PRz – AiRA

UKŁADY SEKWENCYJNE

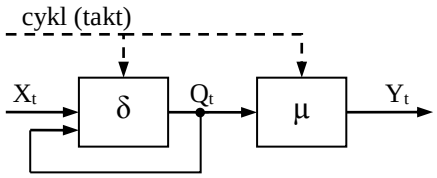
Wprowadzenie. Napełnianie i opróżnianie. Programowanie. Przerzutnik RS. Układ Start–Stop. Automaty w języku LD. Zbiornik z trzema zaworami. Sterowanie symulowanym zbiornikiem. Urządzenia automatyki i sterowania.

WPROWADZENIE

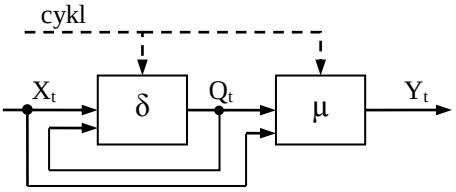
1. Automaty Moore'a i Mealy'ego

Układy sekwencyjne nazywa się zwykle automatami.

Automat Moore'a



Automat Mealy'ego



Funkcja przejścia: $Q_{t+1} = \delta(Q_t, X_t)$ — $Q_{t+1} = \delta(Q_t, X_t)$

Funkcja wyjścia: $Y_t = \mu(Q_t)$ — $Y_t = \mu(Q_t, X_t)$

W automacie Moore'a wyjście zależy wyłącznie od stanu wewnętrznego Q (głównie takie automaty będą rozpatrywane). Stan wewnętrzny jest reprezentowany przez pamięć. Zmienna *stan* występuje w typowych realizacjach programowych układów sekwencyjnych.

2. Automaty synchroniczne i asynchroniczne

Automat synchroniczny – zmiany stanu następują w ściśle określonych momentach czasu (w automatach asynchronicznych tak nie jest).

Realizacje programowe układów sekwencyjnych, zwłaszcza złożonych, są zwykle automatami synchronicznymi. Automaty asynchroniczne są prostsze i dopuszczają zmiany cyklu (tzn. czasu wykonania programu).

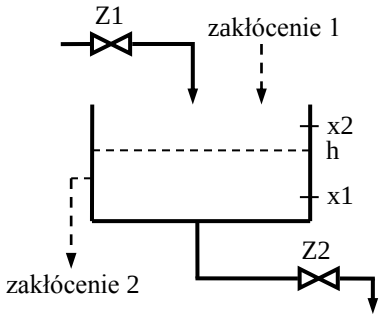
3. Rozpoznanie układu kombinacyjnego i sekwencyjnego

Jeżeli na podstawie obserwacji aktualnych wejść nie da się wprost stwierdzić, co należy uczynić, to mamy do czynienia z układem sekwencyjnym, tzn. z pamięcią (nie można podjąć decyzji znając tylko aktualne wejścia; trzeba rozważyć, co zdarzyło się wcześniej).

NAPEŁNIANIE I OPRÓŻNIANIE

1. Problem

Chodzi o cykliczne, naprzemienne napełnianie i opróżnianie zbiornika za pomocą zaworów Z1, Z2.



h, x1, x2 – poziomy: aktualny, dolny, górny
Z1, Z2 – zawory: wlewowy, spustowy

Specyfikacja (algorytm):

- h < x1 → otwórz Z1, zamknij Z2
- h > x2 → zamknij Z1, otwórz Z2

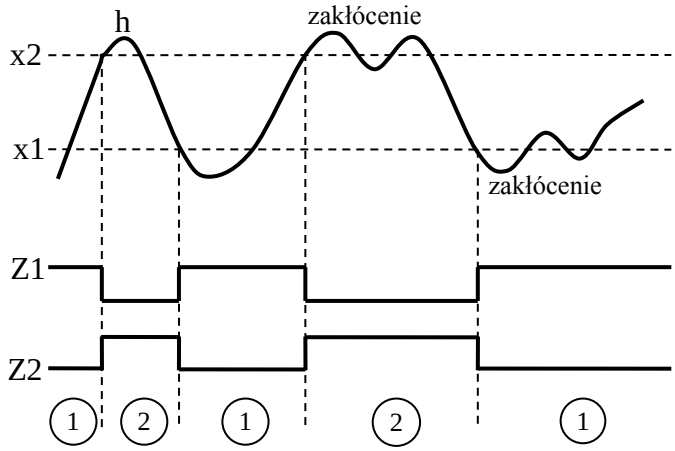
Pytanie. Co uczynić przy poziomie pośrednim?
Ponieważ odpowiedź *nie jest* natychmiastowa, bo potrzebne jest rozważenie stanu poprzedniego, więc mamy do czynienia z układem sekwencyjnym.

2. Projektowanie systematyczne

1. Przebiegi czasowe
2. Definiowane stanów automatu
3. Graf stanów
4. Program: C, ST, LD

3. Przebiegi czasowe

Kreśli się je w uzgodnieniu z formułującym zadanie.



