

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.....	4
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 (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 KL3454 i KL4424 oraz modułu sprzęgającego BK9050
- zapoznanie się materiałami pomocniczymi umieszczonymi na stronie 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 τ ,
 - 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 (głównie: *Sterowniki_IEC61131-3.pdf*)
- *Beckhoff Information System* – do pobrania ze strony www.beckhoff.pl oraz dokumentacje ze strony www.beckhoff.pl

1. Analogowe prądowe moduły wejścia/wyjścia

Połączenie z obiektem cieplnym zrealizowano przy użyciu pary modułów szyny K-Bus, **KL3454** i **KL4424**, stanowiących odpowiednio wejście i wyjście dla analogowych sygnałów prądowych z zakresu **4..20mA**. Zakres 4..20mA jest jednym ze standardów przemysłowych, używanych do przekazywania sygnałów analogowych. Inne standardy wykorzystują m.in. zakres prądowy 0..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.

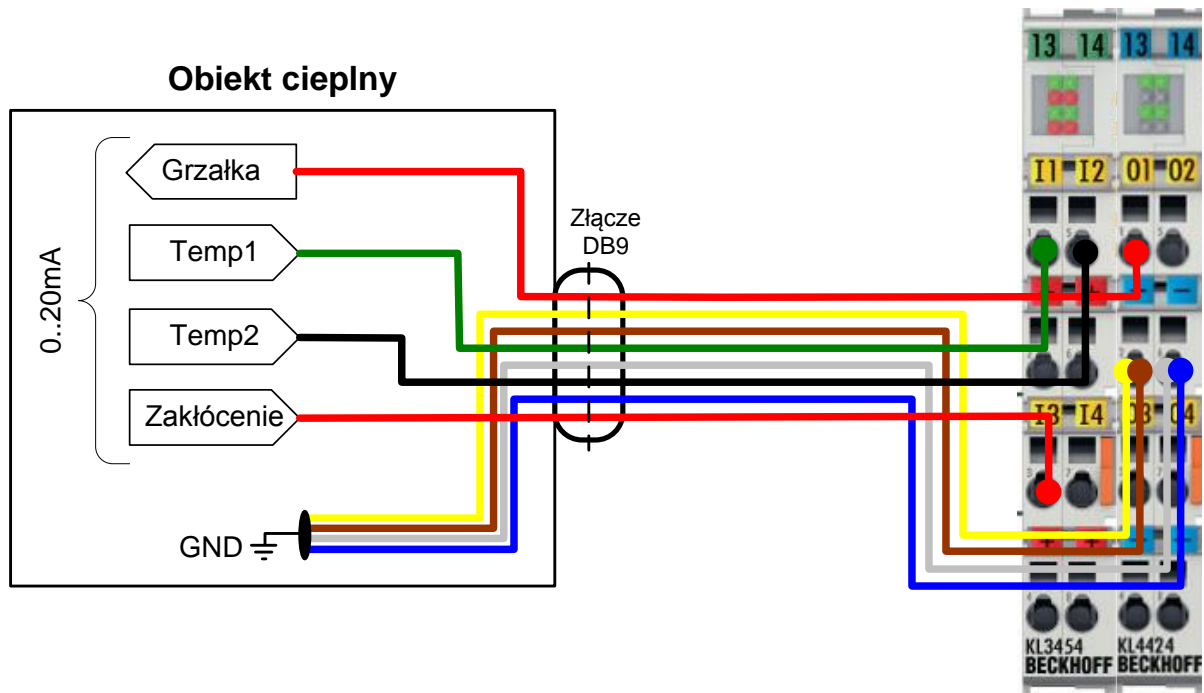
Na potrzeby realizowanego ćwiczenia istotne są podstawowe informacje o działaniu modułów:

1. Zarówno moduł wejściowy jak i wyjściowy są 4-kanałowe. Zaciski modułu wejściowego KL3454 pozwalają na zasilenie pętli prądowej każdego kanału napięciem 24V, co ułatwia przyłączenie np. czujników pasywnych. W module wyjściowym KL4424 dla każdego kanału wyprowadzony jest zacisk wyjścia prądowego oraz masy.
2. Moduły KL3454 oraz KL4424 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.
3. W trybie *process data mode* odczyt wejścia i zapis wyjścia analogowego sprowadza się odpowiednio do odczytu rejestru wejściowego danych (DataIN<n>) właściwego kanału modułu KL3454 i zapisu rejestru wyjściowego danych (DataOut<n>) wybranego kanału modułu KL4424. 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 KL4424. Wyjścia pomiaru temperatury obiektu cieplnego przyłączone są do kanałów wejściowych 1 i 2 modułu KL3454, natomiast wyjście poziomu zakłócenia (prędkość wentylatora wewnętrznego) przyłączone jest do kanału wejściowego 3 modułu KL3454. Schemat połączeń elektrycznych ukazuje rysunek poniżej. W ćwiczeniu wykorzystywane są tylko dwa sygnały, przyłączone do zacisków nr 1 obydwu modułów we/wy.

Moduły we/wy współpracują z modułem sprzęgającym (*Bus Coupler*) **BK9050**, który komunikuje się poprzez Ethernet z komputerem PC. Rolę sterownika PLC pełni komputer PC z oprogramowaniem TwinCAT (*Run-Time System*).



