

# LABORATORIUM

## Identyfikacja obiektu cieplnego z wykorzystaniem sterowników firmy Beckhoff oraz oprogramowania Matlab

1. Analogowe prądowe moduły wejścia/wyjścia.....	2
2. Połączenie sterownika z obiektem cieplnym .....	2
3. Identyfikacja obiektu.....	3
3.1. Otwarcie szablonów projektowych .....	3
3.2. Uruchomienie programu PLC .....	4
3.3. Realizacja eksperymentu.....	5
4. Analiza danych w Matlabie.....	6
5. Dodatki.....	9

### Przygotowanie do ćwiczenia:

- pobranie, zainstalowanie i zapoznanie się z pakietami **TwinCAT** oraz **Beckhoff Information System** z lokalizacji [www.beckhoff.pl](http://www.beckhoff.pl) (wprowadzając dane na stronie www należy podać informację, że osoba pobierająca jest studentem PRz),
- zapoznanie się z modelem obiektu cieplnego typu „inercja + opóźnienie” oraz sposobami identyfikacji parametrów jego transmitancji,
- zapoznanie się z podstawami działania modułów analogowych we/wy KL3448 oraz KL4418,
- zapoznanie się materiałami pomocniczymi umieszczonymi na stronie [www.tomz.prz-rzeszow.pl](http://www.tomz.prz-rzeszow.pl),
- przypomnienie podstaw programowania w języku ST.

### W sprawozdaniu należy zamieścić:

- wyszczególnienie kolejno wykonanych działań,
- widoki ekranowe (treść instrukcji zawiera przypomnienia o wymaganych widokach):
  - widok ekranu z **TwinCAT Scope View**, ukazujący przebieg identyfikacyjny,
  - wykres, pozwalający odczytać opóźnienie  $\tau$ ,
  - wykres, ukazujący dopasowanie przebiegu zarejestrowanego i odpowiedzi transmitancji modelującej (identyfikacja  $T$ ),
- wzór zidentyfikowanej transmitancji,
- wnioski i spostrzeżenia.

### Literatura

- J. Kasprzyk, *Programowanie sterowników przemysłowych*, ISBN 83-204-3109-3, WNT 2005
- T.Legierski, J.Kasprzyk, J.Wyrwał, J.Hajda, *Programowanie sterowników PLC*, Pracownia Komputerowa Jacka Skalmierskiego
- materiały pomocnicze na stronie [www.tomz.prz-rzeszow.pl](http://www.tomz.prz-rzeszow.pl) (głównie: *Sterowniki\_IEC61131-3.pdf*)
- *Beckhoff Information System* – do pobrania ze strony [www.beckhoff.pl](http://www.beckhoff.pl) oraz dokumentacje ze strony [www.beckhoff.pl](http://www.beckhoff.pl)

## 1. Analogowe prądowe moduły wejścia/wyjścia

Sterownik połączono z obiektem cieplnym przy użyciu pary modułów szyny K-Bus, **KL3448** i **KL4418**, stanowiących odpowiednio wejście i wyjście dla analogowych sygnałów prądowych z zakresu **0..20mA**. Zakres 0..20mA jest jednym ze standardów przemysłowych, używanych do przekazywania sygnałów analogowych. Inne standardy wykorzystują m.in. zakres prądowy 4..20mA, zakres napięciowy -10..+10V lub sygnał napięciowy wygenerowany poprzez modulację szerokości impulsu prostokątnego (PWM).

Szczegółowe informacje o wszystkich modułach dostępnych dla sterowników Beckhoff uzyskać można w programie *Beckhoff Information System* (do pobrania ze strony Beckhoff) lub wyszukując opis na podstawie nazwy modułu bezpośrednio w Internecie.

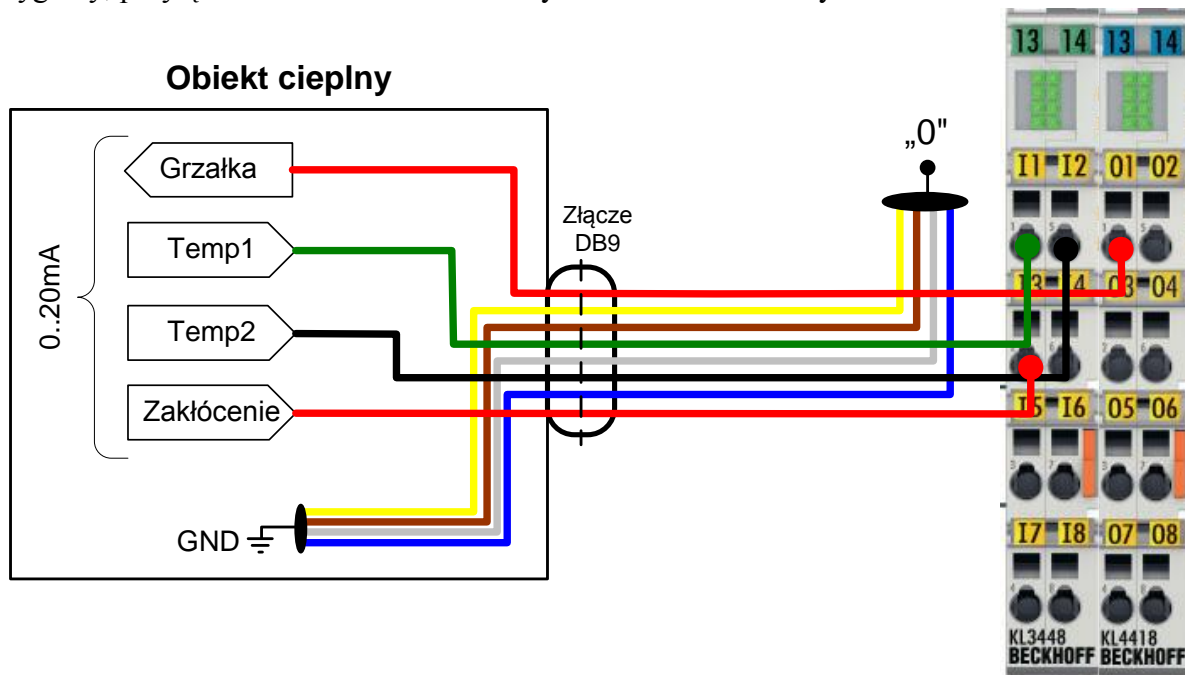
Na potrzeby realizowanego ćwiczenia istotne są podstawowe informacje o działaniu modułów:

