

Juho Rintamäki

Hardware-in-the-Loop Beckhoffin ympäristössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

31.3.2017

Tekijä(t) Otsikko	Juho Rintamäki Hardware-in-the-Loop Beckhoffin ympäristössä
Sivumäärä Aika	31 sivua 31.3.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Lehtori Jari Savolainen
<p>Tässä insinööriyössä perehdyttiin Hardware-in-the-Loop-simulaatioon Beckhoffin ympäristössä, sekä luotiin simulaatioesimerkki. Lisäksi työ sisälsi ladder-ohjelmointia, käyttöliittymän visualisointia ja EtherCAT-yhteyden luomisen.</p> <p>Työn tavoitteena oli luoda toimiva simulaatio taloautomaation laitteistosta käyttämällä Beckhoffin TwinCAT 3 -ohjelmaa.</p> <p>Työssä ensin selvitettiin, mitä Hardware-in-the-Loop-simulaatio on ja missä sitä käytetään. Tämän jälkeen tutustuttiin TwinCAT 3 -ohjelmaan ja sen eri käyttötapoihin. Lopuksi luotiin simulaatio talon lämmityksestä, valaistuksesta, käyttövedestä ja ilmanvaihdosta.</p> <p>Työssä saatiin simulaatio luoduksi ja testatuksi.</p>	
Avainsanat	Hardware-in-the-Loop, Beckhoff, simulaatio

Author(s) Title	Juho Rintamäki Hardware-in-the-Loop in Beckhoff Environment
Number of Pages Date	31 pages 31 March 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Technology
Specialisation option	
Instructor(s)	Jari Savolainen, Senior Lecturer
<p>In this bachelors thesis the purpose was to familiarize with Hardware-in-the-Loop simulation in Beckhoffs environment and to create simulation example. The study also included ladder programming, creation of interface and creation of EtherCAT connection. The main goal was to create home automation simulation using Beckhoffs TwinCAT 3 program.</p> <p>The first part of the study was to find out what Hardware-in-the-Loop simulation is and where it is used. The second part was to get familiarized with TwinCAT 3 program. Lastly simulation of home automation for lighting, heating, warm water and ventilation was created.</p> <p>The simulation was completed and it was functional.</p>	
Keywords	Hardware-in-the-Loop, Beckhoff, simulation

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Hardware-in-the-Loop	1
3	Beckhoff	2
3.1	EtherCAT	2
3.2	TwinCAT	4
4	Talautomaatio	5
4.1	Kaukolämpö	5
4.2	Lämmin käyttövesi	5
4.3	Lämmitys	6
4.4	Ilmanvaihto	8
4.5	Valaistus	10
5	Työn toteutus	11
5.1	Lähtökohdat	11
5.2	Simulaation suunnittelu	11
5.3	Simulaation toteutus	14
5.3.1	Aloitus	14
5.3.2	Logiikka	15
5.3.3	I/O-laitteet	20
5.4	Hardware-in-the-Loop-simulaatio	22
5.5	Hardware-in-the-Loop-simulaation toteutus	27
6	Pohdintoja	29
	Lähteet	31

Lyhenteet

HIL	Hardware-in-the-Loop. Simulaatiotekniikka, jonka avulla pystytään testaamaan sulautettuja järjestelmiä.
ETG	Ethercat technology group. EtherCATin kehittämisestä vastaava ryhmitys.
PLC	Programmable logic controller. Automaatiossa käytettävä ohjelmitava logiikka.
POU	Program organization unit. Sisältää logiikan TwinCAT 3:n projekteissa.

1 Johdanto

Nykyaikana rakennetaan entistä monimutkaisempia tehtaita ja laitteistoja. Nämä kokonaisuudet sisältävät entistä enemmän automaatiota. Yhä useammin tärkeimmäksi tekijäksi projektien kannattavuudessa nousevat aika ja taloudellisuus. Näitä molempia pystytään parantamaan käyttämällä Hardware-in-the-Loop (HIL) -simulaatiota laitteiston testaamiseen ja simulointiin.

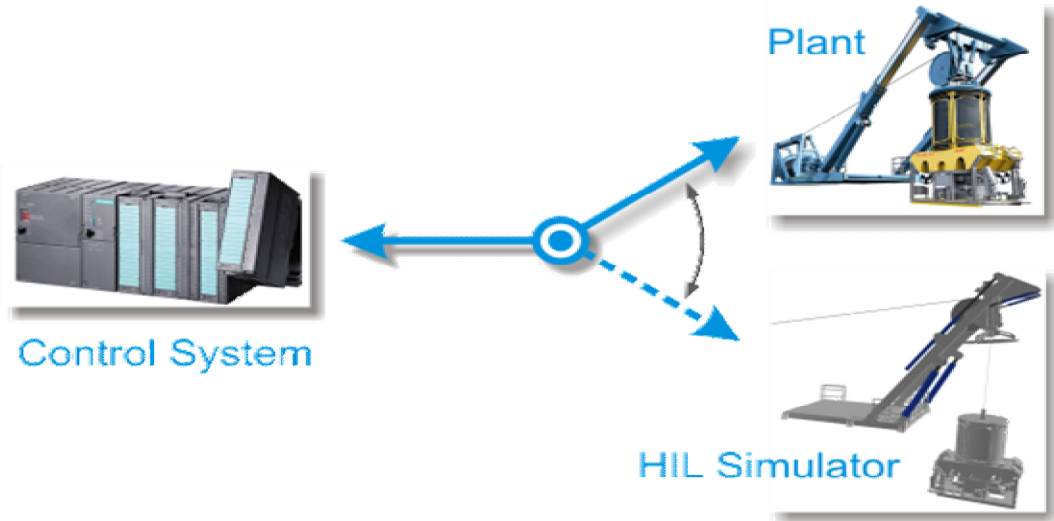
Insinööriyössä perehdyttiin HIL-simulaatioon Beckhoffin ympäristössä. Lisäksi käyttämällä TwinCAT 3 -ohjelmaa luotiin HIL-simulaatioesimerkki. Esimerkin aiheeksi valittiin taloautomaatiolaitteiston simulaatio.

Ensimmäisissä kolmessa luvussa tutustutaan insinööriyön lähtökohtiin ja eri osaluokkiin. Viidennessä luvussa käydään läpi työn eri vaiheet TwinCAT 3 -projektin luomisesta aina simulaation käyttämiseen. Viimeisessä luvussa on pohdintoja ja johtopäätökset.

2 Hardware-in-the-Loop

Hardware-in-the-Loop on tekniikka, jonka avulla pystytään testaamaan ja simuloimaan sulautettujen järjestelmien toimintaa ilman fyysistä laitteistoa tai yksittäistä laitetta. Sulautetuissa järjestelmissä tietokone ohjaa reaaliaikaisesti laitteistoa, esimerkiksi tehdasta. HIL-simulaation avulla pystytään luomaan niin yksittäisiä laitteita kuin monimutkaisia tehdas kokonaisuuksia sulautetun järjestelmän testaamiseksi.(1.)

HIL-simulaatiossa laitteisto ja sen dynaamiset muuttujat luodaan itse ja ne lähetetään ohjaavalle yksikölle, jolloin ohjaava yksikkö käyttäytyy samalla tavoin kuin se käyttäytyisi jos oikea laitteisto olisi siinä kiinni. Esimerkiksi voidaan luoda lämpötilanmittaus ja lähettää sen sama arvo, jolloin ohjaus tulkitsee sitä kuin oikeaa lämpötilanmittausta. HIL-simulaatioon on myös mahdollista liittää jo valmiiksi olemassa olevia laitteita jolloin simulaation sijaan järjestelmä saa arvot suoraan laitteelta. Kuvassa 1 on HIL-simulaatio ohjaussysteemi (control system) ohjaa oikeaa laitteistoa (plant) tai simulaatiota (HIL Simulator).(1.)



Kuva 1. Hardware-in-the-Loop-simulaation havainnekuva. (2)

HIL-simulaation etuina on se, ettei tarvitse rakentaa esimerkiksi kokonaista tehdasta ennen kuin sulautettua järjestelmää voidaan testata, vaan HIL-simulaation avulla testaamisen voi aloittaa jo, ennen kuin laitos on kokonaan valmis tai jopa ennen kuin sen rakentaminen on edes aloitettu. Lisäksi kokonaisen tehtaan rakentaminen tulee paljon kalliimmaksi kuin simulaation luominen. Joissakin tapauksissa, esimerkiksi lentosimulaattorin aikaisissa testauksessa, voidaan käyttää HIL-simulaatiota ihmisen sijaan testaamaan simulaattorin reagoitua ihmisen ohjauksessa.(3.)

3 Beckhoff

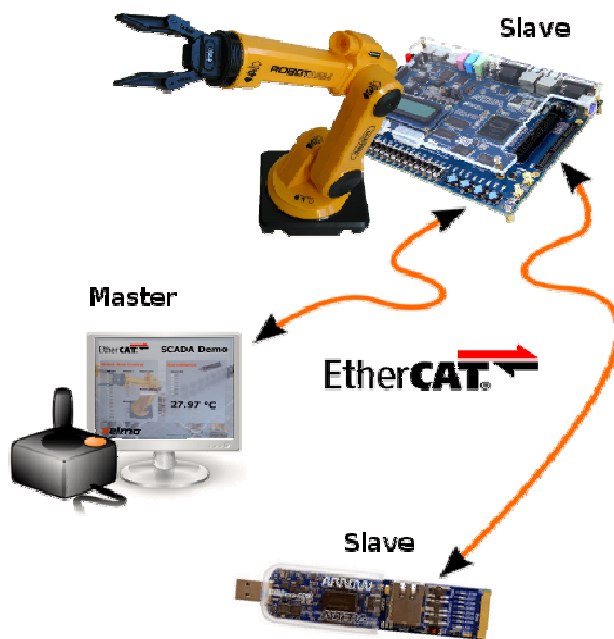
Beckhoff on kansainvälinen yritys jonka pääkonttori sijaitsee Saksassa. Saksan lisäksi Beckhoffilla on tytäryhtiöitä ja jälleenmyyjä yli 75 maassa. Beckhoffin liikevaihto vuonna 2015 oli 620 miljoonaa euroa. Beckhoff toimittaa PC-ohjaukseen pohjautuvia, avoimia automaatiojärjestelmiä niin pieniin kuin isoihinkin projekteihin. Tässä insinööriyössä käytettiin Beckhoffiin kehittämää TwinCATia sekä EtherCATia.(4.)

3.1 EtherCAT

EtherCAT on Beckhoffin kehittämä avoin reaaliaikainen ethernet-kenttäväylä. EtherCAT esiteltiin keväällä 2003 ja syksyllä perustettiin Ethercat technology group, jonka tavoitteena on kehittää EtherCAT-teknologiaa entistä paremmaksi. ETG:hen kuuluu

niin valmistajia kuin käyttäjiäkin, ja se on maailman isoin kenttäväylä organisaatio 4035 jäsenellään.(5.)

EtherCAT perustuu isäntälaitteen ja orjalaitteen kommunikaatioon. Kun isäntälaitte kytetään päälle se alustaa ja kartoittaa käytössä olevat orjalaitteet. Isäntälaitte lähettää viestin joka menee jokaisen orjasolmujen läpi. Orjalaitteet lukevat niille tarkoitetut viestit ja lisäävät oman viestinsä isäntälaitteen lähettämän viestin runkoon. Ainoastaan isäntälaitte voi lähettää viestin, orjalaitteet vain lisäävät oman viestinsä isäntälaitteen viestin runkoon. Tämä mahdollistaa EtherCATin reaaliaikaisen ja nopean kommunikaation. Viimeinen solmu etsii avoinna olevan portin ja lähettää orjien viestit takaisin isännälle. Kuvassa 2 on esimerkki EtherCAT-kommunikoinnista, isäntänä on ohjaus joka lähettää tiedon orjalle, joka tässä tapauksessa on robottikäsi. Lisäksi toinen orja toimittaa lämpötila arvon isäntäkoneelle.(5.)