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\BK\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\BK\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:

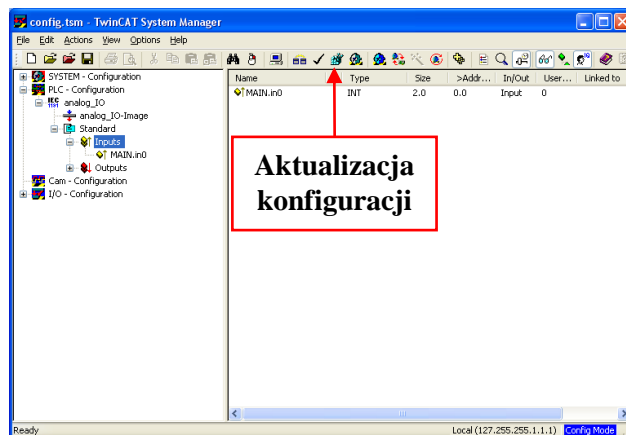
`<Pulpit>\SzablonyBeckhoff\BK\Ident\scope.scp`

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.

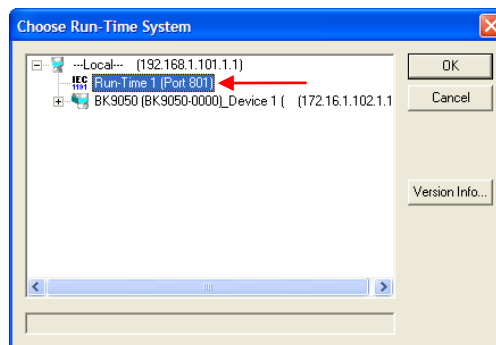
3.2. Uruchomienie programu PLC

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




Przejsć do **TwinCAT PLC Control** i uruchomić program sterownika w trybie *on-line*:

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



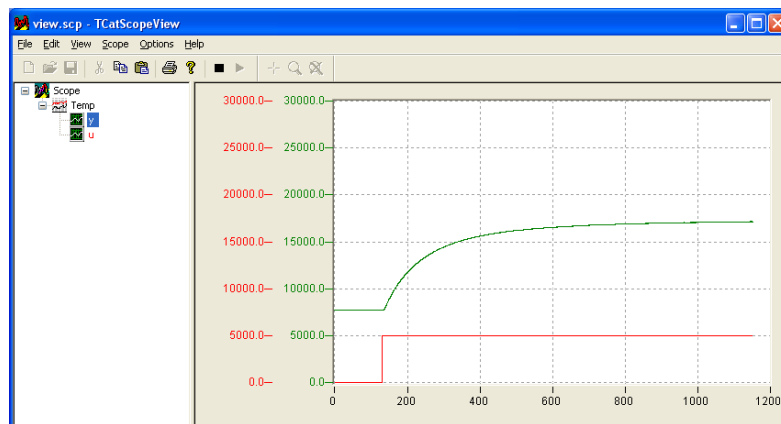
- Zalogować się do sterownika: **Online** → **Login**
- Uruchomić program: **Online** → **Run**

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 \rightarrow Write Values** (lub klawisze [ctrl + F7]). Po tej operacji program **TwinCAT Scope View** powinien zarejestrować skokową zmianę sterowania i rozpoczęcie wzrostu wartości temperatury.



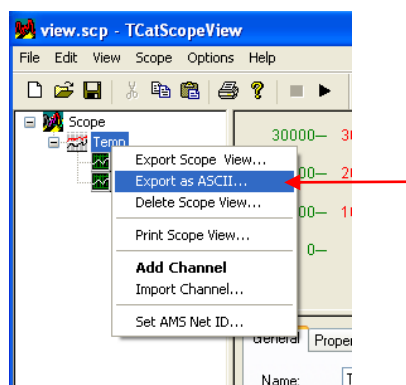
Należy odczekać, aż temperatura osiągnie nową wartość ustaloną, odpowiadającą ustawionemu sterowaniu. Trwa to ok. 10-15 minut.

3.3.2. Realizacja właściwego eksperymentu

Po ustabilizowaniu się wartości temperatury, przystąpić do zasadniczej części eksperymentu. Ztrzymać 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.

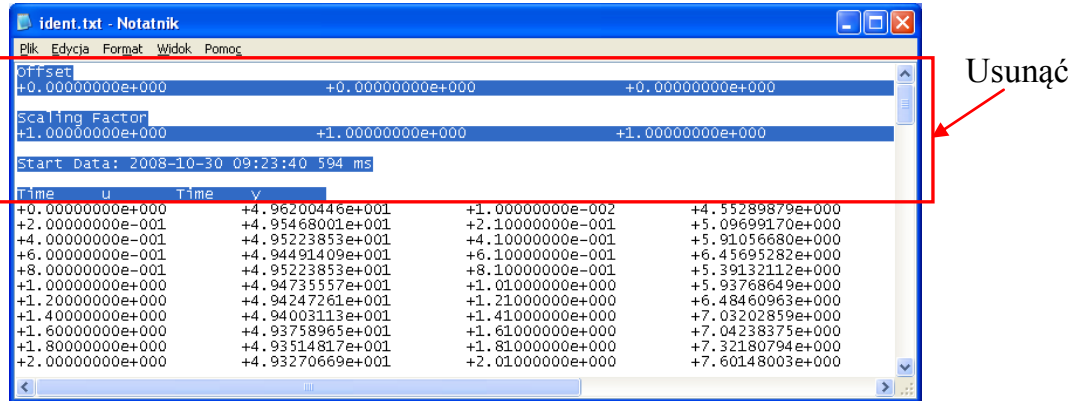
Program **TwinCAT Scope View** powinien ponownie zarejestrować skokową zmianę sterowania i zmianę wartości temperatury. Odczekać pełny cykl rejestracji przebiegu w **TwinCAT Scope View**, aż do automatycznego zatrzymania rejestracji (**widok okna rejestracji należy dołączyć do sprawozdania!**).