1. Zarówno moduł wejściowy jak i wyjściowy są 8-kanalowe. Połączenia elektryczne są asymetryczne (odniesione do masy) i wyprowadzenia kolejnych kanałów odpowiadają kolejnym zaciskom modułów (od górnego lewego do dolnego prawego). Połączenie masy należy zapożyczyć z innych modułów sterownika, np. z zacisku "-" modułu zasilacza.
2. Pojedynczy moduł KL3448 oraz KL4418 zrealizowany jest jako połączenie dwóch logicznych bloków 4-kanalowych, umieszczonych w jednej obudowie. W przestrzeni obrazu procesu każdy blok logiczny prezentowany jest oddzielnie, dlatego po przeszukaniu szyny K-Bus w TwinCAT System Manager, na liście pojawiają się dwa wpisy KL3448 (odpowiednio dla kanałów 1-4 oraz 5-8) i analogicznie dwa wpisy dla KL4418.
3. Moduły KL3448 oraz KL4418 mogą pracować w dwóch trybach: konfiguracja poprzez rejestry (*register communication mode*) oraz właściwa wymiana danych we/wy (*process data mode*). Domyślnie moduły realizują drugi z podanych trybów, pozwalający na normalną pracę – tylko ten tryb będzie wykorzystywany. Tryb konfiguracji pozwala na ustawienie wielu szczegółowych parametrów pracy modułów.
4. W trybie *process data mode* odczyt wejścia i zapis wyjścia analogowego sprowadza się odpowiednio do odczytu rejestru wejściowego danych (DataIN<n>) właściwego kanału modułu KL3448 i zapisu rejestru wyjściowego danych (DataOut<n>) wybranego kanału modułu KL4418. Wymienione rejestry są 16-bitowe (typ WORD lub INT) i przechowują (w domyślnej konfiguracji) wartości wejść/wyjść przetworników 12-bitowych, reprezentowane kodem całkowitoliczbowym U2 i wyrównane bitowo do lewej strony (a więc do pozycji MSB). Pomimo kodowania U2, wartości mogą być tylko dodatnie ze względu na unipolarny zakres przetwarzania modułów. Ostatecznie, praktyczny wniosek jest następujący: **pełnemu zakresowi we/wy: 0..20mA odpowiada zakres liczbowy: 0..7FFFh zawartości rejestrów, przy czym rozdzielczość dyskretyzacji po stronie rejestrów wynosi 8 (3-najmłodsze bity są „zamrożone”)**.

## 2. Połączenie sterownika z obiektem cieplnym

Wejście sterowania (moc grzałki) obiektu cieplnego przyłączone jest do wyjścia 1 modułu KL4418. Wyjścia pomiaru temperatury obiektu cieplnego przyłączone są do kanałów wejściowych 1 i 2 modułu KL3448, natomiast wyjście poziomu zakłócenia (prędkość

wentylatora wewnętrznego) przyłączone jest do kanału wejściowego 3 modułu KL3448. Schemat połączeń ukazuje rysunek poniżej. W ćwiczeniu wykorzystywane są tylko dwa sygnały, przyłączone do zacisków nr 1 obydwu modułów we/wy.



### 3. Identyfikacja obiektu

#### **UWAGA:**

W czasie eksperymentu identyfikacyjnego używane będą dwa programy z pakietu **TwinCAT System**, połączone *on-line* ze sterownikiem: **TwinCAT PLC Control** oraz **TwinCAT Scope View**. Przechodząc pomiędzy programami nie należy zamykać żadnego z nich, aż do zakończenia eksperymentu.

#### 3.1. Otwarcie szablonów projektowych

Otworzyć plik:

`<Pulpit>\SzablonyBeckhoff\CX\Ident\ident.pro`

który jest szablonem projektowym dla programu **TwinCAT PLC Control**.

**UWAGA:** Istnieje możliwość samodzielnego utworzenia projektu, zamiast użycia pliku szablonowego. Szczegółowe kroki opisane są w dodatku A.

Otworzyć plik:

`<Pulpit>\SzablonyBeckhoff\CX\Ident\config.tsm`

który jest szablonem projektowym dla programu **TwinCAT PLC System Manager**.

**UWAGA:** Istnieje możliwość samodzielnego utworzenia projektu, zamiast użycia pliku szablonowego. Szczegółowe kroki opisane są w dodatku B.

