

Jarkko Brunou

# Simulink-mallien käyttö TwinCAT 3 XAE -projektissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinööriytyö

31.5.2016

|   |  |
|---|--|
| Tekijä(t)<br>Otsikko  | Jarkko Brunou<br>Simulink-mallien käyttö TwinCAT 3 XAE-projektissa |
| Sivumäärä<br>Aika   | 39 sivua<br>31.5.2016  |
| Tutkinto  | Insinööri (AMK)  |
| Koulutusohjelma   | Automaatiotekniikka  |
| Suuntautumisvaihtoehto  |  |
| Ohjaaja(t)  | Lehtori Markku Inkinen<br>Avainasiakaspäällikkö Ville Hopponen     |
| <p>Insinööriyön tavoitteena oli tutustua Beckhoffin TwinCAT 3 XAE:n MATLAB- ja C++-integraatioon. Tavoitteena oli myös luoda tämän aiheen ympärille toimintaohje, jota näiden ohjelmien uudet käyttäjät voisivat käyttää esimerkkinä ja ohjeena. Lisäksi tarkoituksena oli tutkia mahdollisuuksia toteuttaa samankaltaisia toimintoja open source -laskentaohjelma Scilabilla.</p> <p>Työ suoritettiin Metropolian Myyrmäen yksikössä, jossa käytössä oli tietokone kaikkine tarvittavine ohjelmineen ja lisensseineen. Beckhoffin avainasiakaspäällikkö Ville Hopponen toimi tämän insinööriyön konsulttina.</p> <p>Työn tuloksena syntyi oimintaohje edellä mainittujen ohjelmien käyttöönotolle ja käytölle. Scilab-tutkinnan lopputuloksena saatiin selville, että MATLABin korvaaminen Scilabilla olisi mahdollista, mutta toisi mukanaan monia haasteita. Scilabille on olemassa tähän toimintaan tarvittava C-koodigeneraattori, jolla voitaisiin luoda tarvittava koodi. Pelkkä oikean koodin luonti ei kuitenkaan riitä kaikkien ominaisuuksien käyttöön saamiseen. Graafiset ominaisuudet jäisivät Scilabin käytöllä kokonaan pois.</p> |  |
| Avainsanat  | TwinCAT 3, MATLAB, Simulink, Scilab, simulointi                    |

|  |   |
|--|---|
| Author(s)<br>Title   | Jarkko Brunou<br>Usage of Simulink Models in TwinCAT 3 XAE Project                          |
| Number of Pages<br>Date  | 39 pages<br>31 May 2016   |
| Degree   | Bachelor of Engineering   |
| Degree Programme   | Automation Engineering  |
| Specialisation option  |   |
| Instructor(s)  | Markku Inkinen, Senior Lecturer<br>Ville Hopponen, Key Account Manager, Beckhoff Automation |
| <p>The goal of this Bachelor thesis was to research Beckhoff's new TwinCAT 3 XAE program and its new language supports, for example MATLAB. A secondary goal was to examine the possibilities of MATLAB and Simulink integration and possibility of replacing commercial calculating program MATLAB and Simulink with free open source calculating program Scilab and Xcos.</p> <p>The study was conducted for Helsinki Metropolia University of Applied Sciences in Myyrmäki. The Key Account Manager of Beckhoff, Ville Hopponen was a consult for this Bachelor thesis.</p> <p>As a result of this study, an instruction manual was compiled, which is targeted for new users of TwinCAT 3.</p> <p>Replacing MATLAB with Scilab would be possible, but it proved to be challenging. If Scilab was used instead of MATLAB, all the functions would not be available which would make the usage of Scilab less beneficial. For example graphic features would not be available with Scilab.</p> |   |
| Keywords   | TwinCAT 3, MATLAB, Simulink, Scilab, simulation   |

## Sisällys

### Lyhenteet

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1   | Johdanto  | 1  |
| 2   | Beckhoff  | 1  |
| 2.1 | Beckhoff ulkomailla   | 2  |
| 2.2 | Beckhoff Suomessa   | 3  |
| 3   | Ohjelmat  | 3  |
| 3.1 | MATLAB ja Simulink - The MathWorks                                | 3  |
| 3.2 | Visual Studio - Microsoft   | 4  |
| 3.3 | TwinCAT 3 XAE - Beckhoff  | 4  |
| 3.4 | Scilab ja Xcos - Scilab Enterprises ja MATLABin korvaaminen       | 6  |
| 4   | Ohjeistus ohjelmien ja asetusten asennukseen ja käyttöön          | 7  |
| 4.1 | Windows Driver Kitin lataus, asennus ja käyttöönotto              | 8  |
| 4.2 | x64 driverin signaus  | 10 |
| 4.3 | TwinCAT 3 XAE -asennus  | 13 |
| 4.4 | TE1400-Target For Matlab Simulink -asennus                        | 13 |
| 4.5 | Simulink-mallin parametrien konfigurointi                         | 15 |
| 4.6 | Simulink-mallin avaaminen Visual Studion TwinCAT XAE -projektissa | 17 |
| 4.7 | Mittausprojektin luonti XAE-projektille                           | 23 |
| 4.8 | Mittauslaitteiden liittäminen XAE-projektiin                      | 27 |
| 5   | Reaalimaailman esimerkkejä  | 29 |
| 5.1 | Metson digitaalinen hydraulikkasysteemi                           | 29 |
| 5.2 | Hyvinkään asuntomessujen älytalo                                  | 30 |
| 6   | Yhteenveto  | 32 |
|     | Lähteet   | 33 |

## Lyhenteet

MBD Model-Based Design. Mallipohjainen suunnittelu, toteutus tai säätö.

TcCOM TwinCAT Component Object Model. TwinCAT:n luoma tiedoston osa, jolla eri tyyppiset tiedostot saadaan toimimaan keskenään TwinCAT:ssä.

I/O Input ja Output

## 1 Johdanto

Tämä insinööriö on tarkoitettu ohjeeksi Beckhoffin TwinCAT 3 (The Windows Control And Automation Technology) -ohjelman käyttöönottoon ja Visual Studioon sulautettujen TwinCATin XAE-projektien luontiin ja käyttöön. Insinööriö käsittelee sitä, kuinka MATLAB ja Simulink, Visual Studio ja TwinCAT 3 saadaan toimintakuntoon ja keskustelemaan keskenään. Se opastaa yksityiskohtaisesti asiat tarvittavien ohjelmien ja asetusten asennuksesta, aina TwinCAT XAE -projektin eri toimintojen käyttöön asti.

Ohjeistus on tarkoitettu mahdolliseen opetuskäyttöön, näiden ohjelmien parissa työskenteleville uusille opiskelijoille, jotka eivät ole aiemmin tutustuneen TwinCAT 3 -ohjelman käyttöön. Dokumentissa olevat esimerkit ovat suppeita ja yksinkertaistettuja malleja, joiden on tarkoitus olla mahdollisimman havainnollisia ja helposti ymmärrettävissä.

Tutkittiin myös mahdollisuutta toteuttaa samat toiminnot Scilab-laskentaohjelmalla. Insinööriössä otetaan esille konkreettisia esimerkkejä ohjelmien käyttökohteista.

## 2 Beckhoff

Elektro Beckhoff GmbH perustettiin vuonna 1953 Saksassa, ja firma teki silloin sähköasennuksia ja vähittäismyyntiä. Vuonna 1980 Saksassa, Verlässä, perustettiin Beckhoff Automation emoyhtiön talousyksiköksi. Vuonna 2005 Elektro Beckhoff GmbH hajautettiin kolmeen omaan firmaansa [1; 2]:

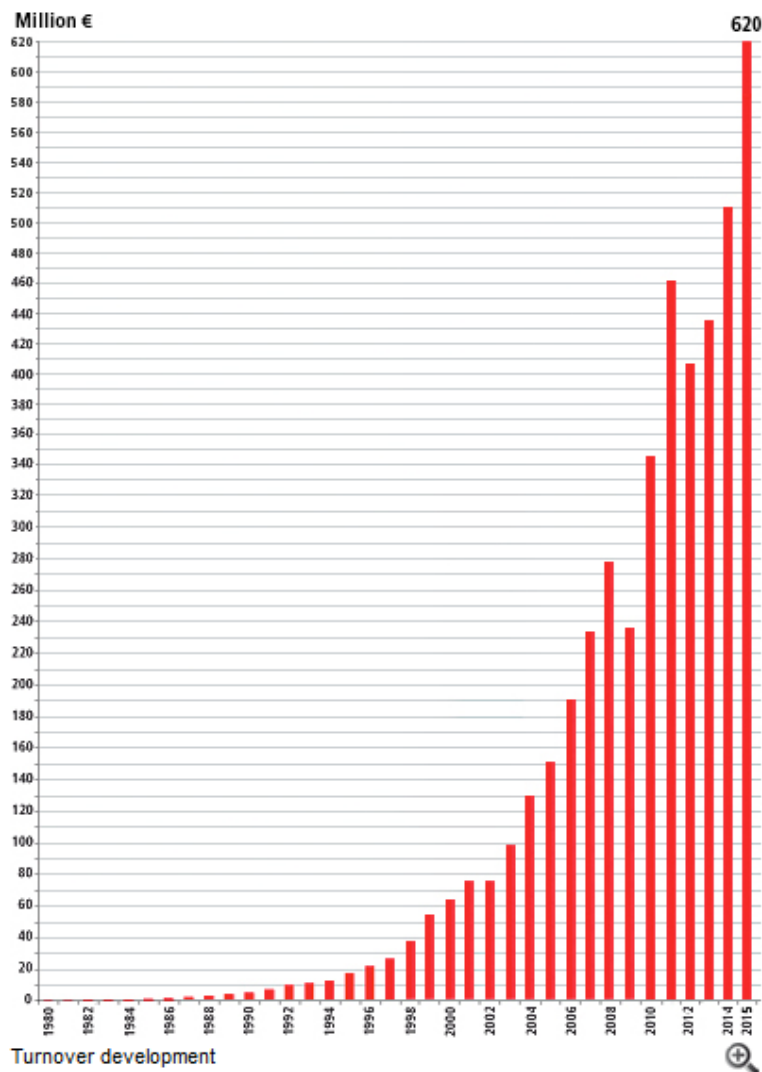
- Beckhoff Automation GmbH & Co. KG, joka erikoistuu PC-pohjaiseen automaatioteknologiaan.
- Elektro Beckhoff GmbH, joka erikoistuu rakennustekniikkaan ja -automaatioon.
- Beckhoff Technik und Design GmbH, jonka erikoistumisalue on korkealaatuisen viihde-elektronikan, valojärjestelmien ja kodinkoneiden vähittäismyynti.

Beckhoff toimittaa avoimia automaatiojärjestelmiä, jotka pohjautuvat PC-pohjaiseen ohjaustekniikkaan. Tuotevalikoimaan kuuluvat muun muassa kenttäväyläkomponentit, liik-

keenohjaustuotteet, teollisuus-PC:t ja ohjauspaneelit sekä automaatiosovelluksien ohjelmistot, kuten tässä insinööriyössä käsitelty, Visual Studioon sulautettu TwinCAT 3. [3; 6.]

## 2.1 Beckhoff ulkomailla

Nykyisin Beckhoff Automationin liikevaihto on 510M € (vuonna 2014) (kuva1). Työntekijöitä emo- ja tytäryhtiöissä on 2900 (11/2015) maailmanlaajuisesti. Tytäryhtiöitä Beckhoffilla on 34 eri maassa. Lisäksi Beckhoffin valmistamia ohjelmia, laitteita ja ratkaisuja myyviä jälleenmyyjiä on yli 75 maassa.



Kuva 1. Beckhoffin liikevaihdon kehitys. [3.]

## 2.2 Beckhoff Suomessa

Suomessa Beckhoff on vaikuttanut vuodesta 1986, ja ensimmäisen kerran Beckhoff avasi oman yrityksen Suomeen vuonna 2000. Beckhoffin toimipaikkoja ovat Hyvinkäällä sijaitseva pääkonttori (kuva 2) ja komponenttivarasto sekä Tampereen ja Seinäjoen haarakonttorit. Suomen Beckhoffin konttoreissa on edustettuna myynti, tekninen tuki, koulutus, tuotekehitys, sovellukset sekä huolto. [4.]



Kuva 2. Beckhoffin pääkonttori Hyvinkäällä. [5.]

## 3 Ohjelmat

Tässä työssä käytettiin The MathWorksin MATLABia ja Simulinkä, Microsoftin Visual Studiota, Beckhoffin TwinCAT 3:a ja Scilab Enterprisesin Scilabia ja Xcosia. Näillä ohjelmilla saadaan käyttöön toimintaketju, jolla Simulink-malli saadaan käyttöön TwinCAT 3:ssa. Simulink-mallia pystytään simuloimaan ja muokata reaaliajassa ilman Simulink-ohjelman käyttöä.

### 3.1 MATLAB ja Simulink - The MathWorks

MATLAB on The MathWorksin kaupallinen ja ylläpitämä numeerinen laskentaohjelmisto. Sitä voidaan käyttää itsessään ja lisäosien ansiosta matriisien laskentaan, funktioiden ja datan visualisointiin, algoritmien toteuttamiseen ja käyttöliittymien luomiseen. [7.]



Varhaisin versio MATLABista on 1970-luvulta, jolloin sitä alettiin kehittämään opiskelijoiden apuvälineeksi, yliopistoihin ja muihin matemaattisiin yhteisöihin. MATLAB kaupallistettiin 1984, mistä lähtien se on ollut The MathWorksin alaisuudessa. Nykyään MATLABia käytetään maailmanlaajuisesti ja se on tärkeä työkalu monella alalla ja monissa kouluissa. [8.]

