kiristyneet jatkuvasti, mikä on muuttanut merkittävästi LVIA- ja sähkötekniikan suunnittelu- ja toteutusperiaatteita. Energiaa pyritään säästämään entistä enemmän tarkennetuilla säätötavoitteilla, prosessia pyritään mukauttamaan erilaisiin käyttötilanteisiin ja säätö- ja ohjausmahdollisuudet toteutetaan yhä yksilöllisemmin kuten esimerkiksi huonetasolla. Häiriö- ja vikatilanteista pyritään palautumaan nopeammin, koska mikäli järjestelmä ei toimi tarkoitetulla tavalla, se lisää energiankulutusta. (Härkönen, Mikkola, Piikkilä, Sahala, Sahlstén, Sandström, Sirviö, Spangar & Sulku 2012, 49)

Oikeanlaisella instrumentoinnilla, kohteisiin sovitetuilla ohjelmistoilla ja nykyaikaisilla säätö- ja valvontajärjestelmillä saavutetaan kaikki hyöty rakennukseen sijoitetuista energiainvestoinneista. (Härkönen ym. 2012, 49.)

Rakennusautomaatioinvestoinnille voidaan määritellä seuraavat tärkeimmät tavoitteet:

- Sen tulee toteuttaa prosessien säädöt ja ohjaukset suunnitelmien mukaisesti.
- Sen tulee valvoa taloteknisiä toimintoja hälytysten ja mittauksien avulla.
- Sen järjestelmästä tulee saada sellaista tietoa, mikä auttaa laitoksen toiminnallista ja energiatehokasta ylläpitoa.
- Sen käyttöliittymän tulee olla selkeä, nopeasti opittavissa ja päivittäistä käyttöä tukeva.

(Härkönen ym. 2012, 49.)

2.2.1 Energiatodistus

Ympäristöministeriö on tehnyt luokitusjärjestelmän rakennusten energiatehokkuuden ohjausta ja kehittämistä varten, jonka keskeisimpiin osiin kuuluu energiatodistus. Todistus sisältää erilaisia energialuokkia, jotka määräytyvät uudisrakennuksissa laskennallisesti ja vanhoissa rakennuksissa energialuokka perustuu jo tehtyyn kulutukseen. Laskemista voi halutessaan helpottaa ostamalla ohjelmiston, joka on laadittujen ohjeistuksien mukainen. (Härkönen ym. 2012, 49-50.)

Energiantodistuksessa määritellään rakennukselle energiatehokkuusluku jakamalla rakennuksen tarvitsema vuotuinen energiamäärä rakennuksen bruttopinta-alalla. Vaadittava luokitusaste määräytyy rakennuksen käyttötarkoituksen mukaan. (Härkönen ym. 2012, 50.)

Vuoden 2012 alusta asti on sovellettu uudistettua energiatehokkuuden määrittelyä, jossa ET-luku on korvattu E-luvulla. E-luku määritellään niin, että rakennuksen energiamuodoilla on kerroin, joka kerrotaan vuotuisella ostoenergiankulutuksella ja jaetaan rakennuksen normaalikäyttöön lämmitetyllä nettoalalla. Rakentamismääräys D3:n mukaiset kertoimet:

- sähkö 1,7
- kaukolämpö 0,7
- kaukojäähdytys 0,4
- fossiiliset polttoaineet 1,0
- uusiutuvat polttoaineet 0,5.
(Härkönen ym. 2012, 50.)

Mitä pienempi E-luku on sitä parempi luokitus. Erona ET-lukuun on, että E-luku ottaa huomioon energiamuotojen ympäristövaikutukset, sekä pyrkii hyvittämään rakennuksen omaa mahdollista energiamuotoa (maalämpö, tuulienergia, aurinkopaneelit). (Härkönen ym. 2012, 50.)

2.2.2 Rakennusautomaation vaikutus energiatehokkuuteen

Rakennusautomaatiolla on kolme erilaista tapaa, jotka liittyvät energiatehokkuuteen:

- Automaatiota hyödyntäen suunnitellaan prosesseja niin, että energiatehokkuus optimoituu
- Virhe- ja korjausajat minimoidaan automaatiojärjestelmän valvonnan ja hälytyksien avulla
- Rakennusautomaatiojärjestelmä tuottaa käyttäjälleen informaatiota jota hyödyntäen voidaan paremmin ymmärtää, verrata ja kehittää rakennuksen toimintaa.
(Härkönen ym. 2012, 51.)

Prosessin optimointi

Prosessien energiatehokkuutta voidaan optimoida usealla eri tavalla. Ilmanvaihtoa voidaan optimoida ohjaamalla ja säätämällä se toimimaan CO² -mittauksien mukaan, jolloin se toimii tarpeen mukaisesti. (Härkönen ym. 2012, 51.)

Yöjäähdytyksen avulla voidaan helleaikoina vähentää päiväjäähdytyksen tarvetta. Yön aikana poistetaan ylimääräinen lämpö ja pyritään sitomaan viileä ilma rakennuksen rakenteisiin. Yöjäähdytyksen aikana jäähdytyskonetta tai lämmitystä ei pidetä päällä jolloin saadaan aikaiseksi energiansäästöä. Kesäisin lämmön talteenottoon voidaan ottaa käyttöön jäähdytys talteenotto, jolloin jäähdytyslaitteistoa voidaan käyttää normaalia vähemmän. (Härkönen ym. 2012, 51.)

Jäähdytysverkosto voidaan säätää toimivaksi ulkolämpötilan mukaan. Tällöin jäähdytys saadaan toimimaan optimaalisella tavalla eivätkä koneet ole käytössä turhaan. (Härkönen ym. 2012, 51.)

Dynaamisella kuolleen ajan käytöllä lämmitys- ja jäähdytysaikaissa vältetään turhilta koneiden käytöiltä mikäli järjestelmään tulee äkillinen lämpötilavaihtelu poikkeavasta syystä. (Härkönen ym. 2012, 51.)

Ohjelmiston avulla voidaan vielä tehdä tarkempia ohjaus- ja säätötapoja, mutta on otettava huomioon, ettei se vaikuta laitoksen käytettävyyteen negatiivisesti. (Härkönen ym. 2012, 51.)

Valvonta ja hälytys

Rakennuksen optimointi on tärkeää, mutta mikäli prosessit eivät toimi niin kuin on suunniteltu voi rakennuksen energiankulutus kasvaa suuresti. Keskeisiä asioita lämmityskauden kulutusta pienennettäessä ovat oikein säädetty ilmanvaihdon käyntiaika ja lämmöntalteenoton toiminta. (Härkönen ym. 2012, 51-52.)

Järjestelmä valvoo lämmön talteenoton toimintaa hyötysuhdelaskennan avulla aina kun kone on käynnissä. Mikäli määritelty ulkolämpötilasta riippuva alaraja alitetaan, järjestelmä tekee hälytyksen. Hälytyksiä voidaan ohjelmoida johdannaisuureitten lisäksi myös kaikkiin mittauksiin ja indikoiteihin (Härkönen ym. 2012, 52.)

Järjestelmän koneisiin on määritelty erilaisia aikaohjelmia joilla määritellään miten koneen tulisi käyttäytyä milläkin hetkellä. Koneiden käyttöaikoja voidaan

valvoa vertaamalla koneen nykyhetken toimintaa aikaohjelman mukaiseen tilanteeseen. Jos koneen käyttäytyminen poikkeaa määritellystä käyttäytymisestä järjestelmä tekee hälytyksen. (Härkönen ym. 2012, 52.)

Raportointi ja informaation tuottaminen

Absoluuttinen vuosikulutus, mikä käsittää lämmönkulutuksen sekä sähkön ja veden kulutuksen on rakennuksen energiatehokkuutta arvioidessa hyvin oleellinen tunnusluku. Kytkemällä järjestelmään ko. mittaukset voidaan niistä kerätä oleellista tietoa ja muokata tätä tietoa haluttuun muotoon raportointiohjelmilla. Graafisella trend-tulostuksella on helppo vertailla eri vuosien tai kuukausien mitaustuloksia keskenään mikäli tietoa on tallessa jo pitkältä ajalta. Tulostukseen kytketyt suureet kuvataan aika-akselilla. Näiden tuloksien perusteella voidaan arvioida rakennuksen toimivuutta ja käyttöastetta. (Härkönen ym. 2012, 52.)

Raportointiohjelmiston hälytysloogia voidaan suodattaa niin, että etsitään eniten hälytyksiä aiheuttaneet laitteet ja sitten kohdistaan kunnossapitoresursseja tehokkaammin olennaisiin asioihin. (Härkönen ym. 2012, 52.)

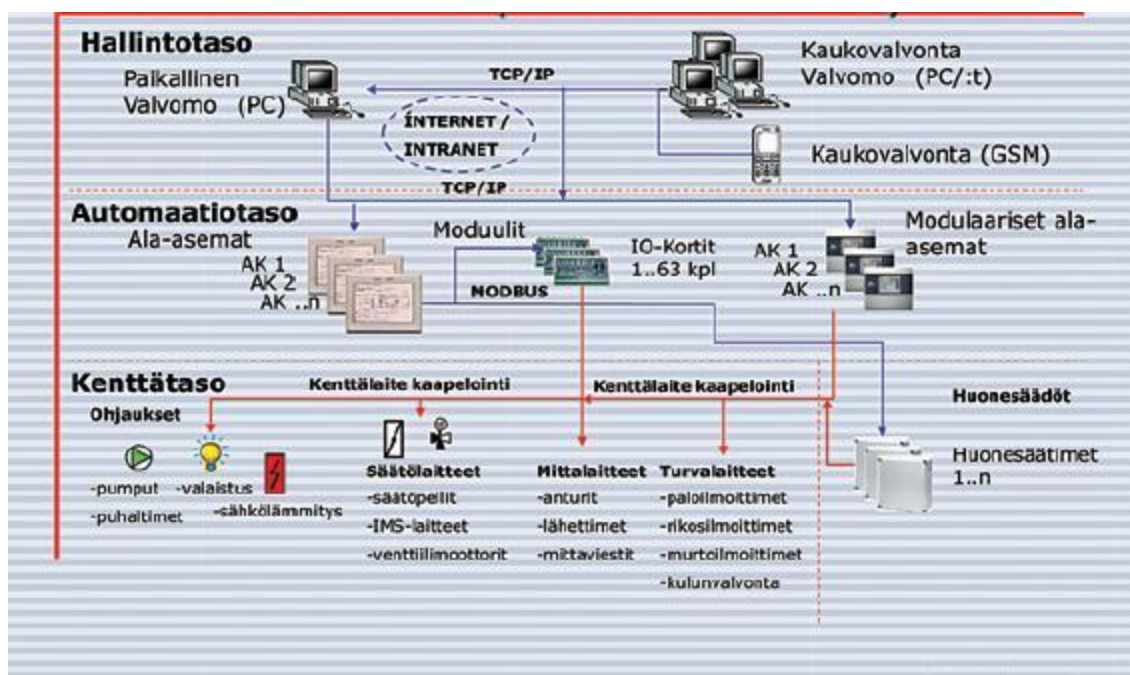
2.3 Rakennusautomaatiojärjestelmän rakenne

Nykypäivänä rakennusautomaation kehitys kulkee yhä enemmän samaa vauhtia kuin IT-tekniikan yleinen kehittyminen. Näitä tekijöitä ovat internetin, PC-tekniikan ja elektroniikan komponenttien kehitys. Rakennusautomaation kehitystä parantaa myös jatkuva kiinteistönhoidon tehostaminen, erilaiset tuotteet ja palvelut joilla pyritään parantamaan viihtyvyyttä, energiansäästöä ja ympäristötekijöitä. Rakennusautomaatiojärjestelmien pohjautuessa yhä enemmän yleiseen IT-tekniikkaan on järjestelmien hinnat pysyneet alhaisina ominaisuuksien ja suorituskyvyn lisäyksestä huolimatta. (Härkönen ym. 2012, 93)

2.3.1 Järjestelmien hierarkkinen rakenne

Hallintotaso

Hallintotasolla tarkoitetaan käyttäjärajapintaa järjestelmään päin. Käytännössä sillä tarkoitetaan PC-valvomoita. Valvomoon tulee jatkuvaa tietoa prosessin tilasta. Käyttäjä voi seurata graafisia prosessikuvia, kuitata hälytyksiä ja ohjata prosessia halutulla tavalla. PC-valvomoita voi olla useita automatisoitavan kiinteistön sisällä. Kauko- ja etävalvomoihin keskitetään usein usean eri kiinteistön valvonta ja näin ollen kaikkia voidaan ohjata fyysisesti samasta paikasta. Kunnossapidon ja raportoinnin lisätoiminnot kuuluvat myös hallintotason toimintoihin. (Härkönen ym. 2012, 93)



Kuva 1. Rakennusautomaation yleinen rakenne. (Härkönen ym. 2012, 94)

Paikallisesti hallintotasolla kommunikaatio usein perustuu LAN-verkkoon ja etävalvonnassa käytetään laajakaistatekniikkaan perustuvia internetyhteyksiä. Ennen nämä toteutettiin kiinteillä tai soitto modeemyhteyksillä, joiden tiedonsiirto kapasiteetti ja toimintavarmuus olivat huomattavasti heikompia. (Härkönen ym. 2012, 94)

Automaatiotaso

Automaatiotason perustana voidaan pitää itsenäisiä alakeskuksia ja niihin liitettäviä I/O-moduuleja. Alakeskuksessa voi olla myös kiinteä määrä I/O-pisteitä. Alakeskuksessa sijaitsevat ohjelmat, joiden tehtävänä on ohjata siihen liittyvien I/O-pisteiden välityksellä prosesseja kuten esim. IV-koneita ja lämmönvaihtimia. (Härkönen ym. 2012, 95)

Yleensä automaatiotasolla tapahtuva kommunikaatio perustuu LAN-verkkoon ja TCP-IP-protokollaan. Automaatiotason kaapelointina käytetään CAT 6 -standardin mukaista kaapelointia, jolla saavutetaan 100 Mb/s tiedonsiirtonopeus. Saneerauskohteissa usein käytetään langatonta verkkoa, koska uusien kaapeleiden vetäminen on vaikeampaa. Verkossa liikkuvaa tietoa käyttää hyödyksi käyttäjä valvomossa kuin myös alakeskukset keskenään esim. samaa mittausta käyttävät hyödyksi kaikki ala-asetat eikä jokaiselle ala-asetalle ole omaa anturiaan. (Härkönen ym. 2012, 95)

Kenttätaso

Yleisesti kenttätasolla tarkoitetaan antureita ja toimilaitteita. Antureiden tehtävänä on välittää reaaliaikaista tietoa prosessien tilasta, olosuhteista ja muutoksista. Alakeskuksien ohjelmistot käsittelevät antureilta tulevaa tietoa. Ohjelmistot vertailevat tietoa suunnittelijan tekemiin ohjelmiin ja ohjaavat prosessia halutulla tavalla. (Härkönen ym. 2012, 95)

Hajautettu I/O eli sarjaväylällä kommunikoiva input-output-moduuli sijaitsee kenttätasolla. Kentällä on myös erilaisia säätimiä hoitamassa pienempiä tehtäviä. Itsenäiset säätimet esim. huonesäätimet säätävät huoneen lämpötilaa ja integroidut säätimet ohjaavat esim. IV-koneita, lämmönvaihtimia ja jäähdytyskoneistoja. (Härkönen ym. 2012, 95)

Taajuusmuuttajat, joiden tehtävänä on ohjata puhaltimia, pumppuja ja moottoreita kommunikoivat alakeskuksien kanssa, mutta niillä on omat ohjauskeskukset. Kommunikointi alakeskuksien ja kentällä olevien laitteiden välillä tapah-

tuu kenttäväylän avulla, joita on useita erilaisia. Yleisimmin käytettyjä kenttäväylästandardeja ovat Modbus, Lon, KNX, EIB jne. Käytettävä väylä riippuu monista eri seikoista kuten

- sovelluksesta
 - kohteeseen valituista laitteista
 - asiakkaan tekemistä valinnoista
 - urakoitsijan tarjoamista vaihtoehtoista
- (Härkönen ym. 2012, 95.)

2.3.2 Integroidut rakennusautomaatiojärjestelmät

Integroiduilla automaatiojärjestelmillä tarkoitetaan järjestelmiä, johon on liitetty muitakin taloteknisiä järjestelmiä. Yleensä näitä järjestelmiä ovat erilaiset turvallisuutta parantavat järjestelmät kuten

- kulunvalvonta
 - murtohälytysjärjestelmät
 - kameravalvonta
 - palohälytysjärjestelmät
- (Härkönen ym. 2012, 95.)

Parhaimmillaan integrointia voidaan tehdä usealla eri järjestelmän tasolla. Alakeskukseen voidaan suoraan liittää murtohälytyksen anturit kuin myös kulunvalvonnan ovikytköt. Prosessin valvomossa on yhteinen PC, jolla käyttäjä voi ohjata halutessaan rakennusautomaatiota sekä turvajärjestelmiä. Rakennusautomaation ja turvajärjestelmien tietoverkko ja tiedonsiirtolaitteet ovat yhteisiä. (Härkönen ym. 2012, 95.)

2.3.3 Kiinteistökohtainen rakennusautomaatiojärjestelmä

Kiinteistökohtainen rakennusautomaatiojärjestelmä koostuu valvomosta, al asemista, kentälaitteista ja kentällä sijaitsevista itsenäisistä säätimistä. Järjestelmän eri osat kykenevät kommunikoimaan keskenään erilaisten tiedonsiirtolaitteiden ja kaapeloinnin ansiosta. (Härkönen ym. 2012, 96.)

Rakennusautomaatiojärjestelmän älykkyys sijaitsee ohjelmistoissa, mikä on hajautettu eri tasoille ja laitteille.

- Valvomossa ovat käyttäjän tarpeisiin soveltuvat ohjelmat prosessin ohjaukseen ja valvontaan
- Alakeskuksissa on ohjelmat prosessin itsenäiseen ohjaukseen ja valvontaan
- Kenttätasolla on säätimet, joiden ohjelmat ohjaavat ja säätävät jotain yksittäistä kohdetta.

(Härkönen ym. 2012, 96.)

Tiedonsiirto-ohjelmat mahdollistavat kommunikoinnin järjestelmän eri osien välillä ja niissä tulisi käyttää yleisimpiä standardiprotokollia. Järjestelmän luotettavuus kasvaa hajautetun älykkyyden ansiosta. Vaikka yhteys PC-valvomoon katkaisi kykenisivät alakeskukset jatkamaan toimintaa itsenäisesti, jotta kiinteistön olosuhteet pysyisivät normaaleina. (Härkönen ym. 2012, 96.)

2.4 Rakennusten sähkölämmitys

Rakennuksen sähkölämmitys voidaan toteuttaa usealla eri tavalla muun muassa pattereilla, ikkunalämmityksellä, katto- tai lattialämmityksellä tai näiden eri yhdistelmillä. Usein uusiin rakennuksiin kuitenkin nykypäivänä asennetaan lattialämmitys joko suoralämmityksellä tai varaavana vesikiertoisena. (Kähkönen 2005, 12)

Sähkölämmitystä ohjataan päälle pois pulsseilla termostaattien avulla huonekohtaisesti joko lattiatermostaateilla, huonetermostaateilla tai molempien avulla. Huonetermostaateilla saadaan vakaampi sisälämpötila, koska niissä mitataan ja ohjataan suoraan huoneen lämpötilaa. (Kähkönen 2005, 12-13)

Kattolämmitys

Rakennuksen sisäkaton eristeen ja pinnoitteen väliin on asennettu lämmityskelmut, jotka lämmittävät katon pinnoitemateriaalin maksimissaan 40 °C lämpötilaan. Pintamateriaaleista lämpö siirtyy säteilyä huonetilaan ja lämmittää siellä olevia ihmisiä, lattiaa, seiniä, huonekaluja jne. (Rautiainen 1997, 9.)

Lämmönsiirtymisen vaikutusta voidaan verrata auringon säteilyyn, mutta lämpötilan ollessa näin alhainen säteily on pelkkää lämpöä, ilman haitallista UV-, röntgen-, gamma- tms. säteilyä. (Kara 1994, 103.)

Verrattuna patterilämmitykseen, missä lämmitys perustuu enemmän ilman lämmitykseen, aistii ihminen kattolämmityksen lämpötilan korkeammaksi lämpösäteilyosuuden ansiosta. Teoriassa tällöin voitaisiin huonelämpötilaa laskea pari astetta, millä saavutettaisiin pienempi energiankulutus. (Kara 1994, 103.)

Kalusteiden ja ihmisten asuttavuuden kannalta kattolämmityksessä on hyvät ja huonot puolensa. Kattolämmityksellä saavutetaan suuri etu joissakin kohteissa esim. päiväkodeissa ja lastenhuoneissa, koska lämmittimeen ei pääse käsin koskettamaan. Lämpösäteilyn tullessa laajalta pinta-alalta on huone lämmin tasaisesti joka puolelta myös pöytien ja tuolien alta. (Kara 1994, 103.)

Nykyisten ikkunarakenteiden ollessa hyviä ei uudisrakentamisessa tarvitse pelätä ikkunavetoa, koska oikein sijoitetulla ja asennetulla kattolämmityksellä saavutetaan hyvät huoneilmasto ja lämpötilaolosuhteet. Jos taloa ollaan saneeraamassa ja huoneissa on kaksilasiset ikkunat, kannattaa suunnittelussa miettiä tarvitseeko ikkunoiden alle asentaa lisälämmittimet. (Kara 1994, 103.)

Lattialämmitys

Yhä useammassa uudisrakennuksessa ja korjausrakentamisen yhteydessä rakennuksen lämmitystavaksi valitaan lattialämmitys. Sen tärkeimpiä valintaperusteita ovat yönaikaisen energian varastoiminen rakenteisiin ja hyvä lämpöviihtyvyys. Lattialämmitystä voidaan käyttää puu- ja kipsilevyrakenteisissa lattioissa kuin myös betonirakenteisissa. Pientalon kaikissa huonetiloissa on mahdollista käyttää lattialämmitystä ja se soveltuu asennettavaksi myös jälkikäteen esim. kylpyhuoneen lattiapinnoitetta uusittaessa. (Rautiainen 1997, 7.)

Perinteisesti lattialämmitystä käytetään yökäyttöisesti tai jatkuvakäyttöisesti. Yökäytöllä saavutetaan kustannussäästöjä, koska rakennusta lämmitetään halvemman sähköhinnan ajalla. Lämmitettävän laatan lämpötilaa nostetaan yön aikana, ja päivällä se laskee takaisin lähelle huoneen lämpötilaa. Lattialämmityksen teho määritetään huoneen lämpöhäviöiden mukaan noin kaksinkertaiseksi. Jos yökäyttöisen lattialämmityksen teho ei riitä lämmittämään huonetta päivällä on syytä hankkia avuksi tasaavia lämmittämiä esim. patteri- tai ikkunälämmitys. (Rautiainen 1997, 7.)

Jatkuvatoimisen lattialämmityksen teho määritetään vain hiukan huonetilan lämpöhäviötä suuremmaksi. Siinä missä yökäyttöisessä lattialämmityksessä lämmitettävän laatan lämpötilaerot vaihtelivat suurestikin yön ja päivän aikana ne jatkuvatoimisessa pyritään pitämään tasaisena. Jatkuvatoiminen lattialämmitys ei tarvitse avukseen lisälämmittämiä. (Rautiainen 1997, 7.)

Jatkuvatoimista lattialämmitystäkin voidaan käyttää niin, että suurempi osa sen kuluttamasta energiasta painottuu yöajalle säätämällä tarvittavat asetusarvot. Yöajan asetusarvot asetetaan suuremmiksi ja päiväsaajalla laatan lämmitys lähtee päälle vasta kun sen lämpötila on laskenut alemman asetusarvon tasolle. (Rautiainen 1997, 7-8.)

Ikkunalämmitys

Vetoa syntyy lämmityskaudella kun ikkunoiden sisäpintojen lämpötila laskee reilusti alle huoneen lämpötilan. Kylmä ikkuna jäähdyttää ilmaa ja sen lähellä on epämiellyttävä oleskella, koska ihmisen keho säteilee lämpöään kylmiä pintoja kohti. (Rautiainen 1997, 9-10.)

Vetohaitat saadaan poistettua kun ikkunapinta lämmitetään saman lämpöiseksi kuin huoneilma. Ikkunalämmityksen päätarkoitus on parantaa lämpövihtyvyyttä, mutta se soveltuu myös lämmitykseen sellaisissa tiloissa joissa on suuri ikkunapinta-ala. Pientaloissa se soveltuu parhaiten käytettäväksi muiden lämmitystapojen täydentäjänä. (Rautiainen 1997, 10.)

Sähköikkunan sisimmässä lasissa on selektiivikerros joka johtaa sähköä ja lämpenee, kun siihen kytketään jännite. Sähkölasin hyötysuhde, eli miten paljon lasiin syötetystä tehosta saadaan hyödynnettyä lämpötehoksi, on yli 90%. Sähkölasin toimintaidea on, että selektiivikerros heijastaa sisältä tulevan lämpöenergian takaisin sisätiloihin ja samalla estää liian auringon lämpösäteilyn pääsyn sisälle. (Rautiainen 1997, 10.)

Patterilämmitys

Talon lämmittäminen pattereilla on hyvin perinteinen ja toimiva tapa toteuttaa sähkölämmitys. Pattereiden lämpötilan on noustava huomattavasti suuremmaksi kuin ikkuna-, katto-, tai lattialämmityksessä jotta sama lämmöntarve katettaisiin. Tämä johtuu siitä, että pattereiden lämpenevä pinta-ala on paljon pienempi. Rakenteisiin sijoitettavat lämmitystavat ovat syrjäyttämässä perinteisen patterilämmityksen asemaa. (Rautiainen 1997, 11.)

Patterit sijoitetaan talossa ikkunoiden alapuolelle vähentämään ikkunoista tulevaa vetoa. Pattereiden lämpötilaa voidaan säätää pattereiden omalla termostaatilla tai erillisellä huonetermostaatilla. Patterilämmityksen hyviä puolia on, että se lämmittää huoneen nopeasti. (Rautiainen 1997, 11.)

Vaikka huoneen lämmitys toteutetaan lattia- tai kattolämmityksellä on suositeltavaa, että patterivaraukselle vedetään putkitus. Huoneeseen voidaan sijoittaa patteri tarvittaessa jos muut lämmittimet ovat väärin mitoitettu tai ne menevät rikki. (Rautiainen 1997, 11.)

2.5 Rakennusten ilmanvaihto

Vanhat ilmanvaihtojärjestelmät perustuivat painovoiman vaikutukseen, missä vaikuttavina tekijöinä ovat myös lämpötilaerot ja tuuli. Rakennuksen katolla olevien poistokanavien kautta lämmin ja käytetty ilma nousee ylös ja poistuu rakennuksesta. Raitisilmaventtiilien ja rakenteiden väljien kohtien kautta saadaan käytetyn ilman tilalle korvausilmaa. (Kähkönen 2005, 13)

Nykyään ilmastointi toteutetaan koneellisesti ja useissa kiinteistöissä ilmanvaihto on varustettu lämmöntalteenotolla, mikä parantaa taloudellisuutta. Rakennuksesta poistuvan ilman lämpö saadaan kierrätettyä takaisin tulevaan ilmaan lämmönvaihtimen avulla. (Kähkönen 2005, 13-14)

2.5.1 Ilmanvaihdon tarve

Tilan koko määrittää kuinka paljon ulkoilmaa tarvitaan henkilöä kohden, että sisäilma pysyy puhtaana. Yleensä se vaihtelee välillä 4-20 dm³/s. Normaalikokoisissa asuinhuonetiloissa ilmanvaihdon tulee olla vähintään 0,5l/h. (Korkala & Laksola 2009, 17)

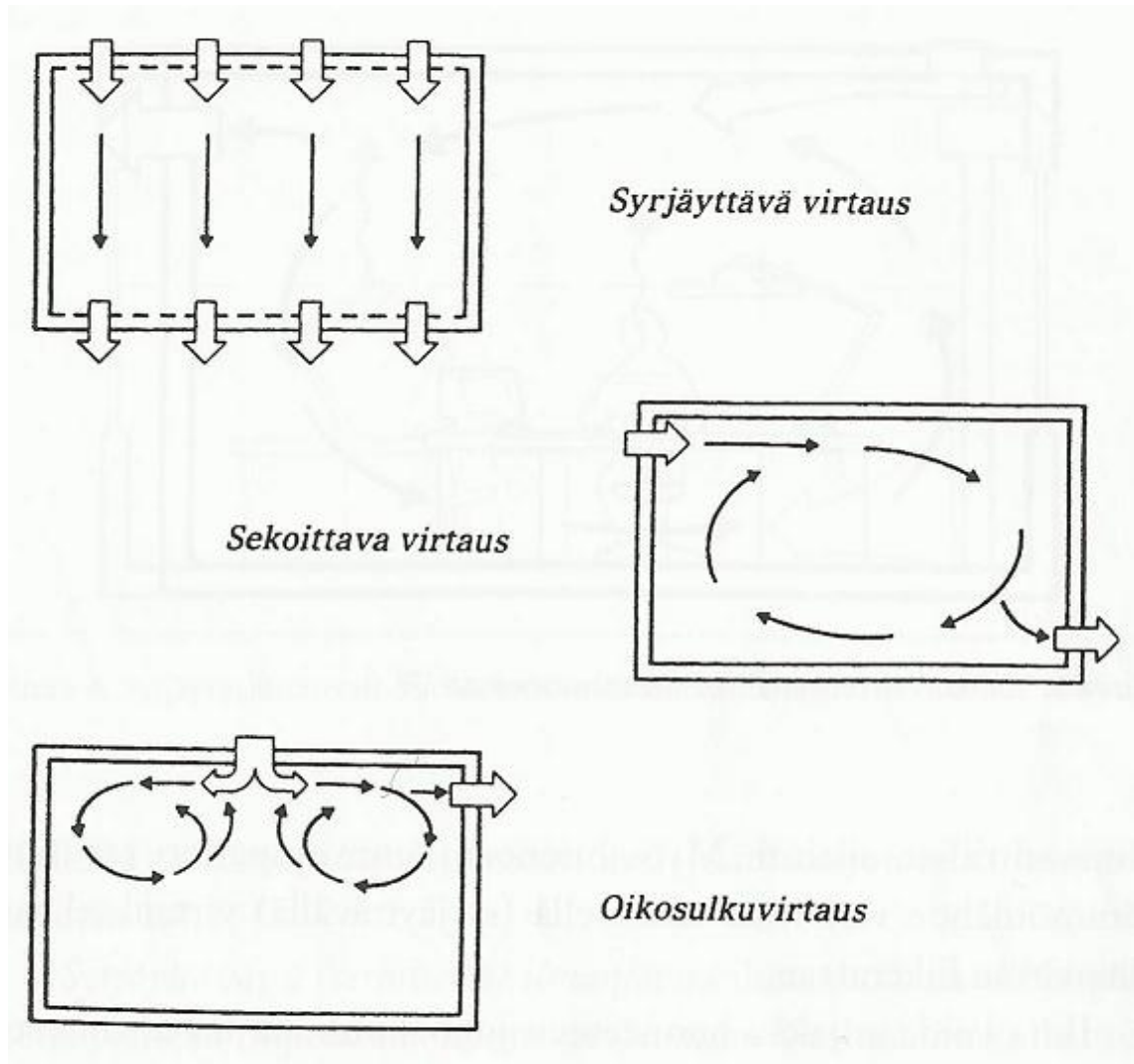
Tutkimusten mukaan ilmanvaihdon tarve määräytyy ensisijaisesti tilassa olevien ihmisten ja eläinten aineenvaihdunnan erittymistuotteiden mukaan ja toissijaisesti rakennus- ja sisustusmateriaalien emissioiden, jäähdtyksentarpeen ja tilan hiilidioksidi- tai happipitoisuuden perustein. 2000-luvulla tulleet rajoituksen tupakointiin sisätiloissa ovat vähentäneet huomattavasti ilmanvaihdon tarvetta. (Korkala & Laksola 2009, 18)

Sisäilman laadun lisäksi lämpötilalla on suuri vaikutus ihmisten työtehoon. Lämpötilassa 21°C toimistohenkilöiden työteho on korkeimmillaan ja mikäli tästä lämpötilasta nousee tai lasketaan se vaikuttaa negatiivisesti työskentelyyn. Raskaammissa töissä tai käytettäessä paksua vaatetusta on viihtyvyyttä lämpötila hieman alempi. (Korkala & Laksola 2009, 18)

2.5.2 Ilman jako huoneisiin

Ilma jaetaan huoneisiin kolmella eri tavalla. Jakotapaan vaikuttavat oleellisesti seuraavat asiat:

- tuloilmalaitteiden sijainti ja muotoilu
 - tuloilman nopeus
 - lämpötila
 - huonetilan virtausesteet
 - seinien ja poistoilmaventtiilien sijainti
 - lämmityspatterit tai muut lämmönlähteet
- (Korkala & Laksola 2009, 18-20).