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:

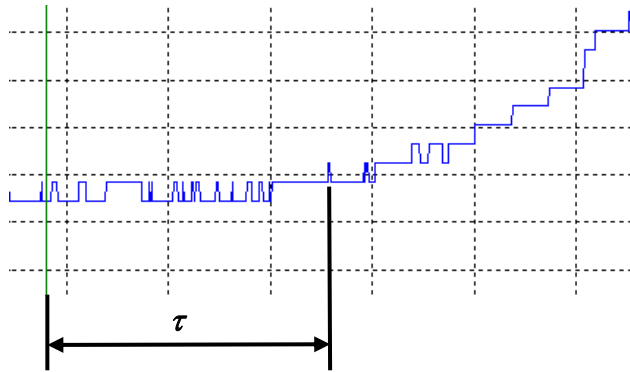
$$G(s) = \frac{k}{Ts + 1} e^{-s\tau}, \quad (1)$$

gdzie:

k – wzmacnienie statyczne, ***T*** – stała czasowa, ***τ*** - opóźnienie,

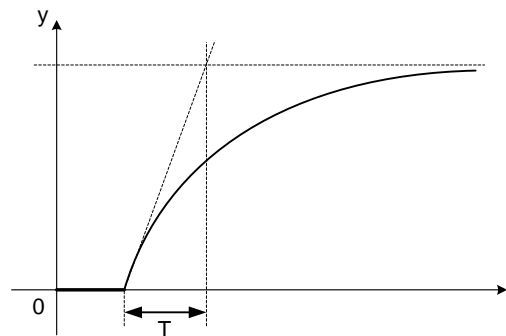
są parametrami, których wartości należy zidentyfikować.

Wartość opóźnienia ***τ*** 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 τ , należy umieścić w sprawozdaniu. Na wykresie zaznaczyć τ , podobnie jak pokazano obok.

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



Wzmocnienie 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:

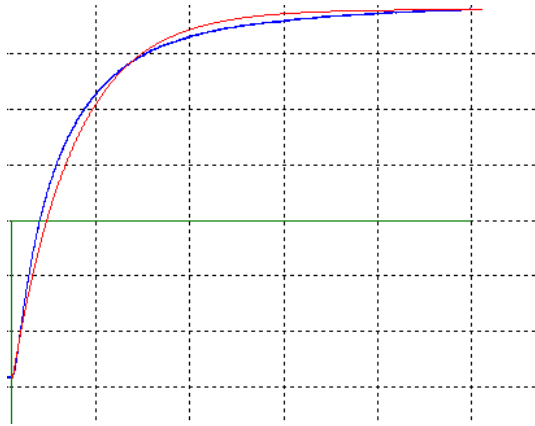
$$k = (y(\text{length}(y)) - y(1)) / (u(\text{length}(u)) - u(1))$$

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 wzmocnienie
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.

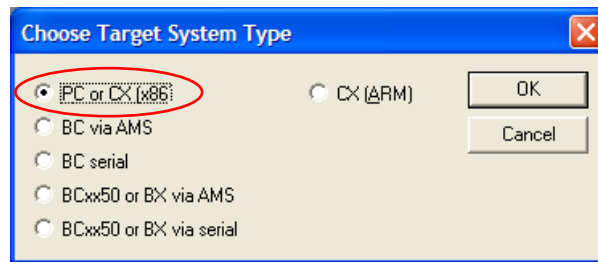
W ten sposób określone zostały wszystkie trzy współczynniki, charakteryzujące model obiektu cieplnego. Na ich podstawie zapisać ostateczną postać transmitancji modelu, podstawiając wyznaczone parametry do wzoru (1), wartości powinny być reprezentowane z dokładnością co najwyżej trzech cyfr znaczących.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

5. Dodatki

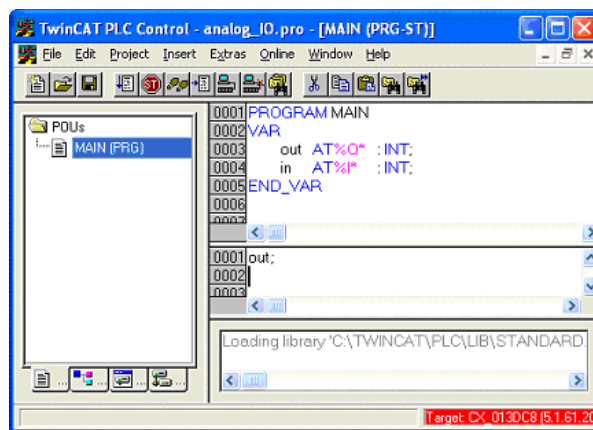
Dodatek A

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)**.