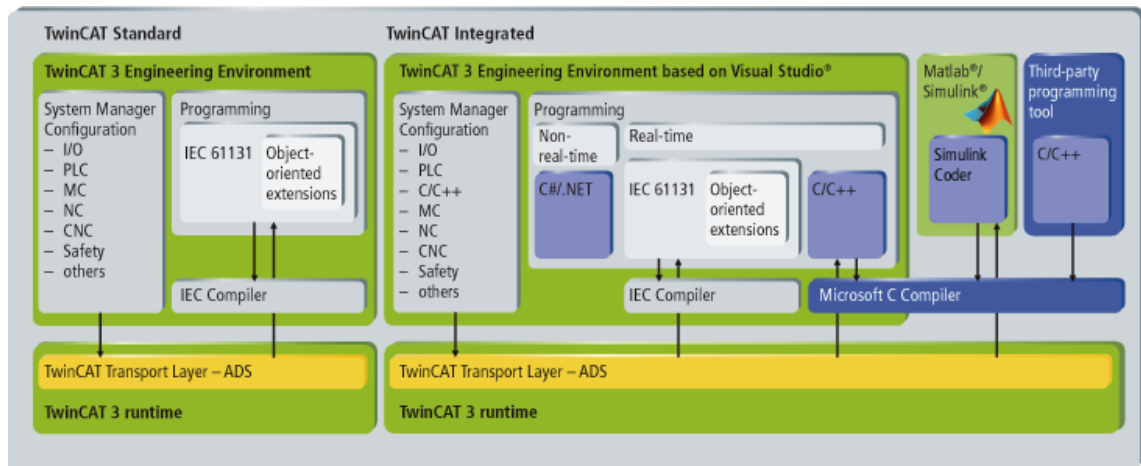
Simulink on MATLABin lisäosa, jolla voidaan luoda simulointimalleja prosessien simulaatiota varten. Sillä voidaan mallintaa ja simuloida dynaamisia prosesseja, sekä luoda taulukoita mitatuista prosessisuureista. [9; 10; 11.]

### 3.2 Visual Studio - Microsoft

Visual Studio on ohjelmankehitys -ympäristö, jossa voidaan käyttää useita ohjelmointikieliä. Ensimmäinen Visual Studio julkaistiin vuonna 1997. [12.] Se oli Microsoftin ensimmäinen moni ohjelmointikielinen ohjelmointityökalu, joka sisälsi muun muassa Visual C++ 5.0- ja Visual Basic 5.0-ohjelmointikielet. Nykyään sillä ohjelmoidaan muun muassa Windows-, web- ja mobiilisovelluksia. [13.]

### 3.3 TwinCAT 3 XAE - Beckhoff

TwinCAT 3 on sulautettu kokonaan Visual Studioon ja sillä voidaan käyttää monia Visual Studion ominaisuuksia. Ohjelman eri osien välinen kommunikointi tapahtuu "TwinCAT Transport layer - ADS" -rajapinnan välityksellä. [14.] Alla on havainnollistava kuva (kuva 3) eri osien kommunikaatiosta ADS-rajapinnan kautta.



Kuva 3. TwinCAT 3 XAE-arkkitehtuuri. [14.]

TwinCAT XAE ajaa kaikkia sen sisältämiä projekteja ja osiaan (TcCOM-osan sisältämiä objekteja) Real-time Kernelillä. Se ohjaa ohjelman toimintaa, ja se on yhteydessä kaikkiin projektin objekteihin.

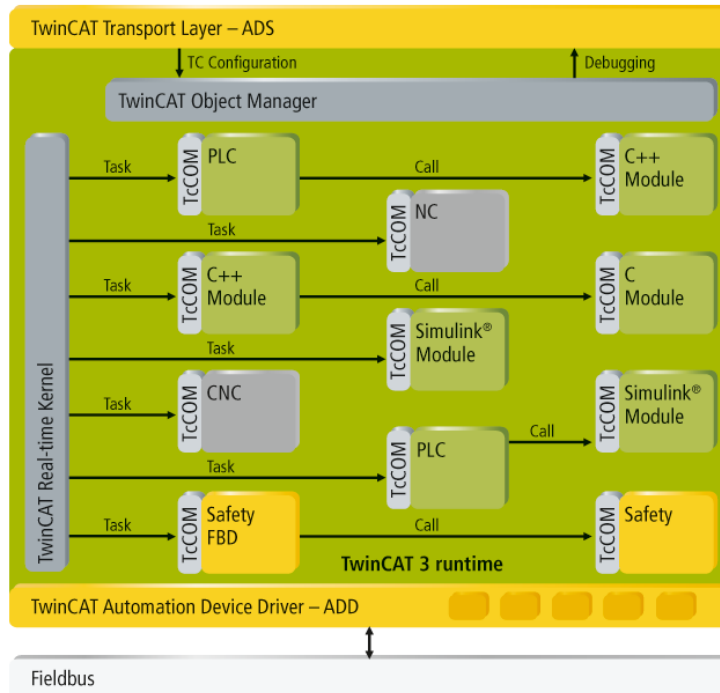
TwinCAT 3 koostuu kolmesta osasta:

- eXtented Automation Architecture (XAA)
- eXtented Automation Engineering (XAE)
- eXtented Automation Runtime (XAR).

eXtented Automation Architecture kuvastaa, kuinka TwinCAT 3 on aiempaa versiota avoimempi; se pystyy ajamaan monia erilaisia TcCOM-moduleita samanaikaisesti. Eri modulit pystyvät myös tämän johdosta keskenäiseen datan jakamiseen. XAA tukee kaikkia yleisimpiä fieldbus -väyliä, IEC 61131 -standardia, C- ja C++-kieliä, sekä MATLABia ja Simulinkia. Sitä voidaan käyttää myös liikkeiden ohjaamiseen monilla protokollilla aina point-to-pointsta CNC:hen. [14.]

eXtented Automation Engineering mahdollistaa vanhojen TwinCAT 2 -projektien tuonnin TwinCAT 3 -ympäristöön. MATLABin Simulink-malleihin saadaan lisättyä TcCOM-osa joka mahdollistaa niiden käytön, datan keruun ja jaon TwinCATissa (kuva 4). Simulinkin mallit saadaan näkymään samanlaisina TwinCATissa kuin ne ovat Simulinkissä. Mallien blokkien arvojen muuttaminen onnistuu suoraan Visual Studiassa ilman online-tilasta poistumista. [15.]

eXtended Automation Runtime luo reaaliaikaisen ympäristön, jossa voidaan ajaa ja ohjata kaikkia TcCOM-objekteja samanaikaisesti. Sillä on myös parempi suoritusteho moniydin tietokoneiden tuen johdosta. Projektille voidaan määrittää, mitä ytimiä ja kuinka suurella laskentateholla milloinkin käytetään. [16.]



Kuva 4. TwinCAT 3 XAR-datansiirto. [16.]

### 3.4 Scilab ja Xcos - Scilab Enterprises ja MATLABin korvaaminen

Scilab on vapaan lähdekoodin numeerinen laskentaohjelmisto, ja se on hyvin paljon MATLABin kaltainen. Scilabiin saa myös Simulinkia vastaavan MBD-lisäosan Xcosin. Kuten Simulinkillä, Xcosilla voidaan muun muassa mallintaa ja simuloida dynaamisia prosesseja ja piirtää kuvaajia prosessin mitatuista tai simuloiduista arvoista.

Scilabin varhaisin versio CACSD (Computer Aided Control System Design) julkaistiin 1980-luvulla IRIA (French Institute for Research in Computer Science and Control) toimesta, varhaisen MATLABin (Matlab Fortran software) innoittamana. Sen oli tarkoitus olla työkalu tutkijoille, jotka työskentelivät automaattisten ohjausten parissa. Myöhemmin vuonna 2003 Scilabia alettiin kehittää erityisesti yrityksille ja kouluille. Vuodesta 2012 lähtien Scilabin kehityksestä on vastannut pelkästään Scilab Enterprises. [17; 18; 19.]

Scilabin käyttö MATLABin sijaan simulointi- ja laskentaohjelmana toisi hankinta- ja ylläpitokustannuksia huomattavasti alemmas. Tämä johtuu siitä, että MATLAB on kaupallinen ohjelmisto, kun taas Scilab on ilmainen vapaan lähdekoodin ohjelmisto.

Scilabille on olemassa C-koodigeneraattori-lisäosa Project P, joka ei kuitenkaan ole vapaassa jaossa (Code generation from XCos models (Scilab Enterprises)). [21.]

Jos Scilabista saa c-koodia ulos, niin suorittaminen varmasti onnistuu TwinCAT3:ssa, mutta graafisesta lohkokaaviosta lienee turha haaveilla TwinCAT3:n puolelle, jota voisi onlinessa seuraila. Siihen on tehty paljon työtä Beckhoffin toimesta, että rajapinta suoraan Simulinkin/TwinCAT3:n välillä on noin monipuolinen, kun se tällä hetkellä on. [6.]

Vaikka Xcos-mallin siis saisikin generoitua C-koodiksi, siitä olisi vielä pitkä matka samankaltaiseen toimintaan, kuin MATLABilla ja Simulinkillä. Se ei ole kuitenkaan mahdollista, tarvitaan vain vahvaa koodaustaitoa ja paljon aikaa ja halua toteuttaa kyseinen ratkaisu.

#### **4 Ohjeistus ohjelmien ja asetusten asennukseen ja käyttöön**

Tarvittavat ohjelmat ja asennukset alla olevassa luettelossa:

- MATLAB®/Simulink® R2011b tai uudempi versio
- Windows Driver Kit (WDK) 7.1.0
- x64 Driver Signing
- TwinCAT 3 – eXtended Automation Engineering (XAE)
- TE1400 | TC3 Target for MATLAB®/Simulink®
- Visual Studio 2010 tai uudempi, vähintään Pro-versio.

Visual Studio tulee olla asennettuna ennen TwinCAT 3:a, jotta TwinCATille voidaan määrittää oikea Visual Studio, johon TwinCAT integroidaan.

#### 4.1 Windows Driver Kitin lataus, asennus ja käyttöönotto

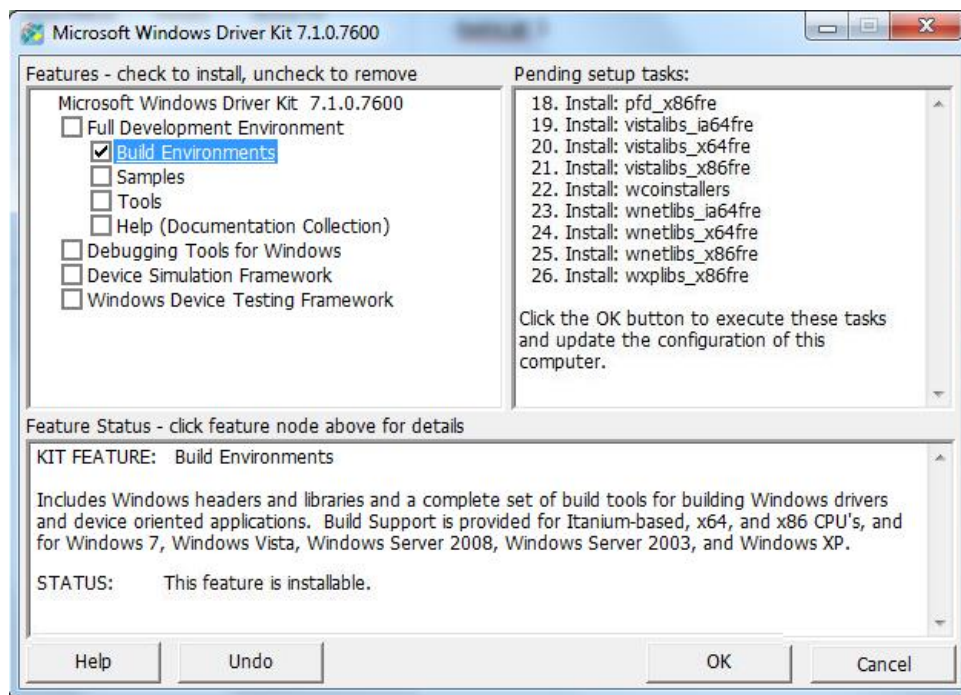
Windows Driver Kit asennetaan vain kertaalleen tietokoneelle, jonka jälkeen se toimii aina halutulla tavalla. Ladataan Windows Driver Kit:n Version 7.1.0, Microsoftin sivuilta tai alla olevasta linkistä suoraan.

(<http://www.microsoft.com/downloads/en/details.aspx?displaylang=en&FamilyID=36a2630f-5d56-43b5-b996-7633f2ec14ff>)

Sitä tarvitaan, jotta TwinCAT 3 XAE-ohjelma voi luoda ja muokata C++-kielisiä objekteja.

Puretaan ladattu tiedostopaketti kansioon ja ajetaan sieltä KitSetup.exe-tiedosto.

Valitaan avautuneesta ikkunasta Build Enviroments -valinta ja hyväksytään se painamalla OK (Kuva 5). Jos Windows Driver Kit on asennettu jo aiemmin, asennusikkunassa lukee: "STATUS: installed properly".