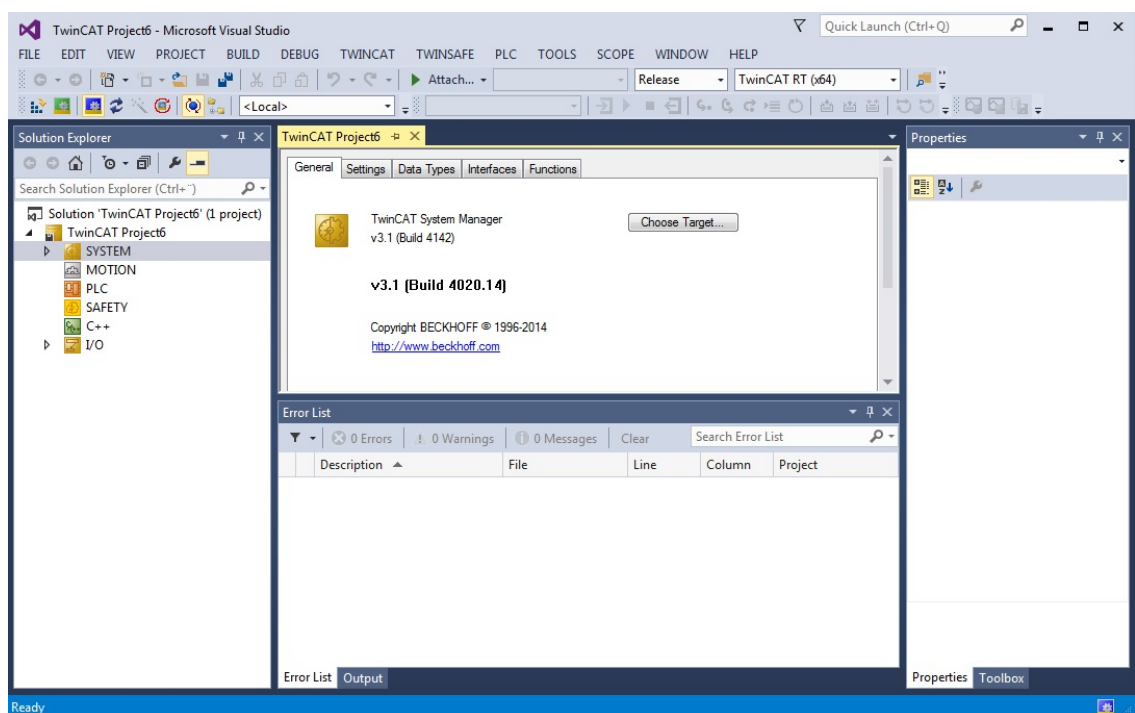


Kuva 2. EtherCAT-kommunikointi robottikäden ja ohjauksen välillä. (6)

Insinööriyössä käytettiin EtherCATia kommunikoimaan logiikan ja simulaation välillä yhdistämällä kaksi tietokonetta ethernet-kaapelilla ja suorittamalla TwinCAT 3 -ohjelmaa molemmilla koneilla.

3.2 TwinCAT

TwinCAT on PC:lle suunniteltu reaaliaikainen ohjaus sovellus. TwinCATin avulla pystytään niin ohjelmoimaan kuin myös ajamaan reaaliaikaista ohjausta. Beckhoff julkaisi ensimmäisen version TwinCATista vuonna 1996 ja uusimman version, TwinCAT 3:n vuonna 2010. Aiemmistä TwinCAT-versioista poiketen TwinCAT 3 käyttää vain yhtä sovellusta konfiguraation ja ohjelmointiin. Insinööriyössä käytettiin TwinCAT 3:a ohjelmoimaan sekä simuloimaan logiikkaa. TwinCAT 3:n avulla pystytään luomaan myös käyttöliittymiä. Kuvassa 3 on TwinCAT 3 -ohjelman käyttöliittymä, vasemmalla näkyy TwinCAT-projektin rakenne.(7.)



Kuva 3. TwinCAT 3 -käyttöliittymä, vasemmalla TwinCAT-projektin rakenne.

TwinCAT 3 -versio on integroitu Microsoftin tekemään Visual Studio -ohjelmaan joka mahdollistaa sen, että TwinCAT 3 -sovelluksia voidaan ohjelmoida standardin mukaisilla ohjelmointikielillä C ja C++. Lisäksi TwinCAT 3:ssa on paranneltu suorituskyky sillä se tukee usean ytimen prosessoreja. Lisäksi TwinCAT 3 tukee 64-bittisiä käyttöjärjestelmiä.(7.)

4 Taloautomaatio

4.1 Kaukolämpö

Kaukolämpökeskuksissa tuotetaan lämmintä vettä, joka pumpataan putkistoa pitkin asiakkaille. Asiakkaiden luona on alajakokeskus jossa lämmin vesi luovuttaa lämpönsä käyttövesi-, lämmitys- ja ilmanvaihtoverkostoon. Tämän jälkeen jäähtynyt vesi palautuu takaisin kaukolämpökeskukseen. Tätä kutsutaan kaukolämmön ensiöpiiriksi. Mitä enemmän kaukolämpövesi jäähtyy alajakokeskuksella, sen kannattavampaa kaukolämmön käyttö on taloudellisesti.(8.)

Ensiöpiiristä saadaan siirrettyä lämpöä toisiopiiriin (käyttövesi-, lämmitys- ja ilmanvaihtoverkostoon) lämmönvaihtimien avulla ilman, että piirien vedet ovat kosketuksissa toisiensa kanssa. Lämmönvaihtimessa kulkevan kaukolämpöveden virtausta rajoittaa automaatiolla ohjattu moottoriventtiili. Tämä tehdään siksi, että lämpöä ehtisi siirtyä tarpeeksi. Venttiiliä suljetaan kun toisiopiirin veden lämpötila on asetusarvoa suurempi ja vuorostaan avataan kun lämpötila on asetusarvoa pienempi.(8.)

Toisiopiirin asetusarvoa säädetään mittaamalla ensiksi ulkolämpötila. Tämän jälkeen säätökeskus hakee säätökäyrältä asetusarvon. Seuraavaksi mitataan toisiopiirissä olevan veden lämpötila ja verrataan sitä asetusarvoon. Säätökeskus säättää moottoriventtiiliä saadun vertailu tuloksen mukaan joko auki tai kiinni. Moottoriventtiiliä ei kuitenkaan tarvitse ohjata kovin usein, koska ulkolämpötila ja toisiopiirin veden lämpötila muuttuvat suhteellisen vähän.(8.)

4.2 Lämmin käyttövesi

Lämmintä käyttövettä on hankala säätää tarkasti veden kulutuksesta johtuen. Yleensä lämpimän käyttöveden lämpötilaa säädetään vakioarvolla, joka on 57–58 °C. Kuitenkin jos putkisto on huonosti eristetty, joudutaan käyttämään isompia lämpötila-arvoja. Itse käyttöveden lämpötilan tulisi pysytellä 45–65 °C:ssa. Jos vesi on liian kuumaa, voi siitä aiheutua palovammoja, jos taas vesi on liian kylmää voi siinä alkaa kasvaa bakteeristoa.(8.)

Lämpimän käyttöveden kiertovesi pumppujen on oltava päällä koko ajan, jotta vettä on mahdollista saada jokaiseen käyttöpaikkaan mahdollisimman nopeasti. Jos vettä joutuu juoksuttamaan kovinkin paljon ennen kuin se lämpenee, se on taloudellisesti epäkannattavaa. Lisäksi pumpun jatkuva päällä pitäminen pitää veden lämpötilan ja laadun tasaisena.(8.)

4.3 Lämmitys

Kiinteistön lämmitys voidaan toteuttaa usealla eri tavalla automaatiota käyttäen. Kaukolämmössä pyritään jäähdyttämään vettä kiinteistöllä mahdollisimman paljon käyttäen hyödyksi automaatiota. Sähkölämmityksessä automaatiolla ohjataan termostaatteja eli lämpövastuksia. Öljylämmityksessä automaatio säätää lämmitysveden lämpötilaa ohjaamalla polttimoa. Lämpöpumpuissa automaatio valvoo ettei keruupiirin tuottama lämpötila laske liian alhaiseksi. Automaation avulla pyritään tuottamaan lämpöä tehokkaasti ja taloudellisesti. Kaupungeissa ja suurissa kiinteistöissä on yleensä käytössä kaukolämpö ja muita lämmitysmuotoja käytetään lähinnä yksittäisissä, taajamien ulkopuolisissa kiinteistöissä. (8.)

Kaukolämmityksessä, öljylämmityksessä ja lämpöpumpuissa käytetään vettä lämmön kuljettamiseen lämmityspattereille tai lattialämmityspiiriin. Näitä lämmitysmuotoja kutsutaan vesikeskuslämmityksiksi. Sähkölämmityksessä sen sijaan sähkövirta viedään suoraan lämmityspattereille tai lattiassa oleviin lämmitysvastuksiin. Vesikeskuslämmityksen ohjauksessa pitää ottaa huomioon, miten lämpö jaetaan eri tiloihin. Esimerkiksi patterilämmitys vaatii korkeampilämpöistä vettä kuin vesikierteinen lattialämmitys. (8.)

Vesikeskuslämmityksen säätöautomaatiossa on vähintään ulkolämpötilaa mittaava anturi, jonka mukaan säädetään lämmitysveden lämpötilaa. Lisäksi säätöä voidaan tarkentaa mittaamalla muita lämpötilaan vaikuttavia arvoja esimerkiksi sisälämpötilaa, auringonpaisteen voimakkuutta ja tuulennopeutta. (8.)

Automaation avulla lämmityksessä pyritään pitämään huonelämpötila halutussa arvossa ulkolämpötilan tai sisälämpötilan vaihteluista huolimatta. Ulkolämpötilaan vaikuttavat eri vuodenajat ja eri vuorokaudenajat. Sisälämpötilaan vaikuttaa esimerkiksi päällä olevat elektroniikkalaitteet, jotka nostavat sisälämpötilaa. Ikkuna- ja ovipieliissä esiintyvät lämpövuodot puolestaan laskevat sisälämpötilaa. (8.)

Lämmityksen ohjaus ja säätö

Lämmityksen säädöllä pyritään siihen ettei sisälämpötila vaihtelisi kovin paljoa vaikka ulkolämpötila niin tekisikin. Ihanteellisessa tilanteessa sisälämpötila pysyisi koko ajan samassa lämpötilassa. Lämmitystä säädetään käyttämällä säätökäyrää, jonka avulla automaattikka katsoo käyrältä, kuinka paljon pattereille menevän veden lämpötila tulisi olla ulkolämpötilamittauksen mukaan. Eli kun ulkolämpötila laskee, pattereille virtaa lämpimämpää vettä ja päinvastoin. (8.)

Jokaiselle kiinteistölle tulee etsiä oikeanlainen säätökäyrä. Yksinkertaisimmillaan säätökäyrä on lineaarinen eli veden lämpötila muuttuu saman verran suhteessa ulkolämpötilaan jokaisessa lämpötilassa. Lisäksi on olemassa säätökäyriä joita voidaan muuttaa jokaisessa pisteessä, jolloin veden lämpötilan muutos voi olla korkeampi jossakin kohdassa kuin toisessa. (8.)

Säätökäyrän valintaan vaikuttaa kiinteistössä tapahtuvat lämpövuodot, kiinteistön lämmönpitävyys, sekä myös kiinteistön käyttötarkoitus ja sijainti. Oikean säätökäyrän löytäminen on yksi tärkeimpiä asioita. Optimoitu säätökäyrä tekee lämmityksestä energia tehokasta ja taloudellisesti kannattavampaa. Parhaan säätökäyrän löytäminen vie kuitenkin paljon aikaa, sillä säätökäyrän muutokset näkyvät kiinteistön lämpötilassa vasta 1–3 vuorokauden kuluttua tehdyistä muutoksista. Tämän takia säätökäyrän muutoksia tulee tehdä harkiten ja seurata sen aiheuttamia muutoksia tarkasti. Lisäksi vanhat asetukset kannattaa pitää tallessa jos muutokset osoittautuvat epäonnistuneeksi. (8.)

Säätökäyrän optimoinnin lisäksi itse lämmityksen optimointi on tärkeä osa energiatehokasta lämmitystä. Vain päivisin käytössä olevien rakennuksien, esimerkiksi koulujen tai toimistojen lämmitys voi olla poissa päältä yöaikaan. Tällaisissa tapauksissa käytetään joko yöpudotustoimintoja tai optimointia varten tehtyjä optimointiohjelmiä. Optimointiohjelma mahdollistaa tarkan lämmönpudotuksen ajastamisen, eikä vaadi manuaalista tiputuksen käynnistämistä. (8.)