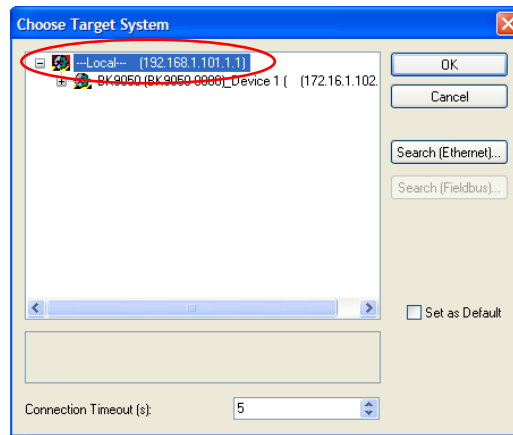


Napisać prosty program, pozwalający na dostęp do wejścia i wyjścia obiektu cieplnego w trybie *on-line*. Zadeklarować dwie zmienne typu INT, przechowujące wartości wejścia i wyjścia. Wykorzystać język ST. Utworzony program skompilować (**Project** → **Rebuild All**).

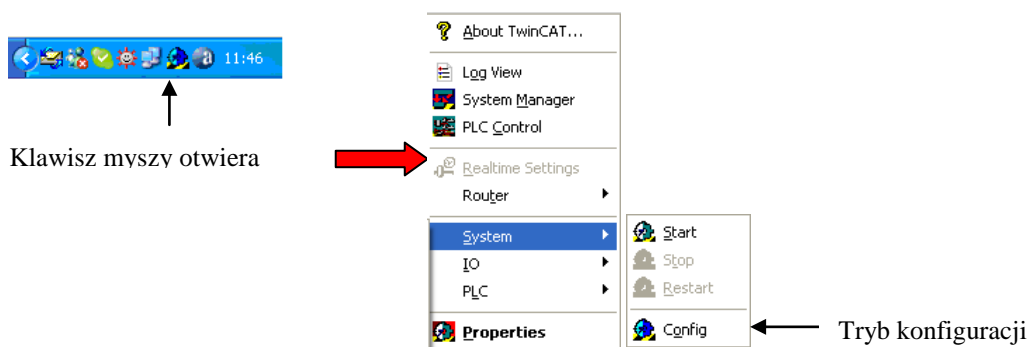


Dodatek B Przygotowanie projektu w TwinCAT System Manager

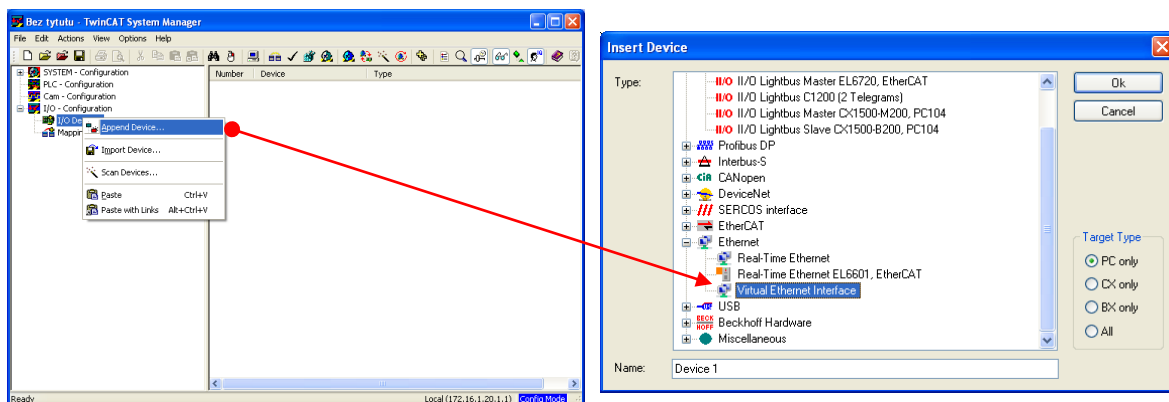
W programie **TwinCAT System Manager** utworzyć nowy projekt. Jako docelowy system PLC wybrać lokalny system komputera PC (*Run-Time System*), korzystając z okna konfiguracyjnego **SYSTEM-Configuration / Choose Target ...**



Ustawić system PLC w tryb konfiguracji.

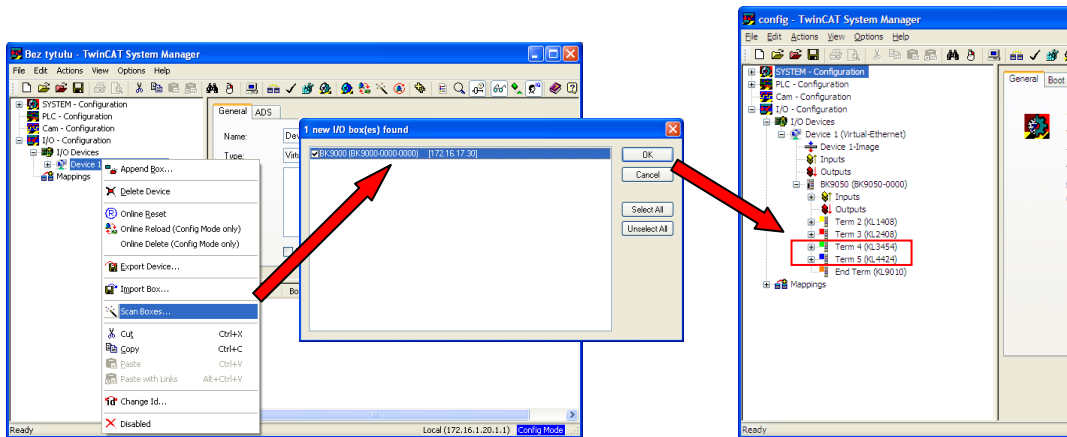


W menu kontekstowym gałęzi **I/O Devices** wybrać opcję **Append Device ...**. Wstawić urządzenie **Ethernet / Virtual Ethernet Interface**.