Kuva 2. Ilman jakotavat huoneeseen. (Korkala & Laksola 2009, 19)

Syrjäyttävä virtaus

Syrjäyttävässä virtauksessa huonetilan ilma liikkuu ainoastaan yhteen suuntaan ylhäältä alas tai päinvastoin. Virtauksen avulla pyritään epäpuhtaudet saamaan sen mukana pois huoneesta. Tuloseinämän ilma on yleensä puhtaampaa kuin poistoseinämällä joten tuloilma ei merkittävästi sekoitu epäpuhtaaseen huoneilmaan. (Korkala & Laksola 2009, 18)

Sekoittava virtaus

Sekoittavassa virtauksessa vanha epäpuhdas huoneilma ja uusi raikas tuloilma sekoittuvat keskenään ja ne poistuvat huoneesta sekoittuneena. (Korkala & Laksola 2009, 19)

Oikosulkuvirtaus

Huoneen ilmanjako ei saisi toimia oikosulkuvirtauksen tavoin. Siinä osa tulevasta ilmasta ei sekoitu laisinkaan vanhaan epäpuhtaaseen ilmaan vaan menee suoraan poistokanavaan. Tällöin osa huoneen ilmasta jää epäpuhtaaksi. (Korkala & Laksola 2009, 19)

2.5.3 Ilmastointijärjestelmät

Ilmastointijärjestelmä on melko laaja kokonaisuus johon kuuluu monia eri osia. Tässä luvussa on tarkoituksena käsitellä liike- ja toimistokiinteistöjen ilmastointijärjestelmiä. Ilmastointijärjestelmän muodostavat seuraavat osiot:

- tuloilmakone
- tuloilmakanavisto
- huoneyksiköt
- poistoilmakanavisto ja
- poistoilmakone.

(Korkala & Laksola 2009, 47.)

Huoneyksiköistä puhuttaessa yleensä tarkoitetaan tulo- ja poistoilmaventtiilejä, mutta kehittyneemmissä järjestelmissä ne tarkoittavat suurempaa kokonaisuutta jolla voidaan säätää huoneen olosuhteita tarkemmin. (Korkala & Laksola, 48)

Ilmastoinnin tärkeimmät tehtävät ovat ilman vaihtaminen ja sisäilmanlämpötilan hallinta. Rakennuksen lämpötila nousee lämmityksen lisäksi ihmisistä, laitteista,

valaistuksesta ja auringon säteilystä ikkunoiden kautta. Ylimääräinen lämpö poistetaan ilmastointia hyväksi käyttäen. (Korkala & Laksola 2009, 48)

Yksivyöhykejärjestelmä

Yksivyöhykejärjestelmässä ilman käsittely tapahtuu keskitetysti tuloilmakoneella. Kaikki saman vyöhykkeen eli ilmastointialueen huoneet saavat vakio määrän ilmaa, joka on yhtä kosteaa ja lämmintä kaikille. (Korkala & Laksola 2009, 49)

Tuloilman lämpötilaa säädetään tulo- tai poistokanavaan sijoitetun anturin mitaustuloksen perusteella, jolloin tulo- tai poistoilman lämpötilaa voidaan pitää vakiona. Ilman lämpötilaa voidaan säätää myös huone- tai ulkolämpötilan mukaan. (Korkala & Laksola 2009, 50)

Yksivyöhykejärjestelmän huono puoli on, että sillä ei voida säätää yksittäisten huoneiden lämpötilaa tai ilmamäärätarpeita, vaan ne säätyvät koko vyöhykkeen keskiarvon perusteella. Tämän takia on hyvin todennäköistä, että joissakin huoneissa ei ole sopiva lämpötila tai ilmamäärä. (Korkala & Laksola 2009, 50)

Yksivyöhykejärjestelmän hyvänä puolena voidaan pitää sitä, että järjestelmän huolto on helppoa ja yksinkertaista, koska lähes kaikki tuloilmajärjestelmän osat sijaitsevat konehuoneessa. (Korkala & Laksola 2009, 50)

Monivyöhykejärjestelmä

Monivyöhykejärjestelmä eroaa yksivyöhykejärjestelmästä siinä, että monivyöhykejärjestelmässä jokaiselle ilmastointialueelle voidaan tuoda oma eri lämpöinen säädetty tuloilma omaa tuloilmakanavaa myöten. Monivyöhykejärjestelmällä saavutetaan siis yksilöllinen vyöhykekohtainen säätö, mutta jos samassa vyöhykkeessä on useita eri, ei säätöä voida toteuttaa huonekohtaisesti. (Korkala & Laksola 2009, 50)

Monivöhykejärjestelmän laitteet mitkä vaativat valvontaa, tarkastuksia ja huoltoa sijaitsevat yksivöhykejärjestelmän tapaan lähes kaikki konehuoneessa, mikä helpottaa järjestelmän ylläpitoa. (Korkala & Laksola 2009, 50)

2.5.4 Lämmöntalteenotto

Rakennusten poistoilman sisältämästä lämpöenergiasta voidaan suuri osa käyttää uudelleen lämmöntalteenoton avulla. Yleensä tätä poistoilman energiaa käytetään tuloilman lämmittämiseen. (Korkala & Laksola 2009, 77.)

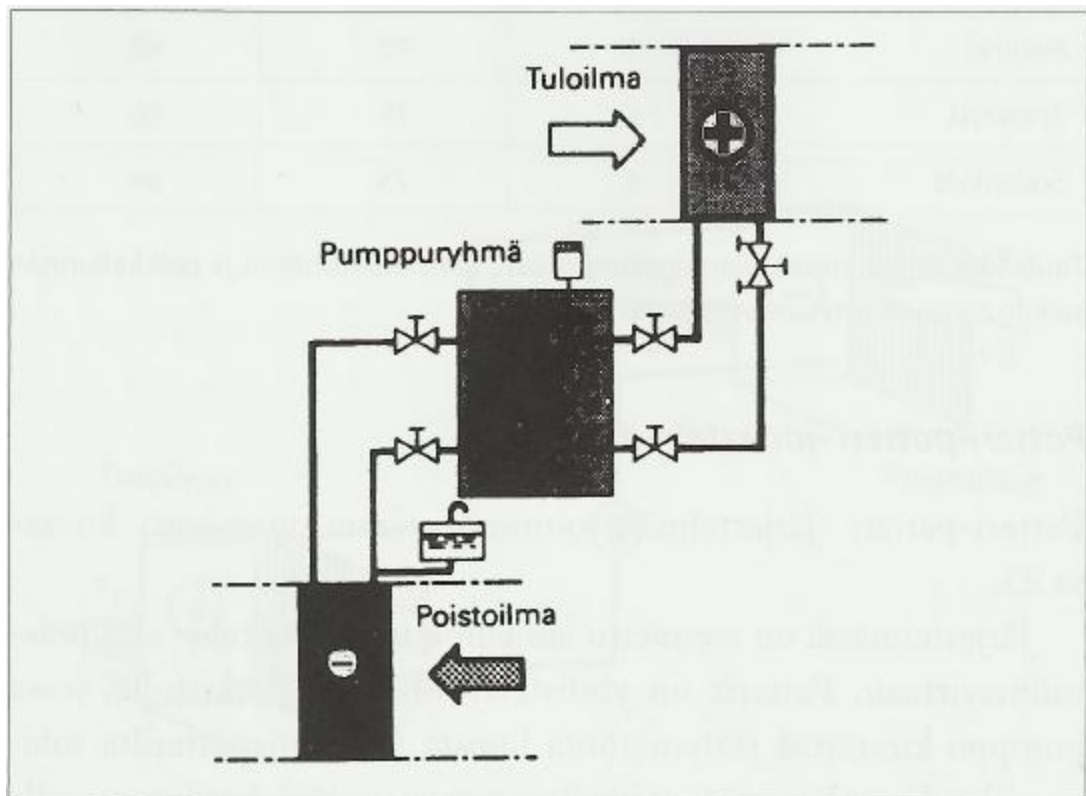
Lämmöntalteenotto voidaan toteuttaa usealla eri tavalla, joista yleisimmät ovat

- patteri-patterijärjestelmä
- pyörivä talteenottokenno
- levylämmönsiirrin.

(Korkala & Laksola 2009, 77.)

Patteripatterijärjestelmä

Patteripatterijärjestelmässä tulo- ja poistoilmavirtaan on asennettu lamellipatterit, jotka on yhdistetty toisiinsa putkilla. Pumppu kierrättää lämmön talteenotonjärjestelmän putkistossa jäätymätöntä liuosta. Tuloilmapatterilta tulee viileää liuosta, joka lämpenee poistoilmapatterissa jäädyttäen poistoilmaa. Lämmin liuos virtaa tämän jälkeen tuloilmapatteriin, jossa se viilenee ja samalla lämmitteää kylmää tuloilmaa. (Korkala & Laksola 2009, 79-80.)



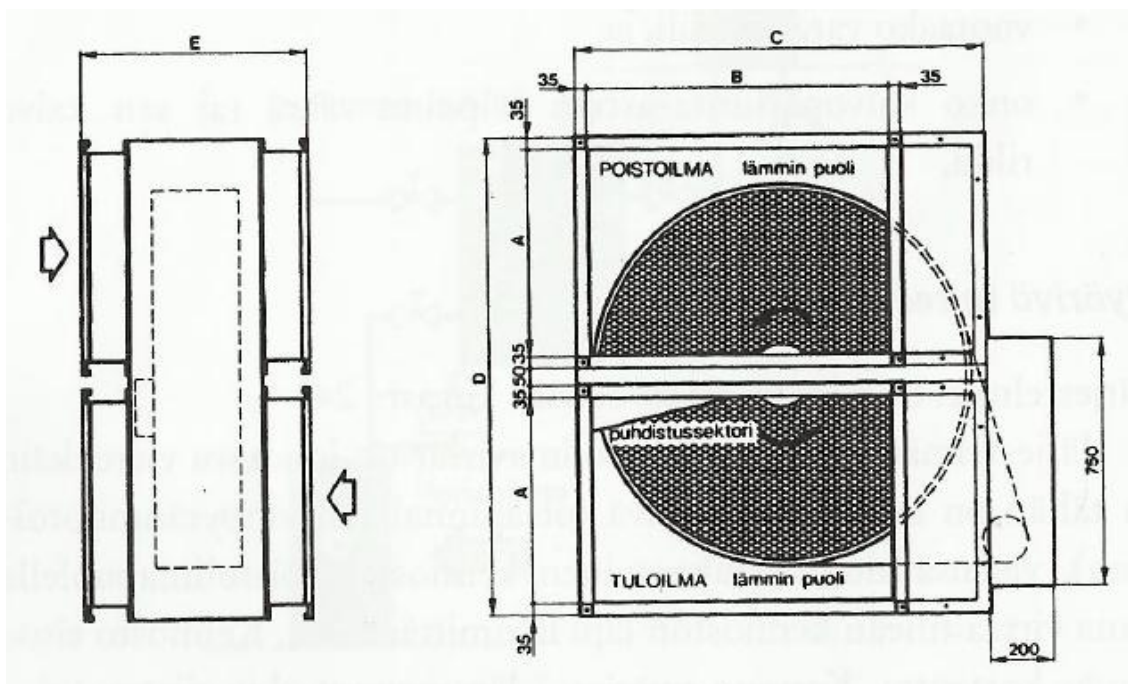
Kuva 3. Patteri-patteri-järjestelmä (Korkala & Laksola 2009, 80.)

Kolmitiesäätöventtiilillä voidaan tarvittaessa rajoittaa lämmön talteenoton hyötysuhdetta, jos tuloilma lämpiää liikaa tai poistoilma jäähtyy liikaa niin, että kosteus jäätyy patterin pinnalle. Patteri-patteri -järjestelmän lämpötilahyötysuhde on noin 40-60%. (Korkala & Laksola 2009, 80.)

Monesti poistoilma suodatetaan ennen talteenottopatteria. Mikäli patterit ovat likaantuneet ne puhdistetaan imuroidalla tai vesisuihkulla. (Korkala & Laksola 2009, 80-81.)

Pyörivä talteenottokenno

Järjestelmään on asennettu jatkuvasti pyörivä pyöreä kenno. Poistoilmapuolella kennon metalli varaa lämpöä ja puoli kierrosta myöhemmin tuloilmapuolella se luovuttaa lämpönsä tuloilmaan. (Korkala & Laksola 2009, 81-82.)

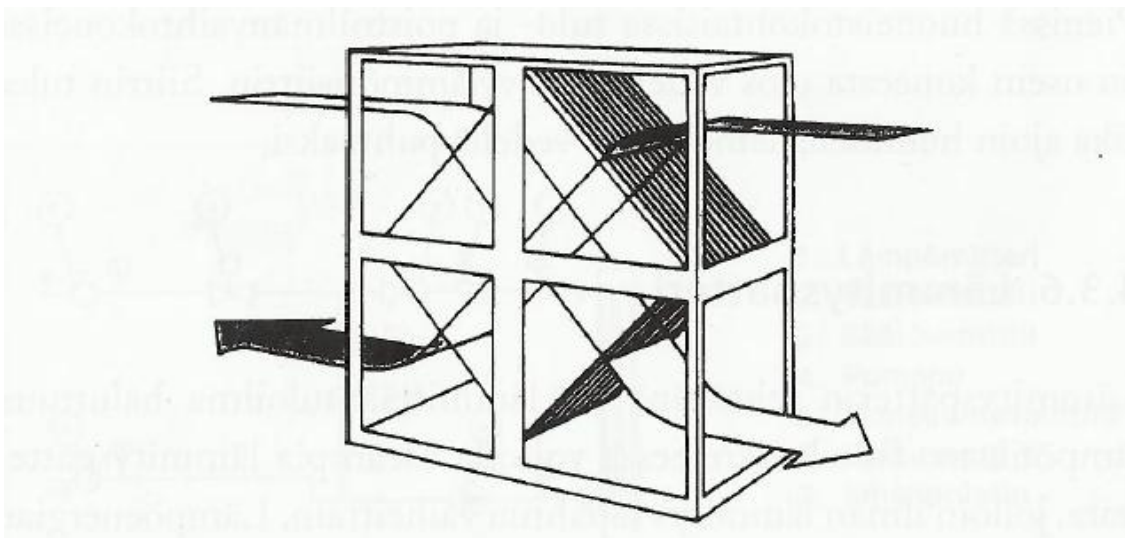


Kuva 4. Pyörivä talteenottokenno (Korkala & Laksola 2009, 82.)

Automaattikalla voidaan tarvittaessa rajoittaa kennon pyörimisnopeutta, mikäli tuloilma lämpimää liikaa tai poistoilmapuoli huurtuu. Pyörivän talteenottokennon lämpötilahyötysuhde on 70-80%. Poistoilma suodatetaan ennen talteenottoa ainakin sellaisissa kohteissa jossa poistoilma on huomattavan likaista. (Korkala & Laksola 2009, 82.)

Levylämmönsiirrin

Levylämmönsiirrin valmistetaan alumiinista pakaksi, jossa joka toinen levyväli on varattu tuloilmalle ja joka toinen poistoilmalle. Poistoilman lämpö siirtyy alumiinilevystä viileään tuloilmaan samalla lämmittäen sitä. Yleensä levylämmönsiirrinjärjestelmään kuuluu säätöpellit, joilla tarvittaessa voidaan säätää talteenoton hyötysuhdetta. (Korkala & Laksola 2009, 83.)



Kuva 5. Levylämmönsiirrin (Korkala & Laksola 2009, 83.)

Levylämmönsiirtimiä on kahdenlaisia ristivastavirta- ja ristivirtalämmönsiirrin. Erona näiden välillä on, että ristivirtalämmönsiirtimessä ilmavirrat kulkevat lyhyemmän matkan omissa levyäleissään ja näin ollen sillä saavutetaan vain 50-65%:n lämpötilahyötysuhde. Ristivastavirtalämmönsiirtimellä saavutetaan noin 70-85%:n lämpötilahyötysuhde. (Korkala & Laksola 2009, 83.)

2.6 Rakennusautomaatiojärjestelmän tiedonsiirto ja taloteknisten järjestelmien integrointi

Rakennusautomaation tietoverkko koostuu monesta eri osasta. Automaatiolaitteiden lisäksi tietoverkkoon sisältyy tietoliikennelaitteet, tietoliikenneprotokollat ja tietoliikennepalvelut. Taloteknisten järjestelmien integroinnin tavoitteena on, että rakennusautomaatiojärjestelmä ja muut rakennuksen talotekniset tietojärjestelmät yhdistetään niin, että integroidusta järjestelmästä saadaan suurempi hyöty kuin erillisistä järjestelmistä. (Härkönen ym. 2012, 141.)

Nykyään suurin ongelma integraation toteuttamiselle on, että järjestelmätoimittajilla on erilaiset käytettävät protokollat ja ne ovat usein salassa pidettyjä. Käyttäjän kannalta järkevää olisi, että toimittajat siirtyisivät yhtenäiseen protokollastandardiin sekä tiedonsiirron tulisi olla avointa. (Härkönen ym. 2012, 141.)

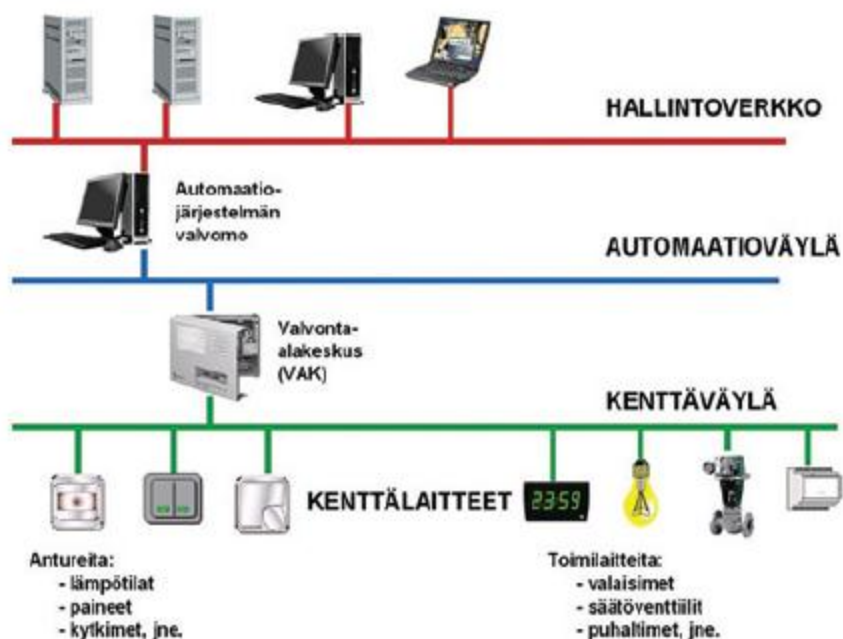
Tiedonsiirrossa on kyse kahden tai useampien osapuolten välisestä kommunikaatiosta, jossa osapuolet voivat lähettää, vastaanottaa tai lähettää ja vastaanottaa tietoa. Verkon topologioiden perusmuotoja on erilaisia kuten tähti, rengas, väylä sekä vapaa rakenne. Rakennusautomaatiojärjestelmään väylä tyyppinen rakenne on suositeltavin. (Härkönen ym. 2012, 142.)

Euroopassa on hyväksytty monia eri kenttäväylästandardeja, jotka sisältävät useita kilpailevia kenttäväyliä. Rakennusautomaatiojärjestelmissä kansainväliset standardit omaavia järjestelmiä ovat KNX ja LonWorks. Standardeja määriteltäessä selvitetään, mitkä markkinoilla olevista protokollista olisivat parhaita ja näitä yhdistämällä pyritään luomaan toimiva yleinen suositus. (Härkönen ym. 2012, 142.)

2.6.1 Rakennusautomaation perinteinen hierarkia

Kenttäväylällä siirretään tietoa prosessin ja siihen välittömästi liitettävien laitteiden välillä. Automaatioväylän tehtävänä on liittää toisiinsa erilaiset osajärjestelmät. Hallintoväylän tarkoitus on yhdistää kaikki talotekniset järjestelmät kiinteistössä oleviin ylläpidon tietojärjestelmiin. (Härkönen ym. 2012, 143.)

Kenttäväylät voidaan jakaa eri osiin joilla jokaisella on eri käyttötarkoitus. Anturiväylää esim. ASI-väylä käytetään mittausantureilta tulevan mittaustiedon välittämiseen prosessin säädölle. Laiteväyliä esim. CAN, Profibus DP käytetään pienien laitekokonaisuuksien ohjaamiseen kuten moottorikäyttöryhmät. Kenttäväyliä kuten Profibus PA, Fieldbus ja LonWorks käytetään suurempien kokonaisuuksien esim. tuotantolinjojen ja tehtaiden ohjaukseen. Kiinteistöjen säätöihin ja ohjauksiin käytetään esim. KNX, LonWorks ja Modbus kenttäväyliä. (Härkönen ym. 2012, 143-144.)



Kuva 6. Perinteinen automaatioverkon hierarkia. (Härkönen ym. 2012, 144)

Kenttäväylä eroaa perinteisestä johdotuksesta siinä, että perinteisessä johdotuksessa tieto kulkee yleensä kahden kiinteän aseman välillä kun taas kenttäväylässä kaikki voivat lähettää ja vastaanottaa tietoa. (Härkönen ym. 2012, 144.)

Vielä nykypäivänä tietoa siirretään paljonkin analogisella virtasignaalilla kenttälaitteiden ja säätö- ja ohjauslaitteiden välillä, vaikka laitteiden sisäinen signaalinkäsittely on muuttumassa ja on jo muuttunut digitaaliseksi. Myös tiedonsiirrossa pyritään siirtymään digitaalitekniikkaan. Digitaalisenviestin hyvä puoli on, että mittauslukeman lisäksi voidaan siirtää muutakin tietoa. (Härkönen ym. 2012, 144.)

”Kenttäväylät ovat kenttäinstrumentoinnin digitaalisia, sarjamoituisia tietoliikennejärjestelmiä, jotka käyttävät siirtotienään parihoitoa, valokuitua tai radioverkkoa.” (Härkönen ym. 2012, 144.)

Kenttäväylän tehtävänä on yhdistää kentällä olevat älykkäät kenttälaitteet ja muu automaatio kattavaksi tietoverkoksi. Samaan kenttäväylään voidaan kytkeä usean eri valmistajan laitteita. Tietoliikenteen lisäksi laitteissa olevat tiedonkäsit-

telyprosessit ovat riittävän yhdenmukaisia, että ne pystyvät käsittelemään toisilta laitteilta saatua tietoa. (Härkönen ym. 2012, 144.)

Eri rakennusautomaatio valmistajien sovellusohjelmistoja pyritään integroimaan suuremmiksi kokonaissovelluksiksi siihen soveltuvilla standardointipyrkimyksillä. Tällaisia ovat mm. OPC, OpenControl ja OMAC. (Härkönen ym. 2012, 144.)

2.6.2 Rakennusautomaation tietoturvallisuus

Rakennusautomaatiossa ja talotekniikassa käytetään monia erilaisia tiedonsiirtoratkaisuja joten on tärkeää ottaa huomioon myös tietoturva. Voidaan ajatella, että tietoturvalla on kolme keskeistä tavoitetta: luottamuksellisuus, eheys ja saatavuus. Luottamuksellisuus tarkoittaa sitä, että tietoa voi lukea ja muokata vai tietyt henkilöt. Eheys tarkoittaa sitä, että tiedon sisältöä ei voida muokata ilman lupaa. Saatavuus tarkoittaa, että hallussa oleva tieto on halutessa aina saatavilla. (Härkönen ym. 2012, 145.)

Kohteen turvallisuustavoitteet määritellään riskianalyysin perusteella, mikä kohdistuu järjestelmän toimintaan ja käyttöön liittyviin tekijöihin. Analyysissa kartoitetaan käytöstä aiheutuvat uhkatekijät, niiden ehkäisy- ja torjumiskeinot sekä jokaiselle riskille määritellään siedettävyyss- ja hyväksyntätaso. (Härkönen ym. 2012, 146.)

Järjestelmässä harvoin esiintyviä, kestoajaltaan lyhyitä riskejä voidaan tietoisesti hyväksyä järjestelmään liittyvinä haittoina tai häiriötekijöinä. Uhkatekijät jotka liittyvät henkilö- tai paloturvallisuuteen eivät saa olla hyväksyttäviä missään olosuhteissa vaan ne tulee poistaa tai torjua suojausmenetelmillä. (Härkönen ym. 2012, 146.)

Viestin lähettäjä on suositeltavaa todentaa sellaisissa sovelluksissa, joissa turvallisuusvaatimukset ovat korkeat. Tällaisessa tapauksessa vastaanottavalaite lähettää ohjaavalle laitteelle varmennusviestin, joka kuitataan ja todennetaan

oikeaksi. Vastaanottavalaite odottaa varmennusviestin paluun ja vasta sen jälkeen haluttu ohjaus suoritetaan. (Härkönen ym. 2012, 146.)

Turvallisuustavoitteiden määrittelyyn kuuluu olennaisesti myös tietoturvallisuuden liittyvät vaaratekijät ja suojaustoimenpiteet. Järjestelmän tietoturvan parantamiseksi voidaan tehdä useita seikkoja, muun muassa

- Aktiivilaitteet, kytkentätelineet ja –rasiat tulee sijoittaa lukittuihin koteloihin tai paikkoihin jotka voidaan tarvittaessa varustaa rikosilmoitinjärjestelmän ilmaisimilla.
- Järjestelmän käyttöliittymät tulisi varustaa salasanasuojauksin hierarkiatasokohtaisesti.
- Erilaisten tietokantojen ja rekistereiden pääsy ulkopuolisten käsiin estettävä.
- Järjestelmän tulee varmentaa kun sen parametreja ja asetuksia muutetaan.
- Vahingossa tapahtuvien muutosten tekeminen tulisi estää ohjelmallisesti esim. vaatimalla muutoksen toistamista tai latausohjelman uudelleenkäynnistämistä.

(Härkönen ym. 2012, 147.)

2.6.3 Rakennusautomaatiojärjestelmien integrointi

Rakennusautomaation yhteydessä puhuttaessa integroinnilla tarkoitetaan kahden tai useamman ohjaavan tai valvovan taloteknisen järjestelmän toisiinsa liittämistä niin, että ne yhdessä muodostavat toiminnallisen kokonaisuuden. (Härkönen ym. 2012, 149.)

Avoimien toimintaympäristöjen toteuttamiselle eli integroinnille on jo pitkään ollut ongelmana tiedonvaihto eri järjestelmien välillä. Tätä ongelmaa on pyritty ratkaisemaan erilaisten rajapintojen avulla, joilla tietoa voidaan siirtää eri järjestelmien ja ohjelmien välillä. (Härkönen ym. 2012, 148.)

Avoimien kenttäväyläratkaisujen etuna voidaan pitää sitä, että eri laitetoimittajien toimiessa saman kenttäväylästandardin parissa ei valmistajien välille kehity kilpailuetua ja valmistajatoimittajat kiinnittäisivät ehkä enemmän huomiota integrointihyödyn etsimiseen. Uutta järjestelmää suunniteltaessa ei tulisi pois sulkea järjestelmän integraation mahdollisuutta. (Härkönen ym. 2012, 148-149.)

2.7 Rakennusautomaatiojärjestelmän käyttöliittymät

Rakennusautomaation näkökulmasta käyttöliittymä on käyttäjän ja erilaisten laitteiden, ohjelmistojen ja prosessien välinen kaksisuuntainen rajapinta, jolla käyttäjä operoi kiinteistön teknisten järjestelmien kanssa. (Bamberg, Jussila, Laaksonen, Piikkilä, Sahala, Sahlstén, Spangar & Sulku 2008, 15.)

Kiinteistöjen valvomojärjestelmien tarkoitus on välittää käyttäjälle tietoa kiinteistön olosuhteista, tapahtumista ja prosessien tilasta selkeästi ja helposti ymmärrettävästi. (Bamberg ym. 2012, 15)

Kiinteistön käyttöliittymät on jaettavissa niillä hallittavien kokonaisuuksien mukaan seuraavasti:

- laite- ja tilakohtaiset käyttöliittymät
- osajärjestelmäkohtaiset käyttöliittymät
- koko tietojärjestelmän kattavat käyttöliittymät
- useita tietojärjestelmiä yhdistävät käyttöliittymät.

(Bamberg ym. 2012, 15)

Tämän päivän rakennusautomaatiojärjestelmästä löytyy käyttöliittymiä usealta eri järjestelmän tasolta. Valvomon käyttöliittymän lisäksi usein nykyisin alakeskuksista löytyy omat käyttöliittymänsä. Erillisiä käyttöliittymiä voi löytyä myös taloteknisten järjestelmien osaprosesseilta, kuten ilmastointia ja verkostopumpuja ohjaavilta taajuusmuuttajilta. (Härkönen ym. 2012, 155.)

Käyttöliittymä voidaan hankkia laitetasollekin ohjaamaan osajärjestelmää yksittäisen huoneen tasolla. Kiitos nykypäivän nopean mobiilikehityksen voidaan moderneissa rakennusautomaatiojärjestelmissä hyödyntää erilaisia mobiilikäyttöliittymiä kiinteistöjen ohjaamiseen. (Härkönen ym. 2012, 155.)

Entisissä suljetuissa valmistajakohtaisissa järjestelmissä tiedonsiirto perustui valmistajan itse määrittelemiin protokolliin, jolloin rajapinta alakeskuksen ja valvomon välillä oli suljettu. Nykyisissä järjestelmissä pyritään siihen, että alakeskusten tai moduulien ja valvomon välinen rajapinta olisi täysin avoin tai mahdollistaisi standardiprotokollia käyttävien osajärjestelmien liittämisen samaan valvomoon. (Härkönen ym. 2012, 156.)

3 Pienoismallin suunnittelu

Talon ja sen järjestelmiä lähdettiin suunnittelemaan lämmityksen mallintamisen kannalta. Lisäksi rajoitteena oli pieni budjetti ja se, että tarkoituksena tehdä prototyyppi, jonka onnistuessa sitä voisi kehittää.

3.1 Vaihtoehdot ja valinta

Vaihtoehtoisia järjestelmiä mietittiin ennen lopullista valintaa. Tässä luvussa on listattu eri vaihtoehdot mitä työssä voitaisiin käyttää ja mihin valintoihin lopulta päädyttiin.

Lämmitys

Seuraavaksi on lueteltu vaihtoehtoisia lämmitystapoja talolle.

- vesikiertoinen lattialämmitys
- vesikiertoiset patterit
- sähköinen lattialämmitys

- sähköpatterit
- kattolämmitys
- puu-uuni

Pienoismallin lämmitysjärjestelmäksi valittiin sähköpatteri ja lattialämmitys. Perusteluna valinnalle oli niiden yleinen käytettävyys nykypäivänä ja helppo toteuttaminen pienoismallin tarvitsemassa koossa.

Vesikiertoisista järjestelmistä luovuttiin niiden hinnan, suuren koon ja hankalan toteutuksen takia. Lisäksi vesikiertoisille järjestelmille olisi tarvinnut erillisen lämmittimen, jolla olisi lämmitetty piirissä kiertävä vesi.

Kattolämmitys olisi ollut mahdollista toteuttaa pienessä mittakaavassa. Siitä päätettiin kuitenkin luopua, koska nykypäivänä sitä käytetään omakotitaloissa yhä harvemmin.

Vaatumusten mukaan taloon tulisi sijoittaa myös takka. Takan mitoittamista ei otettu huomioon talon lämmitystä mitoittaessa, vaan se toimisi häiritsevänä tekijänä talon lämmitykselle. Takan lämmitys päätettiin toteuttaa sähköllä, koska se olisi helppo mitoittaa oikeaa vastaavaksi.