Otworzyć plik:

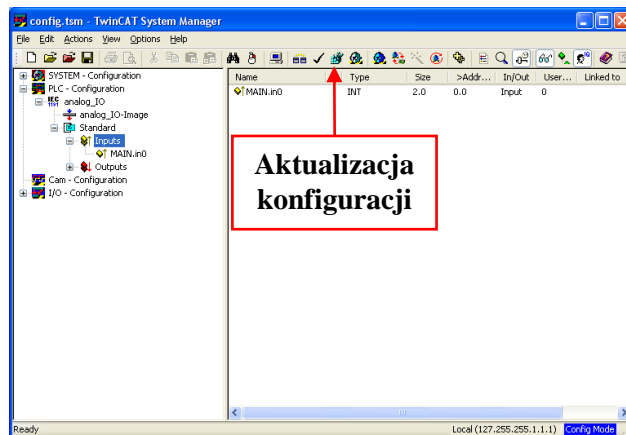
**<Pulpit>\SzablonyBeckhoff\CX\Ident\scope.scf**

który jest szablonem projektowym dla programu **TwinCAT PLC Scope View**.

**UWAGA:** Istnieje możliwość samodzielnego utworzenia projektu, zamiast użycia pliku szablonowego. Szczegółowe kroki opisane są w dodatku C.

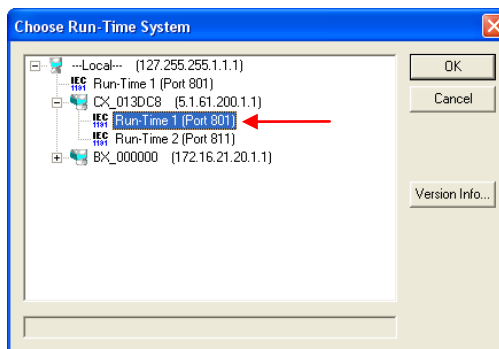
### 3.2. Uruchomienie programu PLC

Przygotowaną konfigurację należy przesłać do systemu PLC (**TwinCAT PLC System Manager**). System powinien zostać następnie przełączony w tryb pracy (RUN).




Po wykonaniu opisanych wyżej operacji, powrócić do **TwinCAT PLC Control** i uruchomić program sterownika w trybie *on-line*, tj:

- Zweryfikować wybór adresu sterownika w oknie **Online** → **Choose Run-Time System...**



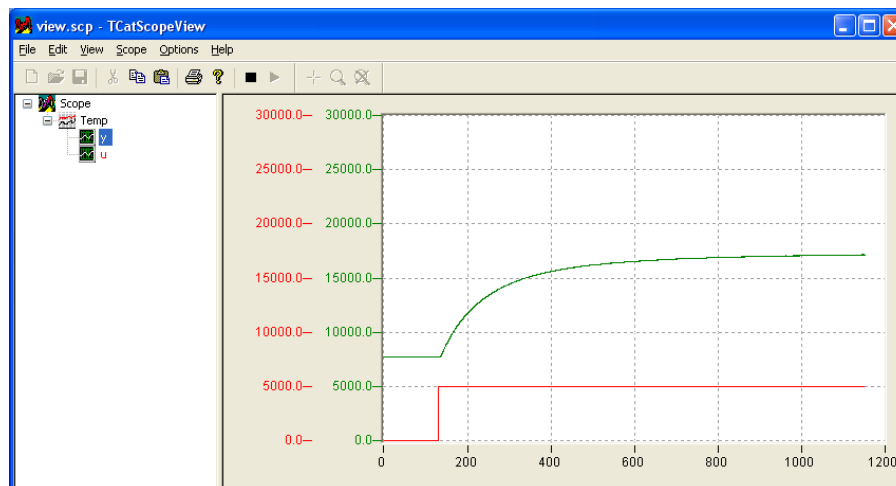
- Zalogować się do sterownika: **Online** → **Login**
- Uruchomić program: **Online** → **Run** (w czasie wykonywania programu kontrolki LED w modułach KL3448 i KL4418 powinny świecić na zielono).

### 3.3. Realizacja eksperymentu

Wybierając w programie **TwinCAT Scope View** opcję **Scope → Start Scope** (lub przycisk ) , uruchomić rejestrację przebiegów. Obserwowane sterowanie powinno mieć stałą wartość 0, natomiast sygnał pomiarowy pewną wartość ustaloną lub dążącą do ustalonej (zależnie od czasu, który upłynął od załączenia sterowania obiektu).



#### 3.3.1. Wstępne ustabilizowanie obiektu

Sterowanie ustawić na określoną pewną wartość początkową, która będzie punktem odniesienia dla identyfikacji. Wybrać wartość w granicach **30-50%** zakresu sterowania, np. 10000 (zakres wynosi:  $0..7FFFh \Leftrightarrow 0..32767$ ). Aby zmodyfikować sterowanie, w **TwinCAT PLC Control** kliknąć na wartości modyfikowanej zmiennej i w otwartym oknie dialogowym podać nową wartość, następnie wybrać opcję **Online → Write Values** (lub klawisze **[ctrl + F7]**). Po tej operacji program **TwinCAT Scope View** powinien zarejestrować skokową zmianę sterowania i rozpoczęcie wzrostu wartości temperatury.