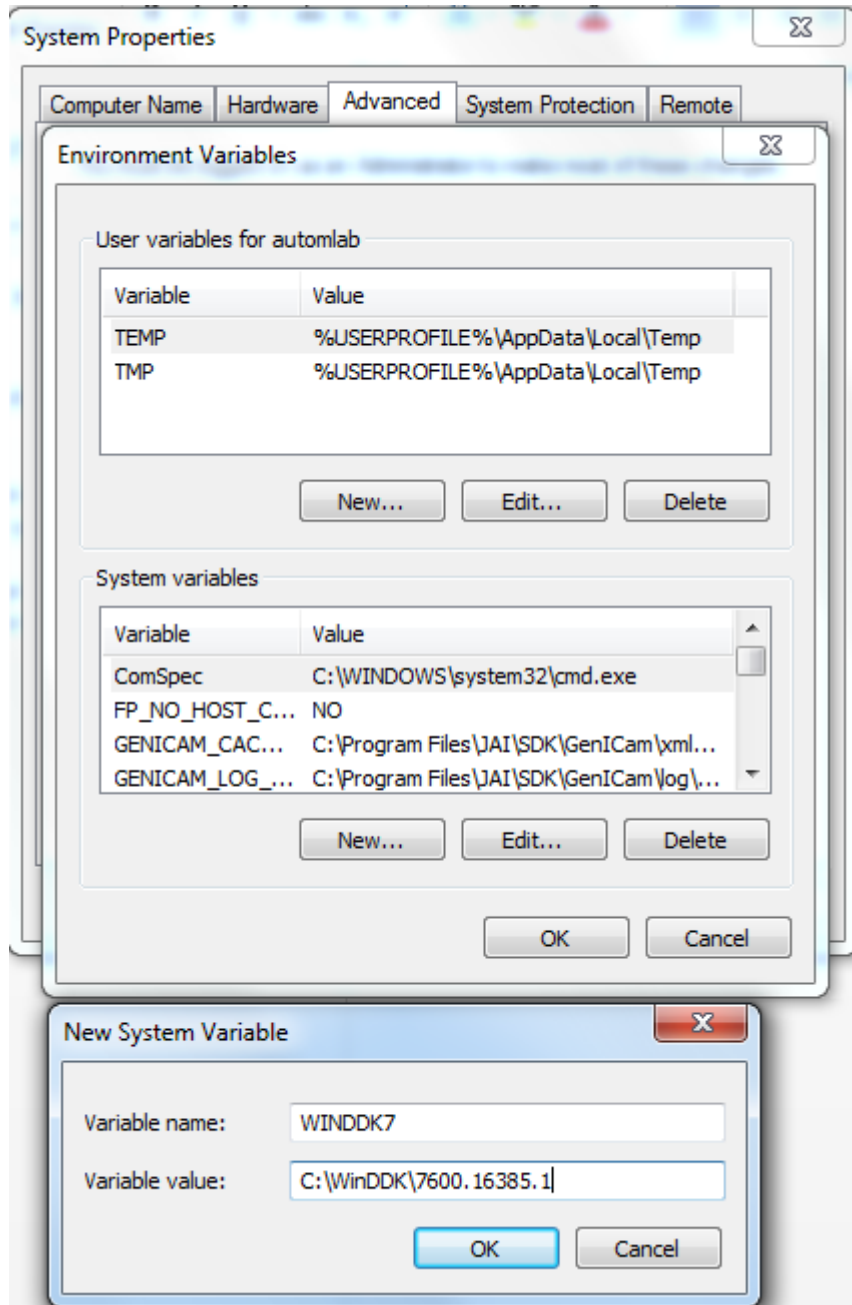


Kuva 5. WDK:n asennusten valinta-ikkuna.

Valitaan Select Install Path-ikkunassa haluttu asennuspolku. Tässä tilanteessa ja tällä versiolla valitaan "C:\WinDDK\7600.16385.1".

Asennuksesta tehdään tietokoneelle Environmental variable -muuttuja, jotta Windows löytää asennetun Windows Driver Kitin automaattisesti. Navigoidaan tietokoneen ohjaus-

paneeliin ja mennään seuraavaa polkua: Control Panel, System, Advanced system settings. Advanced-välilehdeltä valitaan Environmental Variables -kohta ja tehdään System Variablesiin uusi muuttuja. Se nimetään "WINDDK7" ja valitaan Value-riville aiemmin määritelty polku: "C:\WinDDK\7600.16385.1" (Kuva 6.).



Kuva 6. Environmental Variablen luonti Windows Driver Kitille.

Tämän jälkeen käynnistetään tietokone uudelleen, jotta uudet asennukset tallentuvat.

## 4.2 x64 driverin signaus

x64 -tietokoneisiin tarvitaan driverin signaus, jotta TwinCAT:in C++-tiedostoja voidaan ajaa XAR-ympäristössä sekä 32-bittisillä että 64-bittisillä käyttöjärjestelmillä. Se pitää toteuttaa oikealle Visual Studiolle (,jonka pitää olla vähintään Pro-versio), jotta TwinCATin TcCOM-moduuleja voidaan muuttaa ja ajaa oikeassa muodossa.

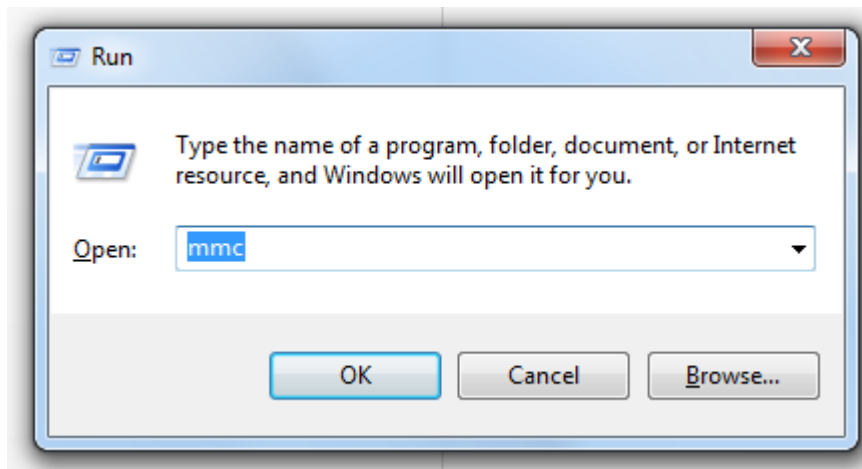
Avataan Visual Studion oma command prompt Adminina, seuraavaa polkua käyttämällä:  
All Programs, Visual Studio 2010/2012/20xx, command prompt.

Kirjoitetaan sinne alla oleva komento ja ajetaan se.

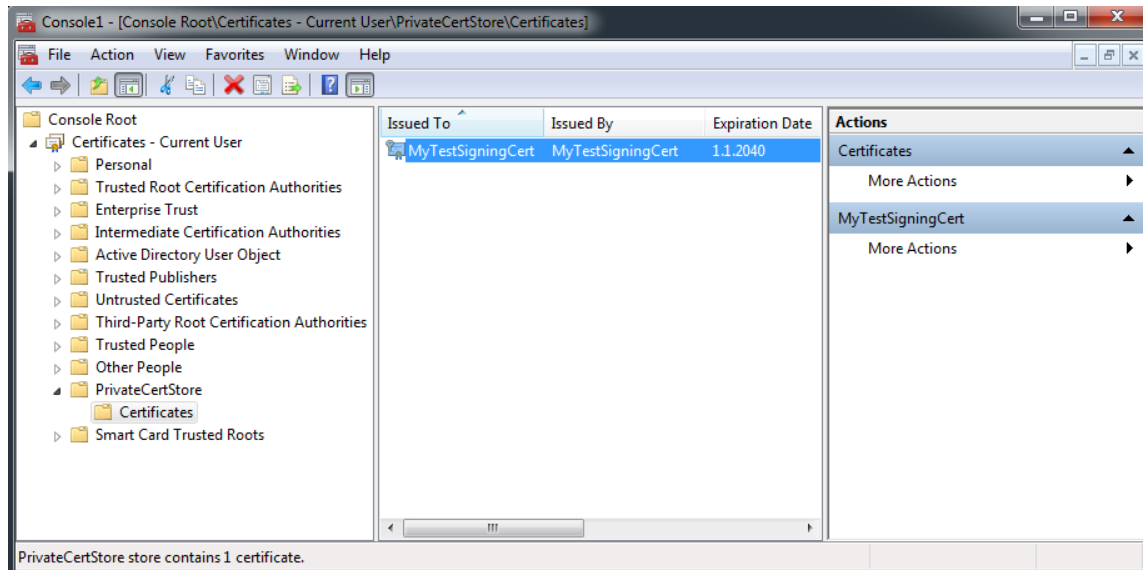
```
makecert -r -pe -ss PrivateCertStore -n CN=MyTestSigningCert MyTestSigningCert.cer
```

Sertifikaatin voi nimetä kirjoittamalla CN= xxx, kohtaan haluamansa nimen.

Luotu sertifikaatti löytyy nyt Console Rootista (Windows nappi + r) ja navigoimalla: File, Add/Remove Snap-in, Certificates, Add, OK (kuva 7 ja 8).



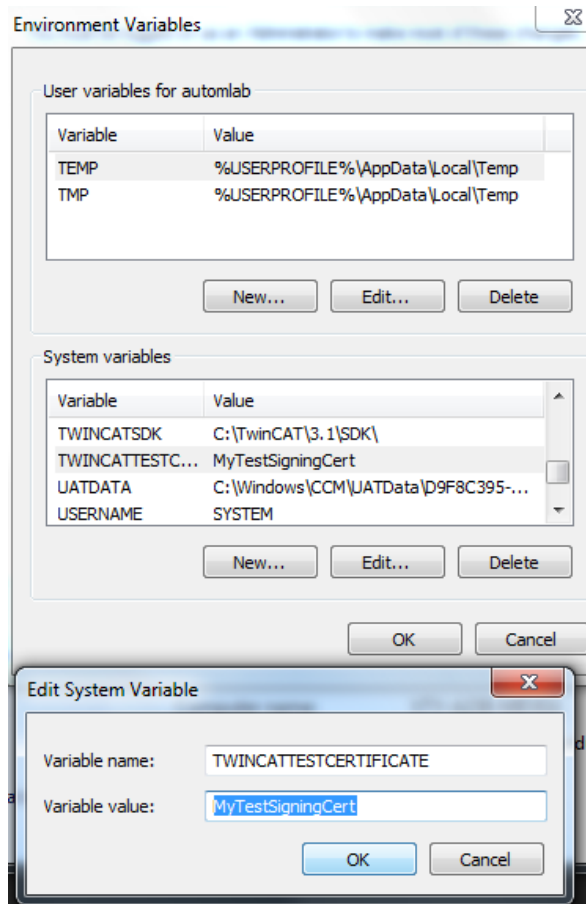
Kuva 7. Microsoft Management Consolen (MMC) avaaminen.



Kuva 8. Luodun sertifiikaatin haku Console Rootista.

Sertifikaatista tehdään Environmental Variable kuten aiemmin Windows Driver Kit -ohjeessa. Nimetään se "TWINCATTESTCERTIFICATE" ja kirjoitetaan kohtaan Value sama teksti kuin aiemmin nimetty seftifiikaatti, tässä tilanteessa "MyTestSigningCert".

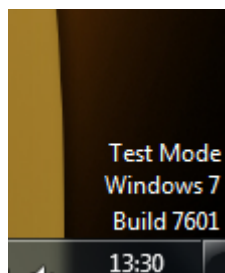




Kuva 9. Enviromental Variablen luonti sertifikaatista.

Signauksen aktivointi tapahtuu ajamalla Visual Studion command prompttiin seuraava komento: "bcdedit /set testsigning yes" ja käynnistämällä tietokone uudelleen.

Tietokoneen käynnistyttyä uudelleen työpöydän oikeaan alakulmaan tulee teksti: Test mode, Windows 7, Build 7601 (kuva 10).



Kuva 10. Signauksen onnistumista indikoiva teksti työpöydällä.