Ilmanvaihto

Seuraavaksi on lueteltu vaihtoehtoisia ilmanvaihtojärjestelmiä talolle.

- taajuusmuuttajaohjaus
- kaksinopeusohjaus
- kanavapainesäätö
- ilmamääräsäätö

Ilmanvaihdossa valittiin kaksinopeusohjaus, mutta puhaltimien nopeus on kuitenkin portaattomasti säädettävissä. Kanavapaine ja ilmamäärä säätöjä ei voitu toteuttaa pienen budjetin takia ja ne eivät ole olennaisia osia lämmityksen mallinnuksessa.

Automatiikka

Seuraavaksi on lueteltu vaihtoehtoisia automaatiojärjestelmiä pienoismalliin

- Siemens S7
- Beckhoff
- Computec
- Fidelix

Automatiikan valinnassa päädyttiin käyttämään Siemens S7 -logiikkaa ja Beckhoffin hajautettua I/O:ta. Tähän päädyttiin, koska pienen budjetin takia täytyi valita koululta löytyvistä logiikoista ja työhön valittiin jo entuudestaan tuttu automaatiolaite. Tämä sen takia, ettei projektin aikataulu kaadu uuden logiikkajärjestelmän opetteluun.

Beckhoffin hajautettuun I/O:hon päädyttiin sen edullisuuden ja siihen löytyi suoraan mittakortti Pt1000-antureille, joita käytetään yleisesti rakennusautomaatiossa. Lisäksi puolet I/O-korteista voitiin hyödyntää koululta löytyvistä tarvikkeista.

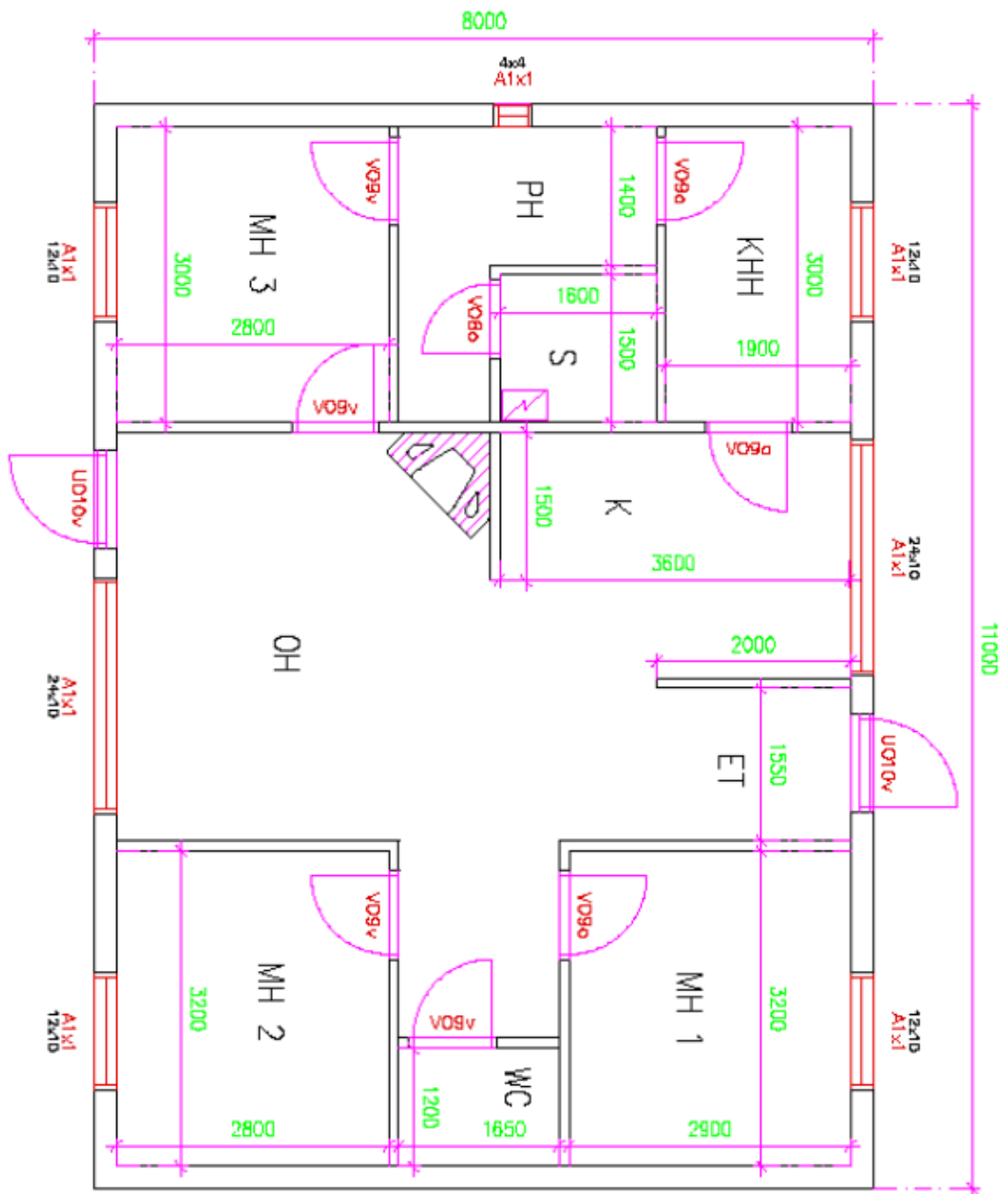
3.2 Talon kuvaus

3.2.1 Rakenne

Talon rakenteen suunnittelussa mietittiin monia eri vaihtoehtoja, kuten tuleeko taloon useita kerroksia tai valmistetaanko se kivistä, mutta lopulta päädyttiin niiden harvinaisuuden takia hylkäämään ne. Talon haluttiin vastaavan normaalia puusta tehtyä yksikerroksista 88 m²:n omakotitaloa. Valintaan päädyttiin, koska tällainen talo on hyvin yleinen Suomessa. Rakennuspuolen opiskelijat suunnittelivat talon rakenteiden paksuudet ja siinä käytettävät materiaalit. UI-

koseininä ja kattona käytettäisiin 22 mm:n huokoista puukuitulevyä. Sisäseinissä käytettäisiin 12 mm:n vaneria.

Taloon tulisi kolme makuuhuonetta, wc, tupakeittiö, kodinhoitohuone, pesuhuone ja sauna. Talon pohjapiirros näkyy kuvassa 7 Mitat suunniteltiin oikealle tallel ja pienoismalli on 1 : 10 -mittakaavassa.



Kuva 7. Talon pohjapiirros.

3.2.2 Toiminnot

Talolla haluttiin mallintaa lämmitystä ja ilmanvaihtoa, joten nämä olivat päätoiminnot talolle. Ilmanvaihdolla pyrittiin pääosin mallintamaan sen vaikutusta lämmitykseen.

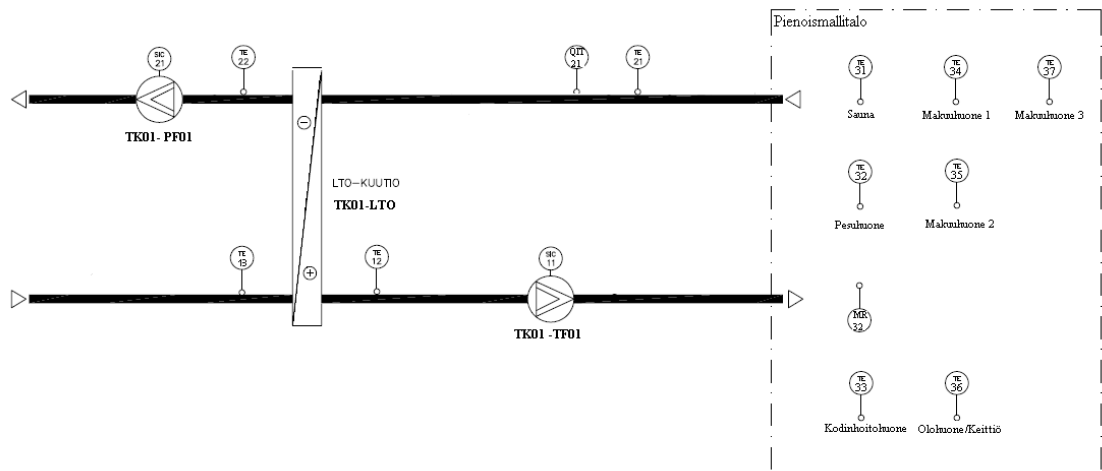
Lämmitys

Talon lämmitysjärjestelminä toimii sähköpatteri ja sähkökäyttöinen lattialämmitys. Edellä mainitut järjestelmät mitoitettiin siten, että niitä käytetään erillään, jolloin voidaan simuloida kahta eri lämmitysjärjestelmää. Taloa siis lämmitetään joko sähköpattereilla tai lattialämmityksellä.

Lämpötilanmittausantureita tulisi jokaisen lattialämmitysryhmän lattiaan ja lisäksi jokaiseen huonetilaan. Huonelämpötilamittausta käytetään lämpötilansäätöön ja lattian lämpötilaa käytetään rajoittamaan, ettei lattia kuumene liikaa.

Ilmanvaihto

Ilmanvaihtokoneen suunnittelu aloitettiin perehtymällä oikeaan ilmanvaihtojärjestelmään, jossa on kaikki komponentit. Valmiista järjestelmästä karsittiin osia pois, mitä ei pienoismallissa pystytty toteuttamaan budjetin tai toteutuksen takia. Kuvassa 8 on esitetty suunnitellun IV-koneen rakenne.



Kuva 8. IV-koneen PI-kaavio.

Toteutettuun koneeseen tuli seuraavat komponentit:

- LTO-kuutio.
- TE12, tuloilmanlämpötila LTO:n jälkeen
- TK01-TF01, tuloilmapuhallin
- TE13, tuloilman lämpötila ennen LTO:ta
- MT32, pesuhuoneenkosteus (potentiometri).
- TE21, poistoilman lämpötila
- QIT21, poistoilman hiilidioksidipitoisuus (potentiometri).
- TE22, poistoilmanlämpötila LTO:n jälkeen
- TK01-PF01, poistoilmapuhallin

Tulo- ja poistoventtiileiden sijoittelut suunniteltiin seuraavanlaisesti. Saunaan sijoitetaan sekä tulo- ja poistoventtiilit, pesuhuoneeseen tulee vain poistoventtiili, olohuoneeseen sijoitetaan kaksi tuloventtiiliä, makuuhuoneisiin tulee vain yhdet tuloventtiilit. Keittiöön sijoitetaan uunin päälle poistoventtiili, jotta saataisiin sen tuottama lämpö talteen. Vessaan sijoitetaan vain poistoventtiili. Olo- ja makuuhuoneissa venttiilit sijoitetaan ikkunoiden läheisyyteen.

3.2.3 Huonekohtaiset määritykset

Sauna

Saunaan suunniteltiin lattialämmitys, joka on samassa ohjauksessa pesuhuoneen ja kodinhoitohuoneen lattialämmityksen kanssa. Saunaan sijoitetaan lamppu, joka on suhteessa mitoitettu kuvaamaan oikeaa kiuasta. Saunaan asennetaan lämpötila-anturi mittaamaan huoneilman lämpötilaa.

Pesuhuone

Pesuhuoneeseen suunniteltiin lattialämmitys, joka on samassa ohjauksessa saunan ja kodinhoitohuoneen kanssa. Lämpötila-anturit sijoitetaan lattiaan mittaamaan lattianlämpötilaa ja huoneeseen mittaamaan huoneen lämpötilaa. Lämpötilaa säädetään pesuhuoneen ja kodinhoitohuoneen huone-antureiden keskiarvon perusteella ja lattia-anturilla rajoitetaan lattian ylikuumenemistä. Lämpötilalle annetaan käyttöliittymästä asetusarvo ja automaatio säätää lattialämmityksen käyntiajalla lämpötilaa.

Huoneeseen tulee myös kuvitteellinen kosteusanturi, joka toteutetaan potentiometrillä. Kosteusanturille asetetaan raja-arvo. Sen ylittyessä iv-koneen puhaltimien käyntiä tehostetaan, niin pitkäksi aikaa kunnes kosteusanturilta annetaan raja-arvoa pienempi arvo.

Kodinhoitohuone

Kodinhoitohuoneeseen suunniteltiin lattialämmitys, joka on samassa ohjauksessa saunan ja pesuhuoneen kanssa. Lämpötila-anturi asennetaan vain huoneeseen mittaamaan huonelämpötilaa.

Olohuone / keittiö

Olohuone/keittiö tilaan tulee lattialämmitys, sekä molempiin tiloihin sijoitetaan yhdet lämmityspatterit. Huoneeseen sijoitetaan yksi huonelämpötilamittaus ja lattialämpötilan mittaus. Lämpötilaa säädetään huonelämpötilan mukaan ja lat-

tian lämpötilamittauksella rajoitetaan lattian lämpötilaa, ettei lattia kuumene liian kuumaksi.

Lämpötilalle annetaan asetusarvo automatiikkaan, jonka mukaan automatiikka säättää lattialämmityksen käyntiaikaa. Häiriötekijäksi olohuoneeseen sijoitetaan elektroniikkalaitteita kuvaavia lamppuja ja kaksi henkilöä kuvaavaa lamppua. Keittiön häiriötekijäksi asennetaan yksi lamppu kuvaamaan ihmistä.

Makuuhuone 1

Lämpötila-anturit sijoitetaan lattiaan ja huonetilaan. Huoneeseen tulee lattialämmitys sekä yksi lämmityspatteri. Lämmitystä säädetään huonelämpötila anturin mukaan ja lattia-anturilla rajoitetaan lattian ylikuumenemista. Huonelämpötilalle annetaan asetusarvo käyttöliittymästä, jonka automatiikka pyrkii pitämään. Häiriötekijäksi tähän huoneeseen sijoitetaan yksi ihmistä kuvaava lamppu.

Makuuhuone 2

Lämpötila-anturit sijoitetaan lattiaan ja huoneeseen. Huoneeseen tulee lattialämmitys sekä yksi lämmityspatteri. Lämmitystä säädetään huonelämpötila anturin mukaan ja lattia-anturilla rajoitetaan lattian ylikuumenemista. Huonelämpötilalle annetaan asetusarvo käyttöliittymästä, jonka automatiikka pyrkii pitämään.

Makuuhuone 3

Lämpötila-anturit sijoitetaan lattiaan ja huoneeseen. Huoneeseen tulee lattialämmitys sekä yksi lämmityspatteri. Lämmitystä säädetään huonelämpötila anturin mukaan ja lattia-anturilla rajoitetaan lattian ylikuumenemista. Huonelämpötilalle annetaan asetusarvo käyttöliittymästä, jonka automatiikka pyrkii pitämään

3.3 Talonsiirtokehikko

Talonsiirtokehikko suunniteltiin niin, että taloa voi siirrellä työntämällä ja, että se mahtuu 85 cm:n ovista. Kehikkoon suunniteltiin myös paikka sähkökaapille. Liitteessä 1 on esitetty AutoCAD:llä suunnitellun siirtokehikon kuva.

Rakennusmateriaaliksi valittiin koululta löytyvä alumiiniprofiili sen kestävyuden, kepeyden ja muokattavuuden takia. Toinen perustelu valinnalle oli, että koululta löydettiin valmiita liitinpaloja, joilla alumiiniprofiilista tehdyt kappaleet voitaisiin liittää toisiinsa.

3.4 Järjestelmän suunnittelu

Järjestelmän suunnittelussa mietittiin, mitä kentälaitteita käytetään, miten ne asennetaan, mitä laitteita käytetään ja miten käyttöliittymä tulee toimimaan. Liitteessä 2 on esitetty tarikelistaus, mihin on koottu tarvittavat laitteet ja niiden hinnat.

3.4.1 Kenttäsuunnittelu

Kentälaitteiden suunnittelussa ja valinnassa mietittiin niiden soveltuvuutta pienoismallitaloon ja mitattavaan/ohjattavaan suureeseen. Käytettävänä jännitteenä pyrittiin pitämään 24 VDC turvallisuussyistä, mutta takan ja saunan tarvitsemaa lämmöntarvetta ei pystytty kattamaan tällä jännitteellä. Saunan ja takan lamput vaatisivat siis 230 VAC syötön.

Lämpötila-antureiksi valittiin rakennusautomaatiossa yleisesti käytetyt Pt1000-anturit. Työhön valittiin pelkät anturielementit, niiden kokonsa ja hintansa vuoksi. Anturit päätettiin tinata suoraan johtoihin kiinni ja suojata kutistesukalla.

Ilmanvaihtokoneen puhaltimet toteutettiin tietokonetuulettimilla. Rakennuspuolen opiskelijat laskivat ilmavirroiksi 2,5 l/s, näin ollen lämpöhäviöt olisivat suhteessa oikeaan taloon, ilmavirrat siis eivät skaalaannu lineaarisesti. Puhaltimiksi valittiin hieman yläkanttiin olevat tuulettimet, joiden maksimi puhallusteho on 20 m³/h, eli 5,56 l/s.

Lattialämmityksiin valittiin 5,5 Ω/m vastuslanka ja ne mitoitettiin kullekin lämmitysryhmälle huonepinta-alan mukaan. Maksimitehon tarpeeksi laskivat rakennuspuolen opiskelijat 400 W/m². Järjestelmän vaatimusten mukaisesti sitä piti pystyä lämmittämään lattialämmitykselle tai sähköpatterilla. Sähköpattereita valittiin viisi kappaletta ja näiden lämmitysteho vastaisi lattialämmityksen tehoa.

3.4.2 Laitteiston suunnittelu

Automaatiolaitteet

Laitteiston vaatimuksena oli, että järjestelmään tulee hajautettu I/O, johon päättäisiin käsiksi kenttäväylän avulla. Tarkoituksena tässä oli, että käytettävä logiikka voitaisiin vaihtaa halutessa toiseen.

Logiikaksi oli valittu Siemens ja hajautetuksi I/O-järjestelmäksi Beckhoff. Kenttäväylänä käytettiin Profibus DP:tä. Perusteluna valinnalle oli, että tarvittava väyläsovitin saatiin koululta, eikä uutta tarvinnut tilata.

Hajautetun I/O-järjestelmän suunnittelu aloitettiin määrittämällä tarvittavien tulo- ja lähtöpisteiden määrä. Beckhoff valmistajan sivuilta valittiin tarvittavat korttityypit. Taulukossa 1 on esitetty työssä käytetyt korttityypit ja niiden lukumäärä.

Taulukko 1. Hajautettu I/O -järjestelmä

Automatiikka (beckhoffin hajautettu I/O)	Tyyppi	Määrä kpl
KL3228	8-kanavainen PT-1000 analogi tuloyksikkö	3
KL3464	8-kanavainen analogi tuloyksikkö	1
KL4408	8-kanavainen analogi lähtöyksikkö	1
KL2424	4-kanavainen digitaalinen lähtöyksikkö	5
KL9100	24VDC virransyöttöyksikkö	2
BK 3120	Profibus DP väyläsovitin	1

Sähkökeskus

Sähkökeskuksen suunnittelu aloitettiin määrittämällä riittävän suuret virtalähteet I/O-yksiköille ja ohjattaville lähdöille. Käytettäväksi valittiin kaksi 24VDC:n 12,5 A:n 300 W:n hakkuriteholähdettä, koska sähkölämmityksen ottamaa tehontarvetta ei olisi saatu katettua yhdellä. Turvapiirille suunniteltiin käytettäväksi oma erillinen virtalähde. Turvapiirin virtalähteenä käytettiin Omronin 24 V:n tasajännitelähdettä, joka saatiin koululta käyttöön.

Ohjattaville digitaalisille lähdöille suunniteltiin käytettäväksi puolijohdereleet niiden nopean toiminnan ja pitkän käyttöiän takia. Ilmanvaihdon tuulettimille saatiin koululta käytettäväksi kaksi tasajännite moottoriohjainta, joilla pystytään ohjaamaan tuulettimien pyörimistä portaattomasti. 230 V:n vaihtojännitereleitä tarvittiin kolme kappaletta. Yksi ohjaisi järjestelmän syöttöä ja loput kaksi saunan ja takan ohjauksia.

Sulakkeet suunniteltiin niin, että 230 VAC ohjaukset ovat saman sulakkeen takana ja 24 VDC ohjauksia laitettiin kaksi yhdelle sulakkeelle. Sulakkeiden mitoitus tehtiin lähtöjen ottaman tehon perusteella, kun käyttöjännite oli tiedossa.

Kun käytettävät laitteet oli päätetty, voitiin aloittaa suunnittelemaan niiden sijoitus sähkökaapin sisällä. Liitteessä 3 on esitetty, kuinka laitteet sijoitetaan kaappiin. Käytettävä sähkökaappi suunniteltiin aluksi isommaksi, mutta budjetin ollessa pieni jouduttiin tyytymään koululta saatuun pienempään kaappiin. Tämän takia laajennusvara jäi lähes olemattomaksi. Tämän jälkeen käytiin suunnitte-

lemaan kytkentäkuvia järjestelmälle. Liitteessä 4 on esitetty työlle tehdyt kytkentä kuvat.

3.4.3 Ohjelmiston suunnittelu

Ohjelmiston suunnittelussa lähdettiin karkealla suunnitelmalla ohjelmiston rakenteesta. Varsinainen ohjelmien suunnittelu jätettiin toteutus vaiheeseen, missä ohjelmat voitiin samalla testata ja todeta niiden toimivuus.

Ohjelmien rakenteen suunnittelussa pyrittiin jakamaan toiminnot omiin lohkoihinsa. Jokaiselle lämmitysryhmälle suunniteltiin oma ohjelmalohko. Tällä pyrittiin selventämään vian etsintää ja järjestelmän kokonaisuuden hahmottamista.

Käyttöliittymän ja logiikan kättelylle päätettiin tehdä oma tiedostoyksikkö. Tiedostoyksikköön koostetaan tiedot, mitkä liikkuvat käyttöliittymän ja logiikan välillä. Jatkon kannalta tietojen löytyminen yhdestä paikasta helpottaa käyttöliittymän tekemistä. Taulukossa 2 suunnitellun ohjelmiston rakenne.

Taulukko 2. Ohjelmiston rakenne

Toiminnot	Ilmanvaihto	Lämmitys	Häiriöt	Käyttöliittymä
Ohjelmalohkot	Tuloilmapuhallin	Pesuhuone	Häiriöt	Kättelyt
	Poistoilmapuhallin	Olohuone/keittiö		
	Nopeuden valinta	Makuuhuone 1		
	Kosteus ja hiilidioksidi	Makuuhuone 2		
		Makuuhuone 3		
		Lämpötilamittaukset		

3.4.4 Käyttöliittymän suunnittelu

Vaatimukset

Käyttöliittymän vaatimuksena oli, että sillä voitaisiin suorittaa tarvittavat testit talon toiminnallisuuden kannalta. Testitulokset piti pystyä saamaan tarvittavaan muotoon jatkokäsittelyä varten.

Opetuskäyttöä varten oli tärkeää, että talon lämpötiloja voitaisiin seurata trendinäyttöjen välityksellä. Huoneiden lämpötiloja piti pystyä säätämään huonekohtaisesti, jolloin opiskelijat näkisivät suoraan trendinäytöstä säätöjen ja häiriötoimintojen vaikutukset lämpötilassa.

Ohjelmiston valinta

Käyttöliittymän ohjelmistoa valittaessa kartoitettiin tarvittavat toiminnot, mitä käyttöliittymästä tulisi löytyä ja millä ohjelmalla nämä toiminnot olisivat helpointa toteuttaa.

Budjetin ja rajallisen ajan takia uusia ohjelmistoja ei hankittu, vaan päätettiin käyttöliittymä tehdä jollakin koulun ohjelmistoista. Työssä käytettävän Siemens Step 7 -ohjelman liitettävyyden takia vaihtoehdot rajattiin Siemens WinCC Flexible ja Wonderware Intouch -ohjelmistoihin. Kokemuksia molemmista ohjelmistoista löytyi ja päädyttiin valitsemaan WinCC Flexible. Perusteluna sen suora liitettävyyden Siemens Step 7 -ohjelmistoon ilman välissä olevia rajapintoja ja vaatimusten mukaisten toimintojen helppo toteuttaminen.

Käyttöliittymän näytöt

Näyttöjen suunnittelu toteutettiin taloon tarvittavien toimintojen mukaisesti. Karkeaa näyttöhierarkiasuunnittelua ei paperille tehty kuten normaalisti toimittaisiin, vaan tarvittavia näyttöjä lähdettiin hahmottelemaan suoraan WinCC Flexible -ohjelmiston avulla.

Ylimmäisenä näyttöhierarkiassa tulisi olla päänäyttö josta voitaisiin navigoida talon toimintojen mukaisiin alanäyttöihin. Alanäyttöinä suunniteltiin olevan lämmitys, ilmanvaihto ja häiriöiden simulointi.

Talon eri huoneisiin tulevien lämmönohjauksien takia lämmitys alaikkunan alla tarvittaisiin ikkunat jokaista lämmönohjausryhmää varten. Yksittäisten ikkunoiden rakenteita ei suunniteltu etukäteen, koska ne muuttuisivat vielä useampaan otteeseen toteutusvaiheen aikana.

4 Toteutus

4.1 Keskuksen kokoaminen

Sähkö- ja automaatio suunnittelu aloitettiin valitsemalla komponentit ja laitteet, joita tarvittiin toimintojen suorittamiseen. Keskus oli vanha koululta löydetty keskus, joka täytyi aluksi purkaa vanhoista kytkennöistä. Keskus oli hieman liian pieni tarkoitukseensa, koska siihen ei jäänyt laajennusvaraa. Keskuksen mitat ovat: leveys 600 mm korkeus 750 mm syvyys 250 mm. Alkuperäisissä suunnitelmissa keskus olisi ollut suurempi, mutta pienen budjetin takia keskus hankittiin koululta.

Kun keskuksen mitat tiedettiin, voitiin aloittaa layout-kuvan piirtäminen, eli kuva siitä miten laitteet ja komponentit sijoittuvat keskuksen sisällä. Tavaroiden saavuttua aloitettiin kokoamaan keskusta. Aivan kaikki tavarat eivät kuitenkaan saapuneet samaan aikaan, koska niitä tilattiin useasta paikasta. Kaikki tavarat olivat kuitenkin perillä noin kahdessa viikossa.

Kourut, kiskot, riviliittimet ja I/O-kortit tulivat ensimmäisten joukossa, joten peruselementit keskukseen tekoon olivat ja kasaus voitiin aloittaa. Kasaaminen tehtiin aiemmin suunnitellun keskus layoutin mukaisesti. Kasaaminen oli nopeaa, koska jokaiselle laitteelle oli määritetty paikka, eikä sitä enää tarvinnut miettiä kasausvaiheessa. Pieniä ongelmia tuotti se, että virtalähteet tulivat viimeis-

ten tavaroiden joukossa ja niiden paksuus oli 50 millimetriä 35 millimetrin sijasta. Tämä mitta katsottiin toimittajan nettisivuilta tuotteen tuotekortista, kun keskuksen layout kuvaa piirrettiin. Tästä johtuen yksi kaapelikouruista jouduttiin vaihtamaan kapeampaan. Tämä ei kuitenkaan haitannut, koska kourussa ei tullut kulkemaan paljon johtoja ja sitä löytyi ylimääräinen pätkä koulun varastosta. Lopulta laitteet ja kourut saatiin paikalleen ja voitiin aloittaa keskuksen sisäisten johdotusten tekeminen aiemmin suunniteltujen kytkentäkuvien mukaisesti.

Sisäisiä johdotuksia tuli melko paljon sen takia, koska kaikki keskuksen ulkopuolelta tulevat johdot kytkettiin riviliittimille. Tällä tavoin saatiin kenttälaitteiden kytkennästä, vaihdosta ja vian etsinnästä helpompaa. Aina näin ei tehdä, koska se vaatii keskukselta rutkasti lisätilaa, kuten tässäkin tapauksessa riviliittimet veivät 1/3-osaa käytössä olevasta tilasta.

Kaikki sisäiset johdotukset tehtiin 1 mm²:ä paksuilla taipuisilla johdoilla, pois lukien potentiometrien ja Profibus DP -väylän johdotukset. Kaikkien johtimien päät holkitettiin niille sopivilla johdinholkeilla, mikä helpottaa asentamista.

Sisäisten johdotusten teon jälkeen voitiin keskukseseen kytkeä ensimmäistä kertaa sähköt ja katsoa nouseeko jostain savut. Onneksi näin ei käynyt ja voitiin kokeilla logiikan ja hajautetun I/O:n liittämistä yhteen.

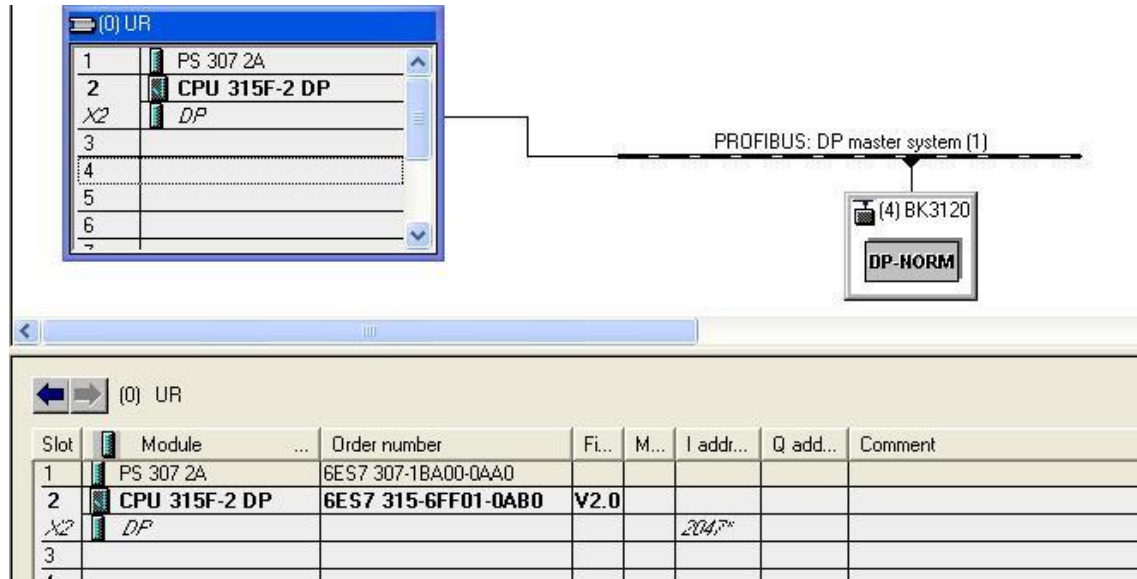
4.2 Logiikka ja hajautettu I/O

Logiikan valinta tehtiin vasta keskuksen kasaamisen jälkeen, koska tarkoitus oli käyttää koululta hyllystä löytyviä Siemens S-300 -sarjan logiikoita. Näin ollen vaatimukseksi riitti vapaana oleva logiikka, jossa oli Profibus DP -väylä. Hyllystä löytyi 315F-2DP-mallinen logiikka, joka päätettiin valita käytettäväksi opinnäytetyöhön. Logiikka sisälsi turvaominaisuudet, mutta tässä työssä niitä ei tarvittu.