Lattialämmityksen säätö vastaa muilta osin patterilämmityksen säätöä, mutta lämmitysvesi lämmittää betonilattiaa joka puolestaan lämmittää lattian päällä olevaa materiaalia, esimerkiksi kaakeleita jotka lämmittävät huoneilmaa. Betoni kuitenkin varaa lämpöä ja voi lämmittää huonelämpöä useiden tuntienkin ajan. Tämän vuoksi lattialämpöä olisinkin hyvä ohjata ulkolämpötilan sijaan sisälämpötilan mukaan. (8.)

4.4 Ilmanvaihto

Ilmanvaihtojärjestelmiä on olemassa monenlaisia. Yksinkertaisimmillaan ilmanvaihtojärjestelmään ei tarvita ollenkaan automaatiota vaan ilmanvaihto perustuu sisä- ja ulkolämpötilojen välisen eron aiheuttamaan ilman liikkeeseen. Tätä perinteistä ilmanvaihtoa kutsutaan painovoimaiseksi ilmanvaihdoksi. Sen sijaan automaatiota käyttävät ilmanvaihtojärjestelmät pystytään jakamaan kolmeen perustyyppiin: koneellinen poistoilmanvaihto, koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto sekä koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmön talteenotolla. (8.)

Koneellinen poistoilmanvaihto on näistä kolmesta yksinkertaisin. Tässä tapauksessa automaatiolla ohjataan vain poistoilmapuhallinta. Poistoilmapuhallin käy joko täysteholla, puoliteholla tai ajastimen avulla riippuen tilanteesta. Silloin kun kiinteistössä valmistetaan ruokaa ja käydään suihkussa eniten, poistoilmapuhallin käy suurimmalla nopeudella. Muuten puhallinta pidetään puolinopeudella. Kiinteistöön saadaan tuloilma joko luonnollisista vuotoaukoista tai asentamalla erillinen tuloilmaventtiili. (8.)

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa automatiikka on jo hieman monimutkaisempaa. Poistoilmapuhaltimen ohjauksen lisäksi ohjataan tuloilmapuhallinta. Yksinkertaisimmillaan tuloilmaa voidaan ohjata pois- tai päälle-ohjauksella, taajuusmuuntajalla tai kierrosnopeuksilla. Lisäksi sisään puhallettavan ilman lämpötilaa ja määrää voidaan säätää, sillä tuloilmalle on olemassa oma kanava ja lämmityspatteri. Koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtoon pätevät samanlaiset ajastukset kuin pelkkään koneelliseen poistoilmanvaihtoon. (8.)

Viimeisimmässä tyypissä on ilmanvaihtoon lisätty myös lämmön talteenotto. Tällaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä ulkoilma kuljetetaan lämmön talteenottolaitteen lävitse tuloilmapuhaltimelle josta se puhalletaan tuloilmana huoneeseen. Poistettava ilma taas kuljetetaan lämmön talteenottolaitteen läpi poistoilmapuhaltimelle josta ilma puhalletaan ulos. Molemmat puhaltimet on lukittu toistensa ohjaukseen eli kun poistoilmapuhallin on päällä, myös tuloilmapuhallin on käynnissä ja päinvastoin. Lämmön talteenoton avulla voidaan käyttää lämmintä poistuvaa ilmaa lämmittämään sisälle tulevaa ilmaa. (8.)

Ilmanvaihdon ohjaus ja säätö

Ilmanvaihtoa pystytään ohjaamaan ja säätämään useilla eri tavoilla. Ohjauksen ja säädön valinta riippuu siitä millainen järjestelmä kokonaisuus huoneistossa on. Yksinkertaisinta ohjausta kutsutaan vakioarvosäädöksi. Tässä ohjauksessa säädetään huoneeseen tulevan ilman lämpötilaa. Vakioarvosäädön ongelma on se, ettei se ota huomioon sisälämpötilaa ollenkaan, jolloin ei ole mahdollisuutta energiasäästöihin.(8.)

Hieman monimutkaisempi tapa ohjata ilmanvaihtoa on poistoilmaohjattu säätö. Poistoilmaohjatussa säädössä mitataan poistoilmakanavan lämpötilaa, jonka mukaan säädetään tuloilman lämpötilaa. Esimerkiksi jos poistoilmakanavan lämpötila on asetusarvoa matalampi, puhalletaan sisälle lämpimämpää ilmaa. Tämän säädön avulla pystytään pitämään sisälämpötilaa tarkasti asetusarvossa.(8.)

Ilmanvaihdossa sisälle puhallettavan ilman lämpötilaa pystytään muuttamaan asentamalla sisään tulevan ilman tulokanavaan joko sähköinen lämmitysvastus tai vesilämpöpatteri. Molemmissa tapauksissa lämmitystä ohjataan mittaamalla sisälämpötilaa ja tuloilmakanavan lämpötilaa. Sähköisen lämmitysvastuksen tapauksessa lämmitys toimii yksinkertaisesti pois- tai päälle-menetelmällä, eli kun sisälämpötila on liian matala menee tuloilmakanavan lämmitys päälle ja päinvastoin. Vesikierteinen lämmityspatteri vaatii myös kiertävän veden lämpötilan mittausta.(8.)

Lämpötilan lisäksi ilmanvaihtoa pystytään ohjaamaan muidenkin huoneiston ilmaan vaikuttavien arvojen mukaan. Hiilidioksidi on ilman kaasu jota ihminen tuottaa. Se on suurissa määrissä haitallista terveydelle. Ilmanvaihtoa pystytään ohjaamaan hiilidioksidi määrrien mukaan. Eli kun huoneessa on liikaa hiilidioksidia, ilmanvaihdon määrä ja nopeus kasvavat. Hiilidioksidin mittaaminen on kuitenkin hankalaa, sillä anturien paikkojen pitää olla tarkoin valitut, jotta saadaan optimaalinen tulos.(8.)

Hiilidioksidipitoisuuden säädön lisäksi ilmanvaihtoa voidaan säätää myös mittaamalla kosteutta tai paine-eroja. Kosteutta mittaamalla voidaan pitää ilmakestius halutussa prosentissa. Tätä ohjaustapaa käytetään esimerkiksi uimahalleissa joissa ei haluta veden haihtuvan altaista. Paine-ero-ohjauksessa ohjataan poistoilmapuhaltimen nopeutta mittaamalla tuloilmakanavan paine-eroa, tässä tapauksessa tuloilmapuhallinta ohjataan esimerkiksi lämpötilan tai kosteuden mukaan. (8.)

Jos ilmanvaihtojärjestelmässä on lämmöntalteenottolaite sille pitää olla oma ohjauksensa. Lämmöntalteenottolaitteen ohjaus riippuu laitteen tyypistä, joita on kolmenlaisia:

kuutio, pyörivä ja epäsuora nestekierteinen. Kuutiossa ilmaa ohjataan joko talteenotto-kuution sisään tai sen ohi. Tällöin ohjataan ohituskanavan ja talteenottokanavan peltejä. Kuution haittapuolena on se, että talteenottokenno voi huurtua koska lämmin poistoilma ja kylmä ulkoilma kohtaavat. Huurtuminen voi estää lämmön talteen oton kokonaan. Huurtumista pystytään estämään ohjaamalla lämmin poistuva ilma ohituskanavaan, jolloin itse kuution lämpötila tasaantuu. (8.)

Pyörivää lämmön talteenottolaitetta kutsutaan myös regeneratiiviseksi lämmön talteenottolaitteeksi. Regeneratiivisessa lämmön talteenottolaitteessa lämpöä siirretään lämpimästä poistoilmasta kylmään tuloilmaan pyörivän roottorin avulla. Roottoria pyörittää moottori, jonka pyörimisnopeutta muuttamalla pystytään säätämään tuloilmanlämpöä. Regeneratiivisen ohjauksen hyötysuhde on parhaimmillaan jopa 90 prosenttia. Lämmön talteenotto pystytään lopettamaan pysäyttämällä roottorin pyörintä kokonaan ja näin yleensä tehdäänkin kesällä kun tuloilma on itsessään on valmiiksi lämmintä. (8.)

Epäsuoraa nestekierteistä lämmön talteenottolaitetta kutsutaan rekuperatiiviseksi lämmön talteenottolaitteeksi. Rekuperatiivisessa lämmön talteenottolaitteessa lämmönsiirto perustuu ilmakehässä sijoitettuihin pattereihin ja näiden pattereiden väliseen kiertonesteputkistoon. Talteenotto perustuu vesi-glykolinesteeseen joka lämpenee poistoilmakanavan lämpimällä ilmalla. Tämän jälkeen neste kuljetetaan tuloilmakanavan patterille jolloin se lämmittää tuloilmaa. Rekuperatiivisen lämmön talteenottolaitteen hyötysuhde on parhaimmillaan 60 prosenttia. (8.)

4.5 Valaistus

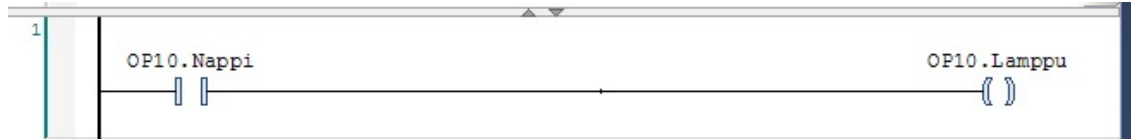
Valaistuksesta pystytään tekemään hyvinkin älykästä automaation avulla. Yksinkertaisella automaatiolla pystytään valaistusta ohjamaan yhtenäisesti eli kaikki valot eri huoneissa ovat saman paneelin hallinnassa. Lisäksi on mahdollista hallinnoida valaistusta etäisesti. Valaistuksesta voidaan tehdä myös hyvinkin energiatehokasta ja taloudellista automaation avulla, kun otetaan huomioon esimerkiksi ulkona oleva valoisuus valoantureiden avulla. On myös mahdollista tallentaa eri valaistuksia ja ottaa ne käyttöön tietyissä tilanteissa. Lisäksi valaistus voidaan ajastaa esimerkiksi niin, että se menee päälle herätyksen aikaan. (9.)

5 Työn toteutus

5.1 Lähtökohdat

Työ tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulu Oy:lle, joka on yksi Suomen isoimmista korkeakouluista. Insinööriyön aiheeksi valikoitui HIL-simulaatio, sillä se on jatkuvasti yleistyvää tekniikka, jota käytetään yhä useammassa projektissa sekä testaus- että suunnitteluvaiheessa. Lisäksi oppilaitoksessa on laajassa käytössä Beckhoffin TwinCAT-ohjelmisto, joten sen käyttäminen työssä oli luontevaa.

Työssä pääasiallisesti ohjelmaksi tuli TwinCAT 3, jonka käytöstä ei aiempaa kokemusta löytynyt, joten ensimmäiseksi tavoitteeksi tuli opetella ohjelman käyttö niin, että sen käyttäminen simulaatioiden luomiseen olisi mahdollista. Tätä varten etsittiin internetistä sopivia tehtäviä, joiden avulla ohjelman asetukset saatiin oikeaksi ja ohjelma itsessään tuli tutuksi. Kuvassa 4 on eräs harjoitustehtävä, jonka avulla tutustuttiin logiikkaan. Siinä on luotu koskettimen ja lähdön sisältämä ohjelma, jossa napin aktivoituessa lamppu syttyy.