#### 4.3 TwinCAT 3 XAE -asennus

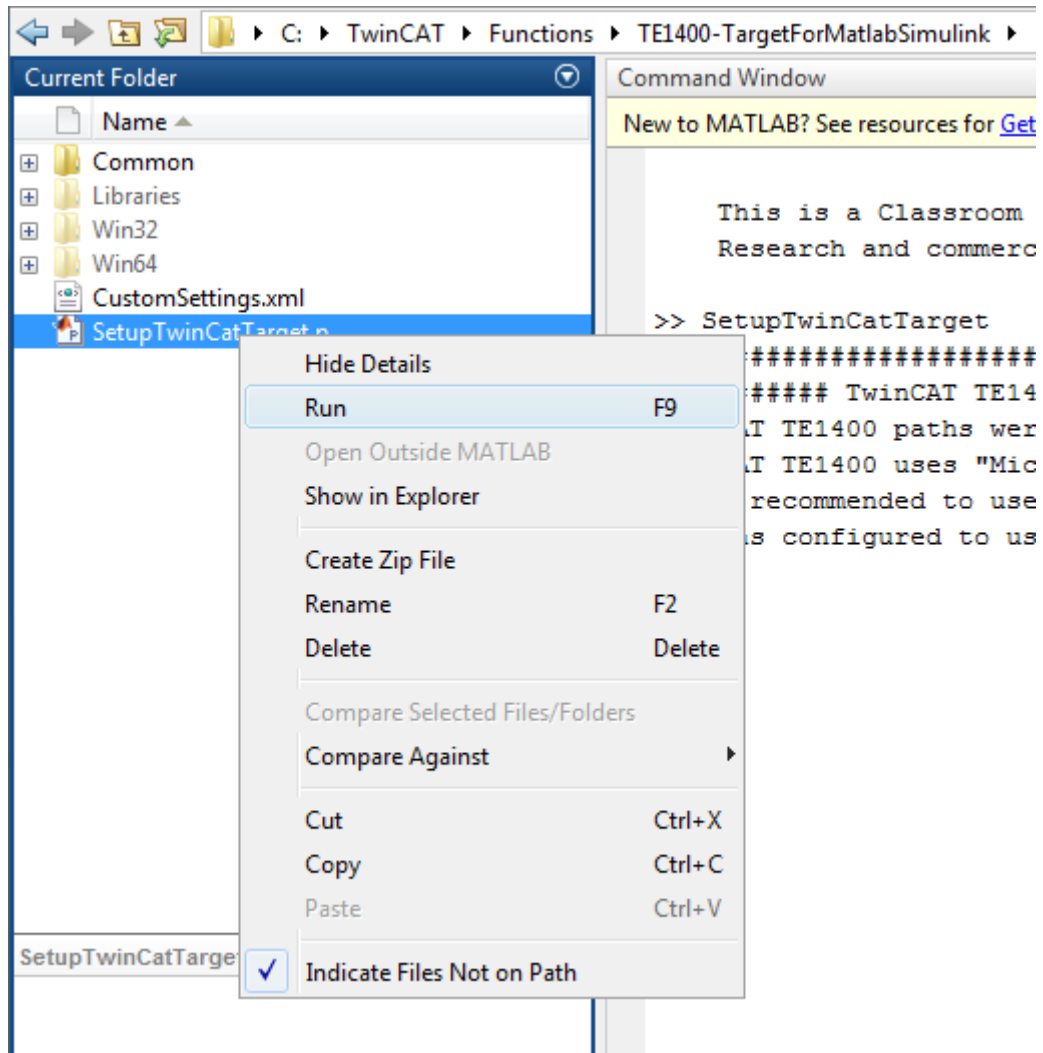
TwinCAT 3:n asennustiedosta saadaan ladattua Beckhoffin sivuilta rekisteröitymällä sinne tai lataamalla sen ilman rekisteröitymistä vieras-statuksella. Asennuksella tietokoneelle asentuu myös Visual Studio 10, johon TwinCAT on integroituna. TwinCAT voidaan määrittää myös eri Visual Studion versiolle, mikäli sellainen on valmiiksi asennettuna tietokoneella.

#### 4.4 TE1400-Target For Matlab Simulink -asennus

Matlab Coder ja Simulink Coder (TE1400 TwinCAT Target for Matlab Simulink) asennetaan Matlabin ja TwinCATin välisen kommunikoinnin luomiseksi. Simulink Coder luo Simulink-malleista C-kooditiedostoja, joita voidaan siirtää Visual Studion TwinCAT-projektiin ja ajaa siellä.

Ladataan sovellus Beckhoffin sivustolta, osoitteesta (<http://www.beckhoff.de/default.asp?twincat/te1400.htm?id=1889849218919049>)

Avataan Matlab ja ajetaan setup-tiedosto, joka löytyy tiedostopolusta: C:, TwinCAT, Functions, TE1400-TargetForMatlabSimulink (kuva 11). Tämä ajetaan joka kerta kun MATLAB avataan uudelleen.



Kuva 11. TE1400-TargetForMatlabSimulink-ajo.

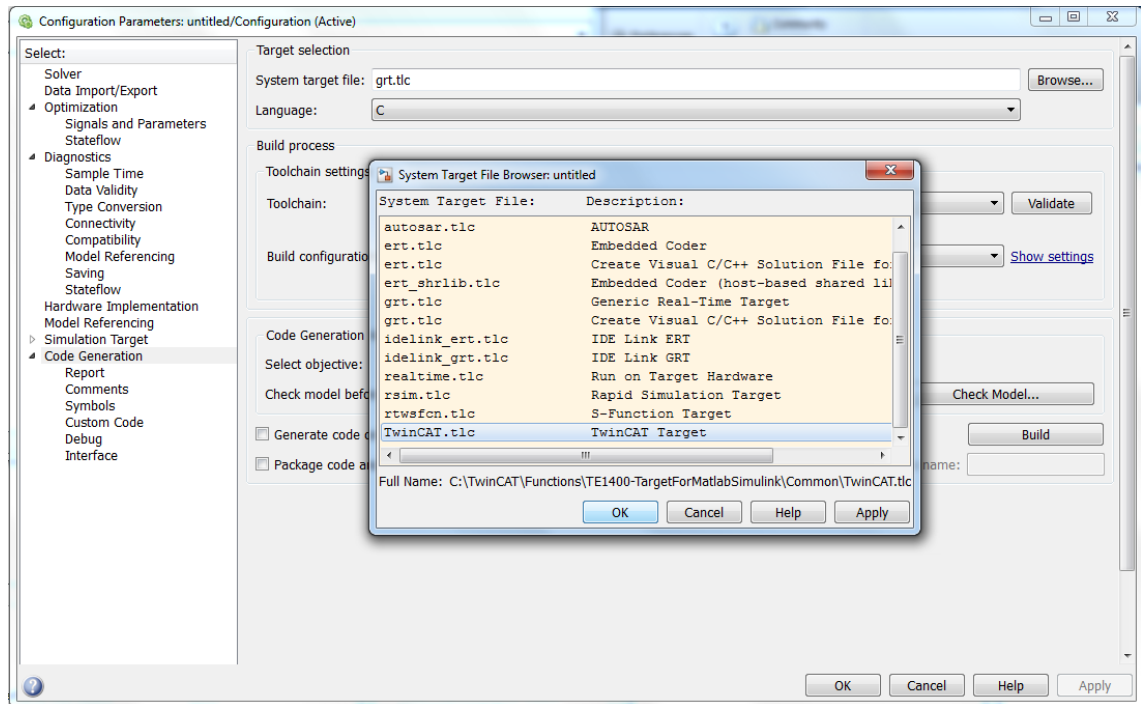
Kun tiedoston ajo on onnistunut, tulee MATLABin Command Window'hun seuraava teksti:

TwinCAT TE1400 paths were added successfully.TwinCAT TE1400 uses "Microsoft Visual C++" compilers to build TwinCAT modules from generated code.It is recommended to use a "Microsoft Visual C++" compiler also for mex builds.mex was configured to use the compiler "Microsoft Visual C++ 2010 (C)".

Tämän jälkeen voidaan avata Simulink.

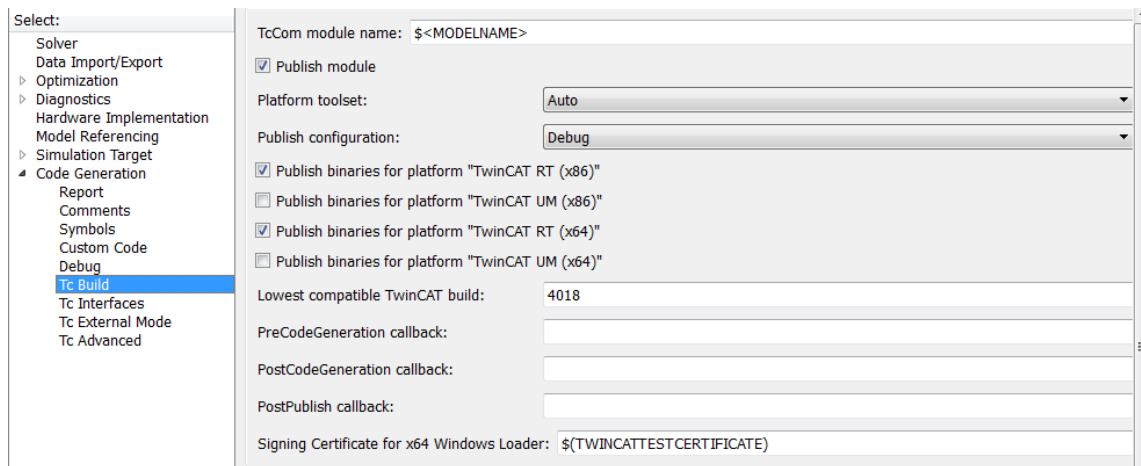
#### 4.5 Simulink-mallin parametrien konfigurointi

Valmiin Simulinkin-mallin Configuration Parameters-asetuksia tulee muuttaa seuraavasti: Navigoidaan tiedostopolkuun Simulation, Model Configuration Parameters, Code Generation ja valitaan System Target Fileksi: TwinCAT.tlc (kuva 12). Tämä asetus asentaa malliin TcCOM-osan, kun mallista generoidaan C++-koodia.



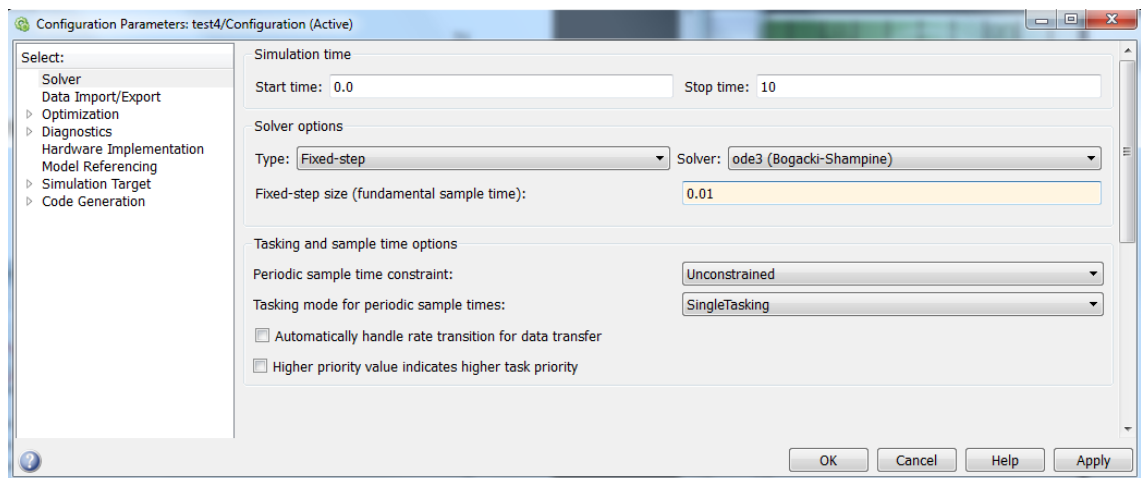
Kuva 12. Code generation-välilehden parametrit.

Muutetaan myös polusta: Code Generation, Tc Build, Publish Configuration, josta valitaan debug. Publish Module -valinta tulee olla myös valittuna. Platform toolsetistä valitaan haluttu Visual Studio versio, jos tietokoneella on asennettuna useampi eri Visual Studio (kuva 13). Jos tietokoneella on vain yksi Visual Studio niin Auto-valinnalla Simulink osaa valita sen automaattisesti.



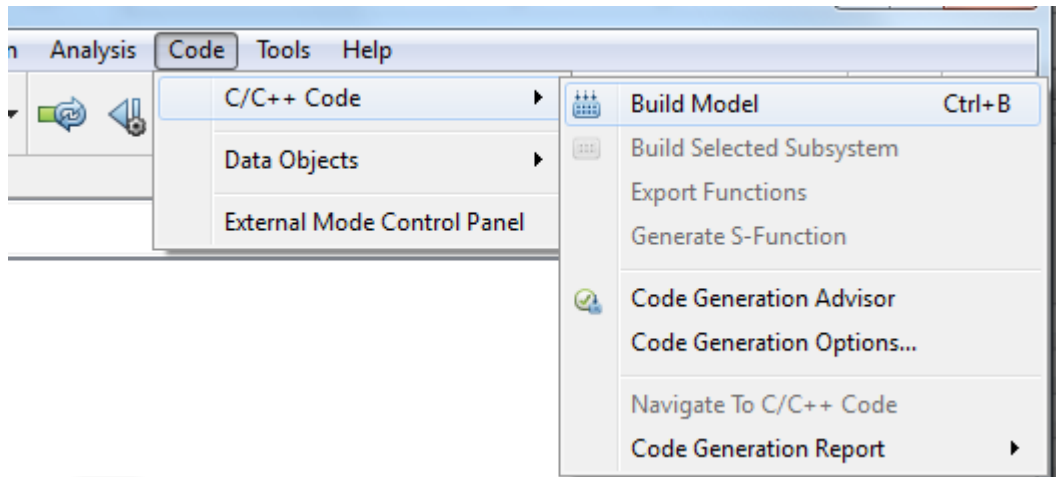
Kuva 13. Tc Build -välilehden parametrit.

Solver-välilehdeeltä valitaan Solver Optionsin Type Fixed-stepiksi. Koodin generaatio ei tue Variable step -valintaa. Fixed-stepin suuruudeksi valitaan 0.01 (joka on 1ms), koska TwinCAT käyttää samaa aikaväliä oletusarvoisesti (kuva 14). Jos Fixed stepiksi valitsee jonkin muun arvon, se on ristiriidassa TwinCATin XAE-projektin kanssa ja sekoittaa muun muassa mittausprojektien kuvaajia.