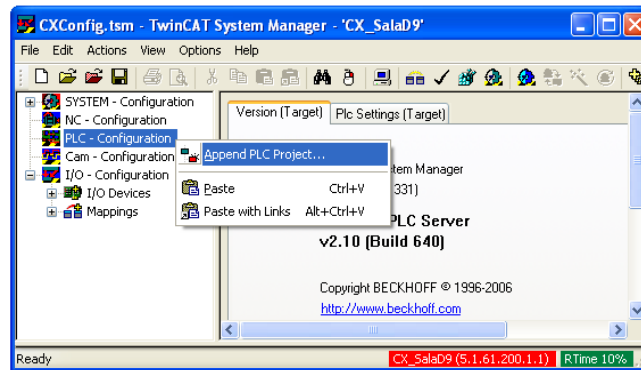


Uruchomić przeszukiwanie modułów, przyłączonych przez Ethernet, wywołując opcję **Scan Boxes ...** dla **Device 1 (Virtual-Ethernet)**. Odnalezienie modułów analogowych

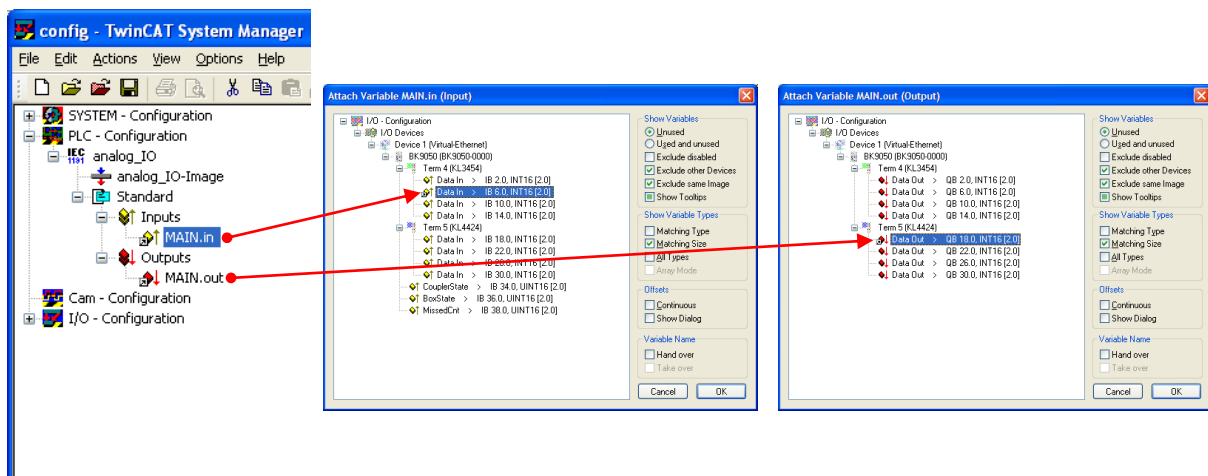
we/wy powinno zostać odnotowane przez wpisy KL3454 oraz KL4424. Jeżeli moduły nie zostaną wyszukane automatycznie, należy wykonać czynności opisane w dodatku D.



Wczytać konfigurację wygenerowaną dla napisanego programu PLC, wybierając odpowiedni plik *.tpy dla PLC-Configuration / Append PLC Project



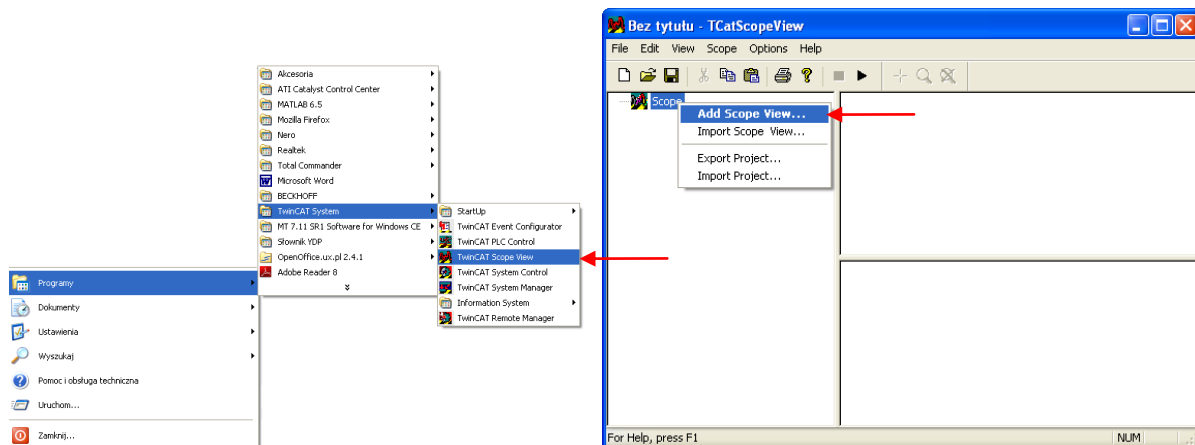
Następnie odpowiednio powiązać adresy zmiennych zadeklarowanych w programie z fizycznymi lokalizacjami przestrzeni obrazu procesu (PLC-configuration → Standard → Inputs/Outputs).