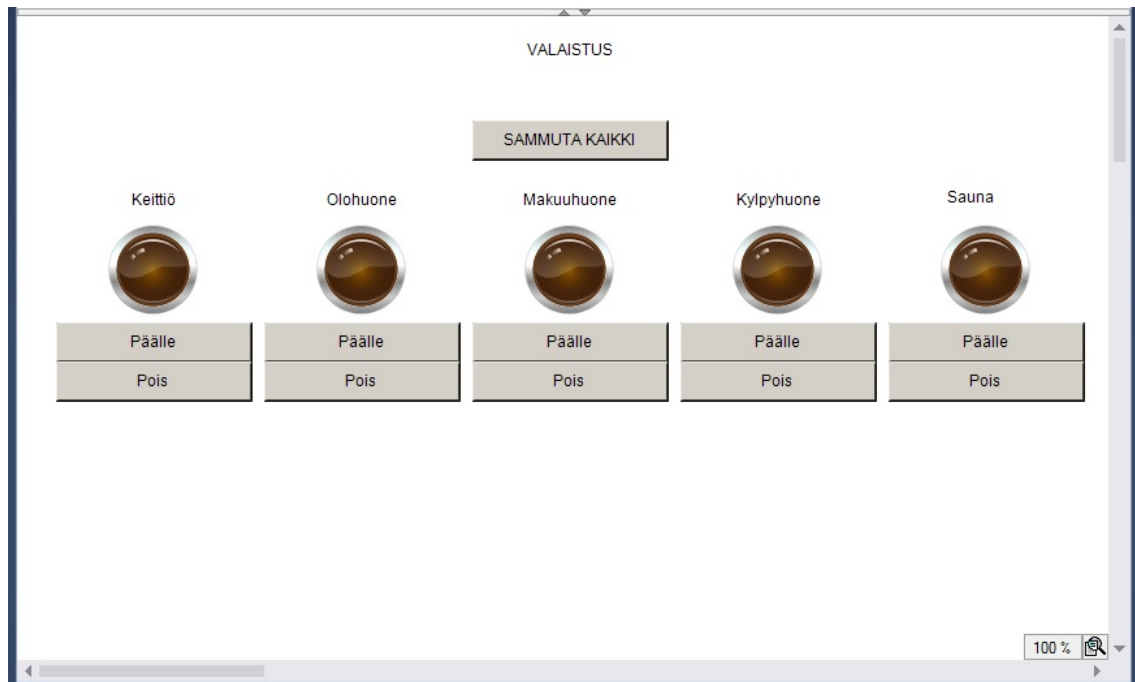


Kuva 4. Harjoitustehtävä jonka avulla TwinCAT 3 -ohjelmaan tutustuttiin. Lamppu syttyy kun nappi aktivoituu.

5.2 Simulaation suunnittelu

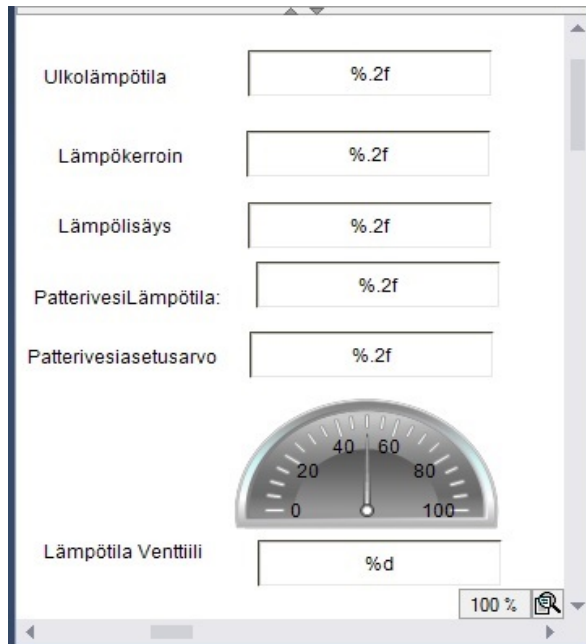
HIL-simulaatiota päätettiin demonstroida simuloimalla kuvitellun talon automaatiojärjestelmää. Tätä pystyttiin näyttämään hyvin TwinCAT 3 -ohjelmasta löytyvän visualisoinnin avulla. Taloautomaatio valittiin simulaation aiheeksi, koska se on jatkuvasti yleistyvää ja se on käytännönläheinen esimerkki, jota iso osa ihmisistä käyttää joka päivä. Taloon päätettiin tehdä valaistus, lämmitys, käyttövesi ja ilmanvaihto automaatiota hyväksi käyttäen. Jokaiselle alueelle valittiin siihen sopiva järjestelmä käytettävissä olevien työkalujen mukaisesti. Taloon tuli keittiö, olohuone, makuuhuone, kylpyhuone ja sauna.

Valaistukseen suunniteltiin joka huoneelle oma katkaisin ja yleiskatkaisin, jonka avulla pystytään sammuttamaan kaikki valot tarvittaessa. Tällä ratkaisulla pystytään käyttämään jokaisen huoneen valoja yksitellen, mutta sen lisäksi kaikki valot pystytään sammuttamaan, jos esimerkiksi kiinteistöstä lähdetään pois. Katkaisin voi olla joko joka kodista löytyvä analoginen katkaisin tai esimerkiksi sähköisen käyttöliittymässä oleva nappi. Kuvassa 5 näkyy ensimmäinen versio valaistuksen käyttöliittymästä.



Kuva 5. Valaistuksen ensimmäinen versio. Lamput ja niiden ohjaukset.

Lämmityksen ohjauksesta suunniteltiin ulkolämpötilaan reagoiva vesikierteinen patteristo. Ulkolämpötilan avulla laskettiin patteriveden lämpötilalle asetusrvo, jota verrattiin patteriveden todelliseen lämpötilaan. Asetusrvon ja todellisen arvon erotuksen mukaan ohjattiin kaukolämpöputkistossa olevaa moottoriventtiiliä, jota ohjaamalla kaukolämmön ja patterien väliselle lämmönvaihtimelle virtaavan veden määrä muuttui. Jos esimerkiksi ulkolämpötila laski, moottoriventtiiliä avattiin hieman, jolloin patteriveden lämpötila kasvoi. Kuvassa 6 on lämmityksen käyttöliittymä.



Kuva 6. Lämmityksen ensimmäinen versio

Lämpimän käyttöveden ohjaus suunniteltiin myös kaukolämmön mukaisesti eli kaukolämpöputkistossa liikkuvan veden avulla lämmitettiin talon käyttövesi. Käyttöveden asetusarvoksi määriteltiin 57–58 °C. Asetusarvon ansiosta putkistossa kiertävä vesi pysyy tarpeeksi lämpimänä, ettei siinä ala kasvamaan bakteeristoja, mutta vesi ei myöskään ole liian kuumaa ja näin ollen polta ihmisten ihoa. Asetusarvoa verrattiin käyttövesi putkistossa virtaavan veden todelliseen arvoon ja tämän mukaan säädettiin kaukolämpöputkistossa olevaa moottoriventtiiliä auki tai kiinni. Kuvassa 7 on käyttöveden käyttöliittymä.



Kuva 7. Lämpimän käyttöveden ensimmäinen versio.

Ilmanvaihdossa päädyttiin tekemään koneellinen poistoilmanvaihto. Poistoilmanpuhaltimen käyntitehoa säädetään niin, että esimerkiksi ruuanlaiton aikaan puhallin käy täydellä teholla. Puhallin on kuitenkin käynnissä koko ajan vähintään puoliteholla. Tuloilma tulee kiinteistöön, joko luonnollisesti erinäisten vuotoaukoista rakennelmissa tai varta vasten tehdyistä tuloilmaventtiileistä. Kuvassa 8 on ilmanvaihdon käyttöliittymä.



Kuva 8. Ilmanvaihdon ensimmäinen versio.

5.3 Simulaation toteutus

5.3.1 Aloitus

Simulaation tekeminen aloitettiin luomalla uusi TwinCAT XAE -projekti. Tarkoituksena oli ensin tehdä simulaatio vain yhdelle koneelle ja vasta tämän jälkeen luoda HIL-simulaatio toiselle. Tämän jälkeen projektiin luotiin sen oma virtuaalinen PLC. Samalla kun luodaan uusi PLC, TwinCAT luo automaattisesti uuden ohjelman nimeltään MAIN POU:hun. POU:ssa sijaitsee projektin logiikka. MAIN-ohjelma luodaan, jotta TwinCAT voi luoda PLC:lle PlcTaskin. PlcTaskin tehtävä on suorittaa PLC-ohjelmaa. PlcTaskin asetuksista pystytään säätämään mm. kuinka usein sekunnissa ohjelma suoritetaan.(10.)

Seuraavaksi konfiguroitiin projektin reaaliaikaiset asetukset. Kun TwinCAT ohjelmaa suoritetaan tulee sen tapahtua reaaliaikaisesti, jotta muut Windowsin ohjelmat eivät estäisi logiikan toteuttamista. Tämän välttämiseksi ohjelmaa suoritetaan käyttöjärjestelmän kernelissä eli samassa paikassa, missä käyttöjärjestelmän tärkeimpiä tehtäviä suoritetaan. Tämän ansiosta ohjelmalla on käytössä kaikki mahdolliset tietokoneen

resurssit. Kuvassa 9 on talosimulaation reaaliaika-asetukset. Ylemmässä ikkunassa on tietokoneen prosessoriytimet, näistä ytimistä kaksi viimeisintä eli kaksi ja kolme ovat projektin käytössä ja kaksi ensimmäistä eli nolla ja yksi ovat Windowsin normaalissa käytössä. Alemmassa ikkunassa on projektin suoritettavat tehtävät. PlcTask on sama joka syntyi PLC:n luomisessa. I/O Idle Task on I/O-laitteen tehtävä ja PlcAuxTask on huoltotehtävä. Tässä tapauksessa kaikkia tehtäviä suoritetaan ytimellä kaksi, mutta ne voisi jakaa myös kolmannelle.(10.)

The screenshot shows the 'Settings' window with tabs for 'Online', 'Priorities', and 'C++ Debugger'. The 'Priorities' tab is active, displaying configuration for Router Memory (32 MByte) and Available CPUs (2 Windows/Isolated). Below are two tables:

CPU	RT-CPU	Base Ti...	CPU Limit	Latency Warning
0 (Windows)	<input type="checkbox"/>			
1 (Windows)	<input type="checkbox"/>			
2 (Isolated)	<input checked="" type="checkbox"/> Default	1 ms	100 %	(none)
3 (Isolated)	<input checked="" type="checkbox"/>	1 ms	100 %	(none)

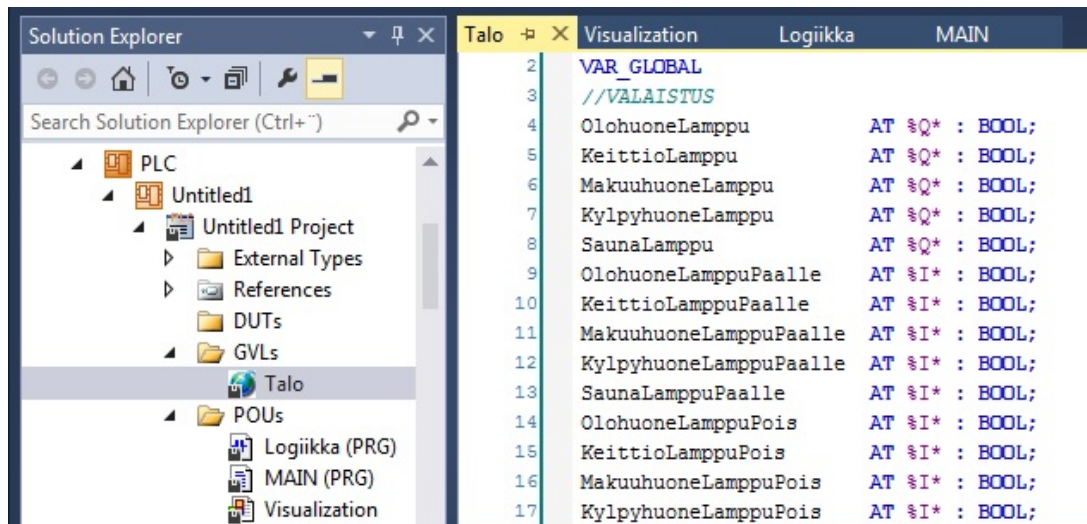
Object	RT-CPU	Base Time (ms)	Cycle Time (...)	Cycle Ticks	Priority
I/O Idle Task	Default (2)	1 ms	1 ms	1	11
PlcTask	Default (2)	1 ms	10 ms	10	20
PlcAuxTask	Default (2)	1 ms	(none)	0	50

Kuva 9. Talosimulaation reaaliaikaiset asetukset.