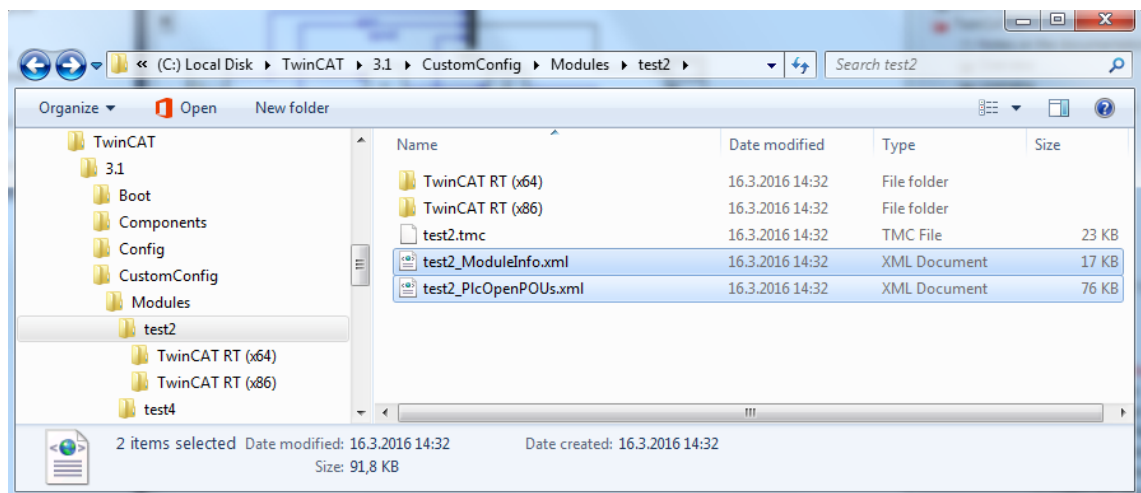
Kuva 14. Solver-välilehden parametrit.

Parametrien konfiguraation jälkeen hyväksytään asetukset. Tämän jälkeen Simulink-malli on valmis C-koodin generaatioon. Mallin Code-painikkeesta valitaan C/C++ Code, Build Model (kuva 15). Jos tässä vaiheessa tulee virheilmoituksia, täytyy tarkastaa parametrien asetukset uudelleen.



Kuva 15. Simulink-mallin C-koodi generointi.

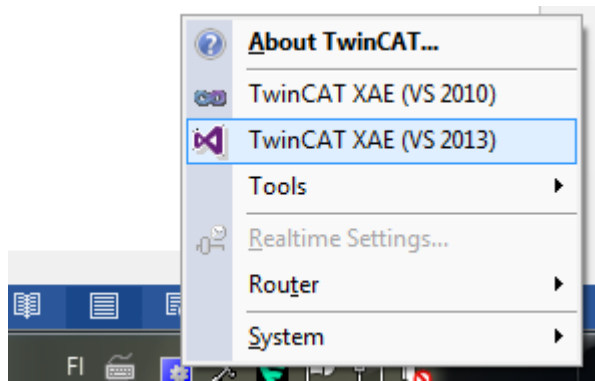
Koodin generoinnin onnistuessa luodut tiedostot löytyvät polusta: C:, TwinCAT, 3.1, CustomConfig, Modules, "Simulink mallin nimi" (kuva 16).



Kuva 16. Tiedostopolku luotuihin C-koodi -tiedostoihin.

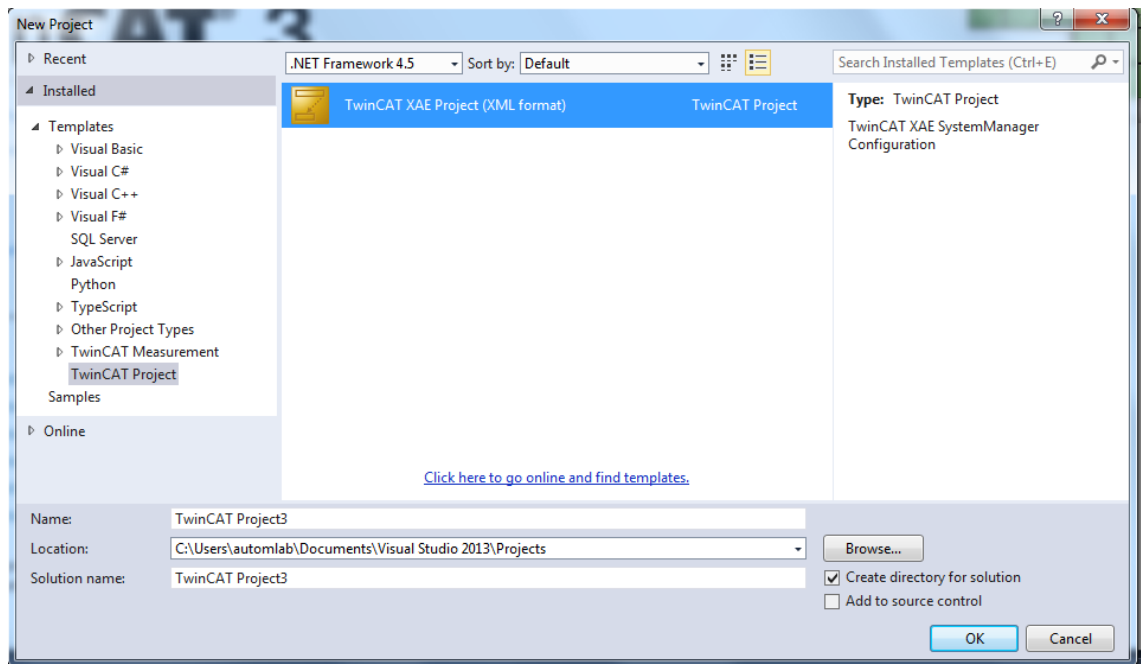
#### 4.6 Simulink-mallin avaaminen Visual Studion TwinCAT XAE -projektissa

TwinCAT saadaan auki työpöydän alapalkin  TwinCAT Config Mode-kuvakkeesta. Samalla valitaan haluttu Visual Studion versio (kuva 17).



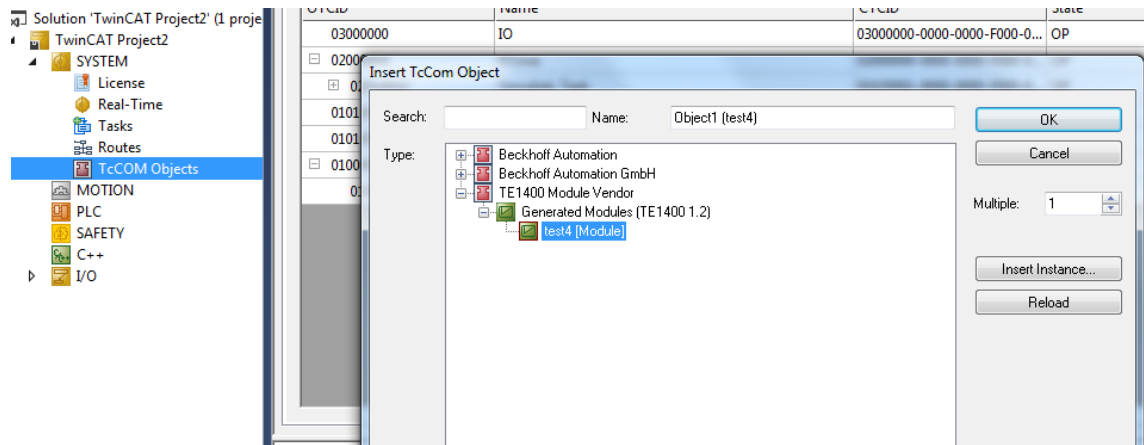
Kuva 17. Visual Studion valinta.

Uusi TwinCAT XAE -projekti luodaan valitsemalla painikkeesta File, New.. ja sieltä Project. Vasemmasta palkista löytyy oikea projekti kohdasta Templates, TwinCAT Project, TwinCAT XAE Project (XML format) (kuva 18).



Kuva 18. XAE-projektin valinta.

Projektiin saadaan tuotua aiemmin generoitu C++-koodi Simulink-mallista valitsemalla Solution Explorerinista: SYSTEM ja TcCOM Objects. Oikealla hiirenpainikkeella valitaan, Add New Item, TE1400 Module Vendor ja Generated Modules (TE1400 1.2) (kuva 19).



Kuva 19. Simulink-mallin tuonti.

Simulink-malli on nyt tuotu XAE -projektiin ja sitä pääsee katsomaan Block Diagram-välilehdestä.

Seuraavaksi muutetaan TwinCAT-projektin asetuksia:

Valitaan projektin käyttämät lisenssit seuraavasti polusta SYSTEM, License, Manage Licenses. Välilehdeltä valitaan "Order No: TE1400, License: TC3 Target For Matlab Simulink" (kuva 20).

| Order No | License                           | Add License                                     |
|----------|-----------------------------------|---|
| TE1120   | TC3 XCAD Interface                | <input type="checkbox"/> cpu license            |
| TE1300   | TC3 Scope View Professional       | <input type="checkbox"/> cpu license            |
| TE1400   | TC3 Target For Matlab Simulink    | <input checked="" type="checkbox"/> cpu license |
| TE1410   | TC3 Interface For Matlab Simulink | <input type="checkbox"/> cpu license            |

Kuva 20. Lisenssin valinta.

Valitaan projektin Cycle Timeksi sama kun Simulink-mallin sykliajaksi (=1ms), jotta mallin ja TwinCATin ajoajat eivät olisi ristiriidassa.

Projektille tulee määrittää myös oma "Task" polusta: SYSTEM, Tasks. Hiiren oikealla painikkeella valitaan Add New Item. Nimetään Task ja valitaan tyyppi "TwinCAT Task" ja hyväksytään valinnat painamalla OK-painiketta. Valitaan kohtaan Cycle ticks, 10/10.000ms (kuva 21).



Task Online Parameter (Online)

Name:

Port:

Auto start

Auto Priority Management

Priority:

Cycle ticks:   ms

Start tick (modulo):

Separate input update

Pre ticks:

Warning by exceeding

Message box

Watchdog Cycles:

Object Id:

Options

Disable

Create symbols

Include external symbols

...

Floating point exceptions

Comment:

Kuva 21. Taskin Cycle ticksin valinta.

Luotu Taski löytyy nyt Real-Time-kohdasta (kuva 22).

Settings Online Priorities C++ Debugger

Router Memory (MByte):

Available CPUs (Windows/Other):

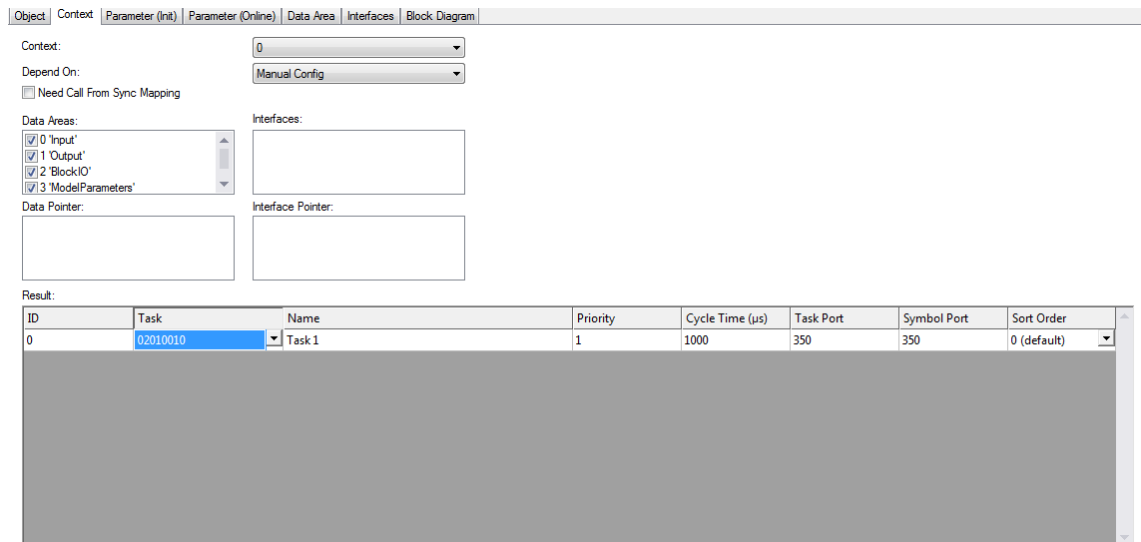
| CPU | RT-CPU                                      | Base Time | CPU Limit | Latency Warning |
|-----|---|-----------|-----------|-----------------|
| 0   | <input checked="" type="checkbox"/> Default | 1 ms      | 80 %      | (none)          |

| Object        | RT-CPU      | Base Time (ms) | Cycle Time (ms) | Cycle Ticks | Priority |
|---------------|-------------|----------------|-----------------|-------------|----------|
| Simulink_Task | Default (0) | 1 ms           | 1 ms            | 1           | 1        |

Kuva 22. Real-Time-välilehti.