4. Definiowane stanów

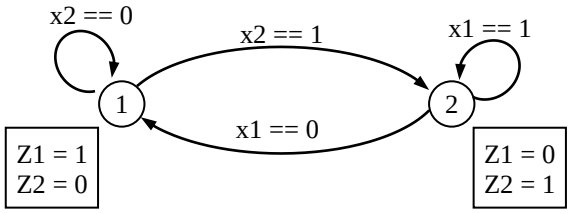
Należy zwracać uwagę na te momenty, gdy automat ma zareagować, tzn. zmienić wyjście (sterowanie). Pomiędzy tymi momentami mamy do czynienia ze stanami stabilnymi, które należy odpowiednio nazwać. Są one podstawą do dalszej analizy.

(1) – napełnianie, (2) – opróżnianie

Stany stabilne zaznacza się na przebiegu (zob. przebiegi).

5. Graf stanów

Konstruowanie: 1) stany – małe kółka z nazwami
2) przejścia – zorientowane strzałki z opisem warunku przejścia (z treści zadania lub z przebiegu)
3) wyjścia – prostokąty z wartościami odpowiednio do stanu
4) pętle pozostawania w stanie – opis warunku (opcjonalnie).



Uwaga. Opisy grafu odpowiadają instrukcjom języka C.

PROGRAMOWANIE

1. Język C

- **Instrukcja *switch***

  Jest to podstawowa instrukcja do programowania sekwencji. Kod programu jest bezpośrednim odzwierciedleniem grafu automatu. Warunki zapisane przy pętlach nie występują w programie (chodzi o pozostawanie w stanie).

```
char x1,x2,Z1,Z2;
char stan=1;
...
switch(stan)
   {
    case 1: Z1=1; Z2=0;
            if(x2==1) stan=2;
            break;
    case 2: Z1=0; Z2=1;
            if(x1==0) stan=1;
   }
```

- **if … else**

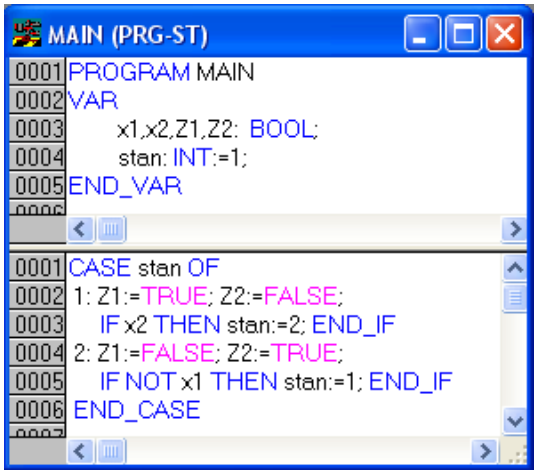
```
if(stan==1)
    { Z1=1; Z2=0; if(x2) stan=2; }
else
if(stan==2)
    { Z1=0; Z2=1; if(!x1) stan=1; }
```

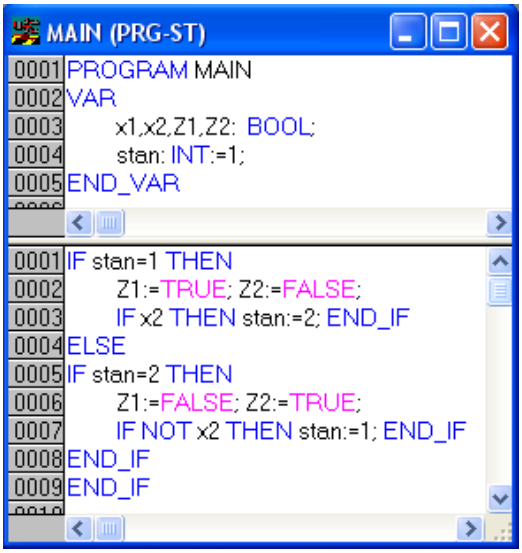
Uwaga. else jest potrzebne, aby w danym cyklu wykonać tylko jedną instrukcję *if*.

Rozwiązanie *if ... else* jest stosowane w prostych językach skryptowych, w których brak odpowiednika instrukcji *switch*.

2. Język ST

Odpowiednikiem instrukcji *switch* jest CASE … OF.





Zbiornik – 2 zawory CASE, IF

3. Niepoprawne pomiary

Wymaganie technologiczne (przykładowe). W przypadku niepoprawnych pomiarów obydwa zawory należy zamknąć.