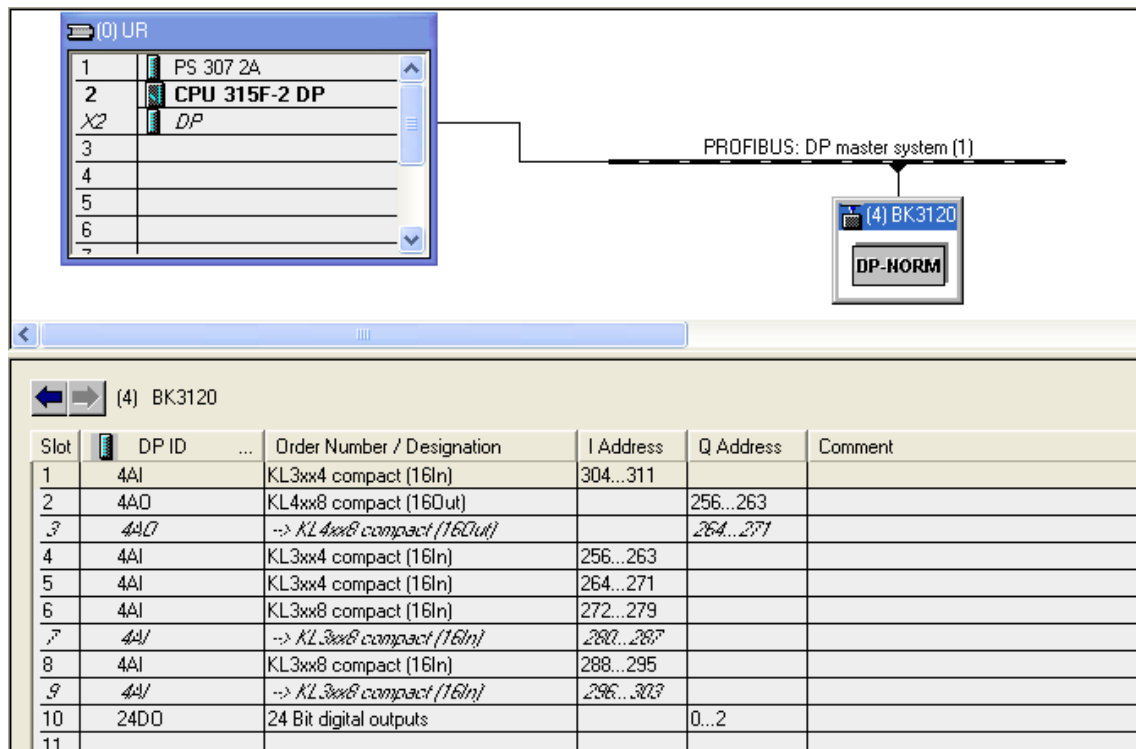
Logiikan käsittely aloitettiin Siemens Step7 -ohjelmointiohjelmalla. Aluksi luotiin projekti, johon lisättiin S-300-sarjan logiikka. Hardware configissa määriteltiin logiikka, eli prosessori-yksikkö ja sen tulo- ja lähtökorttien, eli I/O:den tyypit.

Logiikassa itsessään ei ollut tulo- ja lähtökortteja valmiina, eikä niitä siihen lisätty. Kaikki I/O:t ovat hajautettua I/O:ta ja ne ovat Beckhoff BK3120-väyläsovittimen perässä. Ennen kuin I/O:t voitiin lisätä, täytyi määrittää Profibus-väylä käyttöön ja antaa sille tiedonsiirtonopeus ja isäntälaitteen osoite. Tämän jälkeen väylälle voitiin lisätä laitteita.

Työssä käytettyjen Beckhoffin I/O-korttien määrittämisä ei suoraan löytynyt valikoista, vaan ne täytyi lisätä sinne. Beckhoffin kotisivuilta löytyi BK3120-väyläsovittimelle .gse-tiedosto, jossa on määritelty laitteen toiminta profibus-väylässä. Tiedoston asentamisen jälkeen Profibus DP -sovitin ja sen perään sopivat I/O-kortit löytyvät valikosta. Kuvassa 9 näkyy työssä määritelty hw-config logiikalle ja kuvassa 10 näkyy beckhoffin konfiguraatio.



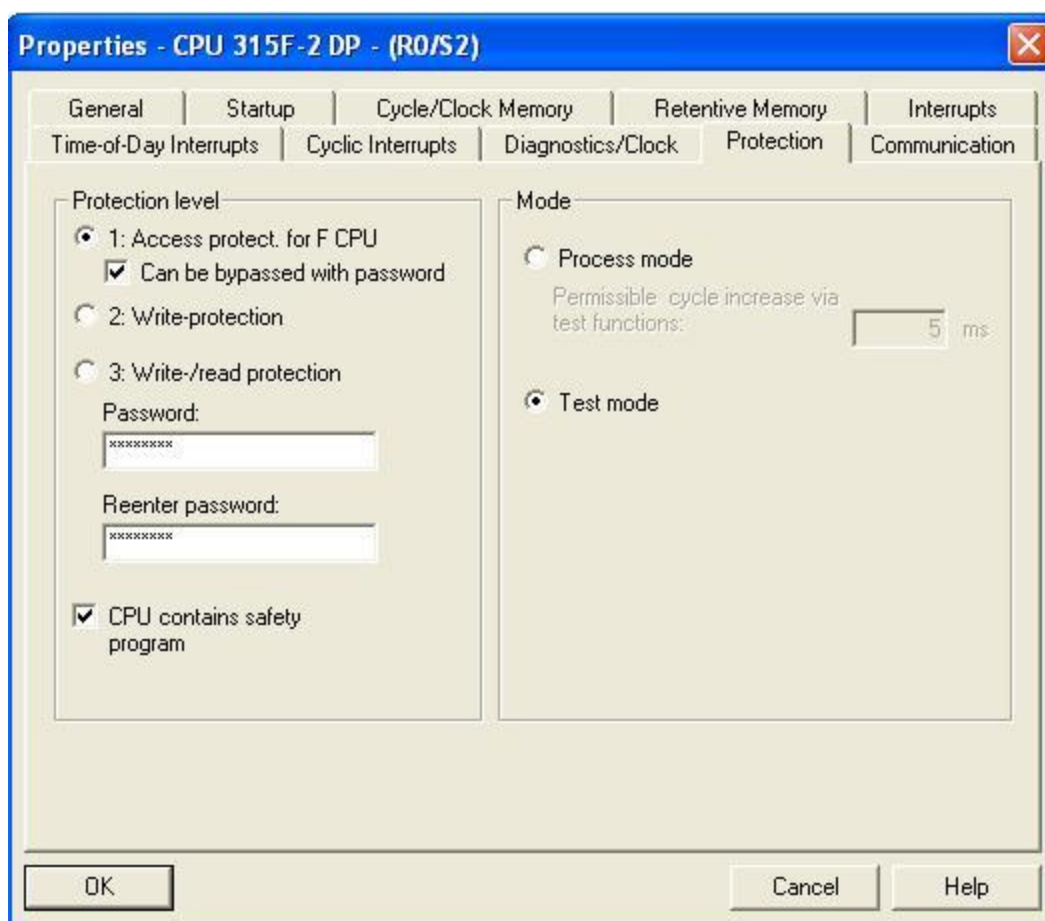
Kuva 9. Logiikan hardware config määrittäykset.



Kuva 10. Hajautetun I/O:n hardware config määritykset.

Kuvassa 10 näkyy, että Beckhoffin määrittelyyn ei löydy suoraan korttityyppi-kohtaisia moduuleita, vaan ne olivat yleismoduuleita kullekin korttisarjalle.

Seuraavaksi otettiin yhteys logiikkaan ja ladattiin konfiguraatio logiikalle. Tämä ei kuitenkaan onnistunut ongelmitta, koska työssä käytetty turvalogiikka sisälsi entisiä ohjelmia, joihin oli määritelty turvatoimintoja. Turvalogiikan ohjelmia ei voi poistaa ilman logiikalle annettua salasanaa. Logiikan salasana oli "fcpu". Tämän laitettua saatiin poistettua logiikan entiset ohjelmat ja ladattua uudet konfiguraatiot. Kuvassa 11 näkyy logiikalle määriteltävät salasanat.

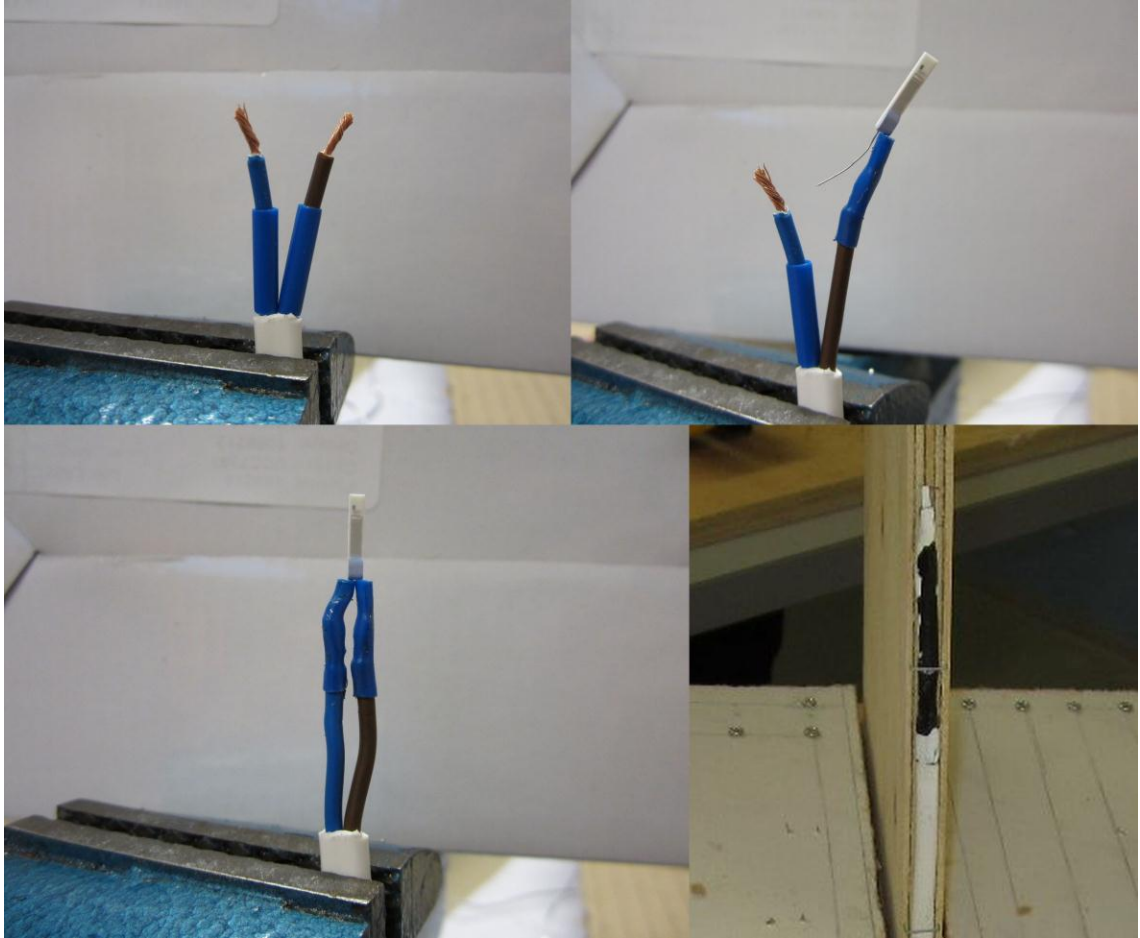


Kuva 11. Logiikalle määriteltävät salasanat.

Kun tiedot saatiin siirrettyä logiikalle todettiin ettei liikennöinti logiikan ja hajautetun I/O:n välillä toimi. Logiikassa ja I/O:ssa vilkkui Bus Failure -valo ja logiikka meni System Failure tilaan ja tämän lisäksi I/O:ssa vilkkui DIA-valo. Syytä etsittiin jonkin aikaa. Vikaa yritettiin löytää myös logiikan vikadiagnostiikalla, mikä ilmoitti hajautetun I/O:n virhettä. Tässä vaiheessa kokeiltiin muuttaa I/O:n osoitteistusta, vaihtaa väylän nopeutta ja logiikkaa. Toimenpiteistä ei ollut apua, koska Beckhoffin väyläsovitin tunnistaa automaattisesti väylän nopeuden 12 Mbps asti ja osoite oli määritetty oikein, eikä laitteisto toiminut eri logiikan avulla. Apua tähän ongelmaan saatiin toisilta opiskelijoilta. Ongelma saatiin korjattua sijoittamalla analogiakortit ennen digitaalisia lähtökortteja.

Logiikan ja I/O:n tiedonsiirron toimiessa voitiin aloittaa testaamaan antureita, mittauksia ja lähtöjen toimintaa. Aluksi päätettiin testata lämpötilamittausten toimivuus ja niiden skaalaus. Antureina käytetyt Pt1000-anturit eivät sisältäneet

johtoja, vaan johdot jouduttiin tinaamaan antureihin kiinni. Kuvassa 12 näkyy anturin eri tekovaiheet. Antureita löytyisi valmiiksi koteloituinakin, mutta ne ovat kooltaan liian suuria pienoismallitaloon.



Kuva 12. Lämpötila-antureiden tekovaiheet.

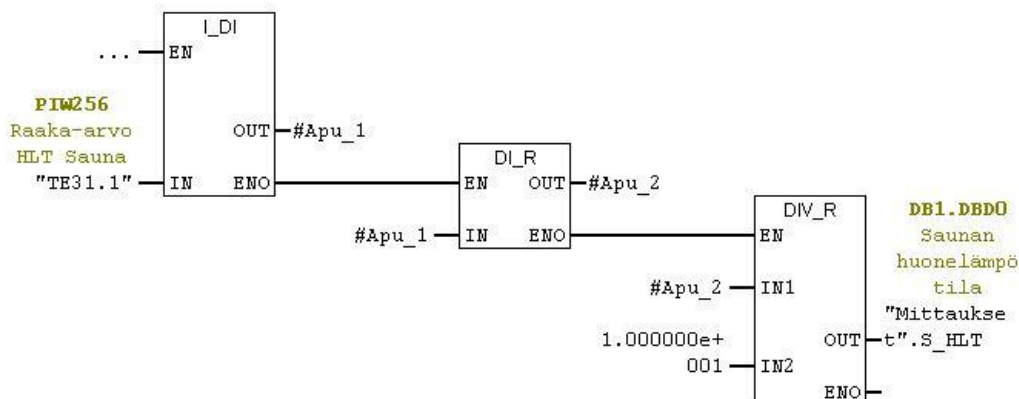
Antureiden johtojen liittämisen jälkeen voitiin testata näyttääkö mittaus oikein. Aluksi mittausta yritettiin skaalata FC105-funktiolla, mutta skaalaus ei onnistunut, koska Beckhoffin kortti antaa tiedon 0,1 °C:n tarkkuudella välillä 0...32767 kokonaislukuna ja skaalausfunktio toimii -27648...27648 välillä. Oikea mittaus-tulos saatiin siis ulos muuttamalla luku reaali-luvuksi ja jakamalla se luvulla 10. Kuvassa 13 on esitetty logiikkaohjelma lämpötilamittauksen skaalaukselle.

FC2 : Title:

Lämpötilojen mittaus ja muuttaminen reaalitylukiksi
mittaus KL3228 -kortilta tulee 0...32767 kokonaislukuna, tämä muutetaan
reaalitylukiksi ja jaetaan kymmennellä, koska mittaustieto on 0,1 asteen
tarkkuudella

Network 1: Sauna

Huonelämpötila TE31.1



Kuva 13. Lämpötilamittausten skaalaus.

Kaikki lämpötilamittausten skaalatut tiedot siirrettiin tiedostoyksikköön DB1, koska sillä haluttiin helpottaa lämpötilojen lukemista ja käsittelemistä. Mittausten symboliset nimet pyrittiin tekemään loogisiksi ja ne nimettiin huoneen nimen perusteella. Loppuosaan kirjoitettiin mitä mitataan, eli kuvan 13 tapauksessa huonelämpötilaa. Raaka-arvoille annettiin symbolinen nimi position mukaan, joka määriteltiin tehdessä automaattisuunnitelmia.

Lämpötilojen testauksen jälkeen kokeiltiin digitaalilähtöjen toimivuutta ja huomattiin, että ne eivät toimineet halutulla tavalla. Asiaa tutkittiin ja huomattiin, että kytkentä oli tehty väärin. Työssä käytetyt lähtökortit ohjasivat lähtöön +24 VDC:n jännitettä ja kytkentä oli tehty niin, että lähtöön tulisi 0V. Tästä johtuen käsikäyttökytkimien ja digitaalilähtöjen johdot täytyi vetää uudelleen ja muokata kytkentäkuvat vastaamaan todellista tilannetta. Kytkentämuutosten jälkeen testattiin lähtöjen toimintaa uudelleen ja ne toimivat kuten pitikin.

Seuraavaksi testattiin keskuksen kanteen laitettujen hiilidioksidi- ja kosteusmittausten toimivuus. Mittausten skaalaukseen käytettiin FC105-skaalausfunktioita,

jolla asetettiin myös mittausten rajat. Hiilidioksidimittauksen toiminta alue katsottiin D2 rakennusmääräyskokoelmasta, jossa kerrottiin tyypillisesti 1200 ppm olevan maksimi sisätiloissa oleva pitoisuus.

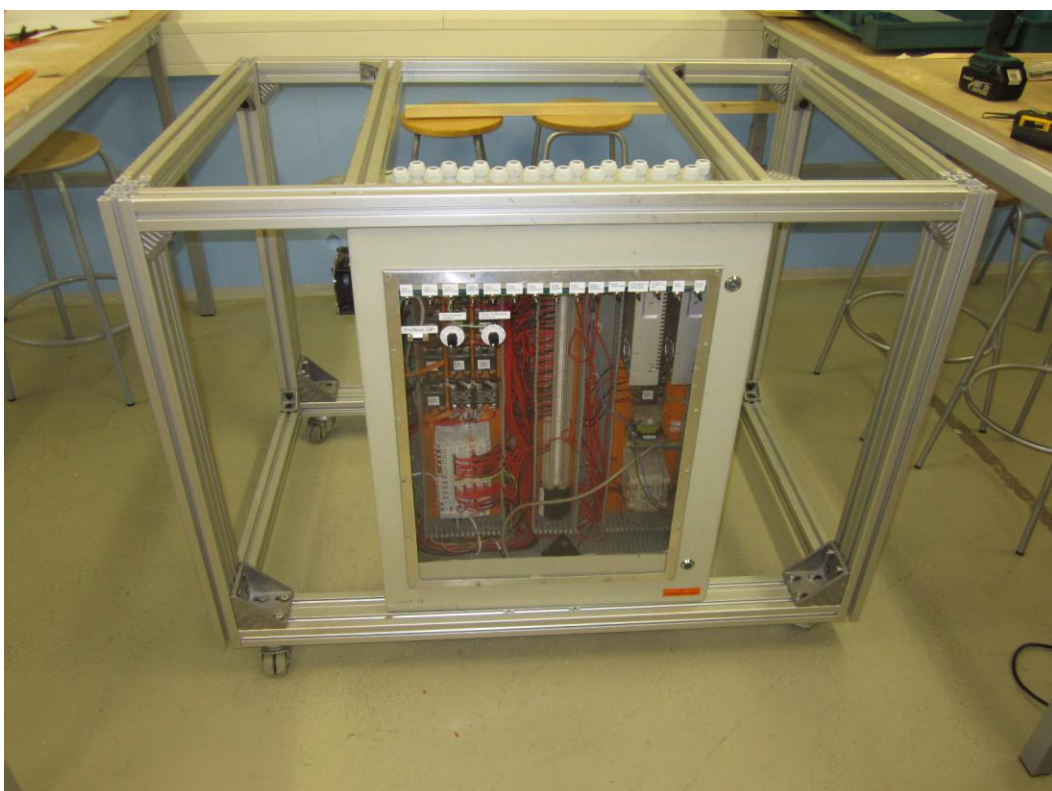
Viimeisenä testattiin analogialähtöjen toimintaa ja huomattiin, etteivät nekaan toimi. Tämä johtui siitä, että korteissa on oikosulkusuojaus, joka toimi jos kuorma on $<5 \text{ k}\Omega$. Tuulettimen vastus oli 100Ω , joten ohjaus ei toiminut. Ohjaukseen jouduttiin siis etsimään vahvistimia, jolla saatiin ohjattua puhaltimia. Koululta löytyi hyllystä United Automationin valmistamia DCM24-40-yksiköitä, jolla saatiin säädettyä 0-5V ohjauksella lähtöä 0-100 % alueella.

4.3 Talonsiirtokehikko

Siirtokehikon tekeminen aloitettiin valitsemalla sopivan mittaiset alumiiniprofiilit hukkaan menevien palojen minimoimiseksi. Paloista saatiin siistit ja suorat leikkaamalla ne aikuisopiston tiloissa katkaisusahalla. Kehikko kasattiin profiilille sopivilla kulmapaloilla, jotka kiinnitettiin 8 mm:n pulteilla. Profiilin uriin laitettiin vastamutterit, johon pultit kiinnittyivät. Kehikon alle asennettiin kääntyvät pyörät siirtämistä varten. Pyörien kiinnitysreiät kävivät suoraan profiilin urien mukaisesti, joten ne saatiin kiinnitettyä tukevasti pulteilla. Keskuksen kiinnitykseen käytettiin itseporautuvia ruuveja. Keskus ruuvattiin useilla ruuveilla ylä- ja alapäästä. Kuvassa 14 on esitetty kehikko ilman sähkökaappia ja kuvassa 15 on esitetty kehikko sähkökaapin asennuksen jälkeen.



Kuva 14. Talonsiirtokehikko ilman keskusta ja taloa.



Kuva 15. Sähkökaappi kehikkoon kiinnitettyinä.

4.4 Ohjelmat

4.4.1 Lämmitys

Lämmitystapoja on kaksi, lattialämmitys tai sähköpatterit, mutta pesuhuoneessa, saunassa ja kodinhoitohuoneessa on vain lattialämmitys. Lämmitystapa valitaan käyttöliittymässä olevalla vaihtokytkimellä.

Lämmityksessä jokaiselle huoneelle on oma PID-säädin ja näin ollen huoneita voidaan ohjata omina yksiköinä. PID-säädön analogiaviesti muutetaan PWM-säädöksi, joka tulee englanninkielen sanoista Pulse Width Modulation, suomeksi pulssin leveys ohjaus. Kummatkin säätimet löytyivät suoraan ohjelmasta ja niillä on helppo toteuttaa päälle/pois tyyppisen ohjauksen säätö.

Huoneiden lämpötiloja säädetään huonelämpötilan mukaan ja lattiassa olevilla lämpötilamittauksilla rajoitetaan lattian liikaa lämpenemistä. Rajoitus on asetettu 18 °C:ta suuremmaksi kuin asetusarvo. Tämä arvo on valittu miettimällä oikean talon lattialämmitystä tilanteessa, jossa huonelämpötilan asetusarvo on 22 °C.

Lattialämpötilan rajoitus on 18 °C:ta suurempi, jolloin lattian maksimilämpötila on 40 °C:ta. Oikeassa talossa tämä lämpötila on maksimi, koska suuremmissa lämpötiloissa lattia alkaa tuntumaan polttavalta. Rajoituslämpötila ei voi olla vakio niin kuin oikeassa talossa, koska taloa käytetään eri lämpötiloissa.

Jokaisen huoneen säädintä voidaan ohjata manuaaliajolla ja antaa säätimen asetusarvot käyttöliittymästä, myös säätötavat valitaan käyttöliittymän kautta. Liitteessä 5 on esitelty lämmitykselle tehtyä ohjelmaa.

4.4.2 Ilmanvaihto

Ilmanvaihtokoneesta tehtiin kaksinopeuskone, joka pyöri joko normaaliteholla tai tehostetulla käynnillä. Molemmat nopeudet asetellaan käyttöliittymästä. Kosteus- ja hiilidioksidimittaukset vaikuttavat ilmanvaihdon nopeuteen ja niille asetetaan raja-arvot käyttöliittymästä. Mikäli kosteus- tai hiilidioksidimittaus ylittää annetun asetusarvon, kytketään ilmanvaihto tehostetulle käynnille. Lisäksi käyttöliittymään tehtiin käsikäyttökytkin tehostetulle käynnille, jolla voidaan asettaa ilmanvaihto tehostukselle.

Säätöjä ja muita ohjauksia ilmanvaihdolle ei ole, koska pienen budjetin takia ei työhön hankittu kanavapaine- tai ilmamäärämittareita, joiden avulla säätö olisi voitu toteuttaa. Liitteessä 6 on esitelty tulopuhaltimelle tehty ohjelma.

4.4.3 Häiriöiden simulointi

Häiriöitä oli neljä kappaletta, joita kaikkia ohjattiin samalla tavalla. Ohjaus toteutettiin ajastimien avulla, jotka ohjaavat lähtöä. Ajastimelle voidaan asettaa käyttöliittymästä päällä oloaika sekunteina ja painamalla käynnistys-nappia lähtö on päällä asetetun ajan.

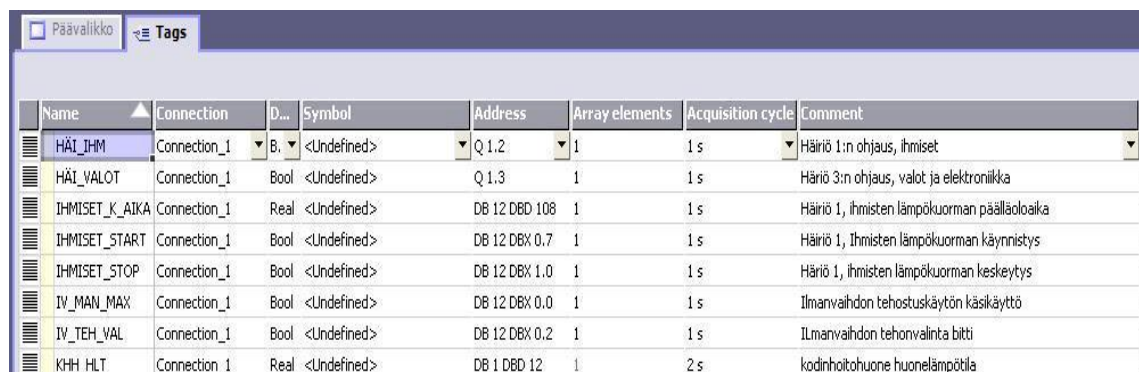
Käyttöliittymästä annettava aika on reaalityttö ja se annetaan sekunteina, joten ohjelmassa muokattiin aika TIME-muotoon ja siitä S5TIME-muotoon, joka on ajastimen vaatima aikamuoto. Häiriöille on myös käyttöliittymässä keskeytys-nappi jos lähtö halutaan sammuttaa aiemmin. Liitteessä 7 nähdään häiriöiden ohjelman rakenne.

4.5 Käyttöliittymän toteutus

Projektin ollessa näin laaja käyttöliittymän toteutukselle laitettiin vähemmän painoarvoa ja se toteutettiin ainoastaan testikäyttöä varten.

Käyttöliittymä tehtiin SIMATIC WinCC flexible -ohjelmalla, joka on helppokäyttöinen ohjelma ja se on helposti yhdistettävissä Siemensin logiikan kanssa.

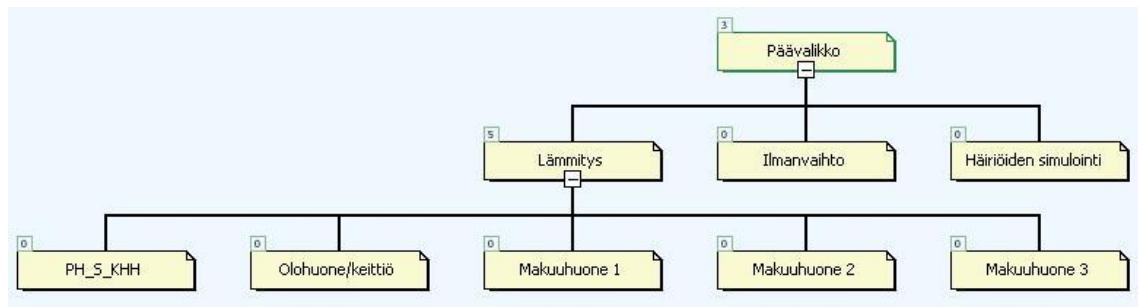
Käyttöliittymään pyrittiin viemään vain olennaisimmat ja välttämättömimmät asiat, että siitä tulisi selkeä, mutta kuitenkin saataisiin tehtyä kaikki tarvittavat toiminnot. Käyttöliittymän teko aloitettiin luomalla muuttujat, eli tagit. Kaikki muut käyttöliittymään tulevista tiedoista olivat tiedostoyksiköissä, paitsi lähtöjen ohjaukset. Lämpötilamittaukset käytiin DB1:stä, ohjaukset DB2:sta ja säätimien asetukset säätimille tehdyistä tiedostoyksiköistä. Kuvassa 16 on esitetty tagien määrittämistä.



Name	Connection	D...	Symbol	Address	Array elements	Acquisition cycle	Comment
HÄI_IHM	Connection_1	B.	<Undefined>	Q 1.2	1	1 s	Häiriö 1:n ohjaus, ihmiset
HÄI_VALOT	Connection_1	Bool	<Undefined>	Q 1.3	1	1 s	Häiriö 3:n ohjaus, valot ja elektronikka
IHMISET_K_AIKA	Connection_1	Real	<Undefined>	DB 12 DBD 108	1	1 s	Häiriö 1, ihmisten lämpökuorman päälläoloaika
IHMISET_START	Connection_1	Bool	<Undefined>	DB 12 DBX 0.7	1	1 s	Häiriö 1, ihmisten lämpökuorman käynnistys
IHMISET_STOP	Connection_1	Bool	<Undefined>	DB 12 DBX 1.0	1	1 s	Häiriö 1, ihmisten lämpökuorman keskeytys
IV_MAN_MAX	Connection_1	Bool	<Undefined>	DB 12 DBX 0.0	1	1 s	Ilmanvaihdon tehostuskäytön käsikäyttö
IV_TEH_VAL	Connection_1	Bool	<Undefined>	DB 12 DBX 0.2	1	1 s	Ilmanvaihdon tehonvalinta bitti
KHH_HLT	Connection_1	Real	<Undefined>	DB 1 DBD 12	1	2 s	kodinhoituhuone huonelämpötila

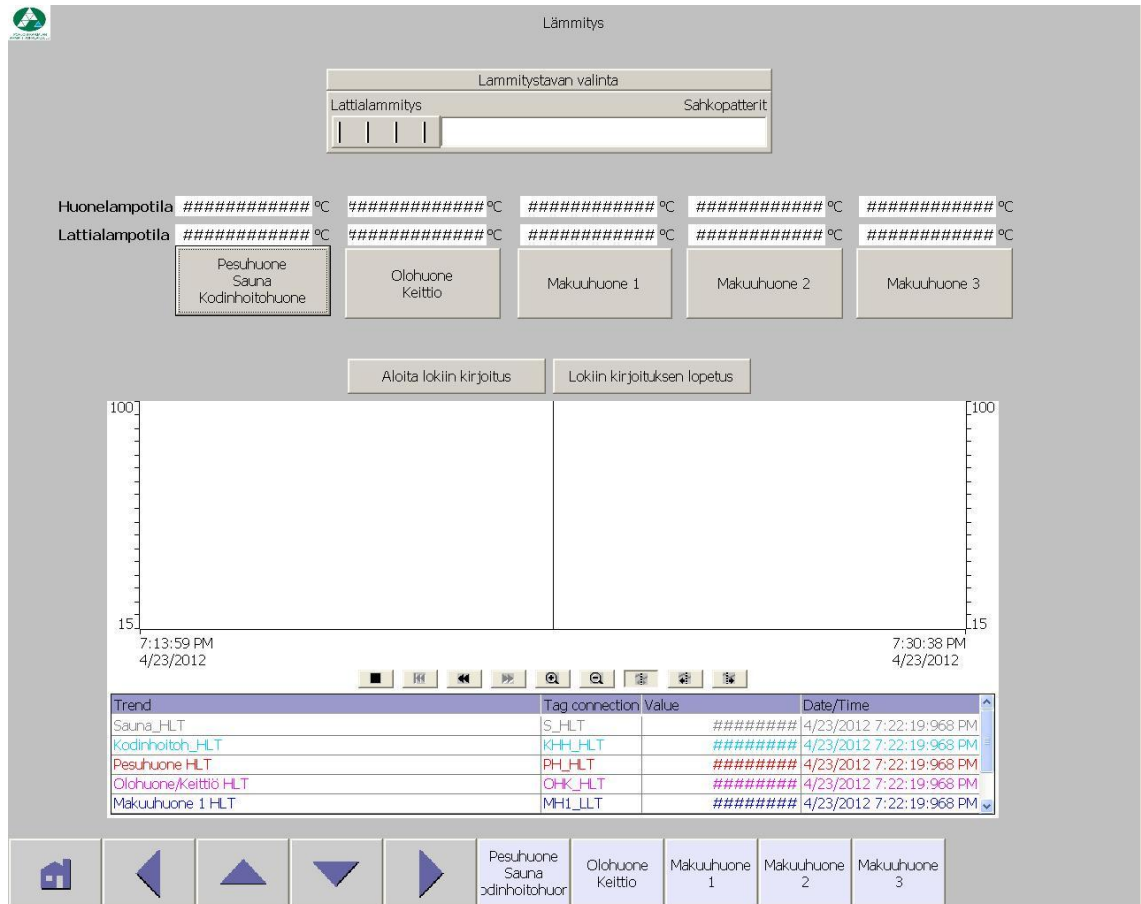
Kuva 16. Tagien määrittely.