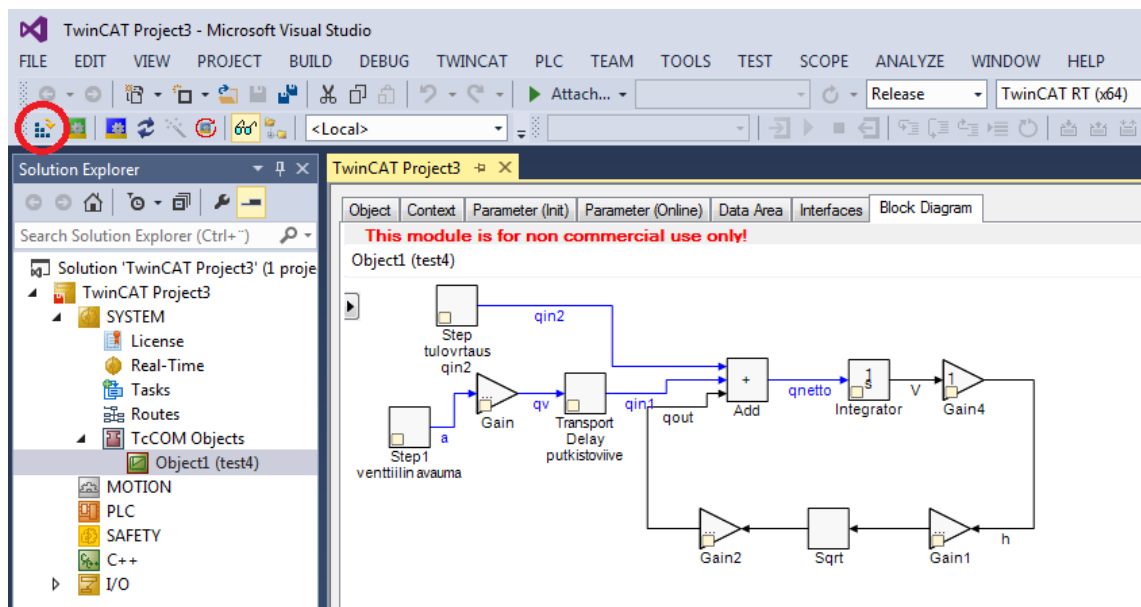
Liitetään luotu Task XAE-projektiin tuotuun TcCOM-objektiin valitsemalla SYSTEM, TcCOM Objects, "Oma objekti". Context-välilehdeltä valitaan oikea Taski pudotusvalikosta. (kuva 23)



Kuva 23. Halutun Taskin määrittäminen projektille.

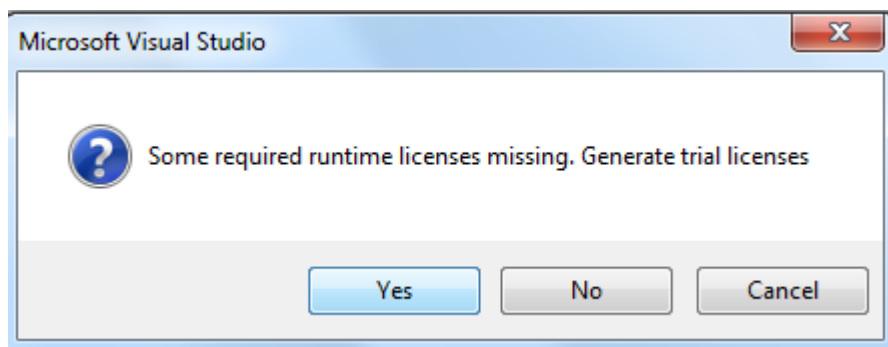
Näiden vaiheiden jälkeen projekti voidaan ajaa Online-tilaan vasemman yläkulman Activate Configuration-painikkeesta. (Ympyröity kuvassa 24)

Jos Online-tilaan ei pääse ja Visual Studio antaa virheilmoituksia, ongelma on luultavimmin Task tai License-osioissa. Tarkastetaan niiden asetukset ja yritetään uudelleen.

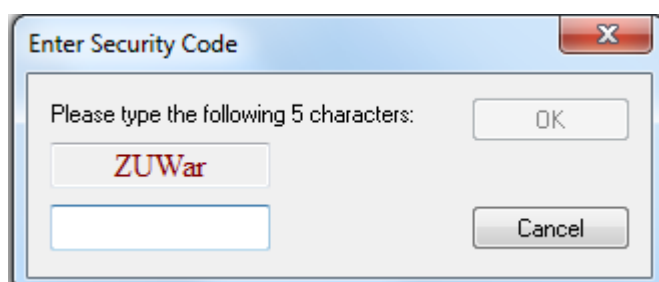


Kuva 24. Projektin ajo Online-tilaan.

Kun ohjelmia käytetään ensimmäistä kertaa ja TwinCAT ajetaan Online-tilaan, Visual Studio ehdottaa Trial-version käyttämistä. Sen aktivointi vaatii viisimerkkisen varmuuskopion (kuvat 25 ja 26).

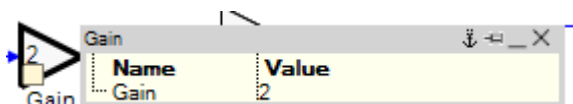


Kuva 25. Trial-lisenssin ehdotus.

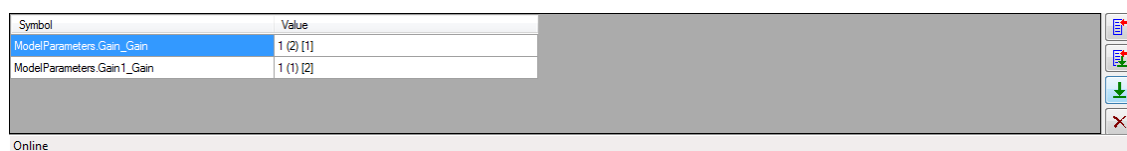


Kuva 26. Trial-lisenssin vahvistus.

Nyt projekti on Online-tilassa. Mallin eri blokkien arvoja säädetään TcCOM-objektin Block Diagram -välilehdeltä painamalla blokin alareunassa olevaa neliötä (kuva 27). Se avaa valikon, johon voi syöttää haluamiaan arvoja. Arvojen vaihdon jälkeen painetaan Enter. Arvojen muuttamisen jälkeen painetaan projekti-ikkunan alareunassa olevaa vihreää nuolta, joka hyväksyy ja ajaa kaikki muutetut arvot (kuva 28).

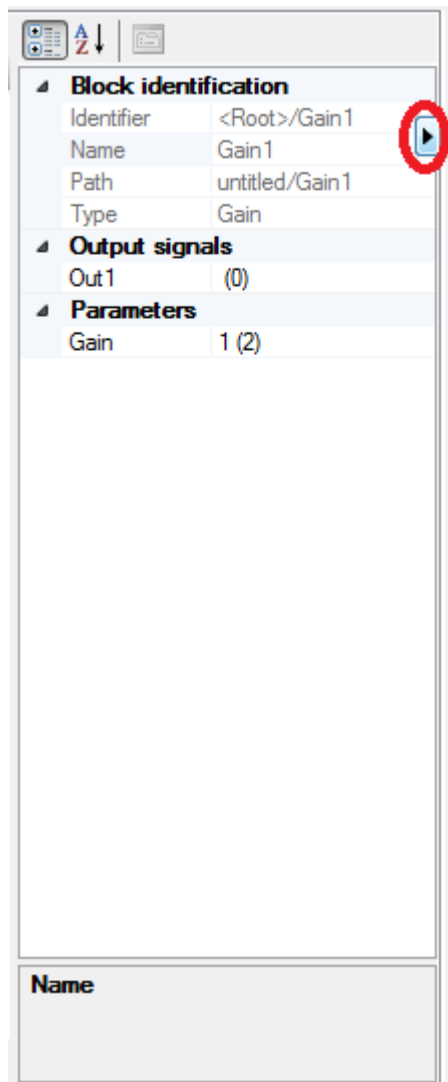


Kuva 27. Arvon vaihtaminen.



Kuva 28. Arvojen vahvistaminen.

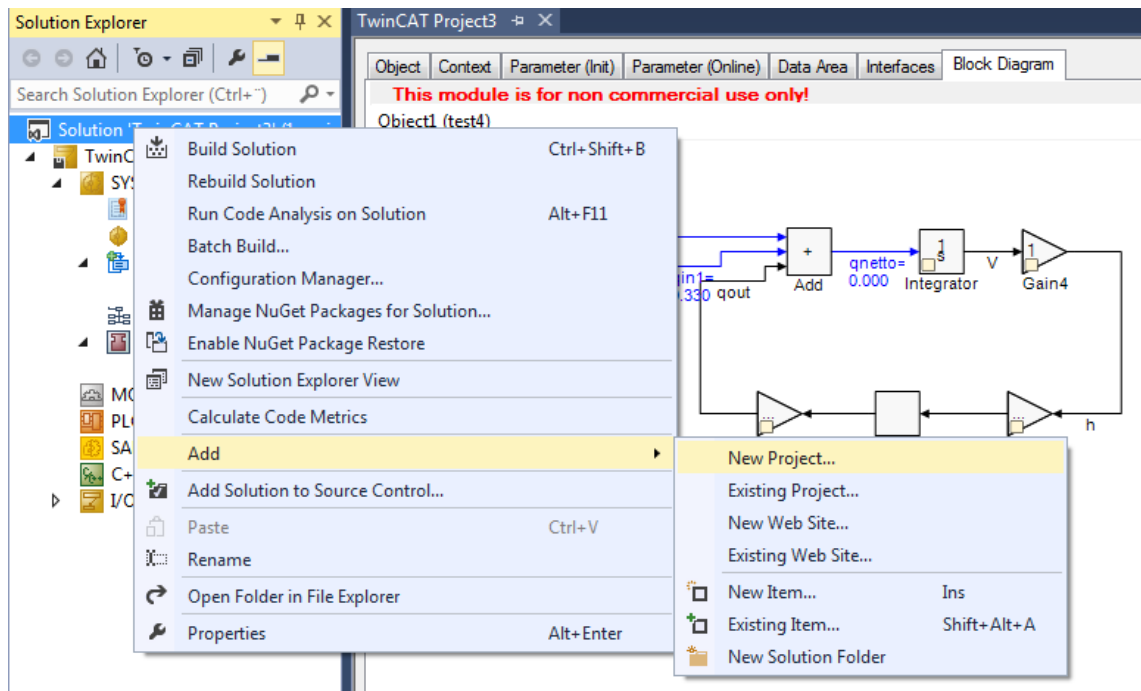
Blokin tarkemmat tiedot löytyvät painamalla Block Diagram -välilehden oikeassa reunassa olevaa nuolta (kuva 29).



Kuva 29. Tarkemmat tiedot.

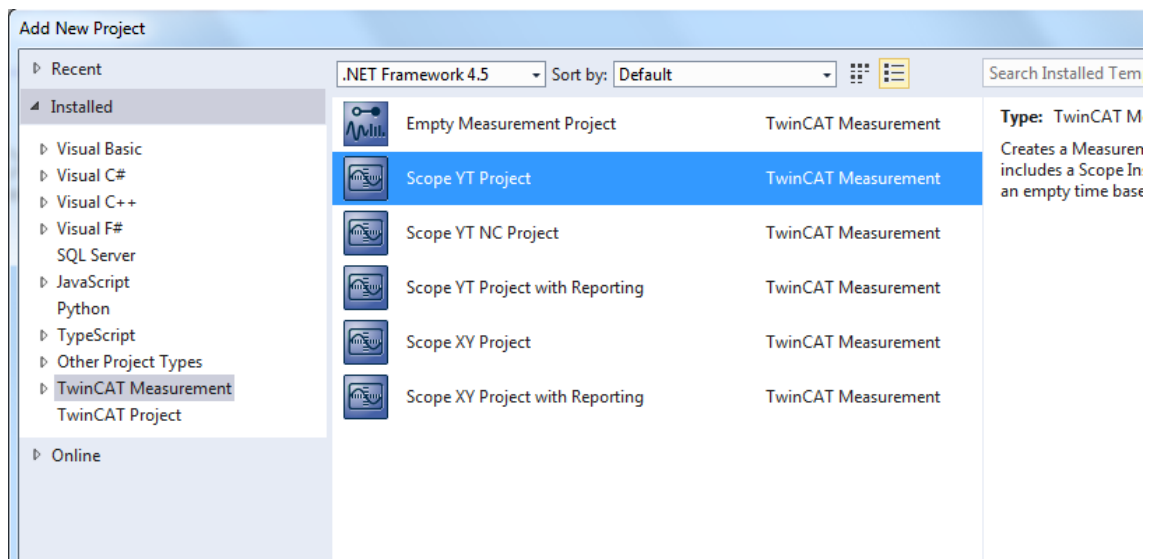
#### 4.7 Mittausprojektin luonti XAE -projektille

Projektin seuraamista helpottaakseen siihen voidaan lisätä mittausprojekteja, jotka keräävät tietoja prosessista reaaliajassa. Mittausprojekti luodaan valitsemalla Solution Explorer, Solution "projektin nimi" ja painetaan hiiren oikealla painikkeella Add, New Project (kuva 30).



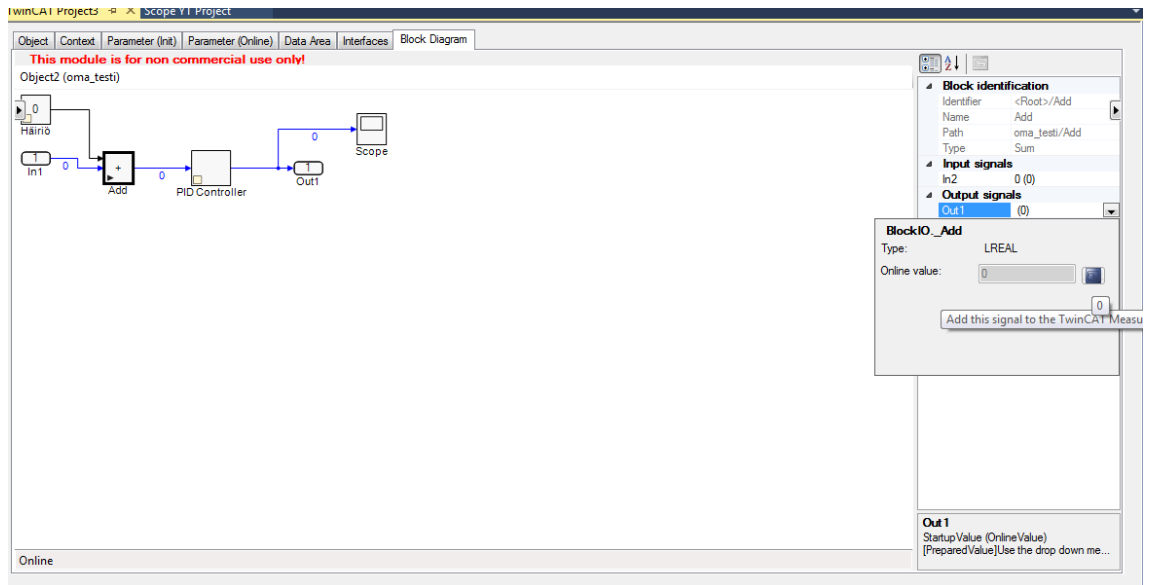
Kuva 30. Mittausprojektin luonti.