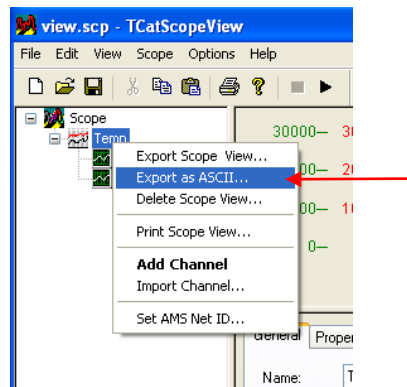
Należy odczekać, aż temperatura osiągnie nową wartość ustaloną, odpowiadającą ustawionemu sterowaniu. Trwa to ok. 10-15 minut.

#### 3.3.2. Realizacja właściwego eksperymentu

Po ustabilizowaniu się wartości temperatury, przystąpić do zasadniczej części eksperymentu. Zatrzymać rejestrację w **TwinCAT Scope View** () i uruchomić ją na nowo () – zacznie się rejestracja właściwych danych identyfikacyjnych od początku przedziału czasowego. Następnie w **TwinCAT PLC Control** wymusić skok sterowania. Powinien on zawierać się w granicach 10-20% zakresu sterowania, np. 4000. Nowa wartość sterowania będzie wartością początkową powiększoną o wartość skoku (dla proponowanych wartości przykładowych będzie to:  $10000+4000=14000$ ) i tą wartość należy wymusić przy pomocy **TwinCAT PLC Control**, w taki sam sposób jak wcześniej wartość odniesienia.

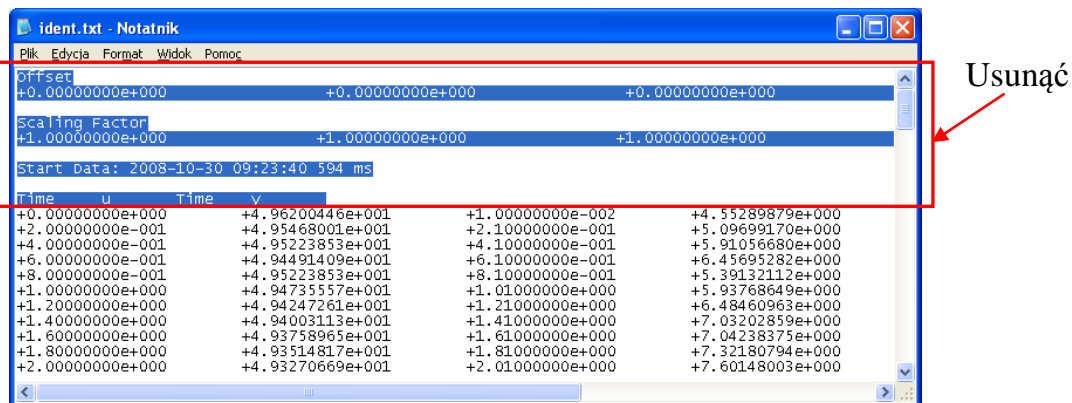
Program **TwinCAT Scope View** powinien ponownie zarejestrować skokową zmianę sterowania i zmianę wartości temperatury. Odczekać pełny cykl rejestracji przebiegu w **TwinCAT Scope View**, aż do automatycznego zatrzymania rejestracji (**widok okna rejestracji należy dołączyć do sprawozdania!**).

Program daje możliwość zapisu zarejestrowanych przebiegów do pliku tekstowego. Wykonuje się to, wybierając z menu kontekstowego opcję **Export as ASCII...**



Plik uzyskany w wyniku eksportu zmodyfikować w następujący sposób:

1. Zmienić rozszerzenie z **.dat** na **.txt**.
2. Usunąć z treści pliku początkowe wiersze informacyjne, pozostawiając tylko kolumny z danymi numerycznymi.



#### 4. Analiza danych w Matlabie

Dane zarejestrowane w pliku należy wczytać do **Matlaba**, sprowadza się to do ustawienia katalogu z plikiem jako katalogu roboczego i wykonania instrukcji:

```
data = load(<nazwa_pliku>);
t = data(:, 1);
u = data(:, 2);
y = data(:, 4);
```

Wykres:

```
plot(t, u, t, y); grid;
```

powinien być zgodny z uzyskanym wcześniej w **TwinCAT Scope View**.

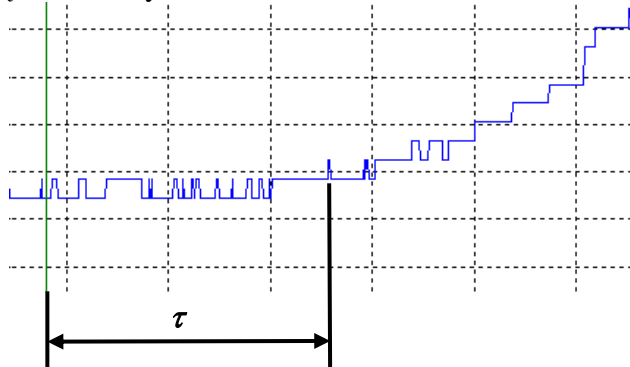
Dla obiektu zastosowany zostanie transmitancyjny model inercyjny pierwszego rzędu z opóźnieniem:

$$G(s) = \frac{k}{Ts+1} e^{-s\tau}, \quad (1)$$

gdzie:

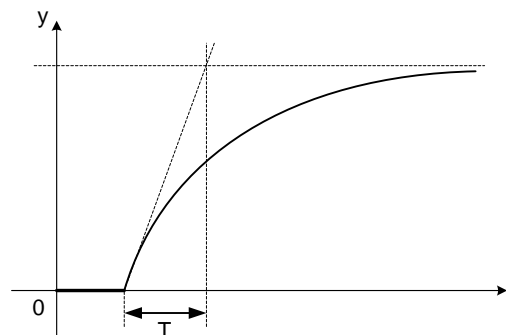
$k$  – wzmacnienie statyczne,  $T$  – stała czasowa,  $\tau$  - opóźnienie, są parametrami, których wartości należy zidentyfikować.