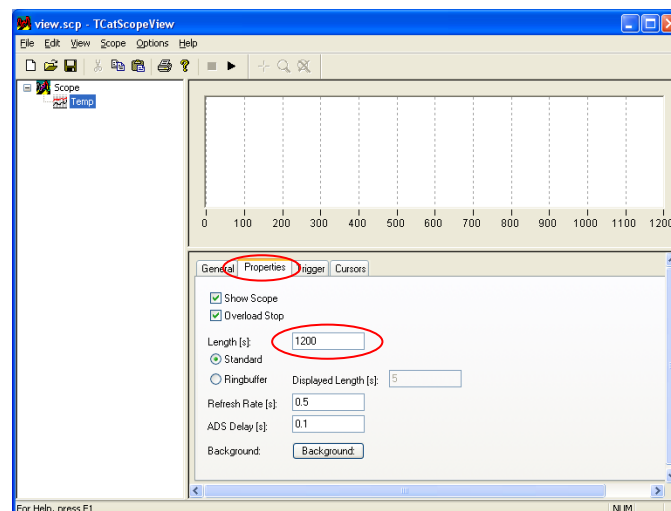
Dodatek C

Przygotowanie obserwacji i rejestracji przebiegów w TwinCAT Scope View

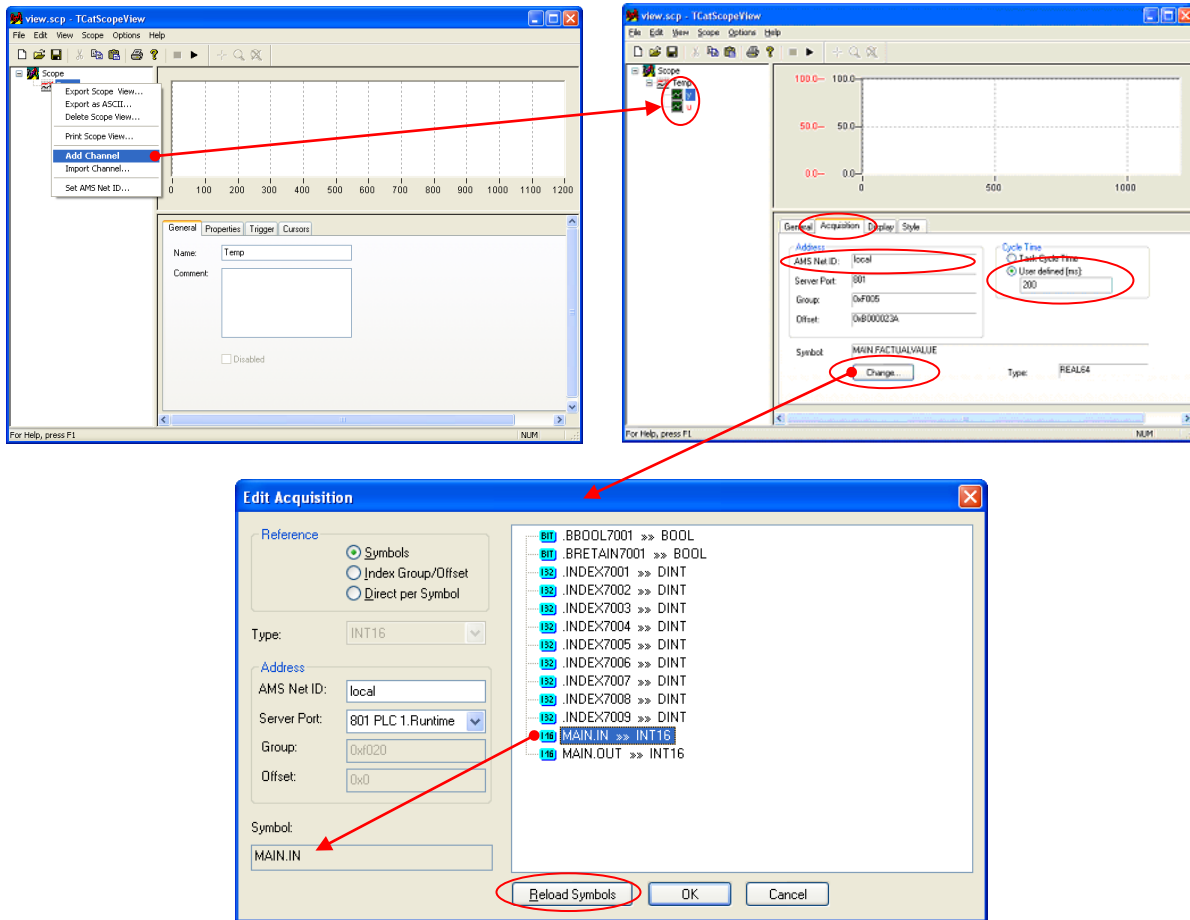
Wizualizację i rejestrację czasowego przebiegu wartości zmiennych procesowych należy zrealizować można przy wykorzystaniu programu **TwinCAT Scope View** z pakietu **TwinCAT System**. Po otwarciu programu, z menu kontekstowego elementu **Scope** (prawy klawisz myszy), należy wybrać **Add Scope View ...**, 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.