5.3.2 Logiikka

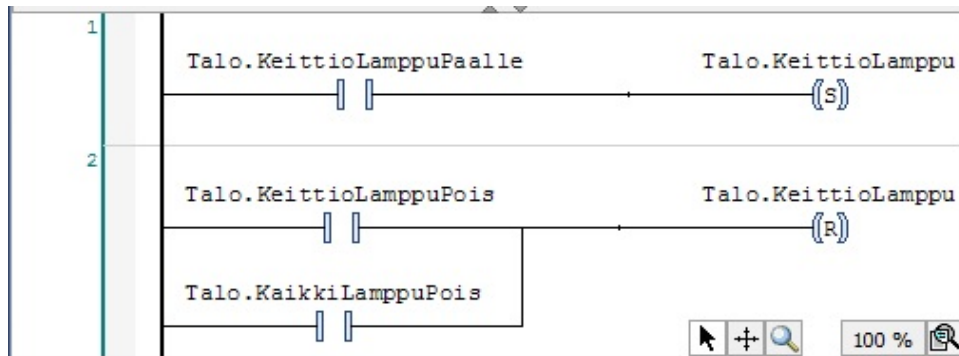
Seuraavaksi projektiin luotiin muuttujat ja logiikka. TwinCATissa muuttujat luodaan muuttujalistalle, joka luodaan GVLs (Global variable lists) -kansioon. Muuttujat luodaan yksitellen kirjoittamalla ne muuttujalistalle VAR_GLOBAL ja END_VAR komentojen väliin. Muuttujat tulee erottaa puolipisteellä. Muuttuja nimetään ensin halutuksi, jonka jälkeen määritellään, onko se tulo vai meno. Jos muuttuja on tulo, tulee muuttujan nimen jälkeen teksti "AT I*" ja jos kyseessä on meno tulee nimen jälkeen "AT Q*". Tämän jälkeen tulee muuttujan tyyppi erotettuna kaksoispisteellä. Muuttuja voi olla esimerkiksi kokonais- tai reaalityyppinen muuttuja. Rivin loppuun tulee puolipiste, jonka jälkeen

voi luoda seuraavan muuttujan. GVL:ssä olevat muuttujat ovat käytössä kaikilla ohjelmissa, mutta ohjelmille voi myös määrittellä omia muuttujia, jotka ovat vain sen ohjelman käytössä. Logiikkaa varten luodaan uusi ohjelma POU-kansioon. TwiCAT tukee standardin IEC 61131-3 mukaisia ohjelmointikieliä. Insinööriyössä käytettiin ladder diagrammia ohjelmointikielenä. Kuvassa 10 näkyy muuttujia ja PLC:n rakenne, logiikka mukaan luettuna. (11.)



Kuva 10. Talosimulaation valaistuksen muuttujia. Vasemmalla on PLC:n rakenne muuttujalis-toineen ja logiikoinen.

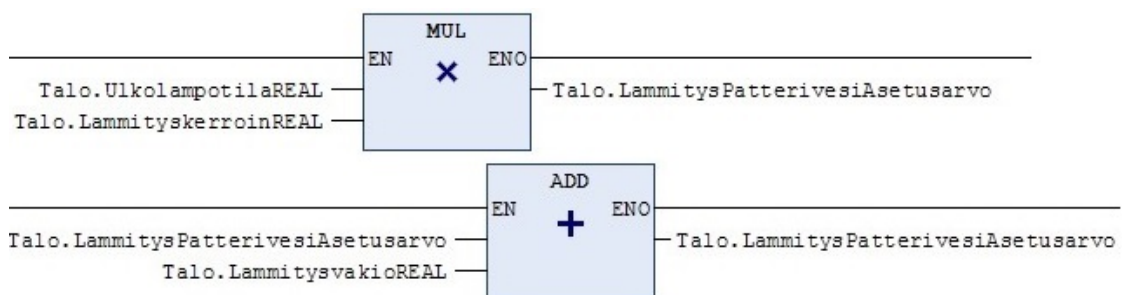
Logiikkaa lähdettiin ohjelmoimaan valaistuksesta. Valaistukseen tuli alkuvaiheessa yksinkertainen kytkin- ja lähtökombinaatio. Jokaisen huoneen valaistus tuli päälle huoneen päälle-kytkintä painaessa ja sammui painamalla, joko jokaisen huoneen omaa pois-kytkintä tai kaikki valot sammuttavaa yleiskytkintä. Tähän tarkoitukseen sopi parhaiten asetus- ja nollauslähdet. Näiden avulla lamppu asettuu päälle, kunnes se saa nollaus käskyn. Kuvassa 11 on ensin lampun päälle asettaminen. Kun painetaan keittiön päälle-kytkintä, asettuu keittiön lamppu päälle. Alemmassa osassa keittiön lamppu vuorostaan nollataan käyttämällä joko keittiön omaa pois-kytkintä tai yleiskytkintä. Muiden huoneiden valaistus ohjelmoitiin samalla tavalla.



Kuva 11. Kuvassa keittiön lampun sytyttäminen ja sammuttaminen.

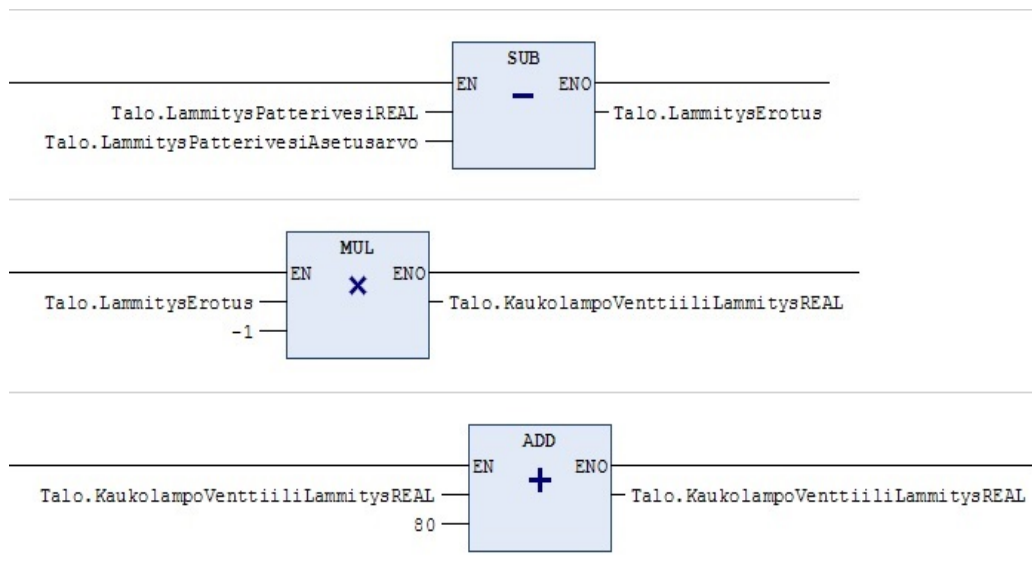
Seuraavaksi ohjelmoitiin talon lämmitys. Lämmityksessä säädettiin kaukolämmityksen venttiilin asentoa, joka päästää lämpimän kaukolämpöveden lämmönvaihtimelle. Venttiilin asentoa ohjattiin ulkolämpötilan muutoksien mukaan, tätä varten ohjelmoitiin säätökäyrä, jonka mukaan laskettiin patteriveden asetusarvo. Patteriveden lämpötilan asetusarvoa verrattiin oikeaan lämpötila-arvoon ja tämän mukaan säädettiin kaukolämmön venttiiliä, joko auki tai kiinni.

Kuvassa 12 on patteriveden asetusarvon laskeminen. MUL on lyhenne englannin kielen sanasta multiple, joka tarkoittaa kertomista, ja ADD taas on suoraan käännettynä lisäämistä. Ulkoilman lämpötila on tässä tapauksessa simuloitu, mutta oikeassa tilanteessa se tulisi lämpöanturilta. Tämän jälkeen ulkolämpötilaa on kerrottu lämpökerroin muuttujalla jota pystytään muuttamaan käyttöliittymästä. Kertomalla saatu asetusarvo on sijoitettu LammitysPatteriAsetusarvo-muuttujaan. Lopuksi asetusarvoon on lisätty lammitysvakio niminen muuttuja, jolloin on saatu lopullinen asetusarvo patteri vedelle. Lämmityskerroin ja lammitysvakio muodostavat laskevan suoran, jossa muuttujana toimii ulkolämpötila ja tuloksena saadaan asetusarvo. Tämä tarkoittaa sitä että kun lämpötila laskee niin asetusarvo nousee.



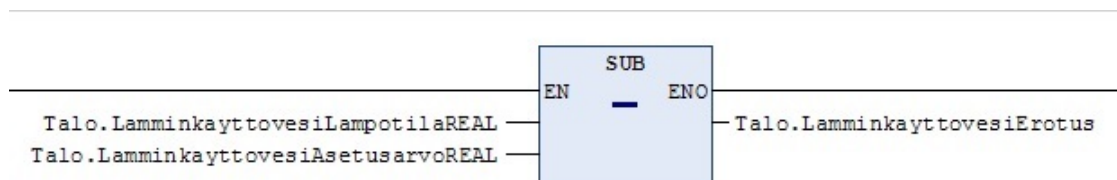
Kuva 12. Patteriveden lämpötilan asetusarvon laskeminen.

Kuvassa 13 on kaukolämmön venttiilin ohjaus. Kun patteriveden asetusarvo on saatu laskettua, sitä verrataan patteriveden todelliseen lämpötilaan. Käyttämällä SUB (subtraction) eli komentoa vähennyslasku, näin saadaan todellisen lämpötilan ja asetusarvon erotus. Tämän jälkeen erotuksen avulla lasketaan, kuinka paljon kaukolämpöventtiiliin tulisi aueta tai sulkeutua, jotta todellinen lämpötila vastaisi asetusarvoa.



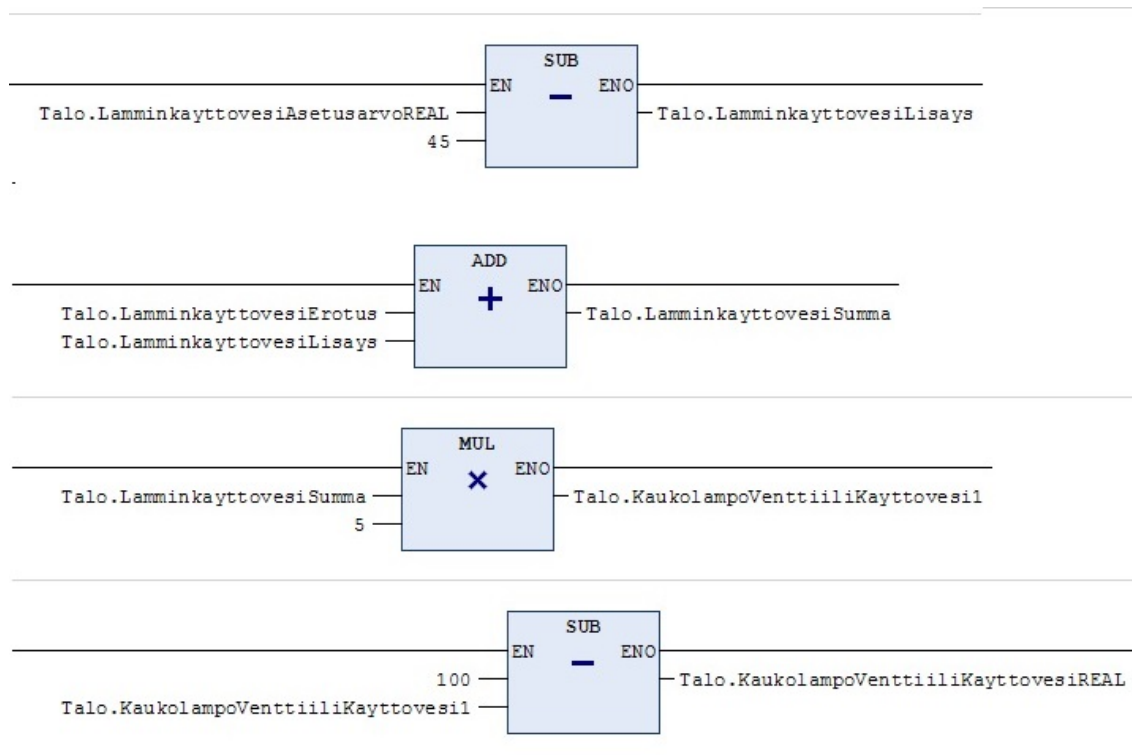
Kuva 13. Kaukolämpöventtiilin ohjaus.