Tagien määrittelyn jälkeen aloitettiin tekemään suunnitellun mukaista näyttöra-kennettä. Kuvassa 17 on esitetty käyttöliittymän näyttöjen hierarkia.



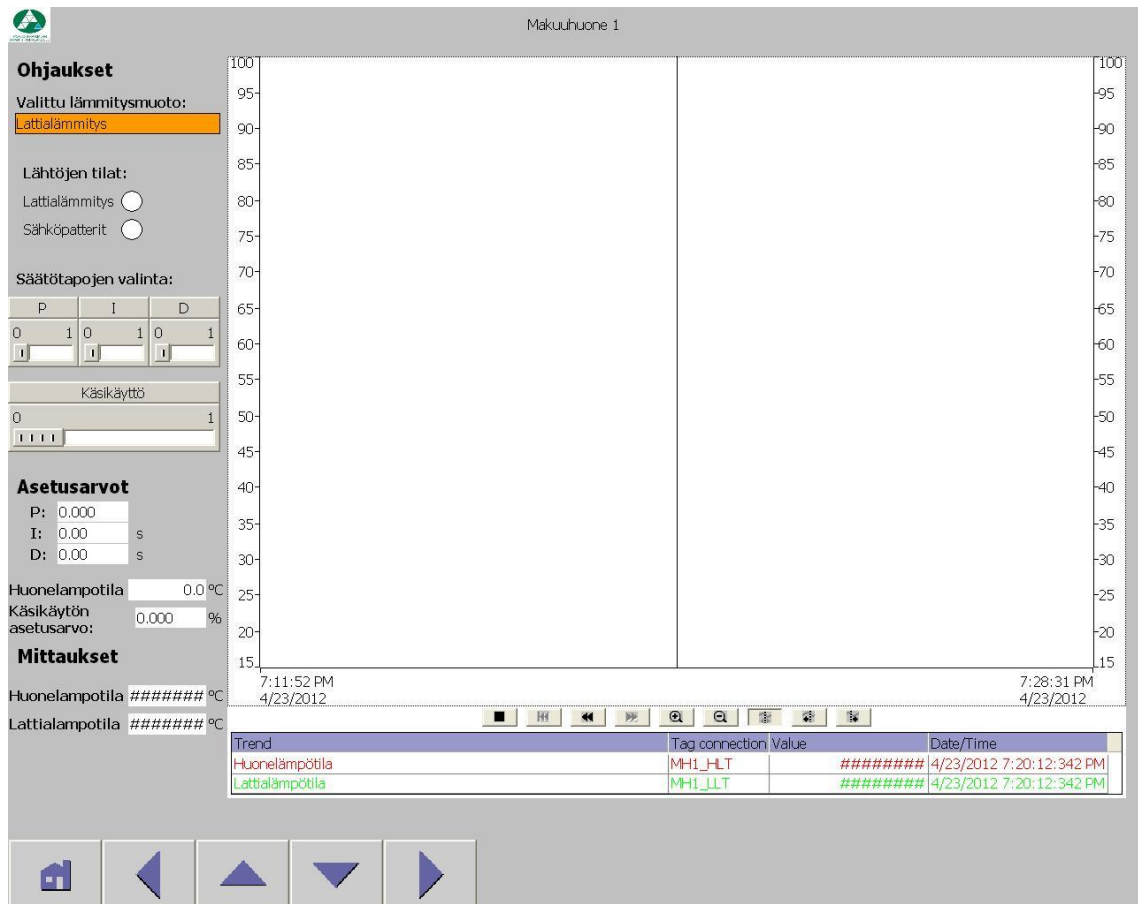
Kuva 17. Käyttöliittymän näyttöjen hierarkia.

Näyttö hierarkian ollessa valmis alettiin tekemään yksittäisten näyttöjen eri toimintoja. Lämmitys-ikkunaan laitettiin näkymään kaikkien huoneiden ja lattioiden lämpötilat. Tätä voi siis käyttää yleiskuvan katsomiseen ja lämpötilojen seuraamiseen. Lämmitys-näyttöön laitettiin myös lokiin tallentamisen-painikkeet. Tietojen lokiin tallentaminen auttaa myöhemmässä vaiheessa tuloksien tulkitsemisessä. Näyttöön on myös laitettu trendi-ikkuna, mutta siinä riittää pituus vain sadaksi sekunniksi, eikä sitä voi kelata taaksepäin, vaan entiset tiedot häviävät. Tästä johtuen trendi-ikkunaa ei voi käyttää tulosten analysoimiseen vaan tiedot täytyy tätä varten viedä lokitiedostoon. Lokitiedoston saa auki Microsoft Excel -ohjelmalla, jolloin se on helposti muokattavissa. Kuvassa 18 on esitetty lämmitysikkunan rakenne.



Kuva 18. Lämmitysikkunan rakenne.

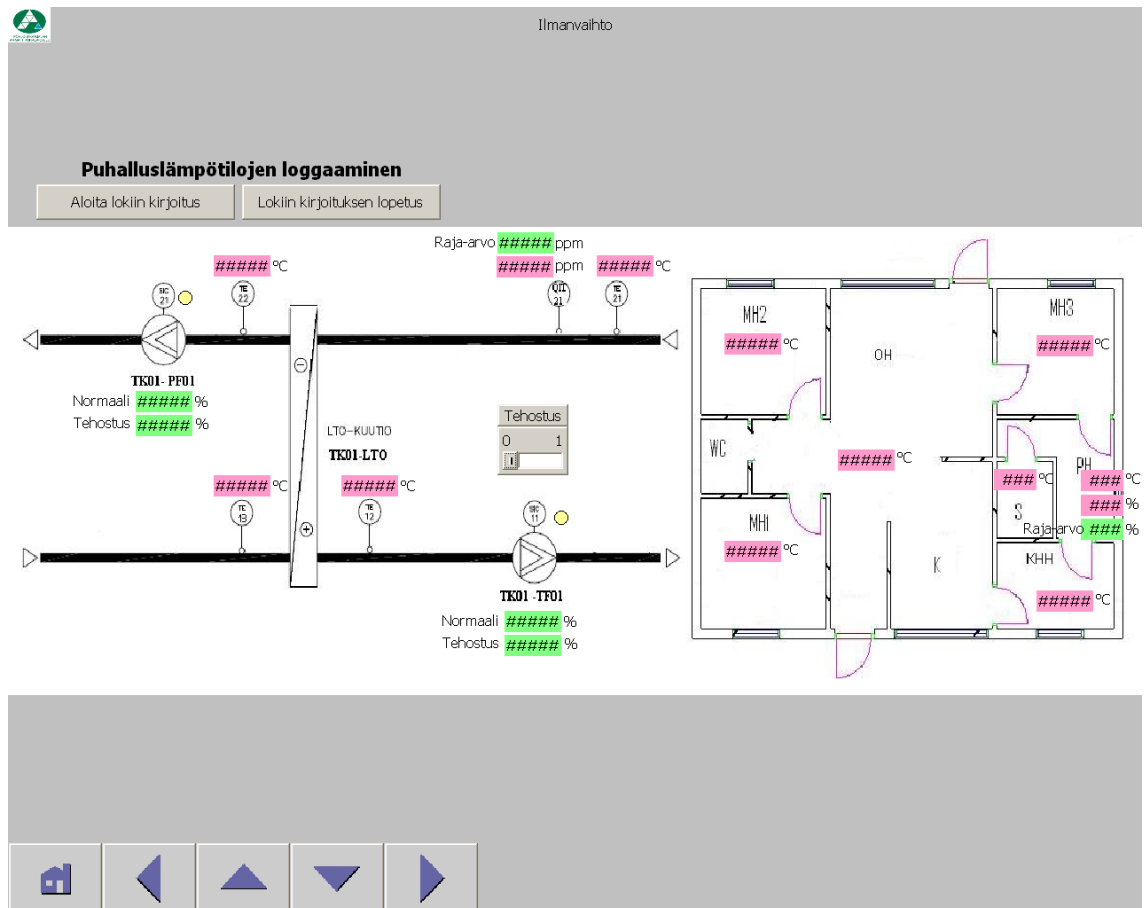
Huoneiden näytöistä tehtiin samanlaiset käytön helpottamiseksi ja projektin nopeuttamiseksi. Huonekohtaisiin näyttöihin laitettiin valitun lämmitysmuodon indikointi, lähtöjen tilaindikoinnit, säätimen asetukset, säätimen ohjaukset, huone- ja lattialämpötilojen mittaukset sekä lämpötiloille trendinäyttö. Kuvassa 19 on esitetty huonekohtaisten näyttöjen rakenne.



Kuva 19. Huonekohtaisten näyttöjen rakenne.

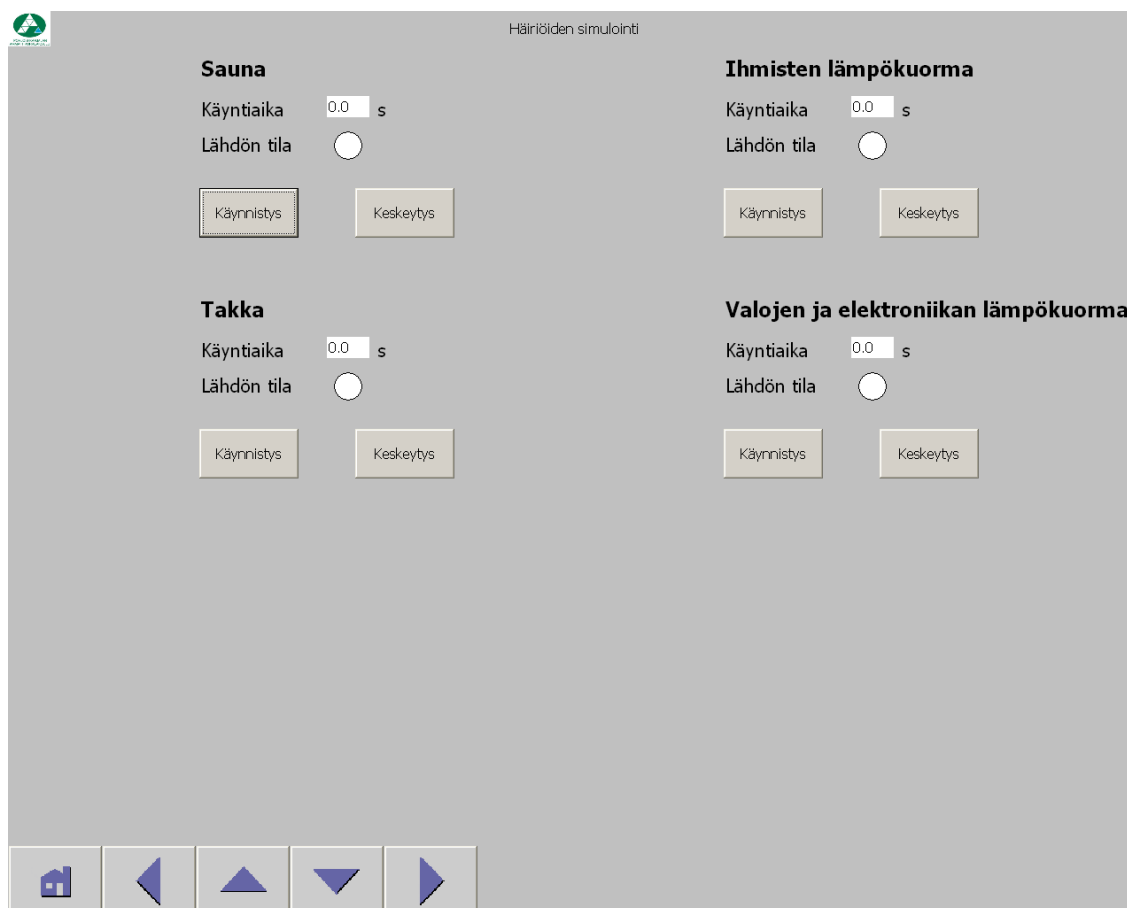
Ilmanvaihdon näyttöön laitettiin ilmanvaihtokoneen PI-kaavio ja lämpötilamittaukset, mihin ilmanvaihto vaikuttaa. Lisäksi sinne laitettiin ilmanvaihtokoneen nopeuden asetusarvot, raja-arvot kosteudelle ja hiilidioksidille sekä käsi käyttökytkin tehostuskäytölle.

Puhalluslämpötiloille tehtiin myös lokitiedosto ja ilmanvaihdon ikkunaan laitettiin lokiin kirjoituksen aloitus- ja lopetusnapit. Lämpötilojen datan keräämisellä voidaan jälkikäteen laskea lämmöntalteenoton hyötysuhde ja nähdä lämpötilakäyttäytyminen. Kuvassa 20 on esitetty ilmanvaihdon näytön rakenne.



Kuva 20. Ilmanvaihdon näytön rakenne.

Viimeisenä käyttöliittymään tehtiin häiriöiden simulointi-ikkuna. Häiriöiden simulointi on yksinkertainen ja sinne tehtiin vain kullekin häiriölle käynnistys- ja keskeytyspainikkeet, päällä oloajan asetuslaatikko ja lähdön tilan indikointivalo. Kuvassa 21 on esitetty häiriöiden simulointi-ikkuna.



Kuva 21. Häiriöiden simulointi.

4.6 Talon liittäminen automatiikkaan

4.6.1 Lattialämmitys

Osa lämmitysryhmistä toteutettiin useammalla silmukalla, koska muuten lankaa olisi suuremmilla tehoilla tullut lyhyt pätkä ja lattia olisi lämmennyt hyvin epätasaisesti. Liitteessä 8 näkyvät lattialämmitysten silmukkojen pituudet ja tehot.

Lattiavaluille tehtiin muotit ja ne tehtiin työpajan pöydällä. Irtomuottien tekemiseen päädyttiin, koska se nähtiin helpoimmaksi vaihtoehdoksi saada vastuslangat kestämään keskellä valua ja paikallaan koko valun ajan.

Muotin kansi tehtiin 3 mm:n kovalevystä, johon ruuvattiin valun ajaksi puurimat pitämään massa paikoillaan. Seuraavaksi katsottiin, kuinka paljon vastuslankaa tulee laittaa kyseiseen elementtiin ja mitattiin muotin koko ja laskettiin asennusväli langalle. Kynällä piirrettiin lankojen kulkureitit muottiin ja porattiin kovalevyn läpi ruuvit pitelemään vastuslankoja. Kuvassa 22 näkyy lattiaelementti johon on laitettu vastuslanka.

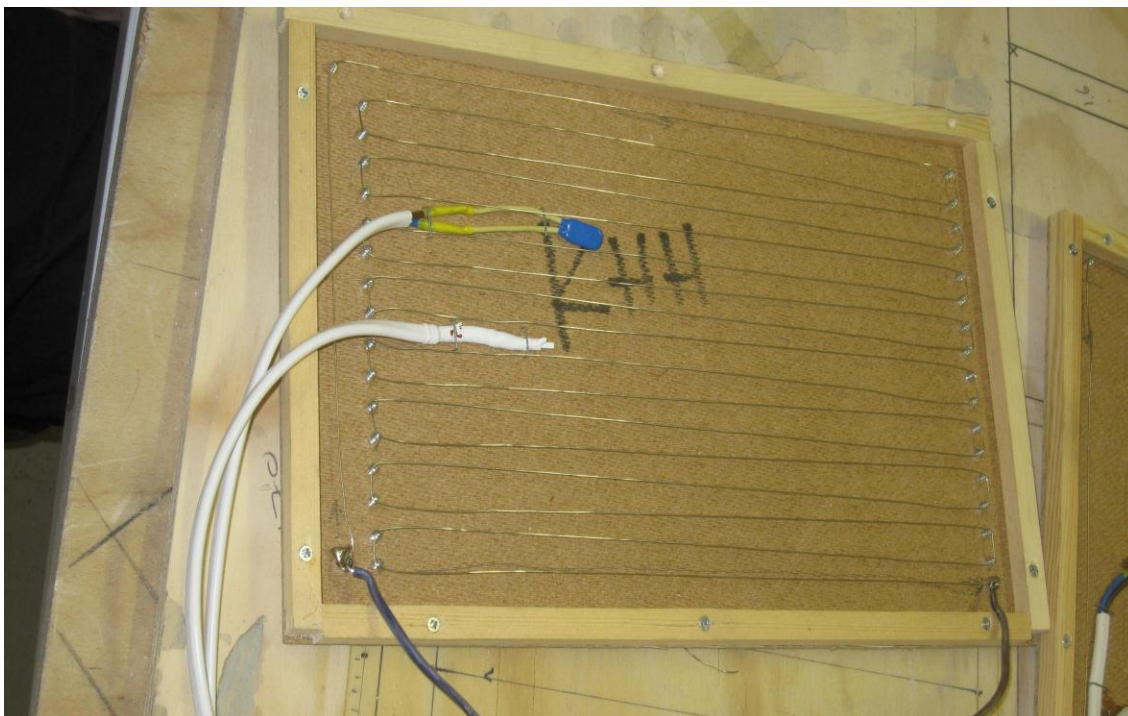


Kuva 22. Vastuslanka asennettuna lattiaelementtiin.

Vastuslangan asennuksen jälkeen siihen tinattiin syöttöjohdot. Kaikki lämmityselementeille menevät johdot laitettiin 1,5 mm²:n kaapelista.

Lisäksi jokaiseen lattialämmitysryhmään tuli lattialämpötilamittaus ja ylikuumenemissuoja. Lämpötila-anturit ovat kaikki samanlaisia huonetiloissa ja lattioissa.

Ylikuumenemissuojat ovat 90 °C:ssa avautuvia kontakteja. Ylikuumenemissuojilla pyritään estämään vikatilanne, jossa talo voisi syttyä palamaan. Ylikuumenemissuojilla katkotaan suoraan talon ohjausjännitettä. Kuvassa 23 on lattiaelementti ennen valua.



Kuva 23. Valmis asennus ennen lattiavalun tekoa.

4.6.2 Huonelämpötilamittaukset

Huonelämpötilamittaukset asennettiin lattioiden paikalleen asentamisen jälkeen ja ne kiinnitettiin niiteillä väliseiniin. Asennuskorkeudeksi laitettiin 15 cm lattias-
ta. Asennuskorkeus on suhteessa oikeaan taloon (140-160cm). Kuvassa 24 on
esitetty huonelämpötila-anturin asennus.



Kuva 24. Huonelämpötila-anturin asennus.

4.6.3 Sähköpatterit

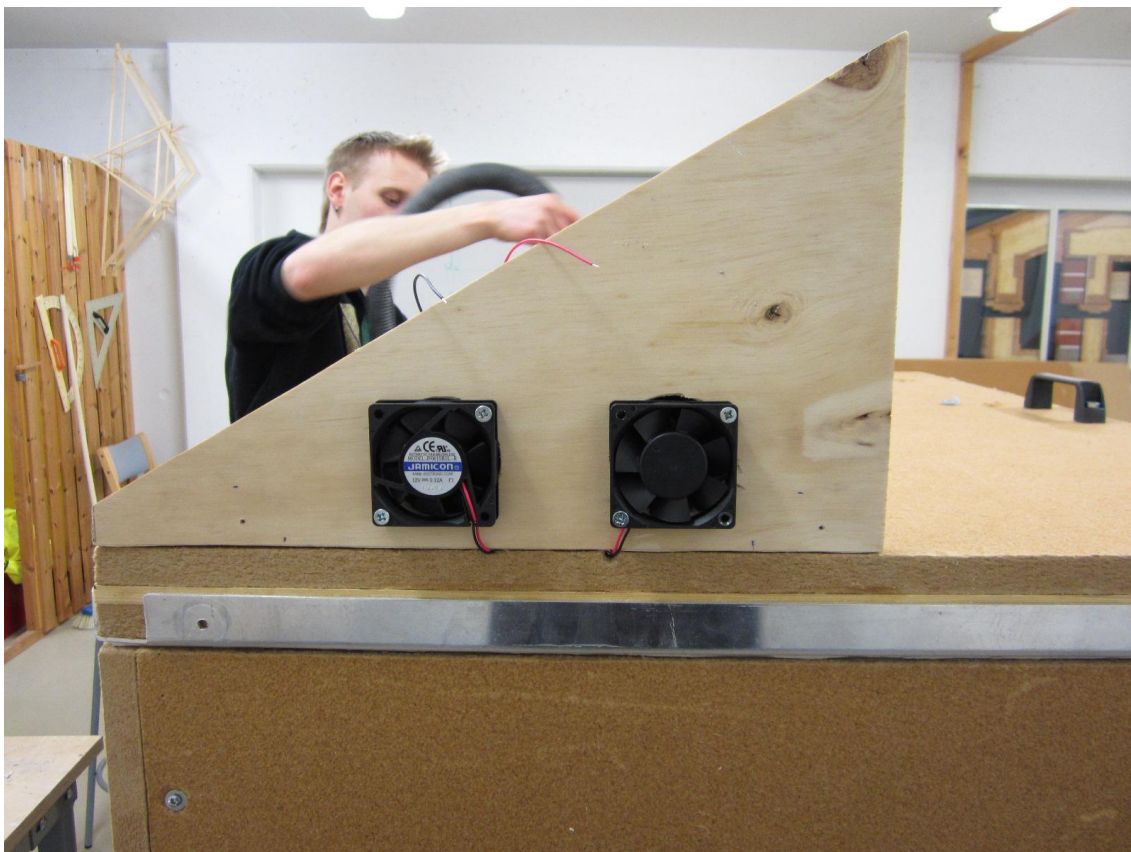
Lattialämmityksen ja sähköpatterien teho laskettiin pienoismallin pinta-alan mukaan ja maksimi tehontarve oli 400 W/m^2 . Sähköpattereina käytettiin tehovastuksia, joiden teho laskettiin suoraan vastusarvolla. Olohuoneessa ja keittiössä vastusten tehonkesto on 200 W ja makuuhuoneissa 150 W . Vastuksille laitettiin takalevyt, joilla pyrittiin lisäämään lämmönsiirtymistä. Ne asennettiin hieman irti seinästä, että ilma pääsee kulkemaan molemmilta puolen patteria. Kaikki patterit asennettiin ikkunoiden alapuolelle, niin kuin oikeassakin talossa. Kuvassa 25 näkyy patterien asennustapa.



Kuva 25. Patterien asennustapa.

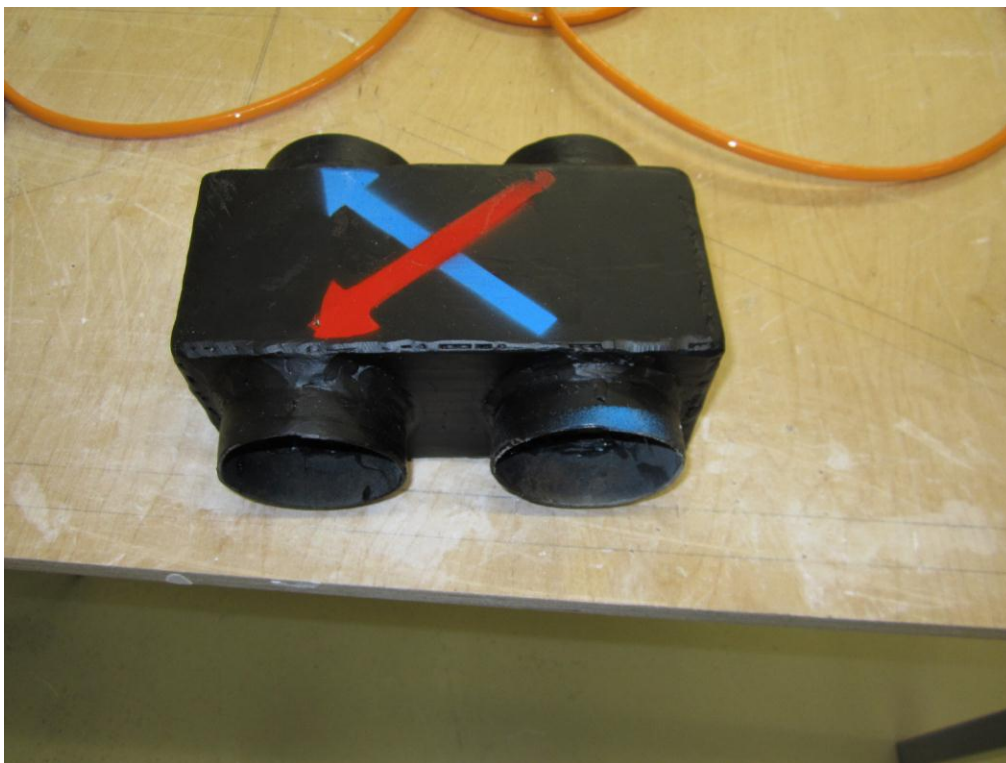
4.6.4 Ilmanvaihdon liittäminen automatiikkaan

Puhaltimet asennettiin talon päätyseinään, jotta ne on helpompi vaihtaa tarvittaessa uusiin ja samalla pystytään näkemään ovatko ne toiminnassa. Tämä oli myös helpoin kiinnitystapa. Kuvassa 26 on esitetty puhaltimien asennustapa IV-koneeseen.



Kuva 26. Puhaltimet asennettuna IV -koneeseen

Ilmanvaihtokoneeseen tehtiin myös lämmöntalteenottokenno. Kenno on tehty 1 mm:n paksuisesta pellistä ja siinä on 5-kanavaa poistoilmalle ja 5-kanavaa tuuloilmalle. Kuvissa 27 ja 28 näkyy lämmöntalteenottokenno ennen asennusta.



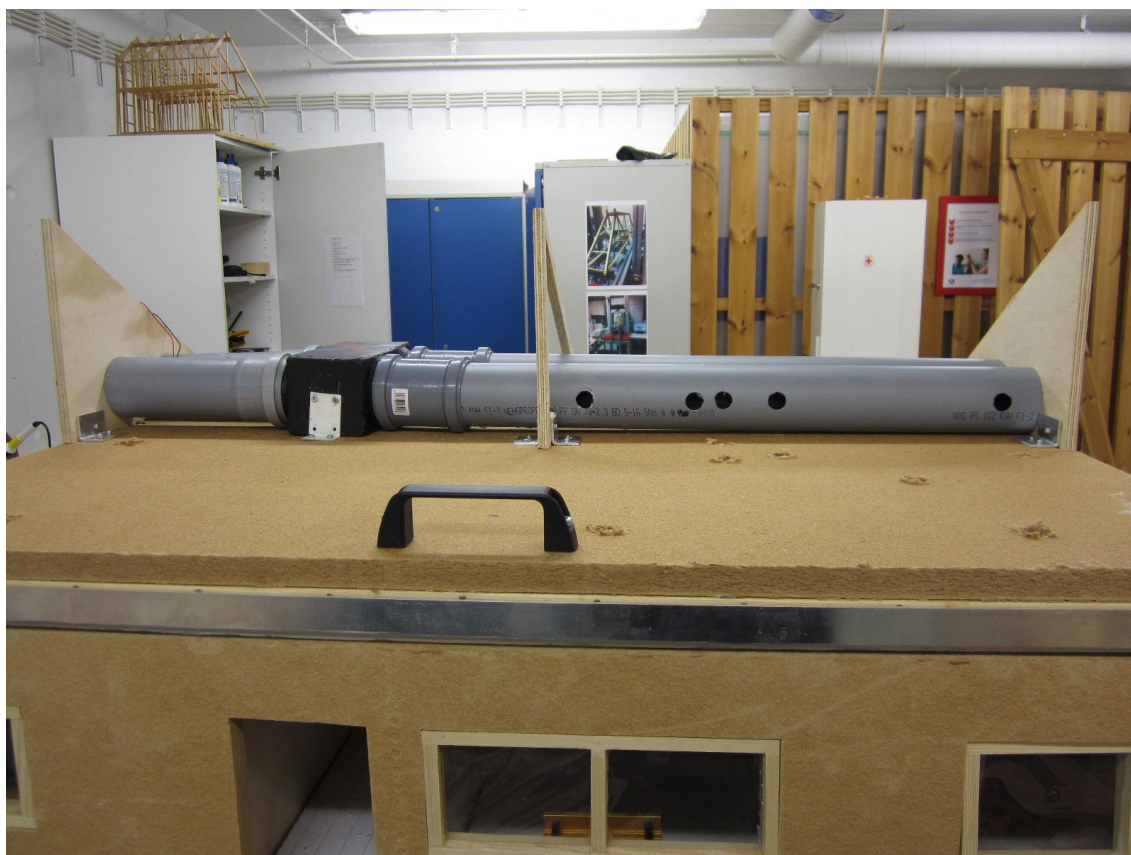
Kuva 27. Lämmöntalteenottokenno ylhäältä.,



Kuva 28. Lämmöntalteenottokenno edestä.

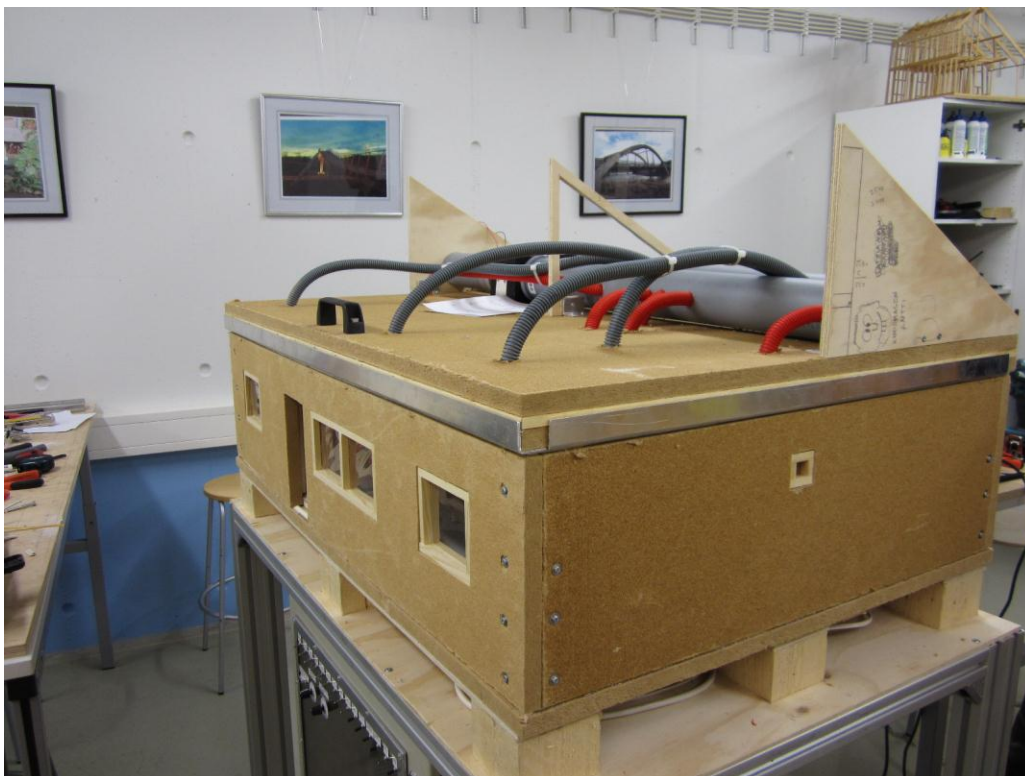
Kanavien välit on tukittu silikonilla, koska hitsaamalla aikaa olisi kulunut huomattavasti enemmän.

IV-koneen kanavat tehtiin 75 mm:n paksuisesta viemäriputkesta. Lto-kenno suunniteltiin sillä tavoin, että siihen saa suoraan kytkettyä kyseisen viemäriputken sille kuuluvalla jatkomuhvilla. Tällä tavoin liitoksista saadaan tiiviit ja järjestelmä on helposti muokattavissa. Kuvassa 29 on esitetty ilmanvaihtokone ennen jakoputkien asentamista.



Kuva 29. Ilmanvaihtokone ennen jakoputkien asentamista.