Wartość opóźnienia  $\tau$  wygodnie jest odczytać jako czas pomiędzy skokiem wymuszenia i reakcją wyjścia obiektu na ten skok, co jest dobrze widoczne przy odpowiednim powiększeniu wykresu.



Pełny wykres (wraz z opisem osi), z którego odczytano  $\tau$ , należy umieścić w sprawozdaniu. Na wykresie zaznaczyć  $\tau$ , podobnie jak pokazano obok.

Wyznaczyć zgrubnie wartość stałej czasowej  $T$ , wykorzystując styczną do wykresu odpowiedzi skokowej, jak pokazuje poniższy rysunek.



Wzmacnienie statyczne  $k$  określone jest przez stosunek przyrostu wartości ustalonej wyjścia obiektu do amplitudy wymuszenia skokowego. Dla zebranych danych pomiarowych najłatwiej wyznaczyć je jako iloraz różnicy końcowej i początkowej wartości wyjścia przez różnicę końcowej i początkowej wartości wymuszenia:

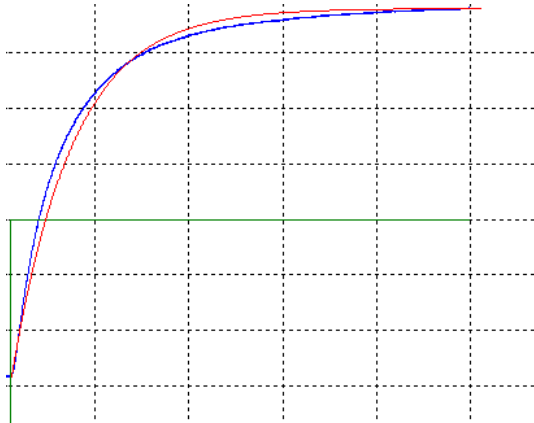
$$k = (y(\text{length}(y)) - y(1)) / (u(\text{length}(u)) - u(1))$$

Stałą czasową  $T$  można określić, tworząc wykres porównawczy oparty na równaniu (1) i dobierając współczynnik  $T$  tak, aby pokrył się on najlepiej z wykresem danych pomiarowych. Jako początkową wartość  $T$ , należy wykorzystać poprzedni zgrubny odczyt tego parametru:

```
tStep = ...      % moment skoku sterowania (należy odczytać po
                  powiększeniu wykresu)
tau = ...        % zidentyfikowane uprzednio opóźnienie
k = ...          % zidentyfikowane uprzednio wzmacnienie
T = ...          % DOBIERANA STAŁA CZASOWA

L = k;
M = [T 1];
yTest = y(1) + (u(length(u)) - u(1)) * step(L, M, t);
plot(t,y, t,u, t+tStep+tau,yTest); grid;
```

Po kilku iteracjach (zmianach  $T$ ) można z łatwością uzyskać dobre dopasowanie wykresów.



Pełny wykres (wraz z opisem osi), dzięki któremu zidentyfikowano  $T$ , należy umieścić w sprawozdaniu.

W ten sposób określone zostały wszystkie trzy współczynniki, charakteryzujące model obiektu cieplnego. Na ich podstawie zapisać ostateczną postać transmitancji modelu, podstawiając wyznaczone parametry do wzoru (1), wartości powinny być reprezentowane z dokładnością co najwyżej trzech cyfr znaczących. **Postać transmitancji należy zachować, gdyż będzie wykorzystywana w doborze nastaw regulatora w ramach kolejnego ćwiczenia.**

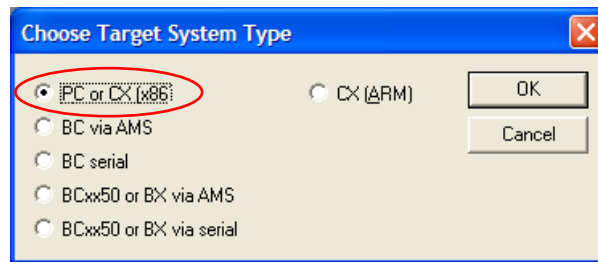


## 5. Dodatki

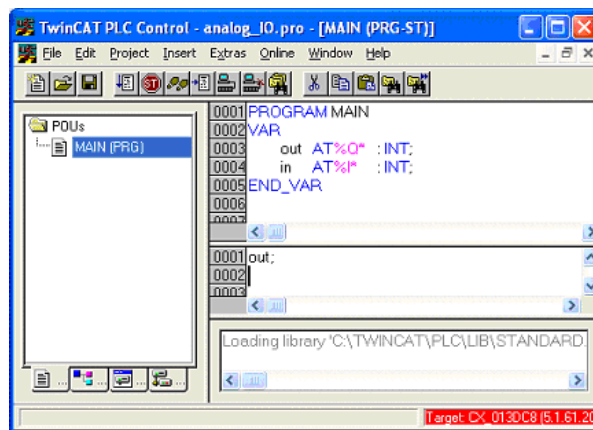
### Dodatek A

#### Przygotowanie projektu w TwinCAT PLC Control

Otworzyć **TwinCAT PLC Control** i utworzyć nowy projekt. Jako rodzaj systemu docelowego (*Target System Type*) wybrać **PC or CX (x86)**.