Lämmityksen jälkeen ohjelmoitiin lämpimän käyttöveden logiikka. Käyttöveden logiikassa ohjataan myös kaukolämpöventtiiliä, joka päästää lämmintä vettä käyttöveden lämmönvaihtimeen. Sen sijaan, että venttiiliä ohjattaisiin ulkolämpötilan mukaan, sitä ohjataan vertaamalla lämpimän käyttöveden asetusarvoa putkistossa virtaavan veden todelliseen arvoon. Kuvassa 14 on verrattu asetusarvon ja todellisen lämpötilan eroa vähentämällä todellisesta arvosta asetusarvo. Asetusarvo on 57–58 °C ja todellinen arvo 45–64 °C.



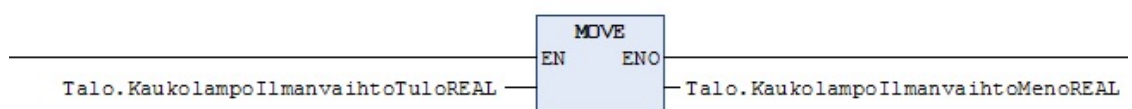
Kuva 14. Lämpimän käyttöveden asetusarvon ja todellisen arvon vertaus.

Kuvassa 15 on vuorostaan laskettu venttiilin muutos. Koska kyseessä on simulaatio on arvot laskettu valmiiksi, todellisessa tilanteessa arvot tulisi mitata. Ensimmäisellä rivillä on vähennetty todellisen lämmön alaraja asetusarvosta. Tämä tehdään siksi, että saadaan 45–65 sijaan vaihteluväli 0–20. Tämän jälkeen kyseinen muuttuja on lisätty aiemmin laskettu asetusarvon ja todellisen erotus, jolloin ollaan saatu arvo 0–20 väliltä. Tämä arvo on skaalattu lopuksi välille 0–100 kertomalla sitä viidellä. Lopuksi saatu arvo väliltä 0–100 on vähennetty sadasta, sillä kun veden todellinen arvo nousee tulisi venttiilin sulkeutua ja päinvastoin kun todellinen arvo laskee.



Kuva 15. Lämpimänkäyttöveden kaukolämpöventtiilin muutoksen laskeminen.

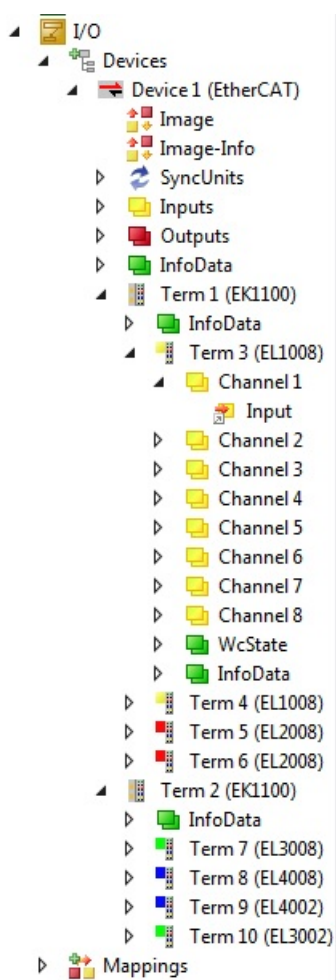
Viimeisimpänä logiikkaan ohjelmoitiin ilmanvaihto. Ilmanvaihdon simulaatiossa ohjattiin vain poistoilmapuhaltimen tehokkuutta. Sisäntuloilma tulee simulaatiossa rakennuksessa olevilla luonnollisilla ilmanvuodoilla. Kuvassa 16 on poistoilmapuhaltimen logiikka, eli säätimeltä saatu arvo sijoitetaan muuttujaan joka on ilmanvaihtopuhaltimen teho.



Kuva 16. Ilmanvaihdon logiikka.

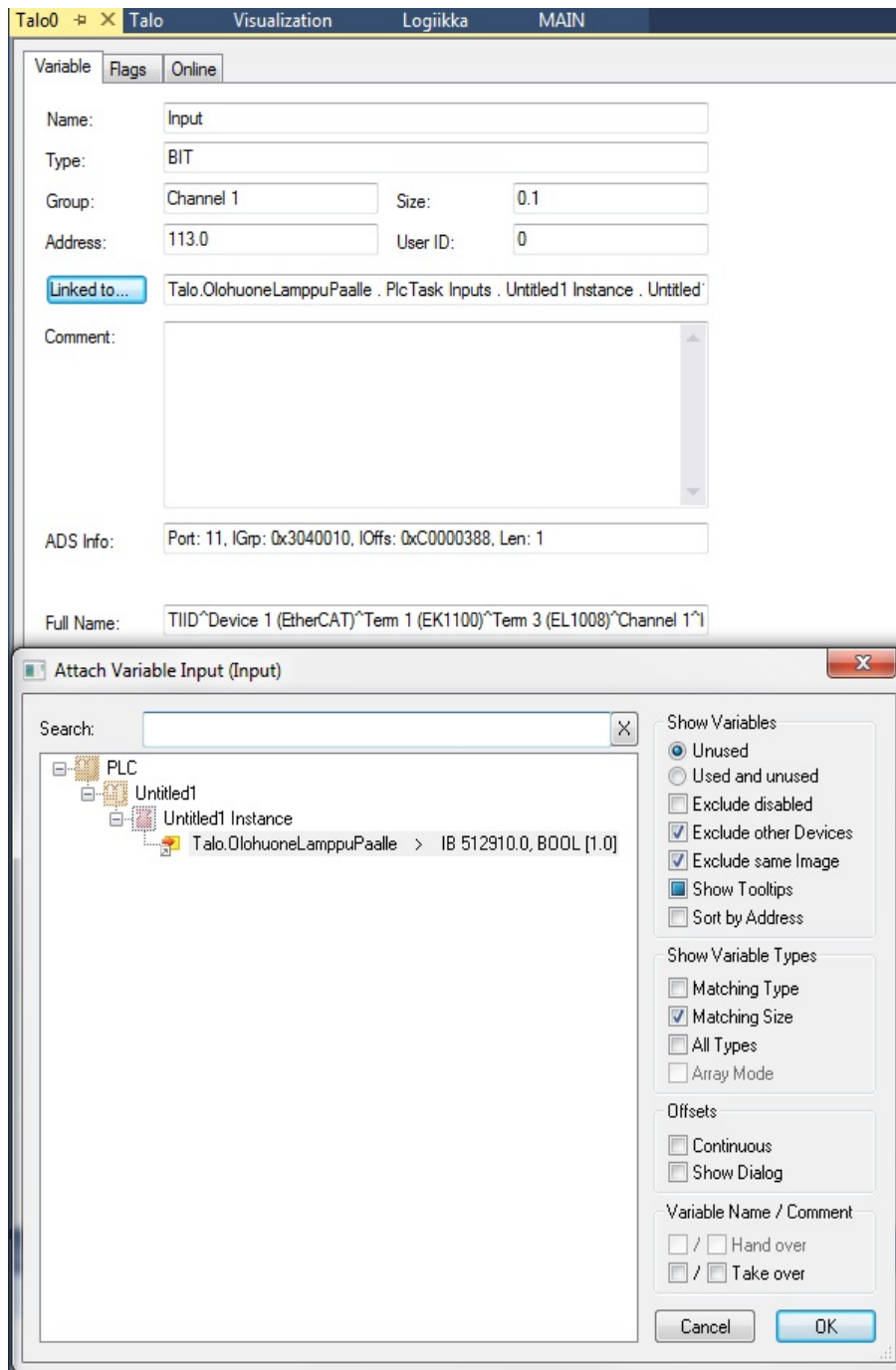
5.3.3 I/O-laitteet

Jokaisen logiikka osa-alueen valmistuttua, niitä testattiin ohjelman sisäisesti. Kun logiikka oli todettu toimivaksi luotiin projektiin muuttujia varten I/O-laitteisto. Kuvassa 17 on projektin I/O-laitteiston läpileikkaus. Ensimmäisenä projektiin lisättiin Device 1, joka on EtherCAT-isäntälaitte. Tämän jälkeen laitteeseen lisättiin TERM 1 ja TERM 2. Molemmat TERMit ovat EK1100 laitteita, joiden avulla EtherCAT-isäntä voidaan kytkeä EtherCAT-termiinaaleihin. TERM 1:een liitetyt liittimet eli TERM 2-5 ovat, joko mallia EL1008 tai EL2008. EL1008 on digitaalisia tuloja varten ja EL2008 digitaalisia menoja varten. TERM 7:ään liitetyt TERM 7-11 ovat analogisia tuloja ja menoja varten. EL3008 ja EL3002 ovat tuloja. EL4008 ja EL4002 ovat menoja. Viimeinen numero mallin lopussa viittaa käytössä oleviin kanavapaikkoihin.



Kuva 17. Projektin I/O-laitteisto.

Kuvassa 18 näkyy terminaalien rakenne: jokaisella terminaalilla on kanavia, joihin tulot ja menot kytketään. Kuvassa 18 on ylempänä valikko joka avautuu kun avataan edellisessä kuvassa (kuva 17) näkyvä input. Kun halutaan liittää muuttuja haluttuun menoon tai tuloon painetaan "linked to" -näppäintä. Tämä avaa kuvassa alempana näkyvän valikon, josta löytyy kaikki PLC:n käytössä olevat muuttujat. Tässä tapauksessa kaikki muuttujat ovat jo liitetty toisiin kanaviin, joten kuvassa näkyy vain kyseisen kanavan käytössä oleva muuttuja. Lisäksi analogiset muuttujat eivät näy digitaalisten terminaalien muuttuja valikoissa.

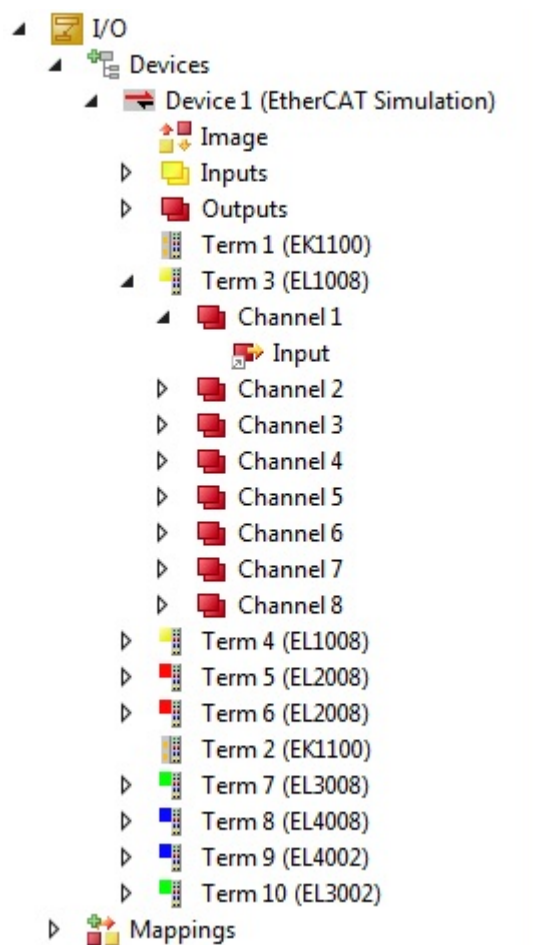


Kuva 18. Ylempänä kanavan hallinta ja alempana muuttujan liittämismenettely.

5.4 Hardware-in-the-Loop-simulaatio

Kun muuttujat, logiikka ja I/O-laitteisto oli saatu valmiiksi pystyttiin tekemään HIL-simulaatio. HIL-simulaation luominen aloitettiin luomalla EtherCAT-isäntä laitteesta asetustiedosto. Tämän jälkeen luotiin uusi TwinCAT 3 -projekti HIL-simulaatiota varten.