Huoneisiin menevät jakoputket tehtiin taipuisasta 20 mm:ä paksusta sähköasennuksissa käytettävästä putkesta. Tuloilmaputkissa käytettiin harmaata ja poistoilmaputkissa punaista putkea. Putkien liitoksissa käytettiin silikonilla tiivistysaineena. Kuvissa 30 ja 31 on esitetty IV-kone jakoputket asennettuna.



Kuva 30. IV-koneen jakoputket paikallaan, talo edestä.



Kuva 31. IV-koneen jakoputket paikallaan, talo takaa.

Viimeisenä IV-koneeseen asennettiin lämpötilamittaukset. Anturit olivat samantaisia, kuin huone- ja lattialämpötila-anturit. Antureille porattiin sopivan kokoiset reiät putkeen ja työnnettiin anturi reikään, joka eristettiin silikonilla.

Lämpötilamittaukset kytkettiin katolle tulevaan runkokaapeliin, eli katolle vedettiin vain yksi 25-johtiminen kaapeli, jossa kaikki katolta tulevat sähköt kulkevat.

4.6.5 Turvatoiminnot

Talon jokaiseen huoneeseen ja lattiaan asennettiin kuitattavat ylikuumentemissuojat paloturvallisuuden takia. Kaikissa muissa huoneissa kontakti avautuu 90 °C:ssa, paitsi saunassa 130 °C:ssa. Ylikuumentemissuojat asennettiin kattoon, koska lämpö nousee ylöspäin. Ylikuumentemissuojat ohjaavat relettä K1, joka ohjaa keskuksen syöttöjännitettä.

Yhtenä turvatoimintona taloon laitettiin raja-kytkin, joka on asennettu sitä varten, jos katto aukaistaan, niin syöttöjännitteet katkaistaan. Tällä pyritään estämään sähköiskun vaara, koska talossa on 230 VAC:n jännite saunassa ja takassa.

4.6.6 Häiriöt

Takan ja saunan lämmitys toteutettiin 230 V:n halogeenipolttimoilla, niiden suuren tehon tarpeen takia. Molempiin laitettiin 500 W:n polttimot, koska suurempiakaan ei saanut. Saunan kiukaan tehoksi laskettiin oikeassa talossa 6000 W, joten pienoismallissa se olisi ollut 600 W. Jos myöhemmässä vaiheessa on tarvetta saada teho vastaamaan täysin todellista, voidaan saunaan lisätä toinen lampunpidike ja vaihtaa polttimet 300 W:ksi. Saunan kiukaan massaa kuvastaa suojana toimiva ohut alumiiniprofiili. Profiilin tarkoitus on suojata puisia osia palamiselta.

Takka toteutettiin myös alumiiniprofiilista, jonka sisään polttimo laitettiin. Polttimon kanta on kiinnitetty kanteen, jotta sen vaihtaminen olisi helppoa. Takan tehoksi arvioitiin jopa 7,5 kW, mutta puilla menee syttyessä hieman aikaa, joten teho ei ole heti niin suuri. Tätä on kompensoitu pienempi tehoisella polttimolla.

Ihmisten lämpökuorman kuvastamista varten asennettiin neljä hehkulamppua. Kaksi sijoitettiin olohuoneeseen, yksi keittiöön ja yksi makuuhuone 1:een. Kaikki lamput ovat teholtaan 10 W. Teho on määritelty rakennusmääräyskokoelma D5:n mukaisesti, jossa on määritelty yhden ihmisen tuottavan noin 70 W:n lämpöteho levossa. Hehkulampun tehosta noin 90 % on lämpöä, joten teho vastaa hyvin ihmisen aiheuttamaa lämpöä.

Valaistuksen ja elektroniikan lämpökuormaksi laitettiin myös hehkulamppuja. Niitä on kaksi kappaletta ja ne ovat teholtaan 25 W/kpl. Valaistuksen ja elektroniikan tehoksi siis normaali talossa tulisi 500 W. Nämä lämpökuormat sijoitettiin olohuoneeseen. Elektroniikan ja valojen lämpökuormaa on hankala arvioida, koska se vaihtelee joka talossa, riippuen käytettävistä polttimoista ja elektroniikkalaitteista.

5 Testaus

5.1 Laitteiston testaus

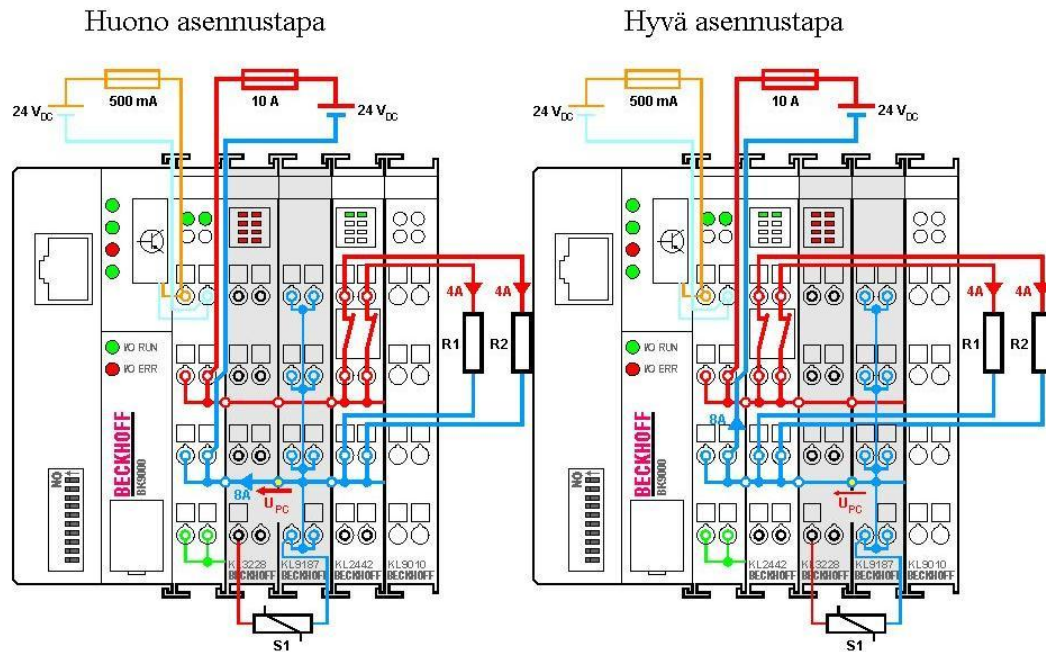
Ennen varsinaista järjestelmän testausta tehtiin laitteistolle testaus, jossa todennettiin mittausten todenmukaisuus, tulojen ja lähtöjen toiminta ja turvallisuus. Testauksessa selvitettiin käyttöliittymän toimintaa, sinne tulevien tietojen todenmukaisuutta ja sieltä tapahtuvien ohjausten toimivuutta. Varsinaiset ohjelmat testattiin heti ohjelmointi vaiheessa sitä mukaa mitä niitä tehtiin.

Kaikki lämpötilamittaukset testattiin yksi kerrallaan, jolla varmennettiin, että kyseessä on oikea mittaus. Testaus tapahtui huonelämpötilojen kohdalla lämmitämällä anturin päätä sormella. Lattialämpötilat testattiin laittamalla lattialämmi-

tys päälle ja tarkkailemalla lämpötilaa, samalla myös kokeiltiin, että oikea laatta lämpenee. Mittaustulos katsottiin logiikkaohjelmasta ja käyttöliittymästä.

Digitaalilähdöt testattiin käsikytkimistä ja logiikkaohjelmasta. Samalla testattiin lähdön käyttäytyminen käyttöliittymässä. Lähtöjen testauksessa huomattiin, että työssä aluksi käytetyt puolijohdereleet olivat vaihtojännitteellä toimivia ja katkaisivat lähdön nolla aallolla. Tilalle jouduttiin vaihtamaan tavalliset releet, jolla lähdöt saatiin toimimaan halutulla tavalla.

Digitaalilähtöjä testatessa huomattiin, että lämpötilamittaukset heittävät, kun lähtö kytkettiin päälle. Lämpötilaheitto oli n. 0,4 °C lähtöä kohden. Aluksi vikaa etsittiin jännitesyöttöjen maadoituksesta. Tämä korjasi virhettä hieman, mutta ei kokonaan. Tämän jälkeen kokeiltiin lisätä Beckhoffin sivuilta otettujen ohjeiden mukaisesti jännitteen syöttökortteja jokaiselle eri korttityypille. Tämä ei auttanut, koska hajautettu I/O meni häiriöön ja valitti I/O-erroria ja välkytti DIA-valoa. Tämän jälkeen kokeiltiin vielä vaihtaa korttien paikkaa ja pitää jännitteensyöttökortit jokaisella ryhmällä, mutta sekään ei tuottanut tulosta. Lopulta Beckhoffin help-toiminnolla löytyi apu jolla asia korjattiin. Ensinnäkin Pt1000-mittauskortin piti olla viimeisenä jännitesyöttöryhmässä ja toiseksi mitta-antureiden maadoituksen tuli olla mahdollisimman lähellä mittakorttia. Aluksi anturit oli maadoitettu suoraan virtalähteelle. I/O-korttien jännitesyötöt lopullisessa toteutuksessa jaettiin kahteen ryhmään. Kaikki muut tulivat ensimmäiseen ryhmään paitsi DO:t, jotka tulivat viimeiseksi. Näiden korjausten jälkeen mittaukset olivat stabiileja. Kuvassa 32 on esitetty Pt1000-mittauskorttien asennusjärjestys.



Kuva 32. Pt1000-mittauskorttien sijoittelu (Beckhoff, 2012)

Häiriöiden simulointi testattiin käyttöliittymästä asettamalla häiriön päällä oloaika ja käynnistämällä häiriö. Nämä testit tehtiin jokaiselle häiriölle useammalla eri ajalla ja myös keskeytys-toiminto testattiin. Aluksi muutama linkitys oli väärin, mutta ne huomattiin testaus vaiheessa.

Kosteus- ja hiilidioksidimittaukset testattiin käyttöliittymästä katsomalla muut-
tuuko arvot. Varsinainen mittauksen testaus ja skaalaus todettiin jo ohjelman
tekovaiheessa, joten tässä testauksessa kokeiltiin vain lähinnä käyttöliittymän ja
logiikan rajapintaa ja oikeita linkityksiä.

Puhaltimien analogialähtöjen testauksessa katsottiin, lähteekö puhaltimet tehos-
tuskäynnillä pyörimään kovempaa. Tämä siksi, koska jo toteutusvaiheessa oh-
jelmia tehdessä kokeiltiin lähdön toiminta, että ohjelma saatiin toimivaksi.

Datalokeille tehtiin aloitus ja lopetus-painikkeet, joten niiden testaaminen oli
helppoa. Testauksessa loggaus laitettiin päälle ja otettiin aikaa muutaman näyt-
teenottovälin ajan. Tämän jälkeen sammutettiin loggaus ja tarkastettiin lokitie-
doston sisältö. Jos lokeja halusi siirtää tai kopioida, täytyi ensin sulkea WinCC-
flexible -ohjelma.

Lisäksi mitattiin lämmityselementtien tehot, tulokset taulukoissa 3 ja 4.

Taulukko 3. Lattialämmityksien mitatut tehot

Huone	Virta(A)	Jännite(V)	Teho(W)
PH,S,KHH	2,15	24,2	52,03
MH1	1,42	24,2	34,364
MH2	1,33	24,2	32,186
MH3	1,31	24,2	31,702
OHK	6,06	24,2	146,652
	Yht.		296,934

Taulukko 4. Sähköpatterien mitatut tehot

Huone	Virta(A)	Jännite(V)	Teho(W)
PH,S,KHH	2,15	24,2	52,03
MH1	1,51	24,2	36,542
MH2	1,54	24,2	37,268
MH3	1,5	24,2	36,3
OHK	6,45	24,2	156,09
	Yht.		318,23

5.2 Järjestelmän toiminnallisuuden testaus

Pienoismallin testaus tehtiin askelvastekokeena. Testaus tehtiin yhdessä rakennuspuolen opiskelijoiden kanssa. Testauksesta erillinen testausraportti liitteessä 9.

6 Tulokset

Tuloksena saatiin toimiva järjestelmä ja kaikki siihen tehdyt toiminnot toimivat. Häiriöiden simulointiin laitettut lamput, sauna ja takka toimivat. Niitä voidaan ohjata asettamalla käyttöliittymästä käyntiaika ja käynnistämällä kukin häiriö omasta painikkeestaan.

Lämmitysjärjestelmät toimivat ja soveltuvat hyvin käyttötarkoitukseensa. Lämmitysjärjestelmien tehot ovat hieman mitoitettuja arvoja pienemmät, mutta laskennassa käytettiin todellisia tehoja.

Ilmanvaihtojärjestelmä saatiin toteutettua lämmöntalteenoton kanssa. Ilmanvaihto toteutettiin säädettävillä puhaltimilla, mutta ne toimivat kahdella eri nopeudella.

Käyttöliittymä toteutettiin WinCC flexible -ohjelmalla ja sillä saatiin kaikki talon testaukseen tarvittava tieto järjestelmään ja järjestelmästä ulos. Talon lämpöhäviöt saatiin suunniteltuja arvoja vastaaviksi. Pienoismallista saatiin hyvä opetusväline rakennusautomaation opetukseen ja sitä voidaan hyödyntää monella tavalla.

7 Pohdinta

Kokonaisuudessaan työssä onnistuttiin hyvin. Pienoismalli saatiin valmiiksi ja sille asetetut päätavoitteet saavutettiin. Talolle saatiin tehtyä askelvastekokeet ja määritettyä sen vastaavuus oikeaa taloa kohtaan.

Pieniä virheitäkin työssä tuli. Mitatut ja laskennalliset lämmitystehot poikkesivat hieman toisistaan. Tämä johtuu siitä, että lattialämmityksen kuvioiden määrittämisessä on tullut suunnittelu ja laskenta virheitä. Patterilämmityksien kohdalla

tehoa ei voitu saada aivan kohdalleen, koska niin suuria tehovastuksia ei löydetty juuri sopivalla vastus arvolla, joten työhön valittiin lähin vastaava.

Aikavakiot vastasivat hyvin toisiaan ja pienoismalli siis mallintaa melko hyvin oikeaa taloa. Lattialämmityksen säätöjen virityksessä tulee ottaa huomioon toisen kertaluvun järjestelmä, koska lattian massan tulee lämmitä ensin ja näin ollen alussa on kuollutta aikaa. Säätöjen viritykseen voi kokeilla Ziegler-Nicholson -menetelmää.

Työhön tehty käyttöliittymä soveltui erittäin hyvin talon testaamiseen ja sillä saatiin kaikki tarvittava informaatio sitä varten. Käyttöliittymäohjelmalla saatiin suoraan mittaustulokset excel muodossa, joten tämä helpotti suuresti tulosten analysointia. Lisäksi trendikäyrät olivat selkeitä ja selvensivät lämpötilan muuttumista hyvin.

Talon häiriöidensimuloinnin toteutus onnistui hyvin ja niillä saadaan toteutettua suuret tehot helposti. Talolle tehdyt suojaustoiminnot toimivat niin kuin oli tarkoitettu, mikä lisää pienoismallin palo- ja käyttöturvallisuutta.

Työssä olisi voitu tehdä monia asioita eri tavoin, jos aikaa ja rahaa olisi ollut enemmän. Kenttäväylä olisi voitu tehdä ProfiNet:llä, eli tiedonsiirto olisi tapahtunut ethernet-pohjaisesti. Logiikkana olisi voitu käyttää rakennusautomaatiota varten tehtyjä järjestelmiä. Sähkökaapin koko olisi saanut olla suurempi, jotta järjestelmälle olisi jäänyt laajennusvaraa. Lattialämmitys elementit olisi voitu tehdä saneerauslaastista kipsin sijaan.

Aikataulusta johtuen testejä ei voitu suorittaa useita kertoja, mutta erilaisilla mittauksilla saatiin samantapaisia tuloksia. Työssä opittiin paljon uusia asioita ja työssä korostui suunnitelmien tärkeys. Suunnitelmia opittiin tekemään etukäteen ja pystyttiin etenemään niiden mukaisesti. Työssä jouduttiin myös perehtymään ilmanvaihtoon ja sen toteutukseen. Tämä oli hyödyllistä, koska ilmanvaihto on oleellinen osa rakennusautomaatiota. Komponenttien valinnassa opittiin myös huolellisen pohjatyön tärkeyttä, että suunnitellut komponentit käyvät tarkoitettuun tehtävään. Työssä opittiin myös tiimityö- ja vuorovaikutus taitoja.

Työssä voitiin käyttää koulussa saatuja oppeja, ja niitä kehitettiin korkeammalle tasolle.

Opinnäytetyön hyödynnettävyys

Opinnäytetyö toteutettiin koululle opetuskäyttöä varten. Taloa voidaan käyttää opetuskäytössä usealla eri tavalla. Tässä erilaiset käyttötarkoitukset:

- Askelvastekokeiden tekeminen ja säätöjen viritys
- Häiriötoimintojen vaikutus lämmitykseen ja lämmitysenergian tarpeeseen
- Kuvaamaan mitä komponentteja ja menetelmiä rakennusautomaatiossa käytetään
- Konfiguroimaan ja käyttämään hajautettua I/O:ta
- Kytkenäkuvien tulkitseminen
- Järjestelmään voidaan tehdä vikatilanteita ja opiskelija voi etsiä kytkenkuvien ja vian ominaisuuksien perusteella vikaa
- Ohjelmien suunnitteleminen ja toteuttaminen pienoismalliin.
- Käyttöliittymän tekeminen

Pienoismallia voidaan käyttää esittelylaitteistona uusille opiskelijoille, vaihto-opiskelijoille ja muille koulun vierailijoille. Uusien opiskelijoiden olisi hyvä nähdä jotain käytännön esimerkkiä, mitä automaatiolla voidaan toteuttaa.

Tiukan aikataulun takia automaatiototeutus oli hyvin pelkistetty ja tavoitteena oli alunperinkin tehdä prototyyppi, jota voitaisiin tarvittaessa parannella. Näin ollen pienoismalli tarjoaa muille opiskelijoille monia projektien aiheita.

Jatkokehitys ideat

Taloon jäi vielä paljon kehitettävää, mm. ilmanvaihtojärjestelmä, käyttöliittymä ja energiankulutuksen seuranta. Ilmanvaihdossa kehitettävää on kanavien eristäminen, koneen varustelu ja ohjelmien päivitys nykyaikaista konetta vastaavaksi.

Käyttöliittymän visuaalista ulkonäköä voisi kehittää paremmaksi. Trendinäyttöjen aikaskaalausta tulisi parantaa pitemmälle aikavälille. Käyttöliittymässä ei tällä hetkellä ole hälytysikkunaa. Järjestelmä voisi ilmoittaa erilaisista hälytyksistä mikäli ilmankosteus tai hiilidioksidipitoisuus kasvaa liian suureksi.

Nykypäivänä taloissa kiinnitetään yhä enemmän huomiota energiankulutukseen. Pienoismallin järjestelmään tulisi toteuttaa energianlaskenta, mikä helpottaisi tulosten analysointia ja käyttäjä näkisi paremmin miten talon erilaiset toiminnot kuten sauna ja elektroniikkalaitteet vaikuttavat sähkönkulutukseen.

Jatkokehityksenä voisi olla myös ohjauksien tekeminen eri valmistajien automaatiolaitteilla. Logiikan ja hajautetun I/O välinen tiedonsiirto voitaisiin toteuttaa eri kenttäväylällä.

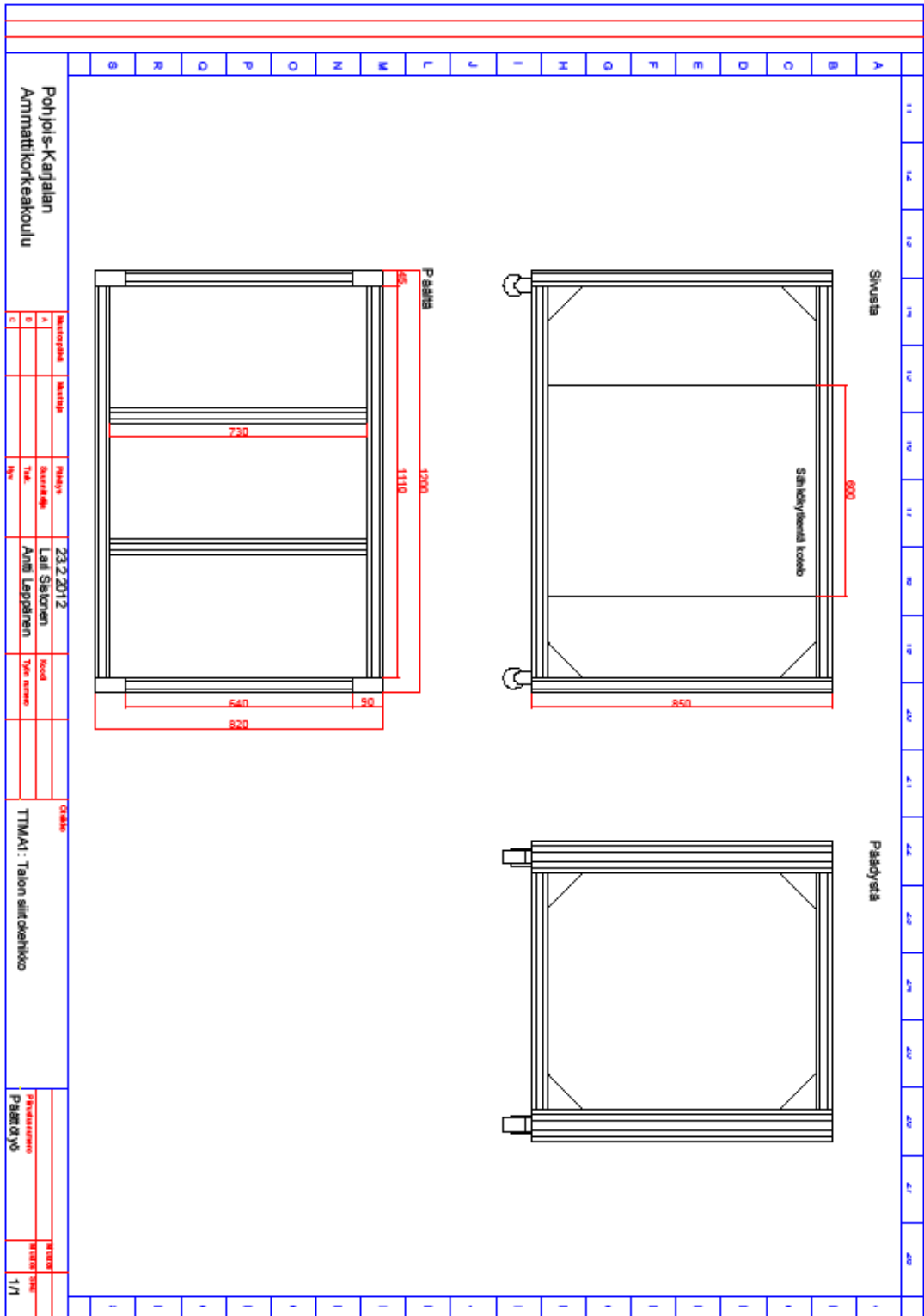
Häiriötoimintojen vaikutus lämmitykseen tulisi selvittää ja dokumentoida. Ohjausreleiden tilalle voisi vaihtaa siihen varatut puolijohdereleet ja muuttaa kuorman syöttöjännitteen vaihtosähköksi, näin parannettaisiin releiden käyttöikä.

Lähteet

- Bamberg, H. Jussila, T. Laaksonen, T. Piikkilä, V. Sahala, A. Sahlstén, T. Spangar, T & Sulku, J. 2008. Kiinteistöjen valvomojärjestelmät. Espoo: Sähköinfo Oy
- Beckhoff. 2012. http://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/kl3208_kl3228/html/bt_kl3228_position.htm&id=3554.
2.5.2012
- Eklund, K. 2008. Erillisjärjestelmien liittäminen rakennusautomaatiojärjestelmään. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
- Forsman, J. Happonen, V. Kaleva, K. Kari, I. Koivisto, P. Koskenrata, T. Muttilainen, J. Mäki, H. Nummelin, B. Nurminen, M. Sahala, A. Sahlstén, T. Saikkonen, P. Sarkkinen, J & Virkki, M. 1998. Avoimet Rakennusautomaatiojärjestelmät. Espoo: Sähköinfo Oy
- Heino, S. 2009. Paloilmoitinjärjestelmät. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
- Holmén, C. Hovinen, R. Hyytiä, K. Hänninen, P. Juhonen, A. Marttila, H. Orrainen, M & Tarvainen, H. 2004. Paloilmoitinjärjestelmät. Espoo: Sähkö-tieto Ry
- Holopainen, R. Pasanen, P. Railio, J. Säteri, J & Virranta, P. 2008. Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja tasapainotus. Helsinki: Opetushallitus
- Hovinen, R. Kauppi, V. Leskinen, M. Vuorinen, A & Vironen, V. 2007. Kulunvalvonta ja rikosilmoitinjärjestelmät. Espoo: Sähkö-tieto Ry
- Härkönen, P. Mikkola, J. Piikkilä, V. Sahala, A. Sahlstén, T. Sandström, B. Sirviö, A. Spangar, T & Sulku, J. 2012. Rakennusautomaatiojärjestelmät. Espoo: Sähköinfo Oy

- Kameravalvonnan suunnitteluohje. Finanssialan Keskusliitto. 2006.
http://www.fkl.fi/materiaalipankki/ohjeet/Dokumentit/Kameravalvonnan_suunnitteluohje_K-menetelma_2006.pdf. 18.3.2012.
- Kara, R. 1994. Sähkölämmityksen käsikirja. Espoo: Sähköurakoitsijaliton Koulutus ja Kustannus Oy
- Kinnunen, A. 2008. Kulunvalvonta- ja rikosilmoitinjärjestelmät. Kajaanin ammattikorkeakoulu. Tekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
- Korkala, T & Laksola, J. 2009. Ilmastointi hoito ja huolto. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy
- Kähkönen, J. 2005. Omakotitalon tietojärjestelmät. Kajaanin Ammattikorkeakoulu. Tietotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.
- Rakennusten lämmitysjärjestelmät. Rakennustieto Oy. 2007. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- Rautiainen, K. 1997. Pientalojen lattialämmitysratkaisuja. Imatra: Imatran Voima Oy.
- Takala, H. 1998. Videovalvonta ja rikollisuuden ehkäisy. Rikoksentorjunnan neuvottelukunnan julkaisu. <http://www.rikoksentorjunta.fi/4062.htm>. 18.3.2012.
- Turtiainen, S. 2011. Automaatiotekniikan opetusvälineet automaatiotalo. Mikkelin Ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö
- Värjä, P & Mikkola, M-M. 1999. Uusi kiinteistöautomaatio. Kuusankoski: Mikrooppi Ky