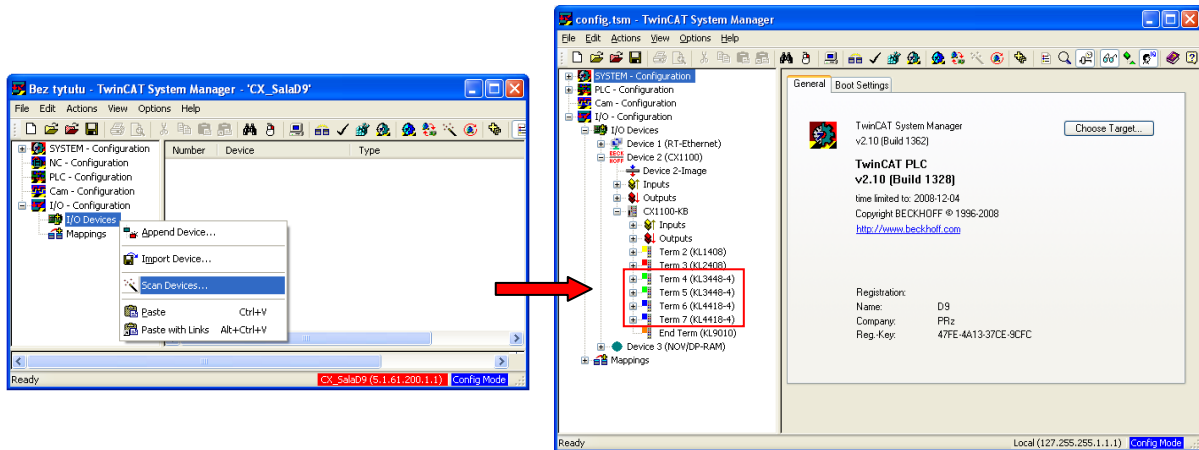


Napisać prosty program, pozwalający na dostęp do wejścia i wyjścia obiektu ciepłego w trybie *on-line*. Zadeklarować dwie zmienne typu INT, przechowujące wartości wejścia i wyjścia. Wykorzystać język ST. Utworzony program skompilować (**Project** → **Rebuild All**).

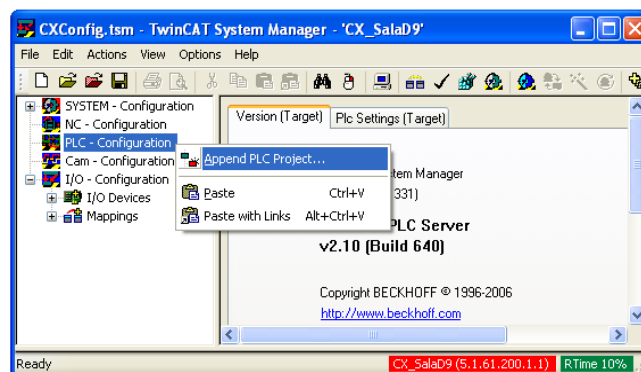


## Dodatek B Przygotowanie projektu w TwinCAT System Manager

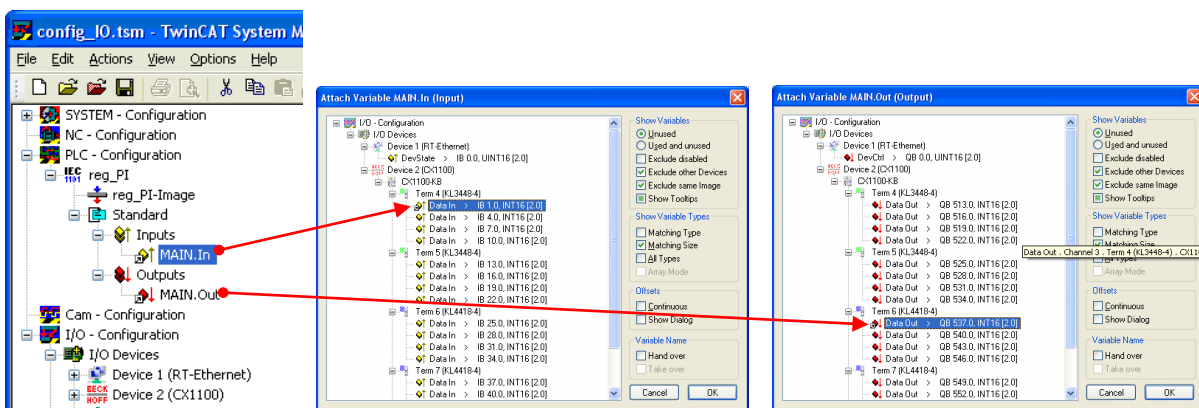
W programie **TwinCAT System Manager** utworzyć nowy projekt. Połączyć się ze sterownikiem **CX1000 (SYSTEM-Configuration → Choose Target...)**. Uruchomić skanowanie konfiguracji sprzętowej sterownika. Odnalezienie modułów analogowych we/wy powinno zostać odnotowane przez podwójne wpisy **KL3448** oraz **KL4418**.



Wczytać konfigurację (**PLC-configuration**) wygenerowaną dla napisanego programu PLC, wybierając odpowiedni plik **\*.tpy**.