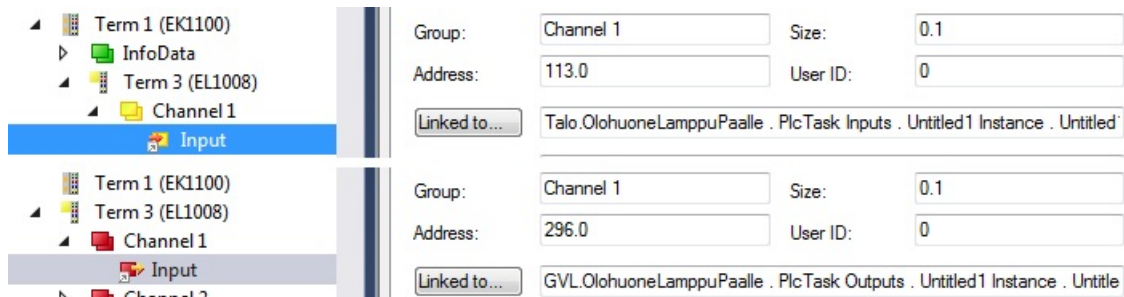
Tämän projektin I/O-laitteeksi tuli EtherCAT-isännän sijaan EtherCAT-simulaatiolaitte. EtherCAT-simulaatiolaitteeseen tuotiin aiemmin luotu asetustiedosto. Kuvassa 19 näkyy EtherCAT-simulaatiolaitteen rakenne, mutta kuten huomataan ovat TERM 3:n tulo-kanavat muuttuneet menokanaviksi. Tämä mahdollistaa HIL-simulaation. Kun alkuperäinen projekti tarvitsee esimerkiksi ulkolämpötilaa, on sen muuttuja alkuperäisessä projektissa tulo, mutta koska EtherCAT-simulaatiolaitteen täytyy toimittaa ulkolämpötila alkuperäiselle projektille, on muuttuja tässä projektissa meno.



Kuva 19. HIL-simulaatio-projektin I/O-laitteisto.

Kun I/O-laitteisto oli luotu alettiin suunnittelemaan muuttujia. Muuttujien nimeäminen ei vaikuta HIL-simulaatioon, vaan simulaatio-projektin muuttujat voivat olla minkä nimisiä tahansa. Tärkeintä muuttujien luomisessa on se, että ne ovat oikeassa kanavassa ja terminaalissa I/O-laitteella. Esimerkiksi jos alkuperäisessä projektissa tarvitaan signaali lampun päälle menoa varten, tulee muuttujan aktivoida simulaatiossa menokanava, joka vastaa alkuperäisen projektin samaa tulo kanavaa. Kuvassa 20 on alempana si-

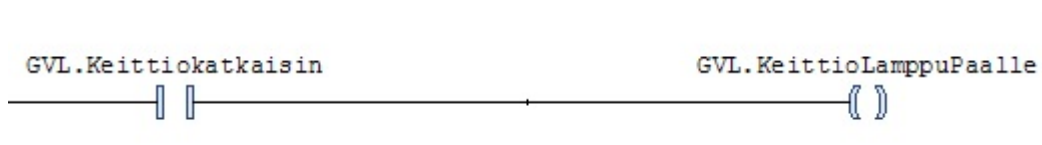
mulaation ensimmäinen menokanava. Kun muuttuja GVL.OlohuoneLamppuPaalle aktivoituu, lähettää kanava viestin ylemmän eli alkuperäisen projektin kanavaan yksi. Kun tämä tulokanava aktivoituu, myös muuttuja TalO.OlohuoneLamppuPaalle alkuperäisessä logiikassa aktivoituu.



Kuva 20. Alkuperäisen projektin ja simulaatio-projektin terminaali yhden ensimmäisten kanavien muuttujat.

Kun I/O-laitteisto ja muuttujat oli saatu valmiiksi simulaatio-projektiin, alettiin tekemään tämän projektin logiikkaa. Uuden projektin tehtävänä oli simuloida oikeita arvoja ja hallintalaitteita. Lisäksi projektiin tuli visuaalinen käyttöliittymä. Esimerkiksi kun käyttäjä painaa päälle näppäintä simulaatio-projektissa lähettää projekti signaalin alkuperäiselle projektille. Logiikka toimii saadun signaalin mukaisesti eli tässä tapauksessa lähettää lampun signaalin takaisin simulaatio-projektille, jonka käyttöliittymässä lamppu syttyy.

Kuten alkuperäisessä projektissa, myös simulaatio-projektissa tehtiin ensiksi valaistuksen logiikka. Koska alkuperäisen projektin logiikassa oli ohjelmoitu lampujen toiminta (Kuva 11) tuli simulaatio-projektiin vain pois- ja päälle-komentojen aktivointi. Kuvassa 21 on HIL-simulaatiopuolen valaistus-logiikka. Kun käyttöliittymästä painetaan päälle näppäintä aktivoituu muuttuja GVL.Keittiokatkaisin ja GVL.KeittioLamppuPaalle. Kun GVL.KeittioLamppuPaalle aktivoituu lähettää se signaalin alkuperäisen projektin logiikalle (Kuva 11), tämä vuorostaan aktivoi lampun, joka syttyy simulaation käyttöliittymässä.



Kuva 21. Simulaatio-projektin valaistuksen logiikka.

Lämmityksen, lämpimänkäyttöveden ja ilmanvaihdon logiikka koostuu vain tarvittavien arvojen lähettämisestä ja lukemisesta alkuperäiselle logiikalle. Lämmityksessä alkuperäinen logiikka tarvitsee ulkolämpötilan, säätökertoimen ja säätövakion. Näiden arvojen avulla alkuperäisen projektin logiikka laskee asetuseron patterivedelle. Lisäksi simulaatiossa simuloidaan patteriveden todellista lämpöä, joka myös lähetetään alkuperäiselle projektille. Verrattuaan asetuservoa ja todellista lämpötilaa alkuperäinen projekti toimittaa simulaatiolle säätöventtiilin arvon, joka näkyy käyttöliittymässä.

Lämpimänkäyttöveden ja ilmanvaihdon simuloinnin säätö on hyvin saanalainen lämmityksen kanssa. Käyttöveden kohdalla alkuperäiseen logiikkaan toimitetaan veden lämpötilan asetuservo ja todellinen arvo. Alkuperäinen logiikka vertaa näitä kahta arvoa keskenään ja toimittaa simulaatiolle säätöventtiilin arvon. Ilmanvaihdossa alkuperäiselle logiikalle toimitetaan haluttu venttiilin tehokkuus ja alkuperäinen logiikka toimittaa takaisin poistoilmapuhaltimen tehokkuuden arvon.

Käyttöliittymä

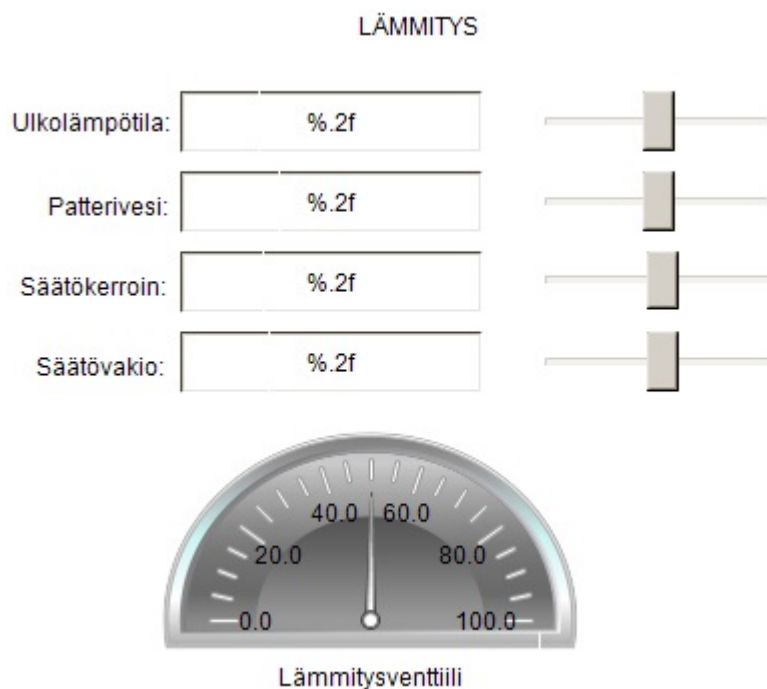
Kun logiikka ja I/O oli saatu kuntoon, simulaatiossa luotiin simulaation käyttöliittymä. Käyttöliittymän luomiseen käytettiin TwinCAT 3 -ohjelman visualisointi-toimintoa. Ensimmäisenä luotiin valaistuksen käyttöliittymä. Kuvassa 22 on valaistuksen hallinta. Jokaiselle huoneelle on oma lamppu ikoninsa, joka indikoi onko lamppu päällä vai sammuksissa. Jokaiselle lampulle on oma ohjauksensa. Lisäksi on olemassa yleiskytkin, joka sammuttaa kaikki lamput.



Kuva 22. Valaistuksen hallinta ja simulointi.

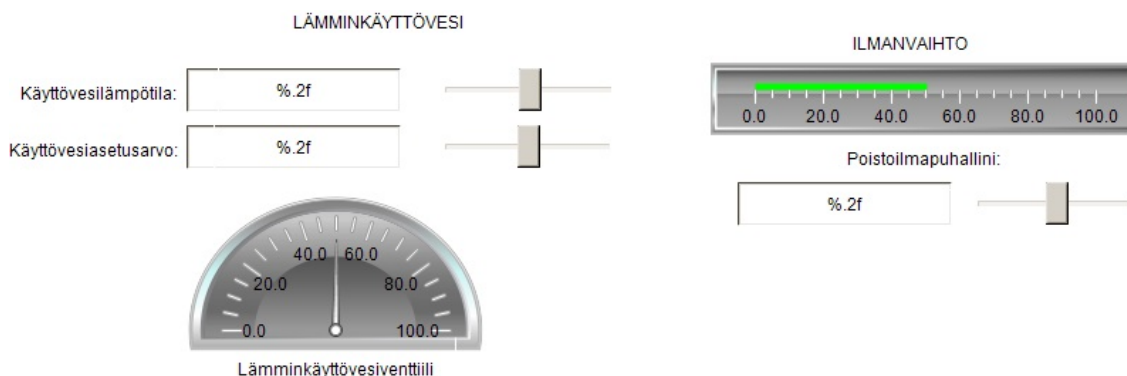
Valaistuksen jälkeen luotiin lämmityksen käyttöliittymä simulaatiota varten. Lämmityksen säätöä varten käytettiin liukusäätimiä, sekä tekstikenttiä joissa oli säädettävän

muuttujan sen hetkinen arvo. Lisäksi käytettiin 180°:n mittaria näyttämään säätöventtiilin tila. Kuvassa 23 on lämmityksen käyttöliittymä. Ensimmäisenä on ulko- ja patteriveden lämpötila, näitä arvoja simuloidaan logiikalle, oikeassa käytössä arvot mitattaisiin. Seuraavaksi on säätimen muuttujat eli kerroin sekä vakio ja lopuksi venttiilin tilaa kuvaava mittari.



Kuva 23. Lämmityksen hallinta ja simulointi.

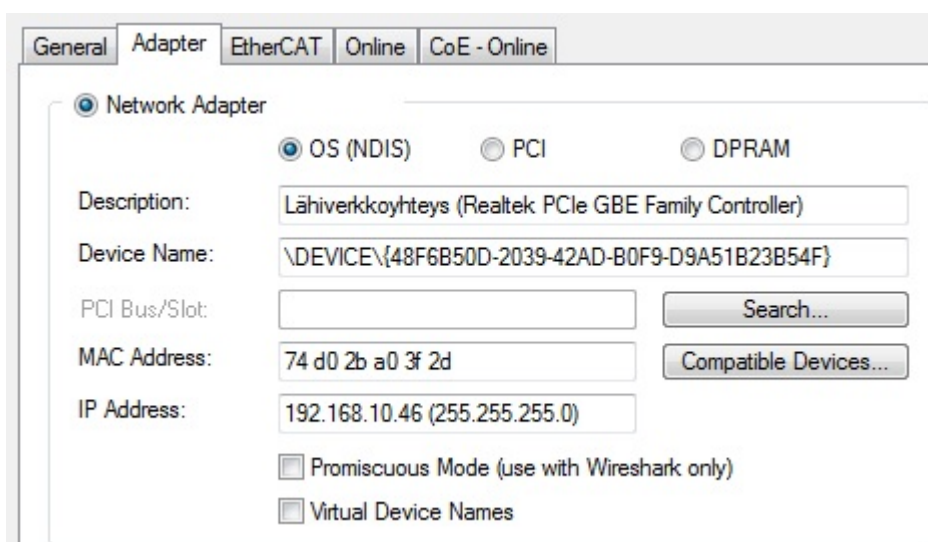
Lämpimän käyttöveden ja ilmanvaihdon muuttujien säätö toteutettiin samoilla säätimillä ja tekstikentillä. Lisäksi käyttöveden venttiilin arvon kuvaamisen käytettiin 180°:n mittaria. Ilmanvaihdon poistoilmanpuhaltimen tilaa näytettiin puolestaan vaakasuoraa pylväsdiagrammia. Kuvassa 24 on vasemmalla käyttöveden säätö ja oikealla ilmanvaihdon. Käyttöveden säätöä varten on kaksi muuttujaa, haluttu asetusarvo ja simuloitu lämpötila, sekä säätöventtiilin tilaa kuvaava mittari. Ilmanvaihdossa on poistoilmapuhaltimen tehokkuuden säätö sekä arvoa kuvaava pylväsdiagrammi.