Talon siirtokehikko

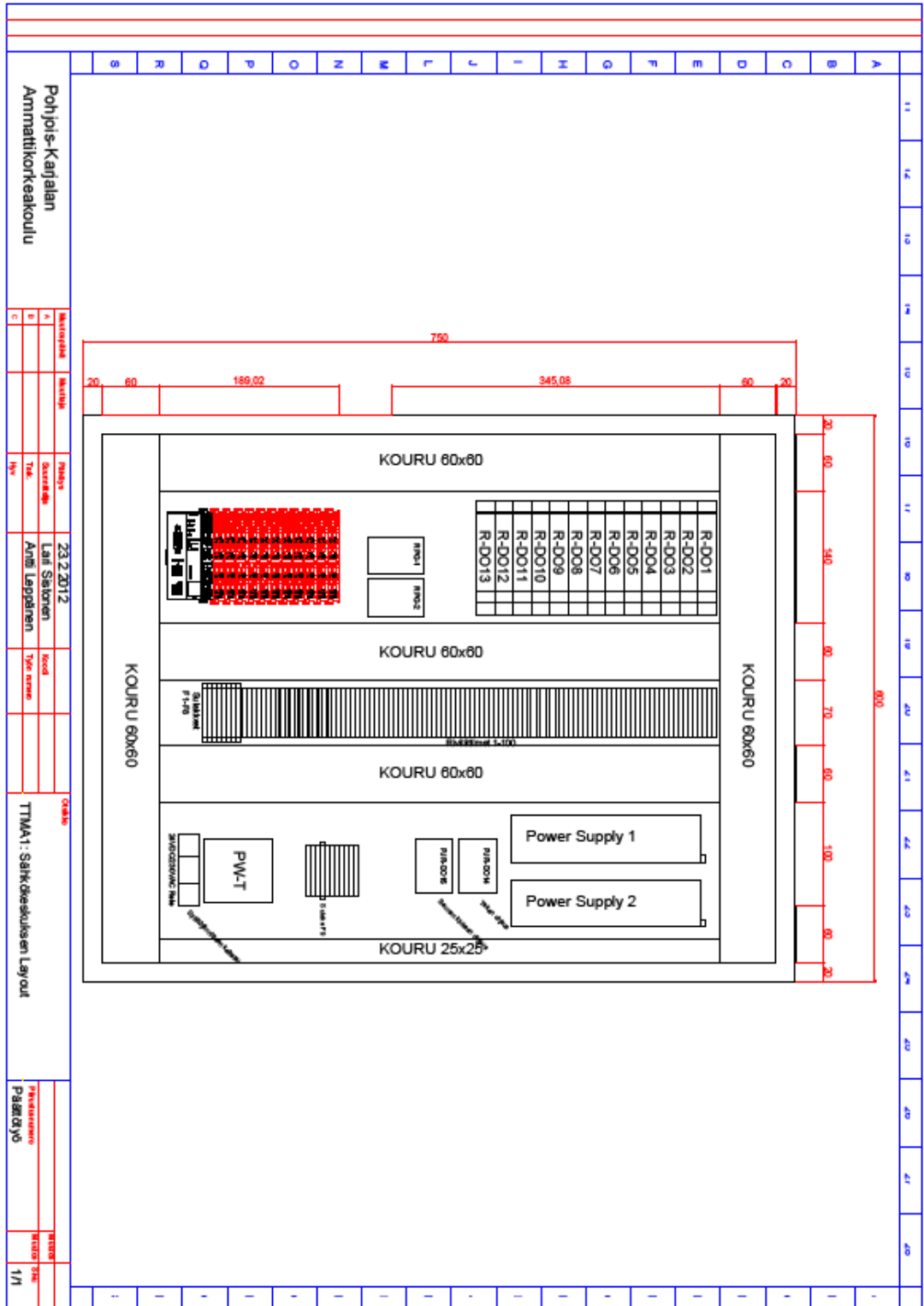


Tarvikelista

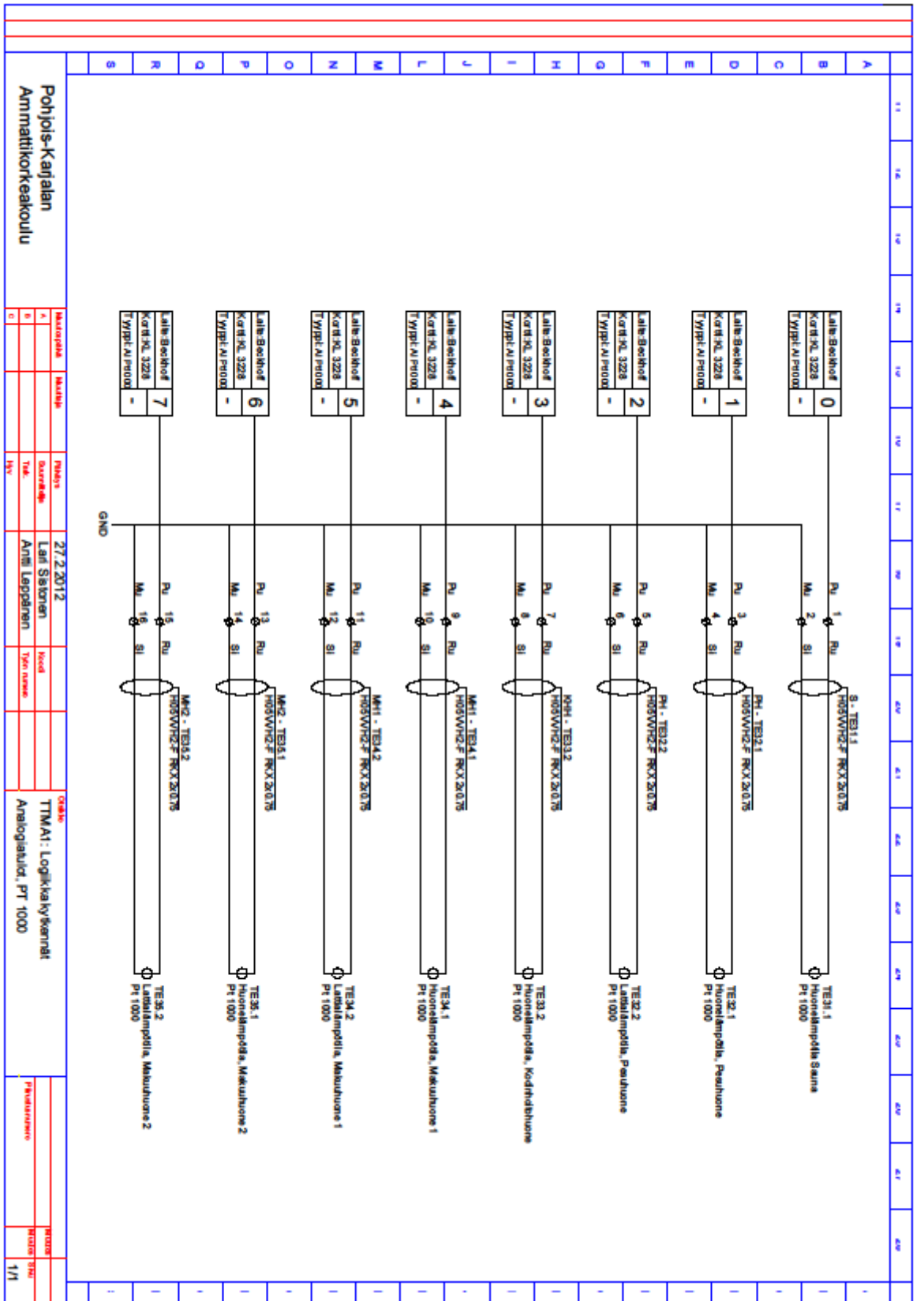
Mittike	Tuotekoodi/(Linkki/Esim.)	Usäitejoja	Määrä	Arvioitu hinta/kpl	Arvioitu hinta yht.
Lämpötila-anturi PT1000	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=76-688-64	60mm*60mm, 20m3/h	17	5,9	100,3
Tietokonepuhallin (Ny-Akoreen puhaltimet)	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=54-126-008/loc=0	200W*6,80mm	2	16,5	33
Tehovastus (loihuone ja keittiö lämmityspatentti)	http://fi.farnell.com/te-connectivity-cep/fsc2006-8i/resistor-200w-5-6-8/dp/272711	100W*150Chm	2	8,49	16,98
Tehovastus (Makuuhuoneet lämmityspatentti)	http://fi.farnell.com/te-connectivity-cep/fsc10015f/resistor-100w-5-15f/dp/1174291	100W*150Chm	3	9,79	29,37
Virtalähde 24Vdc	http://www.velkov.com/product_info.php?zph=71_154_21758/products_id=14561	24Vdc 300W	2	77,18	154,36
Rajakytkin (sähköjen katkaisuun kun katto auki)	http://www.velkov.com/product_info.php?zph=63_536_5758/products_id=11528	80C	1	17,95	17,95
Kuluttajaa ylikuumenemis suoja	http://www.velkov.com/product_info.php?zph=961_1145_20848/products_id=13848	130C	6	9,47	56,82
Kuluttajaa ylikuumenemis suoja	http://www.velkov.com/product_info.php?zph=961_1145_20848/products_id=13848	90C	1	9,58	9,58
Ylikuumenemissuoja (lattialämmityselle käsikäyttöillä)	https://www.velkov.com/product_info.php?zph=961_1145_20848/products_id=13848	24Vdc 7W	6	2,52	15,12
Lamppu (ilmisen aiheuttama lämpökuorma)	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=33-466-018/loc=0	24Vdc 7W	8	2,06	16,48
Lamppupidin (edelliselle)	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=33-465-45	BA15d	4	4,14	16,56
Lamppu (elektronikan ja valaistuksen kuorma)	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=33-804-09	24Vdc 25W	4	4,01	16,04
Lampunpidin (edelliselle)	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=33-133-52	E14	2	2,87	5,74
Halogeenipoltin (Takan lämmitys tehoksi)	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=33-133-52	220VAc 750W	2	15	30
Halogeenipoltin (Saunan lämmitys tehoksi)	PTAA E13A JOSTAIN LAHKAUPASTA TAI JOTAIN SELLASTA	220VAc 300W	4		
Halogeenivalaisin kanta R7s (saunan ja takan polttimolle kannat)	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=38-808-23	114,2mm	3	4,32	12,96
Puolijohtorele (Digitaalilähdölle)	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=37-403-60	24Vdc 15A	15	20,3	304,5
Rele (Sytöjämittaen katkaisuun ja saunan ja takan lämmitykseen)	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=37-420-02	24Vdc	3	8,05	24,15
Relekatka edelliselle	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=37-120-11		3	5,2	15,6
DIN-kisko (Tävaroiden kiinnitys koteloon)	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=48-289-14		3	6,67	20,01
Potenttiometri (kosteus ja hiilidioksidin mittaus)	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=64-210-85	220kOhm	2	3,77	7,54
Velomagneetti (TLO-pellistä)	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=54-222-40	24Vdc	1	23,2	23,2
Velomagneetti (TLO-pellistä)	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=36-493-08	60mm*60mm*2000mm	3	14,8	44,4
Kaapelikouru ja kansi (sähkökoteloon)	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=48-290-30		100	0,86	86
Riviliitin	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=48-289-76		10	0,54	5,4
Päätylevy edelliselle	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=48-292-17		1	5,22	5,22
Merkintäluiska riviliittimelle	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=48-287-37		10	2,12	21,2
Päätykuuma riviliittimelle	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=48-291-88		30	0,34	10,2
Kytkentäsilta riviliittimelle	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=55-602-89	lämmityskuormille	25	3,23	80,75
Kaapeli 2x1,5mm2	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=55-644-06	lämpötilamittaukset	40	0,73	29,2
Kaapeli 2x0,75mm2	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=55-187-73		20	0,83	16,6
läpiviennin/vedonpoistosohkei	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=55-187-48		20	0,11	2,2
läpiviennin/vedonpoistosohkei	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=55-335-26		100	0,25	25
kytkentälamkamuusta)	https://www.elefaelektronikka.fi/elefa3-fi-f/elefa/lnit.do?item=55-335-42		100	0,25	25
Kytkentälamkamuusta)					0
Automaattika (beachhoffin hajautettu I/O)					0
K13228 PT1000 AI 8 Channel			3	134,4	403,2
K14408 AO 8-Channel			1	134,4	134,4
					1815,03

Yhteensä

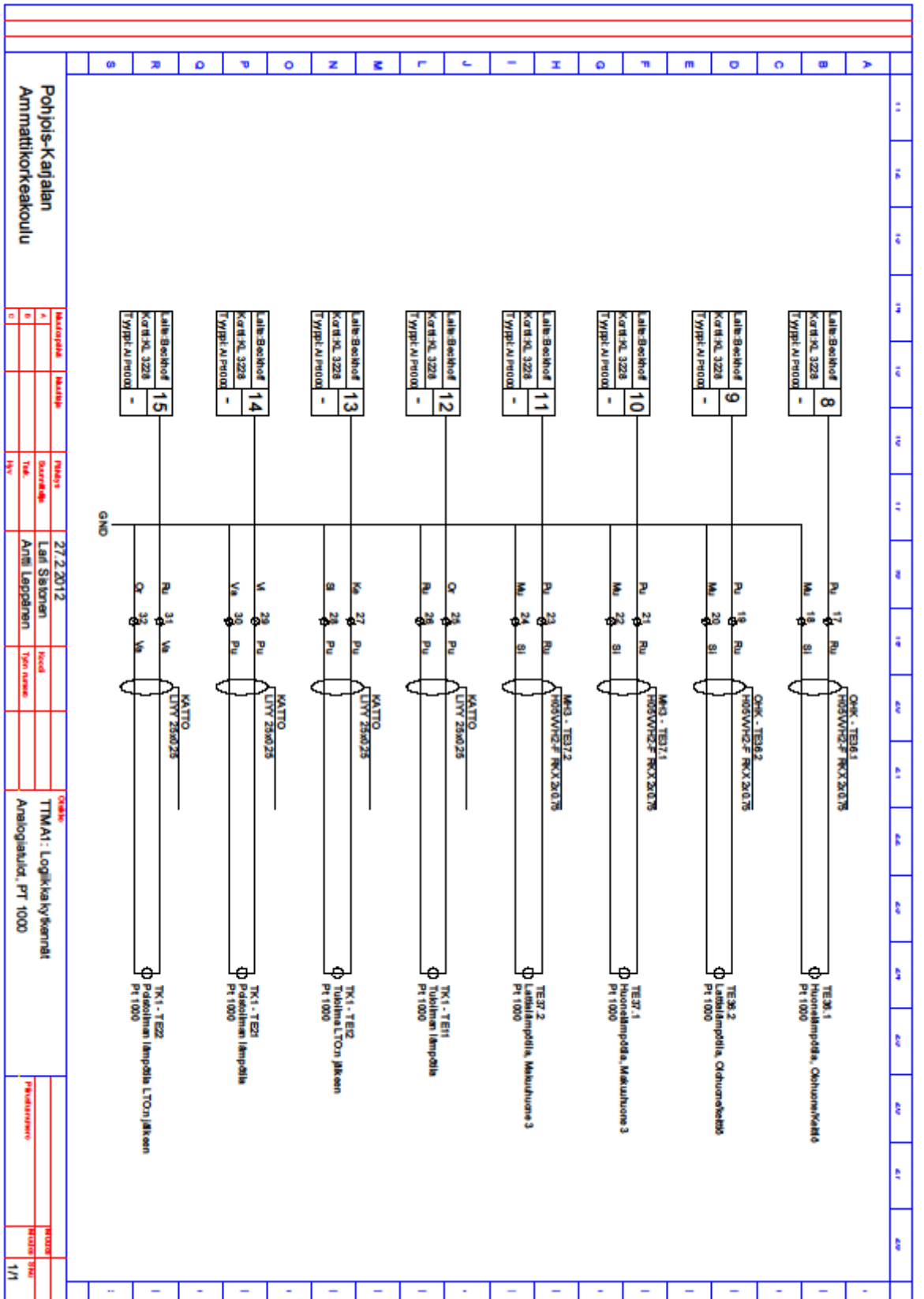
Sähkökaapin layout



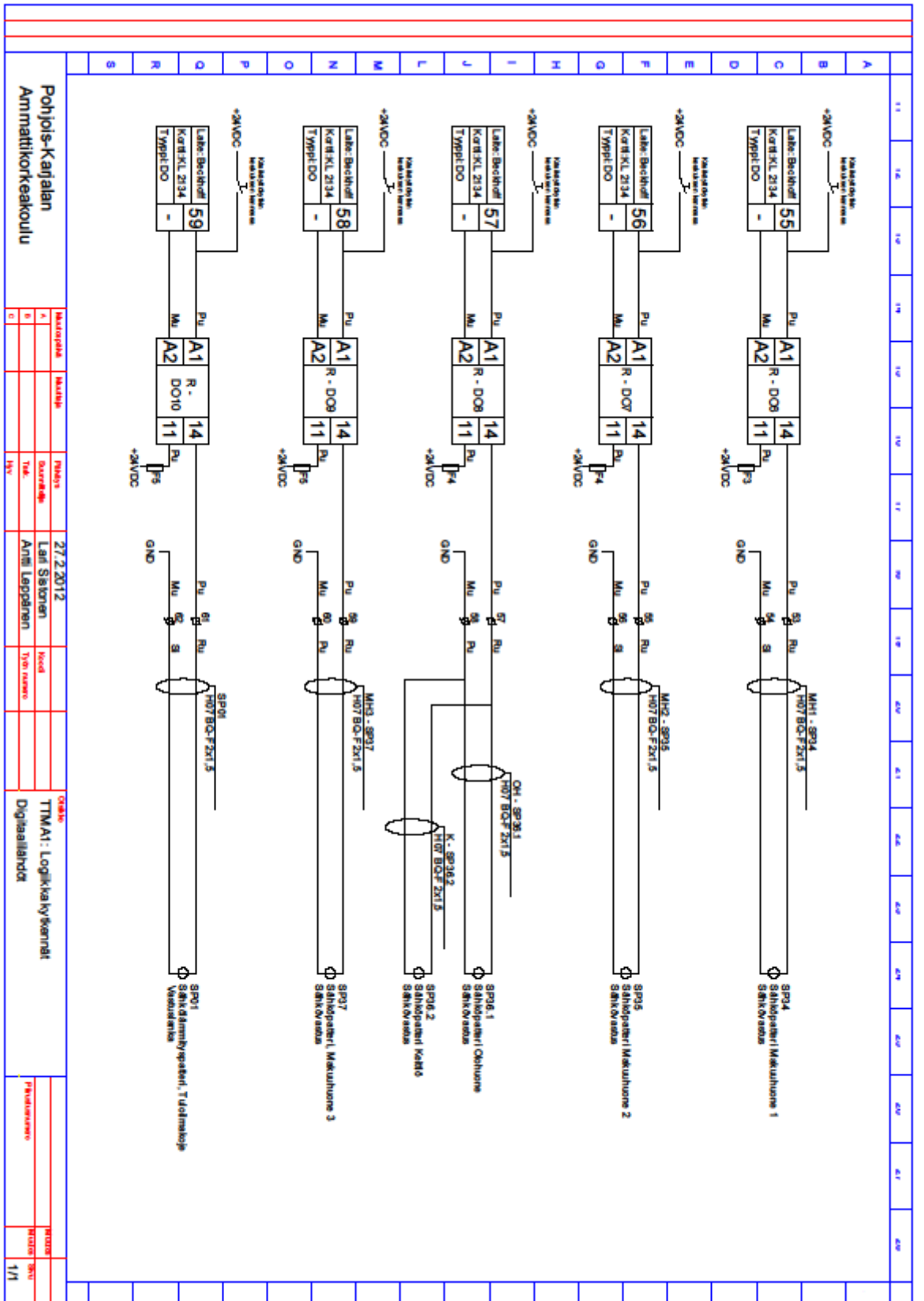
Kyt Kentä kuvat



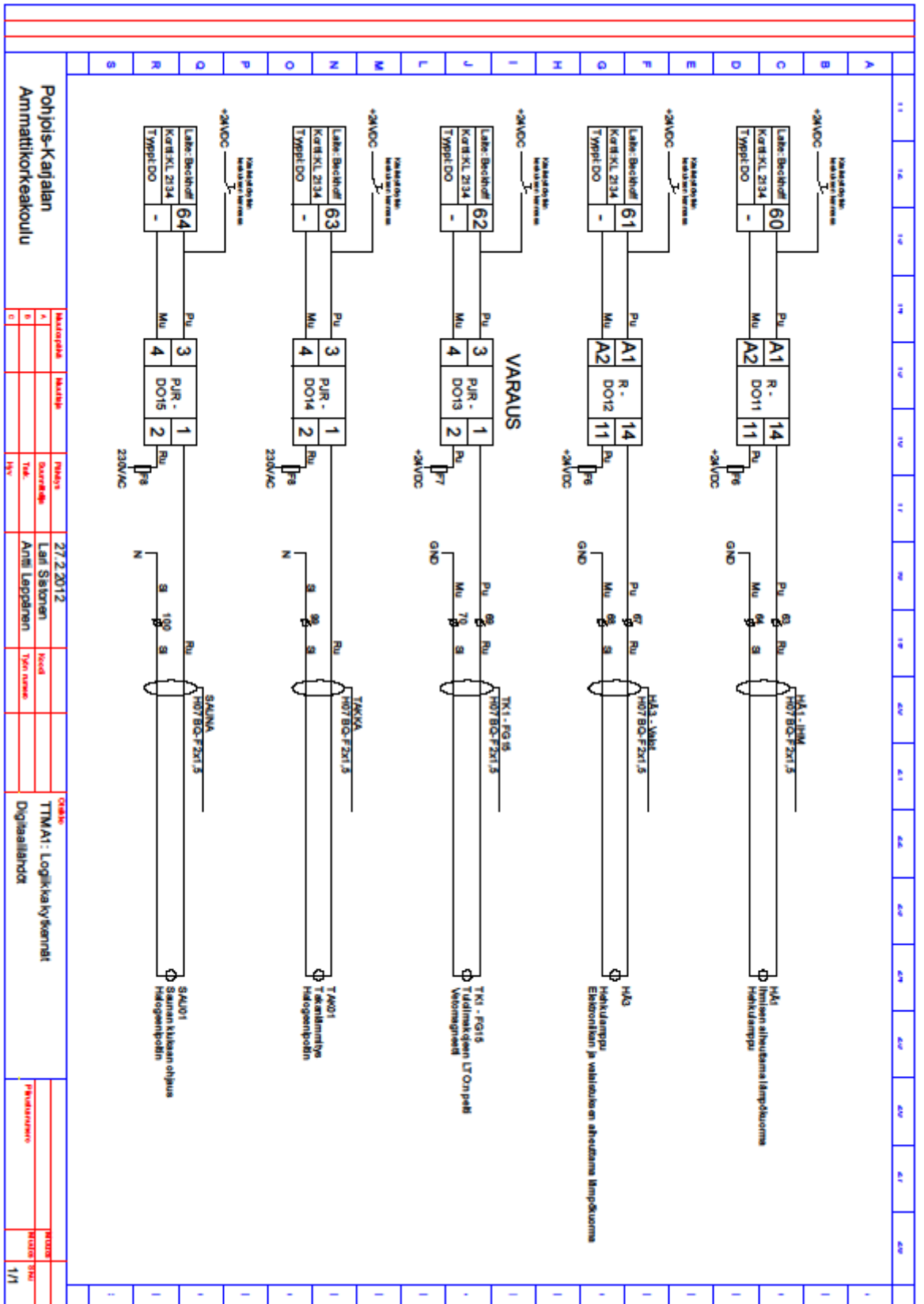
Kyt Kentä kuvat



Kyt Kentä kuvat



Kyt Kentä kuvat



Pohjois-Karjalan
Ammattikorkeakoulu

Materiaali	Määrä	Päivä	27.2.2012	Luokka	TTMA1: Logiikka-työkalut	Diagnostiikka	Diagnostiikka	Diagnostiikka
A		Diagnostiikka	Lari Salonen					
B		Diagnostiikka	Antti Leppänen					
C		Diagnostiikka						

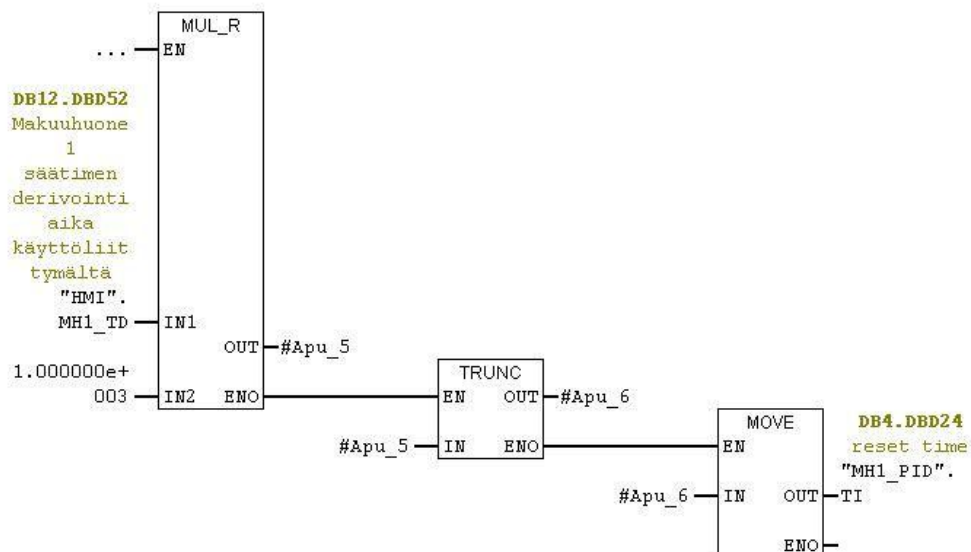
Lämmitysjärjestelmien ohjelmien rakenne

FC5 : MH1_Lammitys

Makuuhuone 1:n lämmityksen säätö ja lämmitystavan valinta

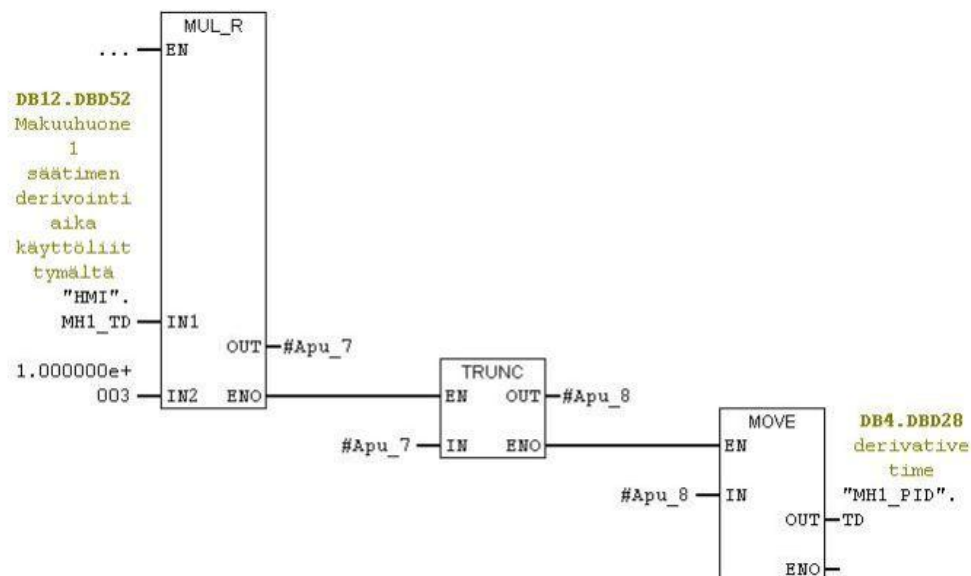
Network 1: Integrointi ajan muokkaus säätimelle sopivaksi

Käyttöliittymästä annetaan aika sekunteina, joka on reaalityyppinen luku muodossa. Tämä muokataan säätimelle sopivaksi. Säätimen aika on DI-muotoinen ja se on millisekuntien tarkkuudella, aluksi kerrotaan luku tuhannella ja sen jälkeen muutetaan se reaalityyppiseksi. Viimeisenä siirretään luku säätimeen.



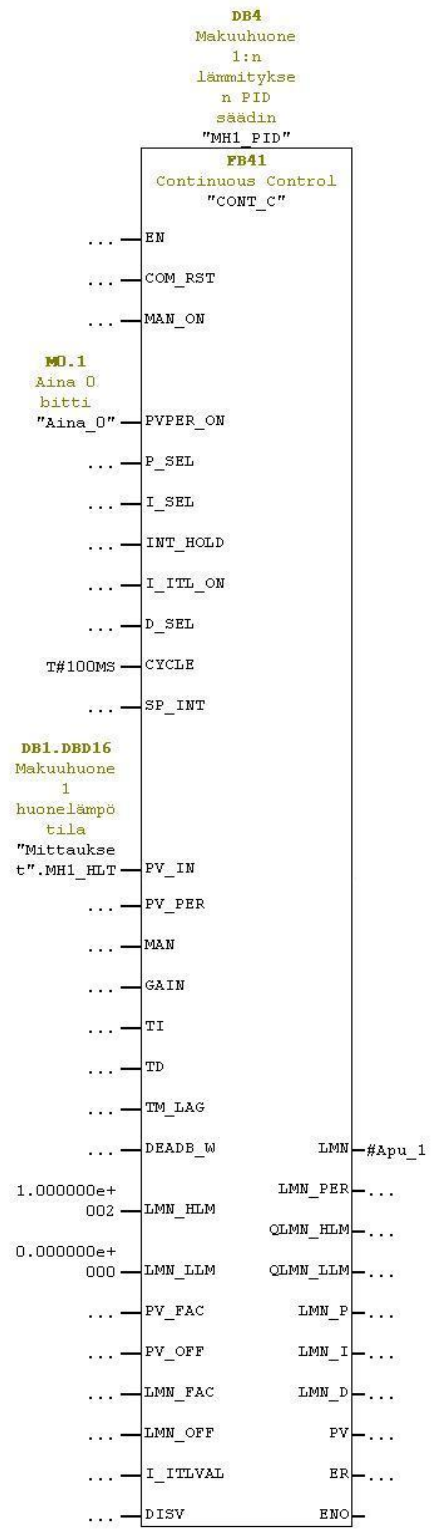
Network 2: derivointi ajan muokkaus säätimelle sopivaksi

Käyttöliittymästä annetaan aika sekunteina, joka on reaalityyppinen luku muodossa. Tämä muokataan säätimelle sopivaksi. Säätimen aika on DI-muotoinen ja se on millisekuntien tarkkuudella, aluksi kerrotaan luku tuhannella ja sen jälkeen muutetaan se reaalityyppiseksi. Viimeisenä siirretään luku säätimeen.



Lämmitysjärjestelmien ohjelmien rakenne

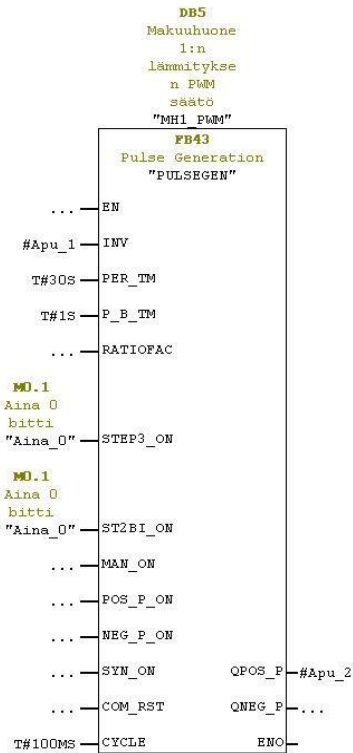
Network 3: Makuuhuone 1:n lämmityksen säätö
 Comment:



Lämmitysjärjestelmien ohjelmien rakenne

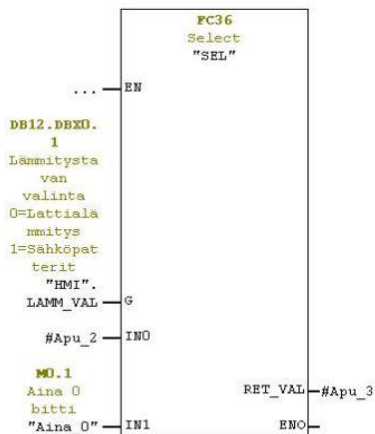
Network 4 : PWM-säätö

Comment:



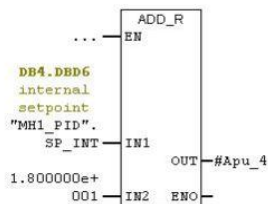
Network 5 : Lattialämmityksen valinta

Tulos talletetaan apumuistiin 3. tätä käytetään Network 5:ssä



Network 6 : Lattialämpötilan ylärajan asetus

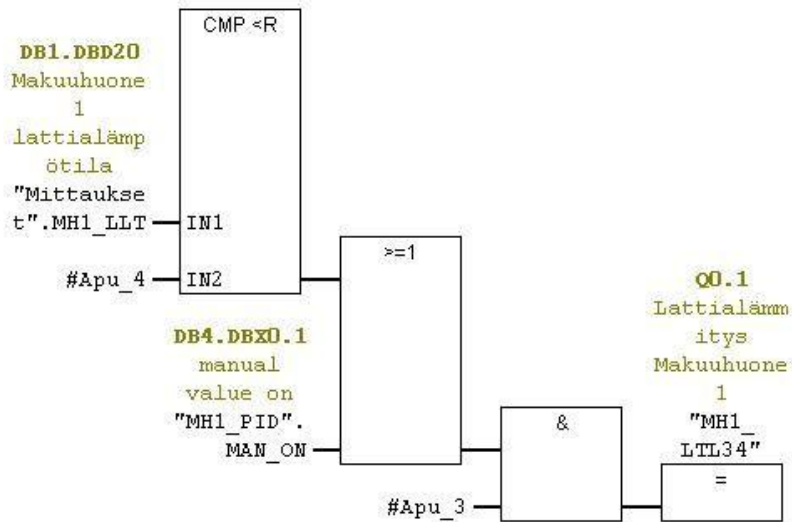
estetään lattian lämpenemästä liikaa, koska talon lämpötila skaala on laaja otetaan yläraja huonelämpötilan asetusarvosta ja lisätään siihen 18.0 astetta.



Lämmitysjärjestelmien ohjelmien rakenne

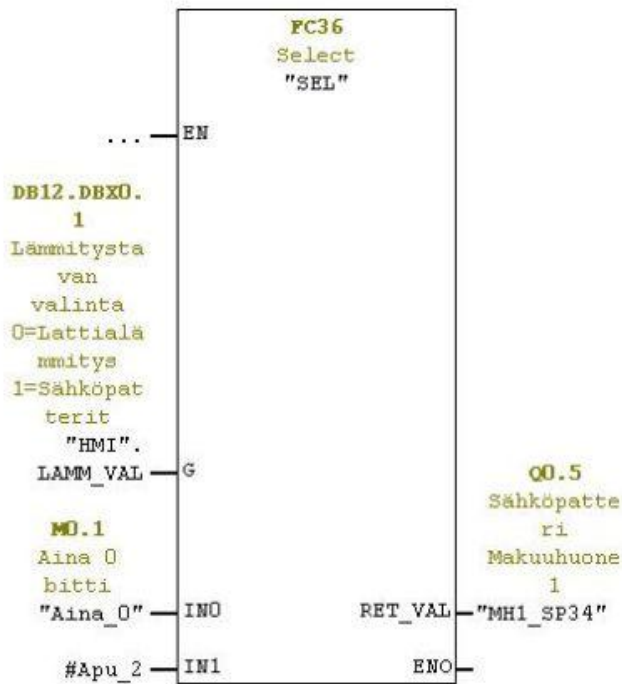
Network 7 : Lattialämmitys Makuuhuone 1

Verrataan onko lattianlämpötila pienempää kuin sille asetettu yläraja, jos on niin sallitaan lämmitys, asetus ohitetaan, jos säätimen manuaalikäyttö on päällä



Network 8 : Sähköpatterin valinta

Comment:



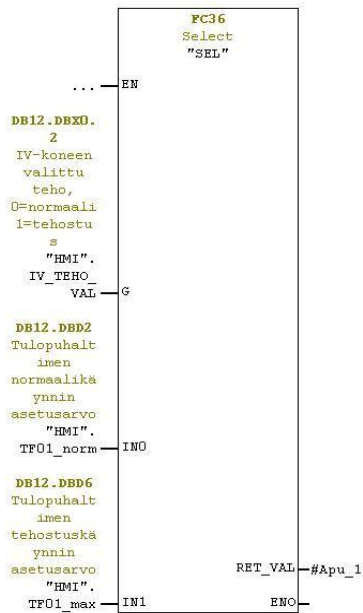
Tuloilmapuhaltimen ohjelma

PC9 : TK1-TF01

Comment:

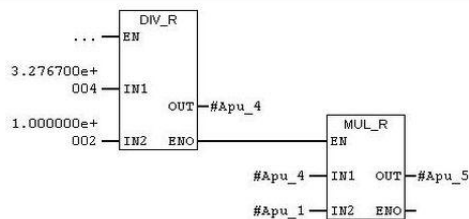
Network 1: Nopeuden valinta

Käyttöliittymästä valitaan puhaltimen nopeus. pyörimisnopeuksien asetusarvot määritellään käyttöliittymästä 0-100%.