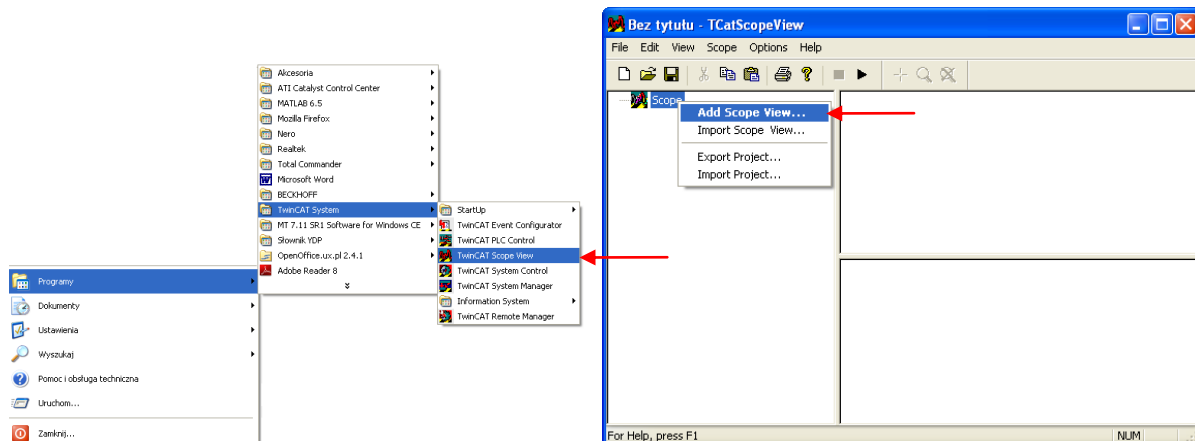
Następnie odpowiednio powiązać adresy zmiennych zadeklarowanych w programie z fizycznymi lokalizacjami przestrzeni obrazu procesu (**PLC-configuration → Standard → Inputs/Outputs**).



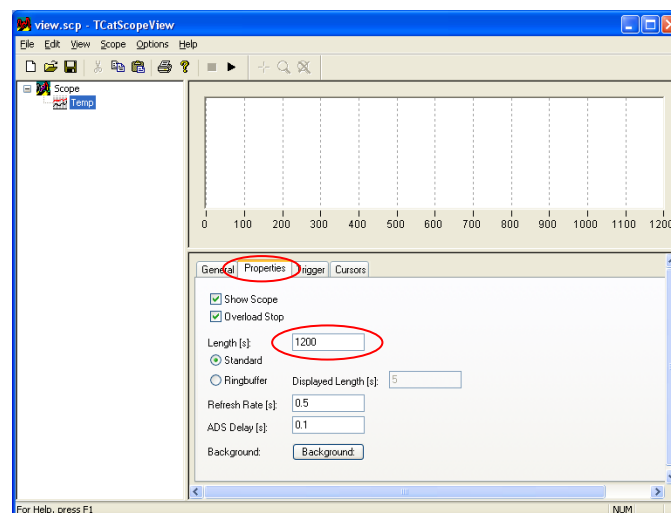
## Dodatek C

### Przygotowanie obserwacji i rejestracji przebiegów w TwinCAT Scope View

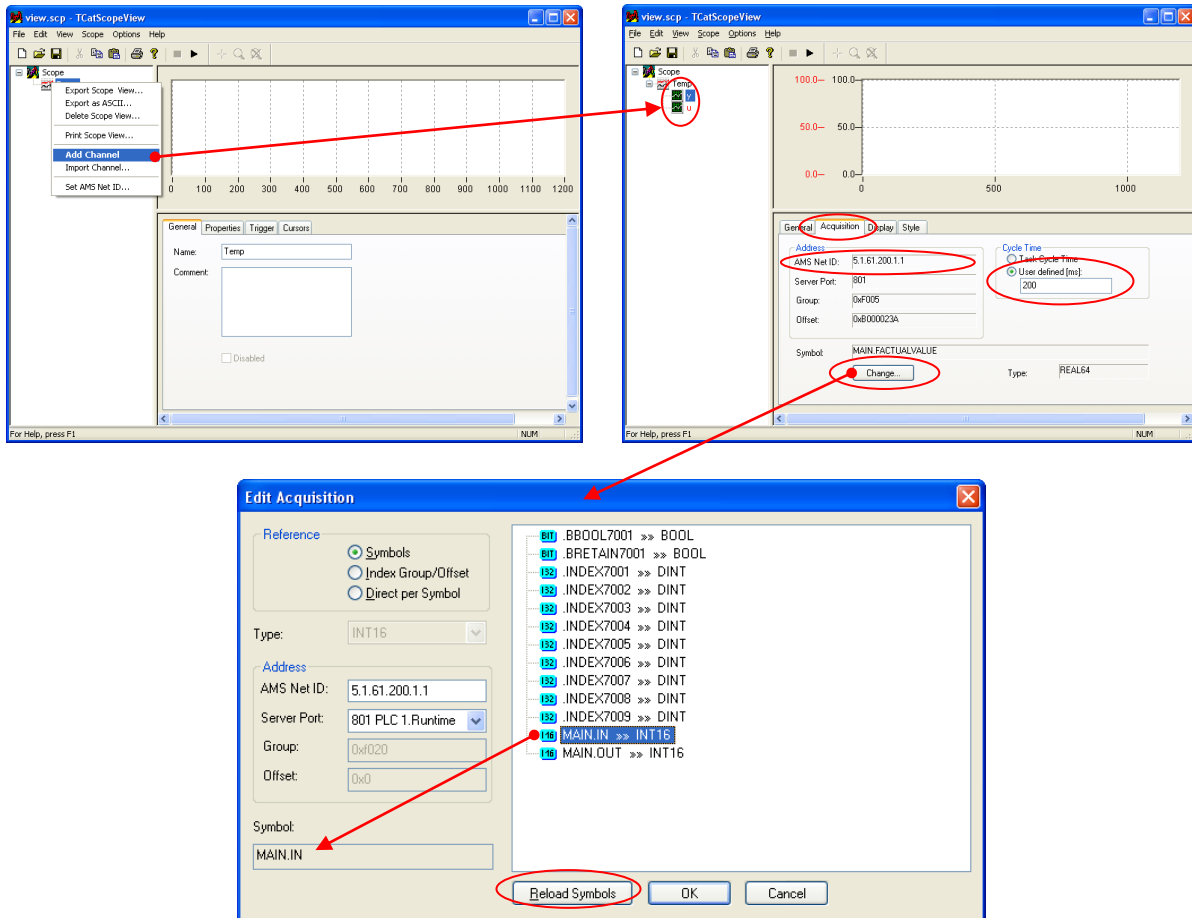
Wizualizację i rejestrację czasowego przebiegu wartości zmiennych procesowych należy zrealizować można przy wykorzystaniu programu **TwinCAT Scope View** z pakietu **TwinCAT System**. Po otwarciu programu, z menu kontekstowego elementu **Scope** (prawy klawisz myszy), należy wybrać **Add Scope View ...**, a następnie podać tytuł tworzonego okna rejestracji, np. **Temp**.