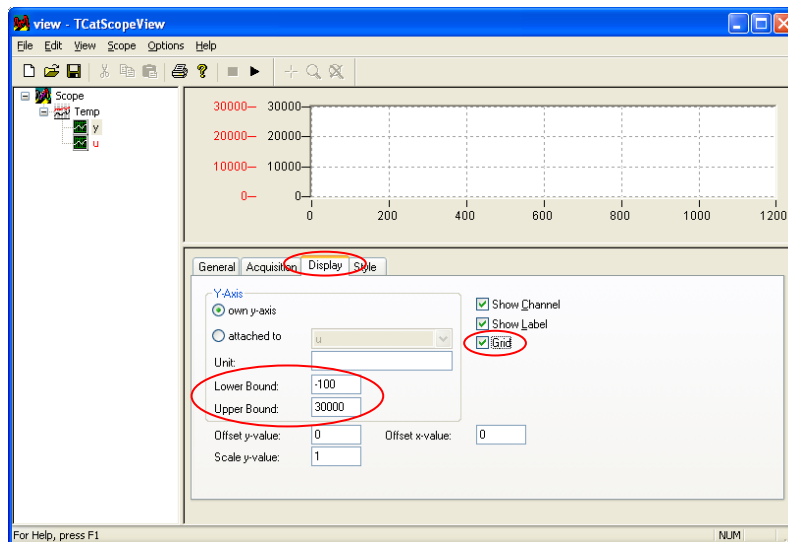
Dla każdego z dwóch kanałów zrealizować opisane niżej czynności konfiguracyjne.

W zakładce **Acquisition**:

- Jako adres **AMS Net ID** sterownika wpisać adres lokalnego systemu PLC, tj. **local**,
- 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**).



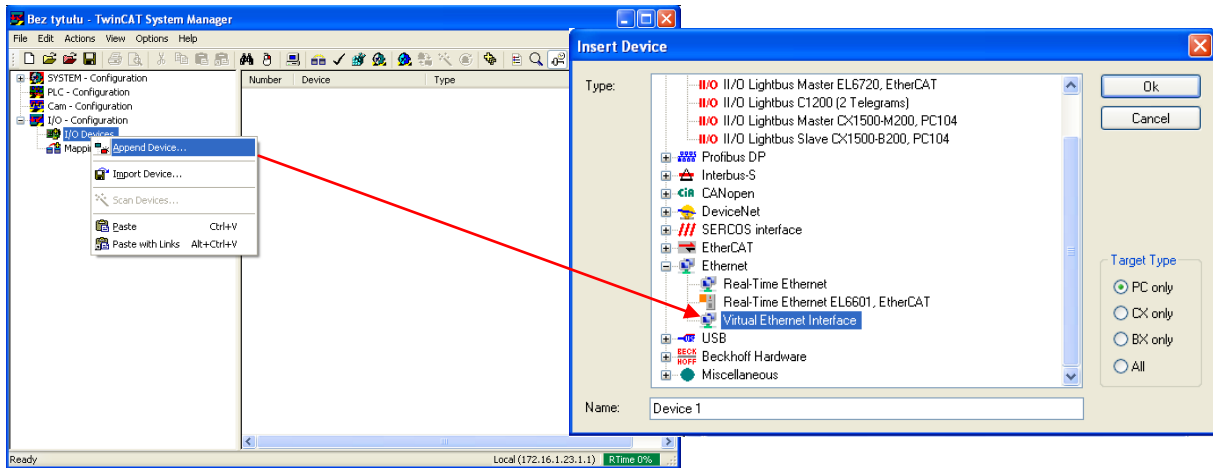
W zakładce **Style**:

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

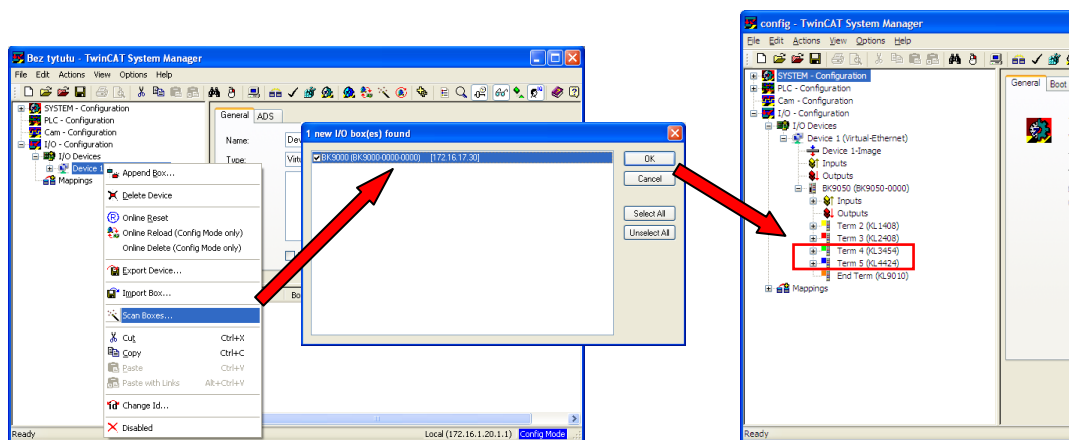
DODATEK D

Dołączanie konfiguracji sprzętowej BK9050 do TwinCAT System Manager

1. Z gałęzi I/O – Configuration → I/O Devices wywołać **Append Device...** i dodać **Virtual Ethernet Interface**.

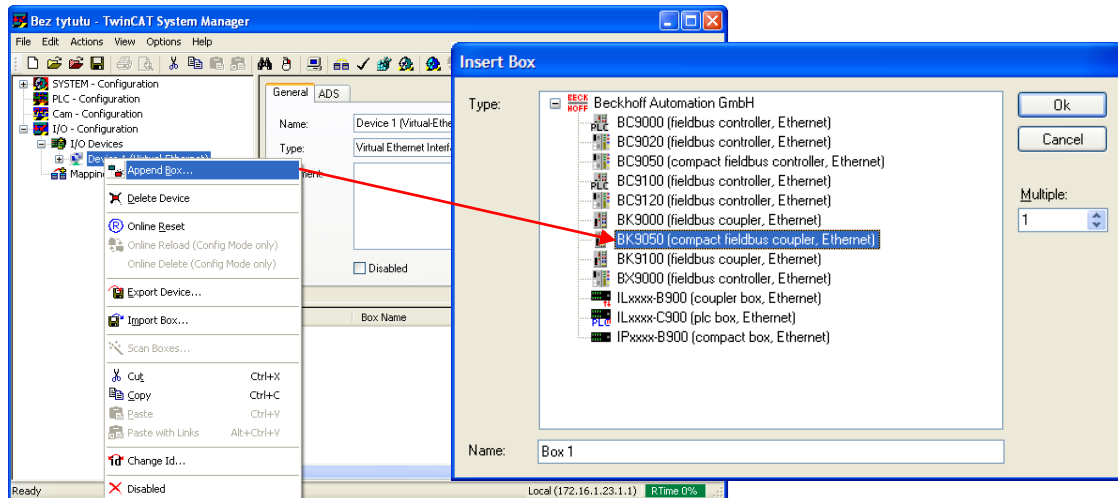


2. Uruchomić przeszukiwanie modułów przyłączonych przez Ethernet, wywołując opcję **Scan Boxes ...** dla **Device 1 (Virtual-Ethernet)**. Odnalezienie modułów analogowych we/wy powinno zostać odnotowane przez wpisy KL3454 oraz KL4424.

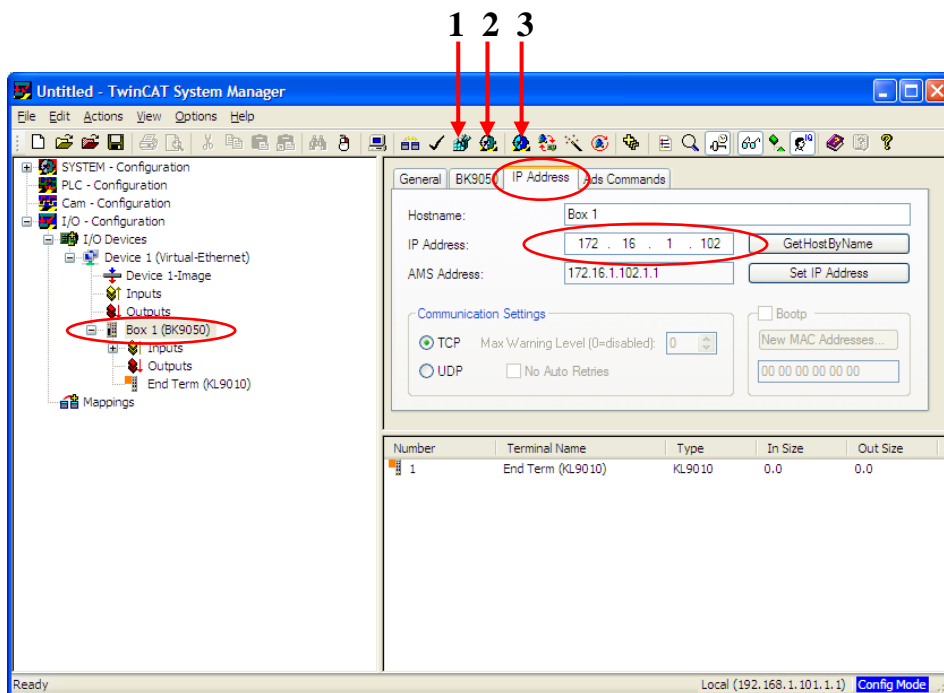


Jeżeli moduł BK9050 nie zostanie wyszukany automatycznie, należy zrealizować kolejne punkty.

3. Z gałęzi **I/O – Configuration** → **I/O Devices** → **Device 1 (Virtual-Ethernet)** wywołać **Append Box...** i dodać **BK9050**.



4. Dla gałęzi **Box 1 (BK9050)** wybrać zakładkę **IP Address** i wpisać IP: 172.16.1.102. Następnie upewnić się, że System Manager połączony jest z lokalnym systemem Run-Time (jeżeli nie, dokonać połączenia, korzystając z przycisku **Choose Target...** w gałęzi **SYSTEM – Configuration**), ustawić tryb **Config**, jeżeli aktualny będzie odmienny. Dokonać kolejno: zapisu konfiguracji, uruchomienia systemu, powrotu do trybu **Config** – używając przycisków zaznaczonych poniżej strzałkami, w kolejności ich numeracji – potwierdzać wszelkie zapytania dialogowe.



5. Dla **Box 1 (BK9050)** wywołać z menu kontekstowego opcję **Scan Terminals...** Moduły I/O powinny zostać odnalezione i wypisane pod gałęzią **Box 1 (BK9050)**. Konfiguracja została zakończona. Należy ponownie zapisać ją do systemu Run-Time. Ustawienia konfiguracyjne można zapisać do pliku.