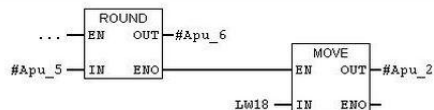
Network 2: Skaalaus 0-100% -> 0-32767

0-100% käyttöajatieta skaalataan lähtökortin käyttämälle alueelle 0-32767. Lähtökortti ei kuitenkaan ymmärrä reaalilukuja joten Network 3:ssa muutetaan luku oikeaan muotoon. Skaalauksen kaava, $y = (32767/100) * x$



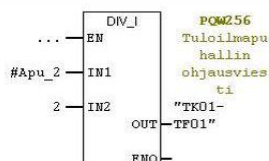
Network 3: Real -> DI -> I

"ROUND":lla pyöristetään reaaliluku Double Integeriksi (kokonaisluvuksi) ja tulos talletaan Local muuttujaan Apu_6, jonka muisti alue on 16-19. Lukemalla DI:n lopusta viimeiset tavut (LW18=Local Word 18) saadaan integer muotoinen luku, eli WORD-muodossa. tulos siirretään paikalliseen muuttujaan "Apu_2".



Network 4: 0-10V -> 0-5V

Rajoitetaan lähtöviesti 5 Volttiin, koska puhaltimien säätimet toimivat 0-5V alueella. Rajoitus tapahtuu jakamalla kokonaisluku 32767/2, koska 32767 on sama kuin maksimi lähtöviestin arvo, eli 10 voltia. (huom! Beckhoff)



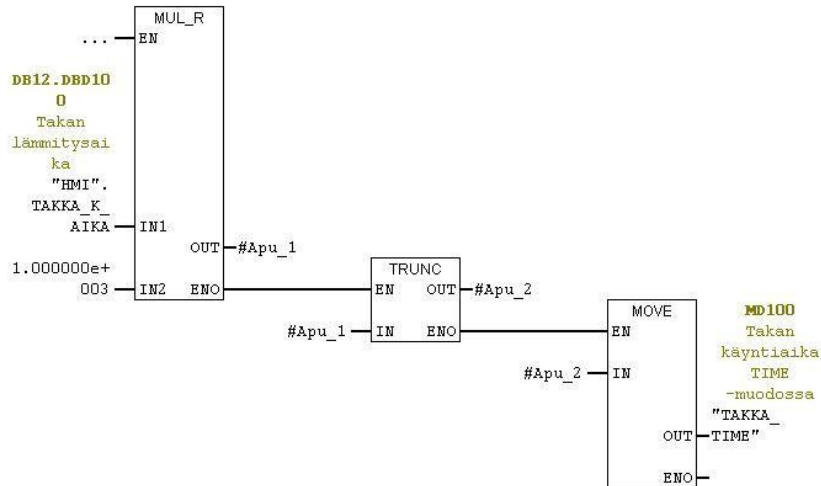
Häiriöiden ohjelmointitapa

FC12 : Häiriöiden ohjaukset

Häiriöitä ohjataan päästöhidastus ajastimilla. päälläolo aika ja käynnistys tapahtuu käyttöliittymästä, lähtö lähtee päälle, startista ja on asetetun ajan päällä.

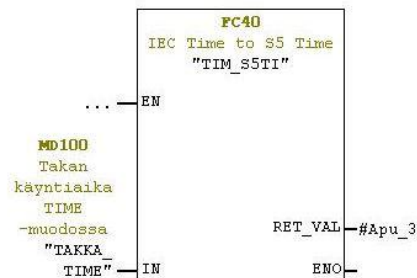
Network 1: Takan käynti ajan muokkaus ajastimelle sopivaksi

Käyttöliittymästä annetaan aika sekunteina, joka on reaalityylinen muodossa. tämä muokataan TIME-muotoon, eli Double Integeriksi, josta se voidaan muuttaa ajastimelle sopivaksi S5TIME:ksi muodoksi.



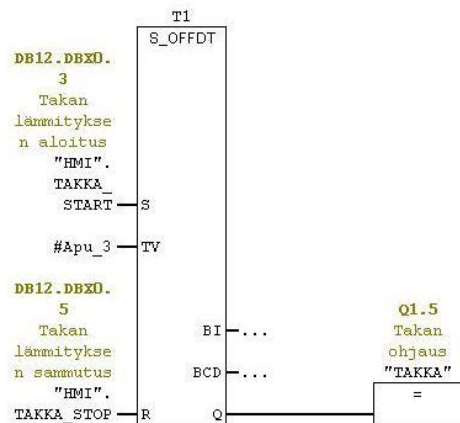
Network 2: Takan lämmitysaajan muokkaus TIME --> S5TIME

Comment:



Network 3: Takan lämmitys

Takan lämmityksen ohjaus, Set -tulo käynnistää ohjauksen asetetun ajan ajaksi.



Lattialämmityksen vastuslangan pituudet ja tehot

Keittiö/olohuone		Talolle mitoitettu teho		400 W/m²	
R (kokonais)	4,025	Huoneen pinta-ala		0,3558 m ²	
	R1		P	142,32	
	16,1		U	24	
Silmukan pituus (R/Langan Ω /m)	2,927273		R=U ² /P	4,047218	
	R2				
	16,1				
Silmukan pituus (R/Langan Ω /m)	2,927273				
	R3				
	16,1				
Silmukan pituus (R/Langan Ω /m)	2,927273				
	R4				
	16,1		Langan Ω /m	5,5	
Silmukan pituus (R/Langan Ω /m)	2,927273	11,70909091			
		yht. pituus			
<hr/>					
MH1		Talolle mitoitettu teho		400 W/m²	
	R1	Huoneen pinta-ala		0,0928 m ²	
	15,51		P	37,12	
Silmukan pituus (R/Langan Ω /m)	2,82	2,82	U	24	
		yht. pituus	R=U ² /P	15,51724	
			Langan Ω /m	5,5	
<hr/>					
MH2		Talolle mitoitettu teho		400 W/m²	
	R1	Huoneen pinta-ala		0,0896 m ²	
	16,07		P	35,84	
Silmukan pituus (R/Langan Ω /m)	2,921818	2,921818182	U	24	
		yht. pituus	R=U ² /P	16,07143	
			Langan Ω /m	5,5	
<hr/>					
MH3		Talolle mitoitettu teho		400 W/m²	
	R1	Huoneen pinta-ala		0,084 m ²	
	17,14		P	33,6	
Silmukan pituus (R/Langan Ω /m)	3,116364	3,116363636	U	24	
		yht. pituus	R=U ² /P	17,14286	
			Langan Ω /m	5,5	
<hr/>					
PH ja sauna		Talolle mitoitettu teho		400 W/m²	
	R1	Huoneen pinta-ala		0,07612 m ²	
	18,9175		P	30,448	
Silmukan pituus (R/Langan Ω /m)	3,439545	3,439545455	U	24	
		yht. pituus	R=U ² /P	18,9175	
			Langan Ω /m	5,5	
<hr/>					
KHH		Talolle mitoitettu teho		400 W/m²	
	R1	Huoneen pinta-ala		0,057 m ²	
	25,26		P	22,8	
Silmukan pituus (R/Langan Ω /m)	4,592727	4,592727273	U	24	
		yht. pituus	R=U ² /P	25,26316	
			Langan Ω /m	5,5	

POHJOIS-KARJALAN AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennus- ja tietotekniikan koulutusohjelma

Kuosmanen Antti
Määttänen Mikko
Lari Sistonen
Antti Leppänen

Testausraportti

Talotekniikan monialainen projektityö
Miska Piirainen
Toukokuu 2012

Sisältö

1 Mittausjärjestelyt.....	108
2 Suunnitteluarvot.....	109
2.1 Ominaislämpöhäviö	109
2.2 Aikavakio	109
2.3 Tehollinen lämpökapasiteetti	109
2.4 Johtumisen ominaislämpöhäviö.....	109
2.5 Vuotoilman ominaislämpöhäviö	110
2.6 Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö	110
3 Mittaustulokset	111
4 Mittausten luotettavuus	116
5 Tulosten vertailu	117
5.1 Ominaislämpöhäviöt	117
5.2 Aikavakiot	118

1 Mittausjärjestelyt

Mittaukset suoritettiin Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulun tiloissa, työntekijöiden toimesta. Tässä raportissa on esitetty seuraavat mittaukset:

- pienoismallin lämpeneminen muutamalla vakio teholla ja erilaisilla ilman vaihdon asetuksilla,
- pienoismallin jäähtyminen erilaisilla ilman vaihdon asetuksilla ja
- ilmanvaihdon lämpötilat.

Testit tehtiin askelvastekokeina ja lämpötilat mitattiin taloon asennetuilla huone-lämpötila-antureilla. Automaation käyttöliittymä kirjasi mittaukset lokitiedostoon. Lokitiedostot voitiin käsitellä Excel – ohjelmalla, jonka avulla pystyimme tekemään erilaisia laskelmia. Näistä tuloksista saimme määritettyä pienoismallille

- lämpötilojen maksimi erot ja
- aikavakiot.

Tuloksia on esitetty tässä raportissa kuvioin, taulukoin ja lukuarvoin.

2 Suunnitteluarvot

2.1 Ominaislämpöhäviö

Ominaislämpöhäviö kuvaa kuinka paljon lämpöenergiaa rakennuksen sisälle johtuvan ilman lämmitykseen kuluu. Rakennuksen sisälle johtuva ilmamäärä koostuu ilmanvaihdon korvausilmasta, rakennuksen vaipan läpi johtuvasta ja rakenteiden liitoksien epätiiveyksiensä kautta rakennukseen johtuvasta ilmamäärästä. Ominaislämpöhäviön tunnus on H ja sen yksikkö on W/K . Pienoismallitaloon tehdyn taseuslaskelman perusteella saimme pienoismallitalon ominaislämpöhäviöksi $7 W/K$.

2.2 Aikavakio

Omakotitalossa aikavakio on noin 50 tuntia. Pienoismalliin se skaalattiin suhteessa 1:24, että aikavakioksi saimme noin kaksi tuntia. Ajan jaksonpituus valittiin kahdeksi tunniksi, koska pienoismallia pyrittäisiin käyttämään hyväksi opetustoiminnassa.

2.3 Tehollinen lämpökapasiteetti

Rakennuksen sisäpuolisen lämpökapasiteetin laskimme pienoismallin aikavakion τ ja ominaislämpöhäviön H tulona. Lämpökapasiteetiksi saimme $10,92 W/K$.

2.4 Johtumisen ominaislämpöhäviö

Rakenteiden U -arvot ja näiden pinta-alat vaikuttavat rakenneosien ominaislämpöhäviöön. Eri rakenneosien ominaislämpöhäviöiden summaksi saimme $4,8 W/K$.

2.5 Vuotoilman ominaislämpöhäviö

Rakennuksen pienoismallissa ilmanvaihtoluvun suunnittelu arvona käytimme lukua 4,0, koska pienempää arvoa saa käyttää vain jos kohteessa on tehty ilmantiiveysmittaus. Vuotoilman aiheuttama ominaislämpöhäviö pienoismallissa on 0,1 W/K.

2.6 Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö

Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöön vaikuttavat kaksi tekijää. Ensimmäisen poistoilma virta, jossa käytimme periaatetta, jonka mukaan ilmanvaihdon tehokkuus tulisi riittää vaihtamaan koko rakennuksen ilman kahdessa tunnissa. Toisena lämmöntalteenoton hyötysuhde, jonka arvioitiin olevan 20 %. Edellä mainittujen muuttujien avulla saimme ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöksi 2,1 W/K.

3 Mittaustulokset

Tulokset saatiin automaatio ohjelman lokitiedostoista Excel taulukko muodossa. Näistä taulukoista laskettiin seuraavia arvoja;

- lämpötilan mitatut keskiarvot huonekohtaisesti,
- lämpötilan laskennallinen keskiarvo huonekohtaisesti ja
- Excel ratkaisijan avulla saimme lämpötilan maksimi erotuksen ja aikavakion.

Excel ratkaisijassa käytettiin kaavaa 1, ratkaisija muokkasi aikavakion τ ja lämpötilan ΔT muutoksen arvoja.

$$T_{\text{lähtö}} + \Delta T_{\text{max}} * (1 - e^{(-t/\tau)}) \quad (1)$$

jossa,

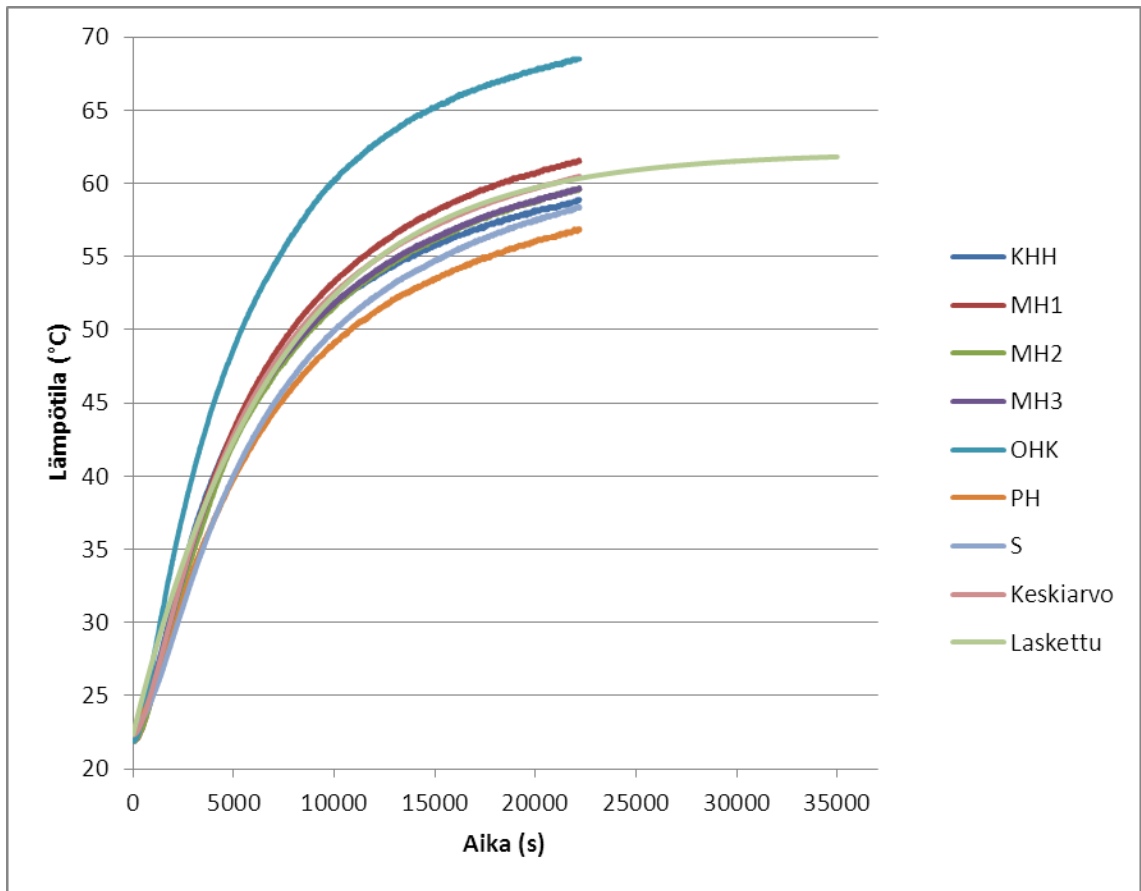
$T_{\text{lähtö}}$	on lähtölämpötila, K
ΔT_{max}	on lämpötilan muutos, K
e	matemaattinen vakio, neperin luku, 2,718
t	on aika, s
τ	on aikavakio, h

Jokaiselle näytteenotto hetkelle laskettiin lämpötilojen keskiarvo. Jokaisen näytteen lämpötilan keskiarvosta ja laskennallisesta arvosta tehtiin kaavan 2 mukainen laskenta.

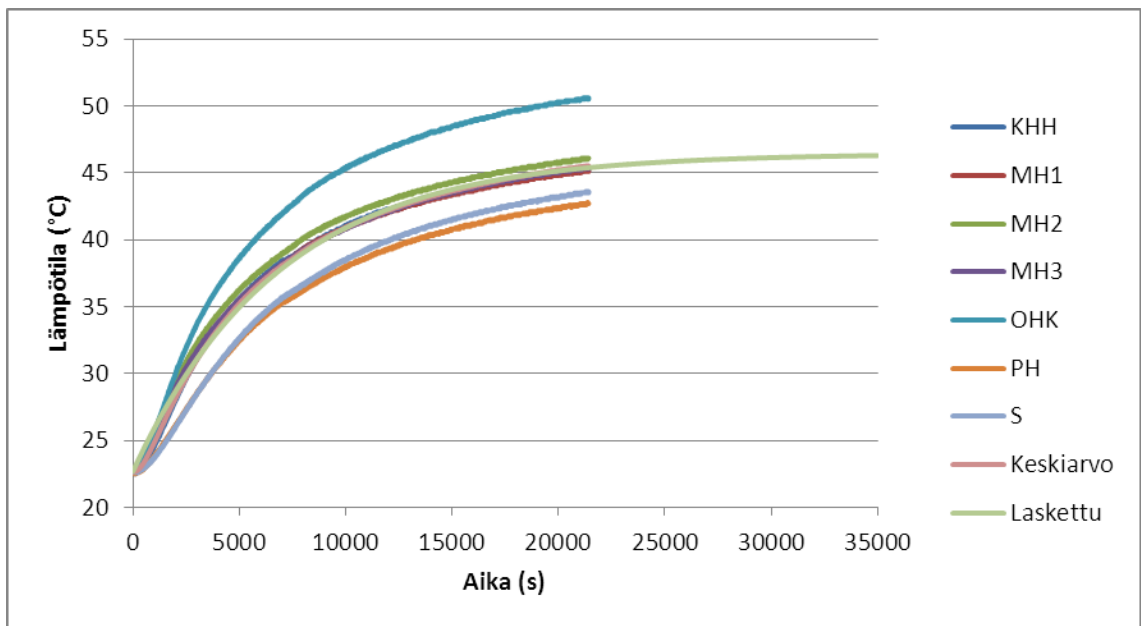
$$(T_{\text{laskettu}} - T_{\text{keskiarvo}})^2 \quad (2)$$

Kaavan 2 tulokset summattiin yhteen. Tätä summaa ratkaisija käytti tavoitearvona, pyrkien samaan siihen pienimmän mahdollisen tuloksen. Ratkaisijan lausekkeessa muuttuivat lämpötilan muutos ΔT_{max} ja aikavakio τ .

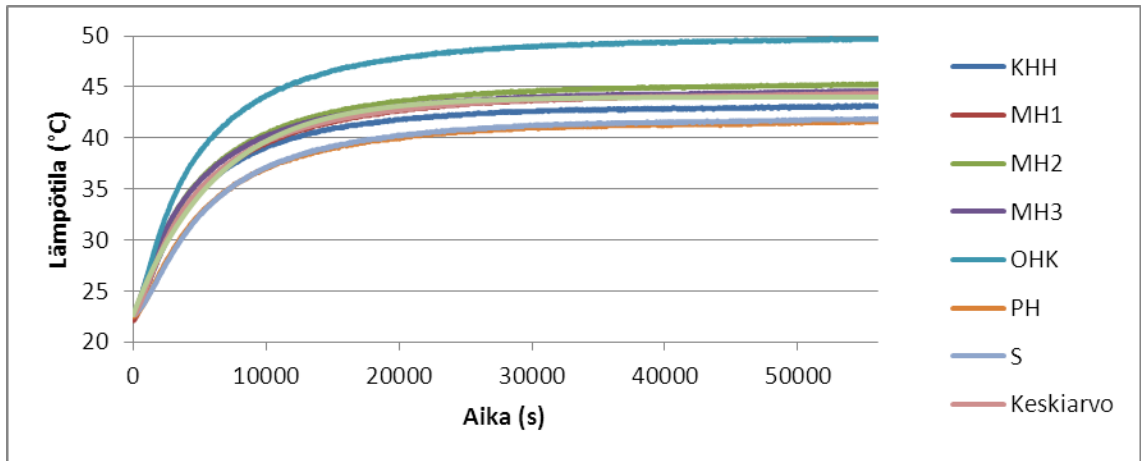
Kuvioissa 1 – 5 on esitetty erilaisilla mittausasetuksilla tehtyjen testien tuloksia lämpötilan ja ajan suhteen.



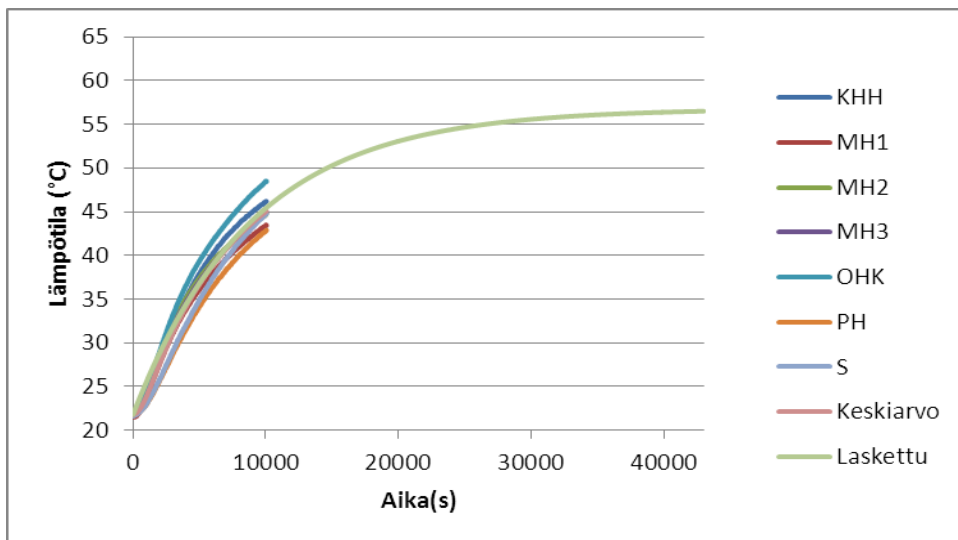
Kuvio 1 Lämmitys, lattialämmitys 100 % ja IV 50 %, ΔT_{\max} 39,75 °C



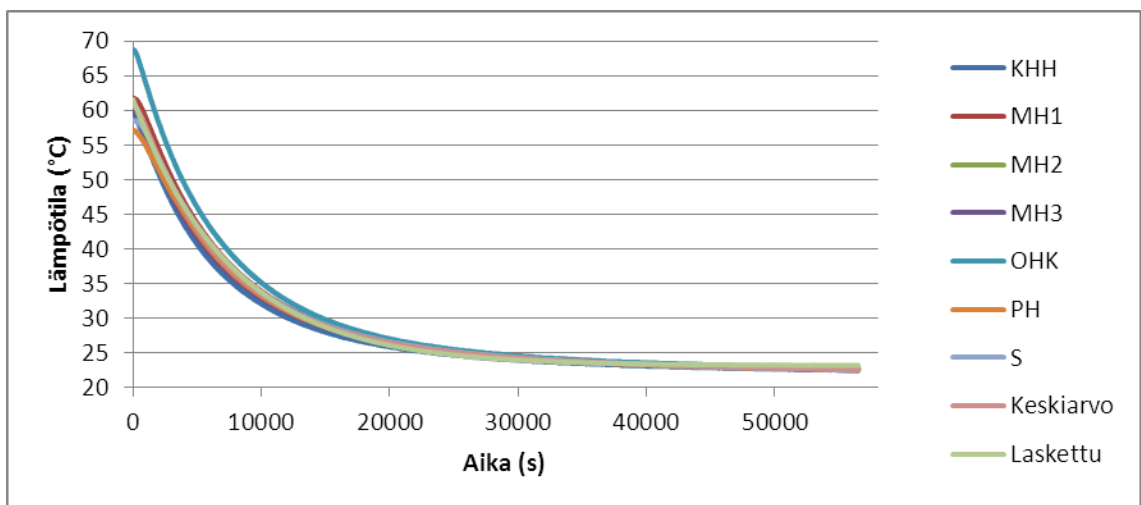
Kuvio 2 Lämmitys, patterilämmitys 50 % ja IV 50 %, ΔT_{\max} 23,75 °C



Kuvio 3 Lämmitys, patterilämmitys 50 % ja IV 100 %, ΔT_{\max} 21,37 °C



Kuvio 4 Lämmitys, patterilämmitys 50 % ja IV 0 %, ΔT_{\max} 35,00 °C



Kuvio 5 Jäähtyminen, lattialämmitys 100 % ja IV 50 %, ΔT_{\max} 37,43 °C

Mitattujen lämmitystehojen ja lämpötilaeron maksimin avulla pystyimme laskemaan lämpöhäviöt kokonaisuudessaan. Taulukossa 1 on testaustulosten arvot ja niitä on käytetty laskettaessa kaavojen 3 ja 4 tuloksia.

Taulukko 1. Mittaustulosten tarkemmat lukuarvot

Lämmitystapa ja teho- %	IV-%	Teho [W]	Lämpötila ΔT	Ominaislämpöhäviö [W/K]
Lattialämmitys, 100 %	50	296,00	39,75	7,45
Patterilämmitys, 50 %	50	159,00	23,75	6,69
Patterilämmitys, 50 %	0	159,00	35,00	4,54
Lattialämmitys, 100 % (Jäähdytys)	50	296,00	37,43	7,91

Kaavassa 3 on esitetty lämpöhäviöiden laskenta.

$$H = H_{\text{vuotoilma}} + H_{\text{iv}} + H_{\text{joht}} \quad (3)$$

jossa,

H

on ominaislämpöhäviöiden summa, W/K

$H_{\text{vuotoilma}}$

on vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K

H_{iv}

on ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K

H_{joht}

on rakennusosien kautta tapahtuva lämpöhäviö, W/K

Kaavasta 3 saadaan myös laskettua vain ilmanvaihdon osuus kaikkien lämpöhäviöiden summasta, muuntamalla kaavan seuraavaan muotoon

$$H_{\text{iv}} = H_{\text{joht}} - H_{\text{vuotoilma}}$$

Testauksen tuloksista saadut arvot sijoitettuna kaavaan 3 josta saadaan ilmanvaihdon lämpöhäviöksi

$$H_{\text{iv}} = 6,69 \text{ W/K} - 4,54 \text{ W/K}$$

$$H_{\text{iv}} = 2,15 \text{ W/K.}$$

Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviöstä saadaan laskettua poistoilmavirta $q_{v,p}$ kaavalla 4.

$$H_{iv} = 1\,200 * q_{v,p} * (1 - \eta_a) \quad (4)$$

jossa

H_{iv} on ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö, W/K
 $q_{v,p}$ on poistoilmavirta, m³/s
 η_a on lämmöntalteenoton hyötysuhde, %

$$q_{v,p} = \frac{H_{iv}}{1\,200 * (1 - \eta_a)}$$

$$q_{v,p} = \frac{2,15 \text{ W/K}}{1\,200 * (1 - 0,8)}$$

$$q_{v,p} = 0,00224 \text{ m}^3/\text{s}$$

Poistoilmavirta on 2,24 litraa sekunnissa.

4 Mittausten luotettavuus

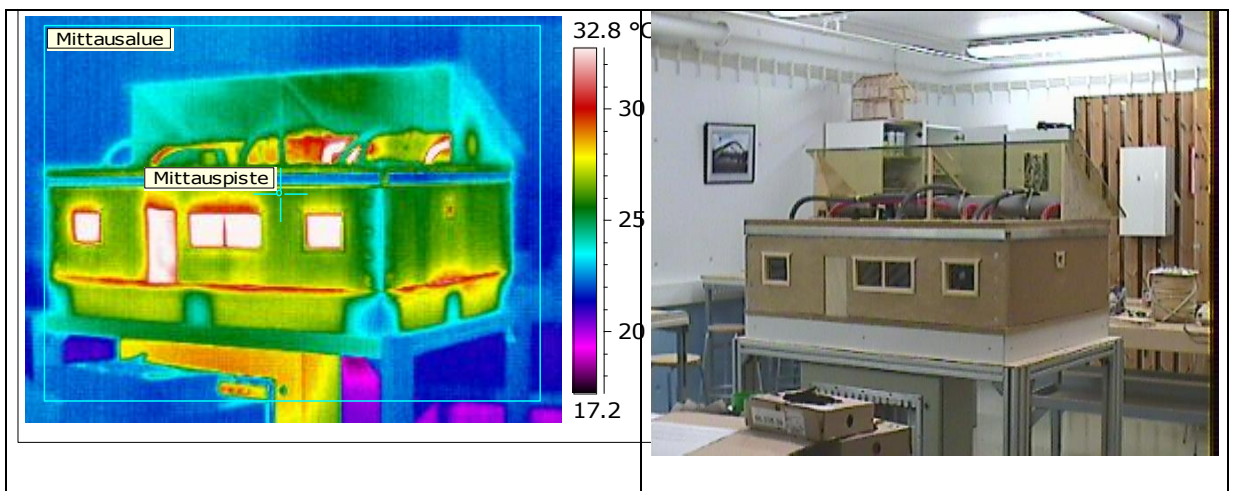
Testausten luotettavuus on keskinkertainen. Tulokset pohjautuvat vain yksittäisiin mittauksiin, eikä niitä ole toistettu. Näin ollen tulokset eivät välttämättä ole täysin luotettavia. Pienoismallin ja testauksen suorittajina uskomme kuitenkin, että testausten uusiminen ei muuta tuloksia kuin marginaalisesti. Olemme kuitenkin tyytyväisiä testauksen suorittamiseen ja sen tuloksiin sekä luotettavuuteen.

5 Tulosten vertailu

5.1 Ominaislämpöhäviöt

Kokonaisuudessa pienoismallin lämpöhäviöiden summa on laskennallisesti 7 W/K. Testauksen suorituksen perusteella pienoismallille lämpöhäviöiksi saimme erilaisilla lämmitystehon ja ilmanvaihdon asetuksilla 6,69 – 7,45 W/K. Mittausten pienin arvo 4,54 W/K jätettiin huomioimatta, koska tässä mittauksessa ilmanvaihto oli kytketty pois päältä.

Laskennallisten ja testattujen ominaislämpöhäviöiden erot ovat minimaalisia. Suurin syy eroon on ehkä rakenteiden epätiivetyys erilaisissa liitoksissa (kuva 6), jotka lisäävät vuotoilman lämpöhäviötä.



Kuva 6 Lämpökamerakuva rakennuksen epätiiveydestä

Ilmanvaihdon lämpöhäviö 20 % lämmöntalteenotolla oli laskennallisesti 2,1 W/K. Testauksen perusteella ilmanvaihdon lämpöhäviöksi saimme 2,15 W/K. Ilmanvaihdon laskennallinen ja testattu lämpöhäviö vastaavat toisiaan. Ilmavirrat tosin poikkeavat toisistaan hieman. Laskennallinen ilmanvaihto oli 3,1 l/s, mutta testauksessa ilmanvaihto oli vain 2,24 l/s. Eroa aiheutti ilmanvaihdon ja rakenteiden liitoksien epätiiveydestä. Ilmanvaihdon putkissa tapahtunut lämpötilan lasku, jopa 10 °C, aiheutti myös eroa laskenta- ja mittaustuloksissa.

Laskennallisten arvojen ja mitattujen tulosten perusteella voimme olla kokonaisuudessaan tyytyväisiä rakennuksen lämpötekniseen toimintaan. Laskennallisten tulosten ja testauksen antamien arvojen perusteella on tulosten ero vain muutamia prosenttiyksikköjä.

5.2 Aikavakiot

Aikavakion laskennan arvo on 2 tuntia. Erilaisten testausten mukaan aikavakio vaihtelee 1,74 – 2,47 tunnin välillä. Tuloksiin vaikuttavaa mm. lattian massiivisuus, resistanssin kasvu kun lämpötilaerot ovat pienet ja lämmityksen ”systemin” pinta-ala.

Lattian massiivisuus näkyy kuviossa 2, saunan ja pesuhuoneen käyrän alun loivempana osuutena. Lattia sitoo alussa itseensä enemmän lämpöä ennen kuin siirtää sitä huoneilmaan.

Lämmönvastuksen kasvun huomaa kaaviossa 5, jäähtyminen. Lämpötila erojen pienentyessä resistanssi lämmönsiirtymiseen kasvaa eksponentiaalisesti. Kaaviossa 5 esitetyssä mittauksessa huomaa kuinka loppuvaiheen aikana lämpötila laskee hitaasti lämmönvastuksen kasvamisen myötä.

Jäähtymisen aikavakion suuruuteen vaikuttaa myös lämmitystavan pinta-ala. Lattialämmityksestä hehkuu huomattavasti pidempään lämpöä kuin patterilämmityksestä, jonka seurauksen aikavakio on lattialämmityksen pinta-alan takia suurempi.