Utworzony zostanie element okna rejestracji o podanej nazwie. W prawym dolnym panelu dostępne są zakładki, umożliwiające konfigurację utworzonego elementu. W zakładce **Properties** czas rejestracji **Length [s]** powinien zostać ustawiony na odpowiednio dużą wartość (np: 1200 s = 20 min.), ze względu na przewidywaną dużą stałą czasową obiektu cieplnego. Pozostałe ustawienia mogą pozostać domyślne.



Menu kontekstowe utworzonego elementu posiada pozycję dodania kanału wizualizacji **Add Channel**. Dodać dwa kanały o nazwach np. **u** i **y**, przeznaczone do rejestracji odpowiednio wejścia (sterowania) i wyjścia obiektu cieplnego. Po wybraniu danego kanału (przez kliknięcie na odpowiadający mu element), w prawym dolnym panelu ukazują się zakładki konfiguracyjne.



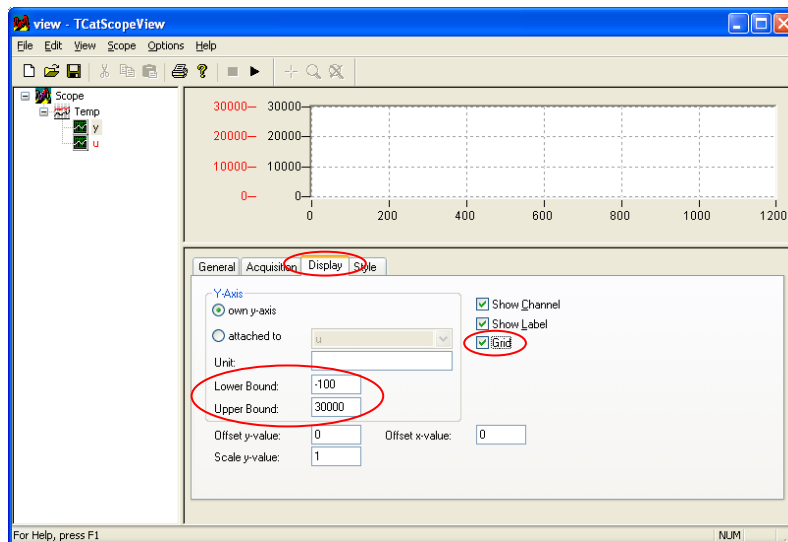
Dla każdego z dwóch kanałów zrealizować opisane niżej czynności konfiguracyjne.

W zakładce **Acquisition**:

- Jako adres **AMS Net ID** sterownika wpisać adres podłączonego sterownika CX1000 (dostępny na dolnym pasku stanu programu **TwinCAT System Manager** lub **TwinCAT PLC Control**).
- Nacisnąć przycisk **Change...**, a w otwartym następnie oknie dialogowym przycisk **Reload Symbols**. Załadowane zostaną nazwy symboliczne zmiennych z pamięci sterownika, które można wybrać do rejestracji w danym kanale, wybrać odpowiednio (np. MAIN.OUT dla kanału *u*, MAIN.IN dla kanału *y*) i wcisnąć przycisk OK.
- W polu **Cycle Time** wybrać **User defined [ms]** i podać **200** – domyślnie proponowany czas cyklu jest za krótki dla badanego obiektu i spowodowałby rejestrację zbyt dużej liczby danych.

W zakładce **Display**:

- Ustawić odpowiedni zakres rejestrowanej wartości tak, aby był on zbliżony do zakresu wartości z przetworników: 0..7FFFh – można wybrać np.: **Lower Bund: -100, Upper Bund: 30000**.
- Włączyć wyświetlanie siatki wykresu (pole **Grid**).



W zakładce **Style**:

- Można zmienić kolory linii wykresu dla poszczególnych kanałów (**Pen Color** → **Change...**), przypisując np. kolor czerwony dla kanału sterowania (*u*) i zielony dla wyjścia (*y*).