Avautuneesta ikkunasta valitaan TwinCAT Measurement -välilehdeltä haluttu mittausprojekti. Yksinkertaisiin mittauksiin riittänee Scope YT Project (kuva 31).



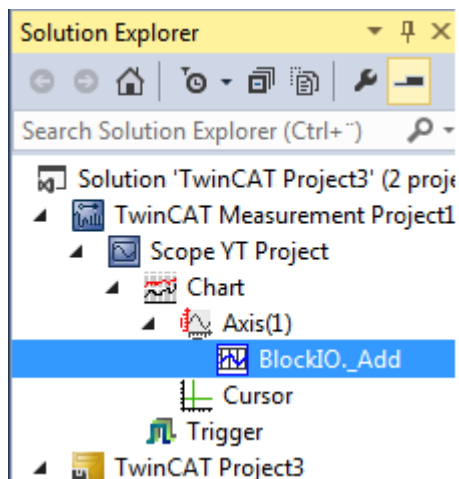
Kuva 31. Mittausprojektin valinta.

Mittausprojektiin saadaan lisättyä uusia mittauspisteitä kohdasta Object, Block Diagram ja painamalla oikeassa reunassa olevaa nuolta. Haluttu signaali valitaan pudotusvalikon sinisellä neliöllä (kuva 32) TwinCATin ollessa Online-tilassa.



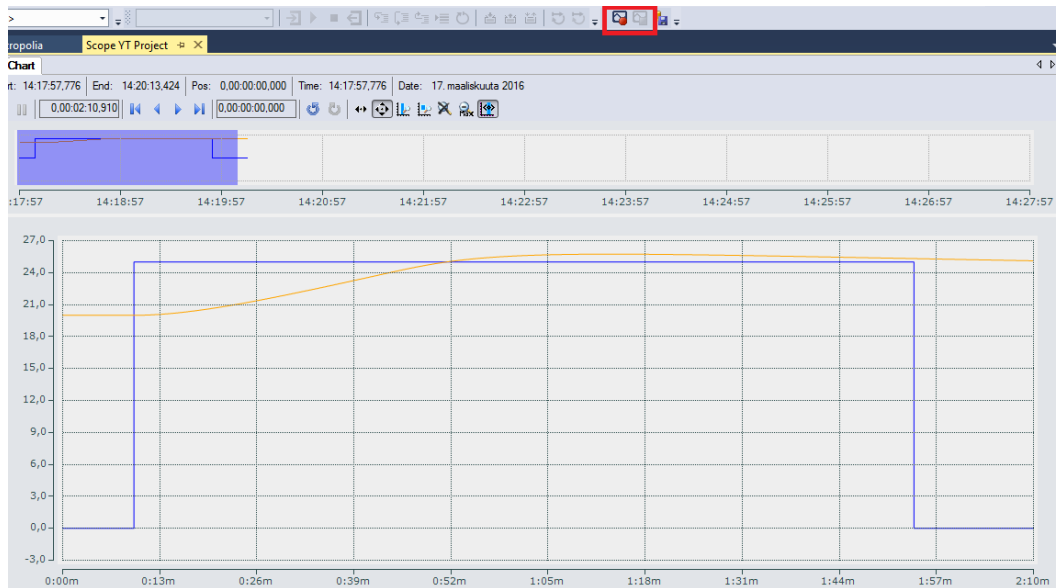
Kuva 32. Mittaussignaalin valinta.

Valittu signaali tulee näkyviin Solution Exploreriin seuraavasti (kuva 33).



Kuva 33. Luodut signaalit.

Signaalien valinnan jälkeen käynnistetään mittausprojekti painamalla kuvan (kuva 34) punaisen neliön vasemmalla painikkeella. Oikea painike pysäyttää mittaukset.



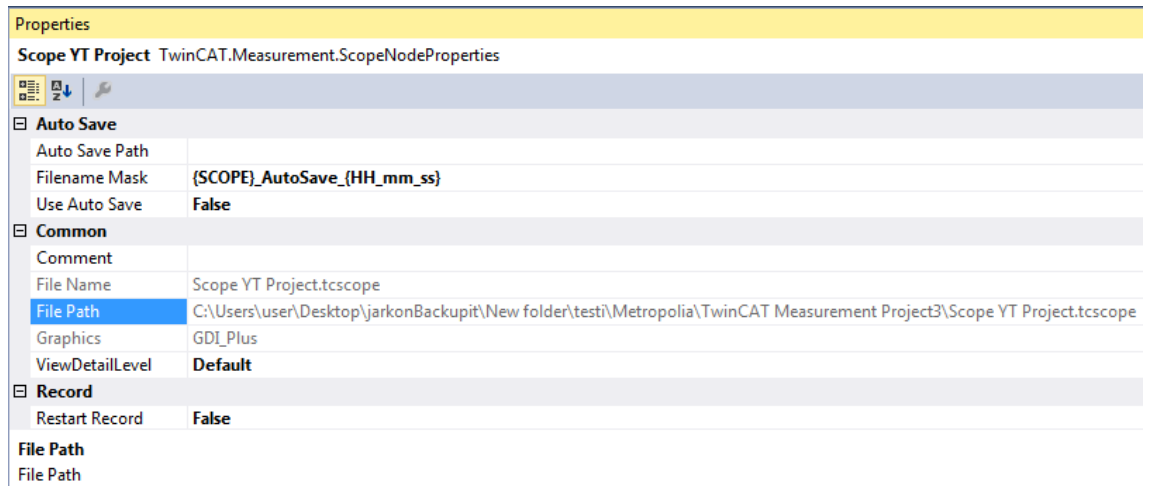
Kuva 34. Mittausprojektin näkymä.

Mittausprojekti tulee käynnistää ennen arvojen muutosta, jotta projekti saa tallennettua niiden muutokset. Mittaustulokset tallentuvat samaan kansioon, missä luodun XAE-projektin tiedostot ovat (kuva 35).

| Name                         | Date modified   | Type                  |
|------------------------------|-----------------|-----------------------|
| Metropolia                   | 31.3.2016 10:49 | File folder           |
| TwinCAT Measurement Project1 | 31.3.2016 10:49 | File folder           |
| TwinCAT Measurement Project2 | 31.3.2016 10:49 | File folder           |
| TwinCAT Measurement Project3 | 31.3.2016 10:49 | File folder           |
| Metropolia.sln               | 17.2.2016 11:32 | Microsoft Visual S... |

Kuva 35. Tallennetut mittausdatat.

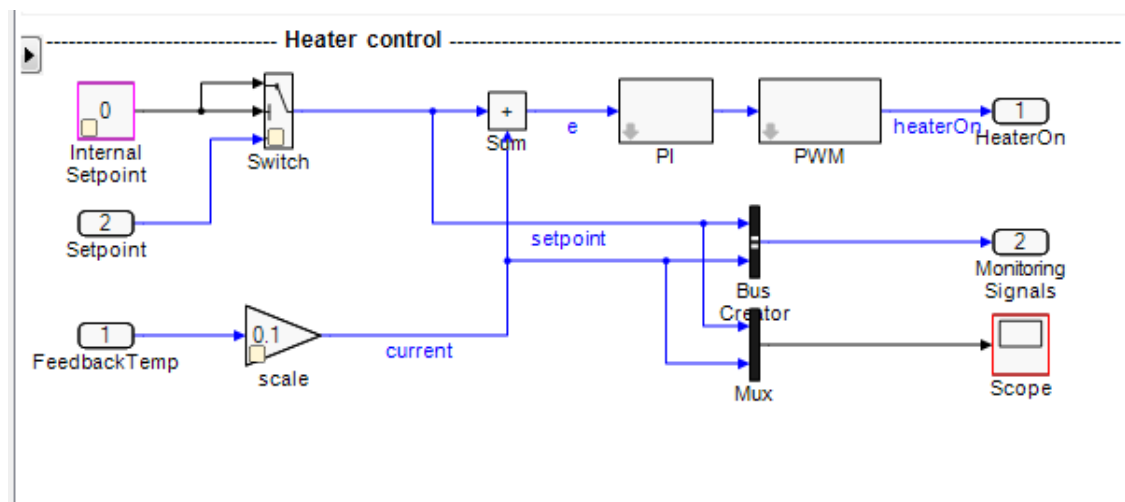
Tarkemman tiedostopolun voi tarkastaa Solution Explorerista mittausprojektin Properties-valikosta (kuva 36).



Kuva 36. Tiedostopolku mittausdatoihin.

#### 4.8 Mittauslaitteiden liittäminen XAE -projektiin

Simulinkistä tuotuun malliin saadaan liitettyä fyysisiä mittauslaitteita pelkän simuloinnin lisäksi (kuva 37).

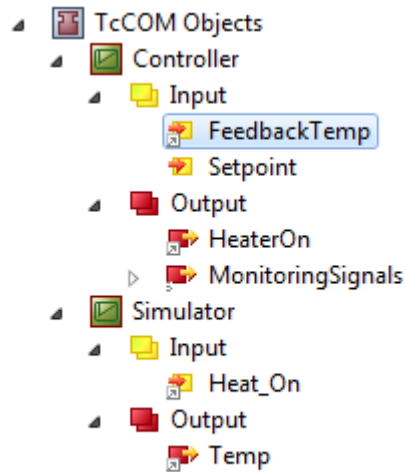


Kuva 37. Simulink-malli.

Tietokone tulee liittää Beckhoffin logiikkaan, jossa on tarvittavat komponentit, joihin mittauslaite voidaan kytkeä.

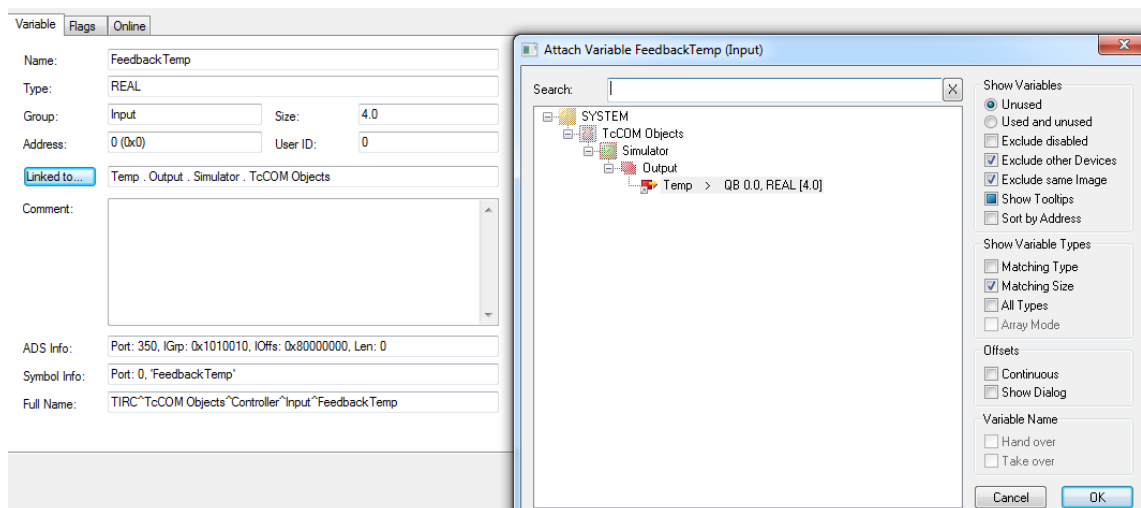


Kun laitteisto on valmiina, määritellään projektin (kuva 37) tuloille ja lähdöille oikeat parit. Parien valinta tapahtuu polusta TcCOM Objects, ”TcCOM objektin nimi”, Input. Tämän jälkeen valitaan hiiren oikealla-painikkeella Change Link (kuva 38).



Kuva 38. Inputtien määrittys.

Linked to...-napista avautuu Attach variable -ikkuna, josta saadaan selattua ja valittua haluttu output (kuva 39).



Kuva 39. Outputin valinta.

## 5 Reaalimaailman esimerkkejä

Edellä käsitellyjä toimintamalleja MATLABilla, Visual Studiolla ja TwinCATilla ja niitä vastaavilla ohjelmilla käytetään usein monimutkaisemmissa systeemeissä, joihin vaaditaan suurempi määrä laskutehoa ja joihin on varattu suurempia budjetteja.

Usein tarpeena on monimutkainen säätösysteemi tai tarve saada testailtua uusia juttuja helposti ja nopeasti. Mekaniikkamalli saattaa monesti olla tehtynä Simulinkilla, jolloin Beckhoff-ratkaisu on erittäin kätevä tapa testailtua uusia juttuja mekaniikkamallia vasten reaaliajassa. [6.]