Kuva 24. Lämpimänkäyttöveden ja ilmanvaihdon hallinta ja simulointi.

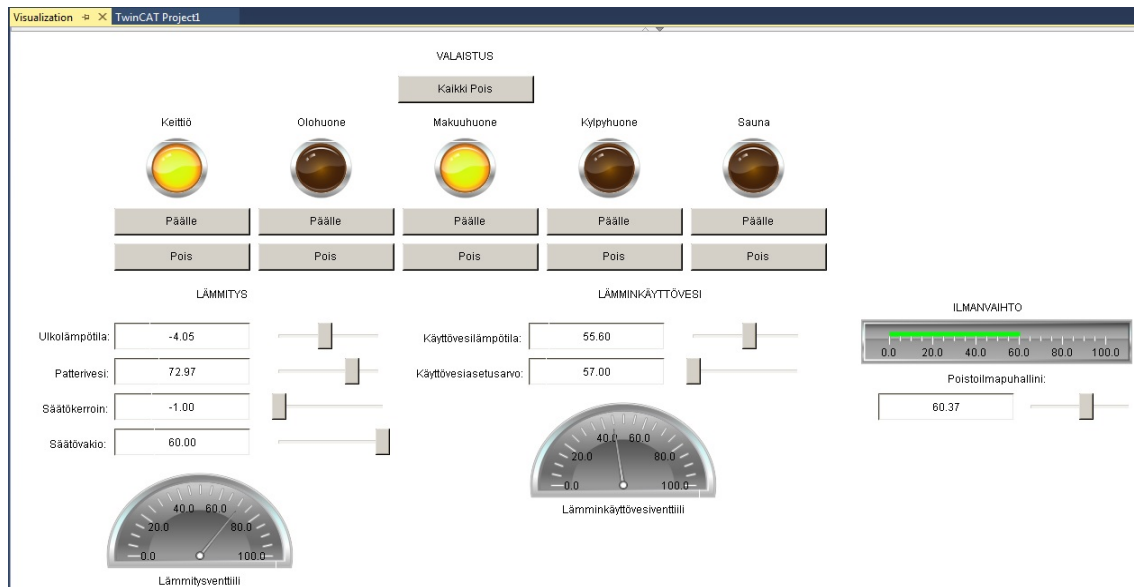
5.5 Hardware-in-the-Loop-simulaation toteutus

Kun käyttöliittymä ja logiikka oli saatu luotua simulaatio-projektiin, pystyttiin toteuttamaan HIL-simulaatio. Ensimmäiseksi simulaatio-projekti siirrettiin toiselle tietokoneelle ja nämä kaksi tietokonetta yhdistettiin ethernet-kaapelilla. Tämän jälkeen molempiin projekteihin asetettiin EtherCAT-laitteiden yhteydet kuntoon. Kuvassa 25 on logiikka-projektin laitteen asetukset. Asetukset saatiin oikeaksi asentamalla ensin yhteensopivat laitteet ja tämän jälkeen ottamalla ne käyttöön. Alempana kuvassa on osoitteet, joita projekti käyttää yhteyden luomiseen. Sama toistettiin toisella tietokoneella, joka sai omat osoitteensa.



Kuva 25. Logiikkaprojektin EtherCAT-laitteen asetukset.

Kun yhteysasetukset oli saatu luotua aktivoitiin simulaatio-projektin kokoonpano ensin. Tämän jälkeen aktivoitiin logiikan kokoonpano. Seuraavaksi kirjauduttiin simulaatioon ja logiikkaan. Kuvassa 26 on simulaatio-projektin käyttöliittymä simulaation ollessa käynnissä. Kuvasta nähdään esimerkiksi että ulkolämpötila on noin $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja patteriveiden lämpötila noin $73\text{ }^{\circ}\text{C}$, sekä säätöventtiili on noin 70 % auki. Lisäksi kuvasta nähdään esimerkiksi, että keittiön ja makuuhuoneen lamput ovat päällä.



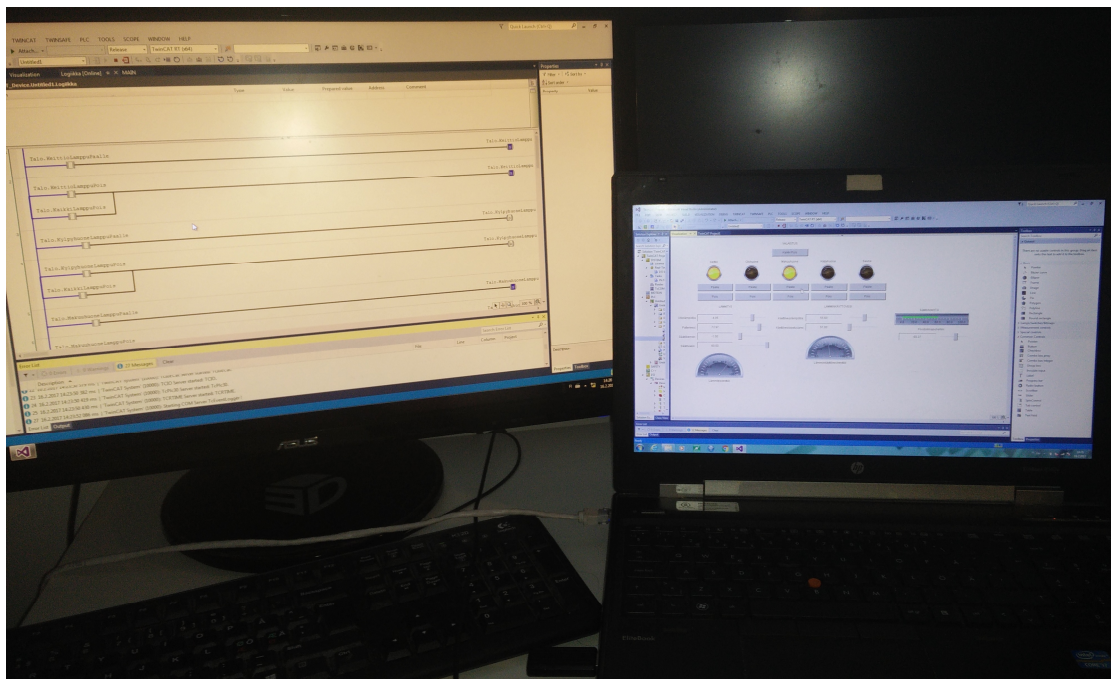
Kuva 26. Simulaation käyttöliittymä.

Kuvassa 27 on logiikkapuolelta kuvattuna keittiölampun logiikan toiminta. Simulaatio puolelta on painettu päälle-näppäintä, jolloin Talo.KeittioLamppuPaalle on aktivoitunut ja asettanut Talo.KeittioLamppu:n päälle. Kun muuttuja Talo.KeittioLamppu on aktivoituneena lähettää se signaalin simulaatioon, jolloin käyttöliittymän lamppu syttyy kuten kuvassa 26.



Kuva 27. Keittiönlampun logiikka toiminnassa.

Kuvassa 28 on HIL-simulaatio toiminnassa. Käytössä on pöytäkone, josta näkyy vain näyttö, sekä kannettava tietokone. Tietokoneet on kytketty toisiinsa käyttäen ethernet-kaapelia. Kuvassa on sama tilanne kuin kuvissa 26 ja 27. Pöytäkone pyörittää logiikka-projektia ja kannettava tietokone HIL-simulaatioprojektia.



Kuva 28. HIL-simulaatio toiminnassa kahdella tietokoneella.

6 Pohdintoja

Insinööriyön tavoitteena oli perehtyä ja luoda HIL-simulaatio Beckhoffin ympäristössä. HIL-simulaatioon perehdyttiin eri internet-artikkeleiden kautta ja simulaation käyttämisestä eri tilanteissa syntyi hyvä yleiskuva. Beckhoffin TwinCAT 3 -ohjelma oli kokonaan uusi versio aiemmin käytetystä, joten ohjelmaan tutustuminen piti aloittaa perustekijöistä.

Simulaatioesimerkin aiheeksi valittiin taloautomaatio-laitteiston simulointi. Aihe valikoitui koska yhä useampi talo sisältää jonkin asteista automaatiota. Taloautomaatiosta ei kuitenkaan aiempaa kokemusta löytynyt joten aiheeseen piti tutustua eri lähteiden avulla. Simulaation toteutus itsessään sujui ongelmitta ja esimerkiksi yhteyden luonti kahden koneen välille onnistui heti.

Työn simulaatioesimerkki haluttiin pitää yksinkertaisena ja helposti ymmärrettävänä vaikka monimutkaisempiakin taloautomaatio-laitteistoja on olemassa. Käyttöliittymästä saatiin helppolukuinen, mutta kuitenkin siitä löytyi kaikki tarvittava tieto ja säätö.

Työ onnistui tavoitteissaan eli perehtymisessä HIL-simulaatioon ja simulaation luomisessa, sekä käyttämisessä. Aikataulu venyi hieman yli odotusten johtuen TwinCAT 3 -ohjelman eroavaisuudesta aiemmin käytössä olleeseen versioon ja taloautomaation ratkaisuihin tutustumisen venymisestä.

Lähteet

- 1 What is hardware in the loop simulation. Verkkodokumentti. Applied dynamics international. <<http://www.adi.com/technology/tech-apps/what-is-hardware-in-the-loop-simulation/>> Luettu 12.12.2016.
- 2 What is HIL testing?. Verkkodokumentti. Controllab Products < <http://www.hil-simulation.com/home/hil-testing.html/>> Luettu 1.10.2016.
- 3 Why use hardware in the loop simulation. Verkkodokumentti. Applied dynamics international. <<http://www.adi.com/technology/tech-apps/why-use-hardware-in-the-loop-simulation/>> Luettu 12.12.2016.
- 4 Beckhoff. Verkkodokumentti. Beckhoff Automation GmbH & Co. KG. <<http://www.beckhoff.fi/fi/default.htm?beckhoff/default.htm/>> Luettu 13.12.2016.
- 5 EtherCAT - The ethernet fieldbus. Verkkodokumentti. EtherCAT Technology Group <<https://www.ethercat.org/en/technology.html>> Luettu 13.12.2016.
- 6 EtherCAT demo. Verkkodokumentti. Xelmo < <http://www.xelmo.com/products-services/industrial-solutions/ethercat-soc-demo.html>> Luettu 1.10.2016.
- 7 TwinCAT 3 extended automation. Verkkodokumentti. Beckhoff Automation GmbH & Co. KG <<https://www.beckhoff.com/english.asp?twincat/twincat-3.htm> > Luettu 14.12.2016.
- 8 Suomäki, Jorma & Vepsäläinen, Sami. 2013. Talotekniikan automaatio - Käyttäjän opas. Helsinki: Kiinteistöalan kustannus oy.
- 9 EL Distribution Oy. Verkkodokumentti. EL Distribution Oy <<http://www.easylivin.fi/control4-automaatiojarjestelmaratkaisut-taloautomaatioon/valaistuksen-ohjaus.html>> Luettu 12.12.2016.
- 10 TwinCAT 3 Tutorial: Quick Start. Verkkodokumentti. <<http://www.contactandcoil.com/twincat-3-tutorial/quick-start/>> Luettu 01.10.2016
- 11 Beckhoff. Verkkodokumentti. Beckhoff Automation GmbH & Co. KG <<https://www.beckhoff.com/english.asp?twincat/tc1200.htm?id=1890306418903761>> Luettu 2.2.2017.