Kyseisen systeemin hankkiminen on kannattavaa, kun on olemassa valmiit ja toimivat mallit Simulinkissa ja halutaan tuoda uutta automaatio-, säätö- ja ohjausmahdollisuuksia, vanhojen mallien ympärille tai vanhojen mallien uudistamista varten. Hyviä puolia systeemeissä on juuri monimutkaisen systeemin helppo ja nopea tapa kokeilla uusia säätöjä.

### 5.1 Metson digitaalinen hydraulikkasysteemi

Metson hydraulikkasysteemi (kuva 37) on edeltäjiään huomattavasti luotettavampi, vähemmän tilaa vievä ja käyttää 98 % vähemmän energiaa, kuin proportionaaliset hydraulikkasysteemit. Digitaalisen ohjauksen etu proportionaaliseen ohjaukseen nähden on sen kyky ohjata jopa 30 - 40 venttiiliä samanaikaisesti, kun taas proportionaaliohjauksessa joka venttiilille pitäisi olla oma PID-säädin.

Systeemi mallinnettiin Simulinkilla Tampereen yliopiston avustuksella, missä sitä ajettiin ja testattiin. Soveltuvuutta testattiin, jotta saataisiin prosessille tärkeät arvot ja ominaisuudet, kuten rullan asento, rullan kiihtyvyys ja painesäätö haluttuihin raja-arvoihin. Tämän jälkeen Metson insinöörit muokkasivat prosessin virhemarginaaleja, diagnostiikkaa ja tilaraportteja niin että se soveltuisi kaupalliseen käyttöön.

Tämän jälkeen Simulink-mallista tehtiin Simulink Coderilla C-koodi-tiedostot. Metso käytti tässä projektissa aluksi Simulink Real-Timea. [24.] Tehty C-koodi olisi voitu viedä TwinCATin XAE-projektiin ja käyttää, ajaa ja muokata kuten aiemmin olleessa ohjeistuksessa. Simulink Real-Time on monilta osin samanlainen kuin TwinCAT 3, sillä voi simuloida Simulink-malleja reaaliajassa tai olla yhteydessä oikeaan hardwareen ja kokeilla mallien toimivuutta niissä. Projektin loppupuolella Simulink Real-Time vaihdettiin Beckhoffin PLC:hen ja TwinCATiin.

Kyseinen projekti saavutti huomattavat ajan säästöt simuloimalla prosessia Simulinkillä sen sijaan, että olisi ajettu varsinaista hardwarea. Mallien ja prosessien virheet löytyivät helpommin ja nopeammin, ja niiden muokkaaminen ja korjaaminen onnistui helposti. Aikaa säästy myös generoimalla malleista C-koodia. Sillä saatiin käännettyä Metson alkuperäiset parametrit suoraan yhteiselle kielelle, jonka jälkeen tiedot saatiin siirrettyä suoraan Simulink Real-Timeen ja myöhemmin TwinCATtiin. [22.]



Kuva 40. Hydraulikkasysteemin prototyyppikuva.

## 5.2 Hyvinkään asuntomessujen älytalo

Hyvinkään asuntomessujen vuoden 2013 älytalossa suurin osa kaikista säädettävistä ominaisuuksista on tuotu yhteen Beckhoffin ohjausjärjestelmän käyttöliittymään. Älytaloa ohjataan oman sisäverkon välityksellä tabletti-tietokoneella, kännykällä tai pöytätietokoneella. On mahdollista myös ohjata säätöjä internetin välityksellä talon ulkopuolelta. [23.]

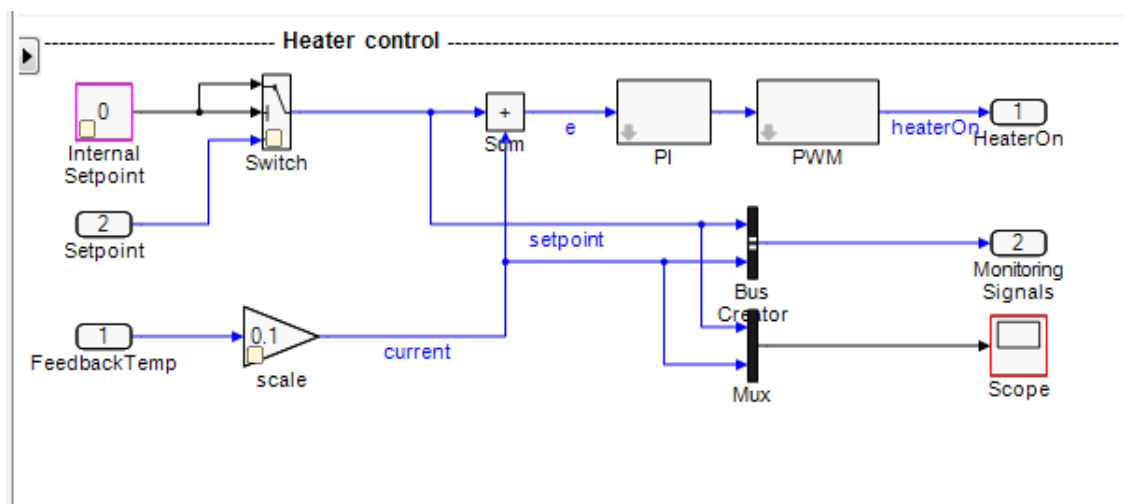
Säätö- ja seurantakohteita ovat mm.

- lämmitys
- ilman jäähdytys
- valaistus
- ulko-ovien lukitus
- turvajärjestelmä
- videotykki

- AV-järjestelmä
- kiuas
- laitekohtainen energian ja/tai veden kulutus

Lämmityksen ohjauksen ja säädön voisi toteuttaa alla olevalla Simulink-mallilla (kuva 41), minkä saa tuotua TwinCATtiin ja sitä kautta älytalon käyttöliittymän alaisuuteen.

Switch-lohkolla valitaan lämpötilan asetusarvo eli setpoint, joko Internal setpointin tai tu-  
loportista 2 (Setpoint 2) tuleva arvo. Internal setpoint on itse määriteltävissä ja setpoint  
2 on kytkettynä lämmönmittausanturiin. PI-säädin muodostaa erosuureen "e" perusteella  
ohjauksen, joka menee PWM-blokille (Pulse Width Modulation). PWM-blokki muuttaa  
lämmittimelle menevän ohjauspulssin leveyttä eli määrittää, kuinka pitkään lämmitin on  
päällä.



Kuva 41. Lämmön säätö-malli.

Laitteistojen asentaminen on helppoa talon rakennusvaiheessa. Se soveltuu siis parhaiten uusiin kohteisiin. Hankinta- ja asennuskustannukset ovat korkeat, mutta maksavat itsensä takaisin pitkän käyttöikänsä johdosta. Kyseisellä säätö- ja ohjaussysteemillä pystytään säästämään energiaa ja vettä. Lisäksi sillä voidaan huomata mahdolliset kodinkoneiden viat ajoissa, energian- ja/tai vedenkulutuksen keskimääräisestä poikkeavan käytön johdosta. Esimerkiksi mahdollinen pyykinpesukoneen aiheuttama vesivahinko voidaan ennaltaehkäistä vuotavasta liitännästä johtuvan vedenkulutuksen nousun havaitsemisen ansiosta.

## 6 Yhteenveto

Simulointi on tärkeä osa tekniikkaa. Sillä saadaan pudotettua kustannuksia, sekä säästettyä aikaa suunnittelussa, testauksessa ja asennuksissa, kuten myös monissa muissa eri projektin vaiheissa, kuten aiemmin Metson esimerkkiprojektissa todettiin.

TwinCAT 3 XAE mahdollistaa hyvän ja helpon liittymisen monille eri kielisille objekteille, sekä mahdollistaa niiden saumattoman yhteistyön Visual Studioon sulautumisellaan. Se takaa hyvät ja monipuoliset käyttömahdollisuudet, niin kaikilla TwinCATin ominaisuuksilla, kuin myös kaikilla Visual Studion ominaisuuksilla ja työkaluilla. Se on hyvä työkalu, ja se soveltuu myös hyvin opetusympäristöksi. Lisäksi TwinCATin uudet kielituet, kuten MATLAB ja C++, ovat oiva lisäominaisuus XAE-projekteille.

MATLABin tarve MBD-mallien käyttöön tuo haasteita pienimmille toimijoille kustannussyistä. Tämän takia Scilabin käyttö olisi parempi vaihtoehto, mutta mihin ei ole vielä olemassa vapaasti jaossa olevaa C-koodigeneraattoria. Kun oikeanlainen koodigeneraattori saadaan vapaaseen jakoon, se avaa uusia mahdollisuuksia pienimmille toimijoille.

Opinnäytetyössä saavutettiin sille asetetut tavoitteet. Luotiin toimintaohje TwinCATin ja muiden ohjelmien käyttöön, sekä tutkittiin MATLABin mahdollista korvaamista Scilabilla.

## Lähteet

- 1 Beckhoff Automationin esittelymateriaali. Verkkodokumentti. <[http://download.beckhoff.com/download/press/Short\\_profile\\_Beckhoff.pdf](http://download.beckhoff.com/download/press/Short_profile_Beckhoff.pdf)>. Luettu 18.3.2016.
- 2 Beckhoff Automation. Verkkosivu. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Beckhoff\\_Automation](https://en.wikipedia.org/wiki/Beckhoff_Automation)>. Luettu 18.3.2016.
- 3 Beckhoff Automation. Verkkodokumentti. <<http://www.beckhoff.com/english.asp?beckhoff/default.htm>>. Luettu 18.3.2016.
- 4 Beckhoff Automation. Verkkosivu. <<http://www.beckhoff.fi/>>. Luettu 21.4.2016.
- 5 Pc-Control. Verkkodokumentti. <[https://www.pc-control.net/pdf/012015/news/pcc\\_0115\\_beckhoff-finland\\_e.pdf](https://www.pc-control.net/pdf/012015/news/pcc_0115_beckhoff-finland_e.pdf)>. Luettu 3.5.2016.
- 6 Hopponen, Ville. Avainasiakaspäällikkö. Beckhoff Automation. Tapaaminen ja sähköpostit. 2016.
- 7 MATLAB. Verkkosivu. <<http://se.mathworks.com/products/matlab/>>. Luettu 26.4.2016.
- 8 MATLAB. Verkkosivu. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/MATLAB>>. Luettu 26.4.2016.
- 9 The MathWorks. Verkkodokumentti. <<http://se.mathworks.com/products/simulink/>>. Luettu 26.4.2016.
- 10 Model-Based Design. Verkkosivu. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Model-based\\_design](https://en.wikipedia.org/wiki/Model-based_design)>. Luettu 26.4.2016.
- 11 Simulinkin esittelysivu. Verkkosivu. <[http://se.mathworks.com/products/simulink/index.html?s\\_tid=gn\\_loc\\_drop](http://se.mathworks.com/products/simulink/index.html?s_tid=gn_loc_drop)>. Luettu 3.5.2016.
- 12 Yleiskatsaus Visual Studiosta. Verkkosivu. <[https://fi.wikipedia.org/wiki/Microsoft\\_Visual\\_Studio](https://fi.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Visual_Studio)>. Luettu 3.5.2016.
- 13 Microsoft. Verkkosivu. <<https://msdn.microsoft.com/en-us/library/dd831853.aspx>>. Luettu 3.5.2016.
- 14 Yleiskatsaus TwinCAT 3:sta. Verkkodokumentti. <<http://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tinfosys3/html/startpage.htm&id=>>>. Luettu 18.3.2016.

- 15 Tietoa TwinCAT 3 XAE. Verkkosivu. <<https://www.beckhoff.com/english.asp?twincat/twincat-3-extended-automation-engineering.htm>>. Luettu 18.3.2016.
- 16 Tietoa TwinCAT 3 XAR. Verkkosivu. <<https://www.beckhoff.com/english.asp?twincat/twincat-3-extended-automation-runtime.htm?id=1893323218933308>>. Luettu 18.3.2016.
- 17 Scilab. Verkkodokumentti. <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Scilab>>. Luettu 18.3.2016.
- 18 Scilab Enterprises. Verkkodokumentti. <<http://www.scilab.org/scilab/history>>. Luettu 18.3.2016.
- 19 Scilab Enterprises. Verkkodokumentti. <<https://www.scilab.org/scilab/features/xcos>>. Luettu 18.3.2016.
- 20 Laskentaohjelmistojen vertailu. Verkkodokumentti. <[https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison\\_of\\_numerical\\_analysis\\_software](https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_numerical_analysis_software)>. Luettu 18.3.2016.
- 21 Open-DO. Project P. Verkkodokumentti ja video. <<http://www.open-do.org/projects/p/>>. Luettu 18.4.2016.
- 22 Metson hydrauliiikkaprojekti. Verkkodokumentti. <[http://se.mathworks.com/company/user\\_stories/metso-develops-controller-for-energy-saving-digital-hydraulic-system-for-papermaking-equipment-using-model-based-design.html?s\\_tid=srch-title](http://se.mathworks.com/company/user_stories/metso-develops-controller-for-energy-saving-digital-hydraulic-system-for-papermaking-equipment-using-model-based-design.html?s_tid=srch-title)>. Luettu 26.4.2016.
- 23 Reset. Verkkolehti. <[https://issuu.com/reset\\_lehti/docs/reset\\_1\\_13\\_final\\_low](https://issuu.com/reset_lehti/docs/reset_1_13_final_low)>. Luettu 26.4.2016.
- 24 Real-Time Simulation and Testing with Simulink Real-Time. Video. <<https://www.youtube.com/watch?v=QxSKaq7F4mg>>. Luettu 26.4.2016.