x2 \ x1	0	1
0	1	1
1	0	1

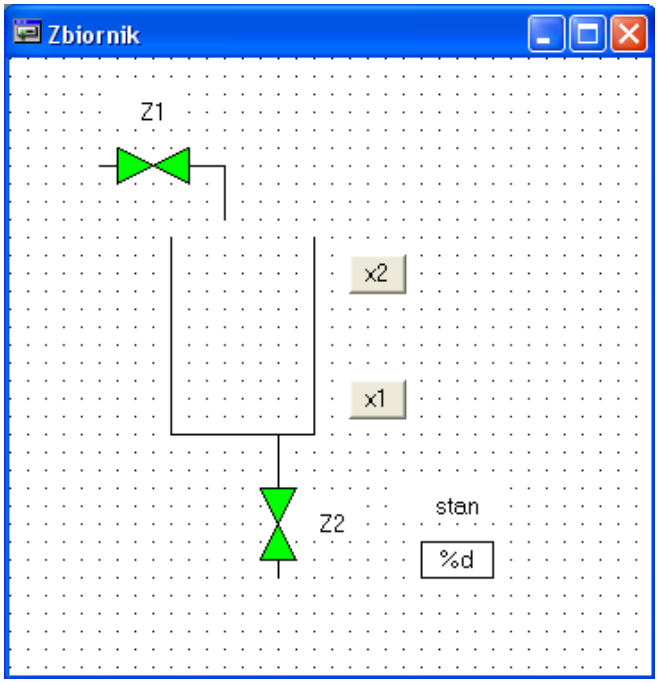
niepoprawność (zero) $\rightarrow x2 \cdot \overline{x1}$

```
MAIN (PRG-ST)
0001 PROGRAM MAIN
0002 VAR
0003     x1,x2,Z1,Z2: BOOL;   stan: INT:=1;
0004 END_VAR
0001 IF x2 AND NOT x1 THEN
0002     Z1:=FALSE; Z2:=FALSE;
0003 ELSE
0004     CASE stan OF
0005     1: Z1:=TRUE; Z2:=FALSE;
0006        IF x2 THEN stan:=2; END_IF
0007     2: Z1:=FALSE; Z2:=TRUE;
0008        IF NOT x1 THEN stan:=1; END_IF
0009     END_CASE
0010 END_IF
```

Zbiornik – 2 zawory POPRAWNOŚĆ

4. Prosta wizualizacja

- Ikona *Visualization* (na dole) > eksplorator *Visualizations*, menu *Add Object* > *Name …* Zbiornik
- Docelowy obraz



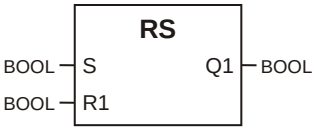
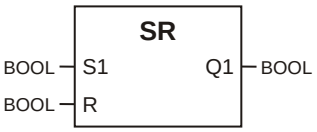
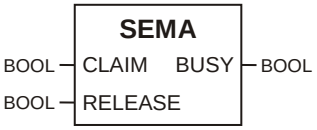
- Elementy
  Zawory: *Polygon*, *Variables – Change color*, *MAIN.Z1/Z2*
  Przyciski: *Text*, *Input – Toggle variable*, *MAIN.x1/x2*, *Colors* – zielony/czerwony
  Wyświetlacz stanu: *Rectangle*, *Text – %d* (format), *Variables – Text display*, *MAIN.stan*
  Napisy: *Rectangle*, *Text* – Z1, Z2, stan, *Colors – No frame color*.
- Porównać wizualizację układów:
  – nie uwzględniającego możliwych niepoprawnych pomiarów
  – zamykającego zawory przy niepoprawnych pomiarach.

PRZERZUTNIK RS

1. Bloki dwustanowe normy PN–EN 61131–3

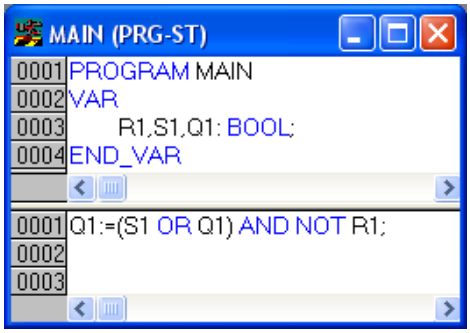
- Oznaczenia wejść/wyjść na poniższych schematach i w opisach są następujące:
  Q – wyjście typu BOOL,
  R – wejście zerowania logicznego (*reset*),
  S – wejście ustawiające (*set*),

  Wartości początkowe wszystkich wejść są zerowe.

Bloki dwustanowe	
	**RS** – przerzutnik typu RS (*RS flip-flop*) Q1 = NOT R1 AND ($Q1_{n-1}$ OR S)
	**SR** – przerzutnik typu SR (*SR flip-flop*) Q1 =S1 OR (NOT R AND $Q1_{n-1}$)
	**SEMA** – semafor (*semaphore*) BUSY = TRUE dla CLAIM=TRUE BUSY = FALSE dla RELEASE=TRUE i CLAIM=FALSE

2. Realizacja przerzutnika RS według wzoru z normy

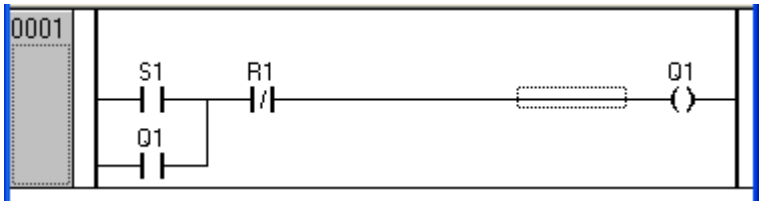
- ST



RS – układ podtrzymujący (zapamiętujący) przełącznik załącz/wyłącz

Przerzutnik RS – ST wzór

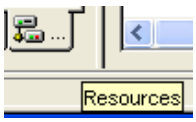
- LD



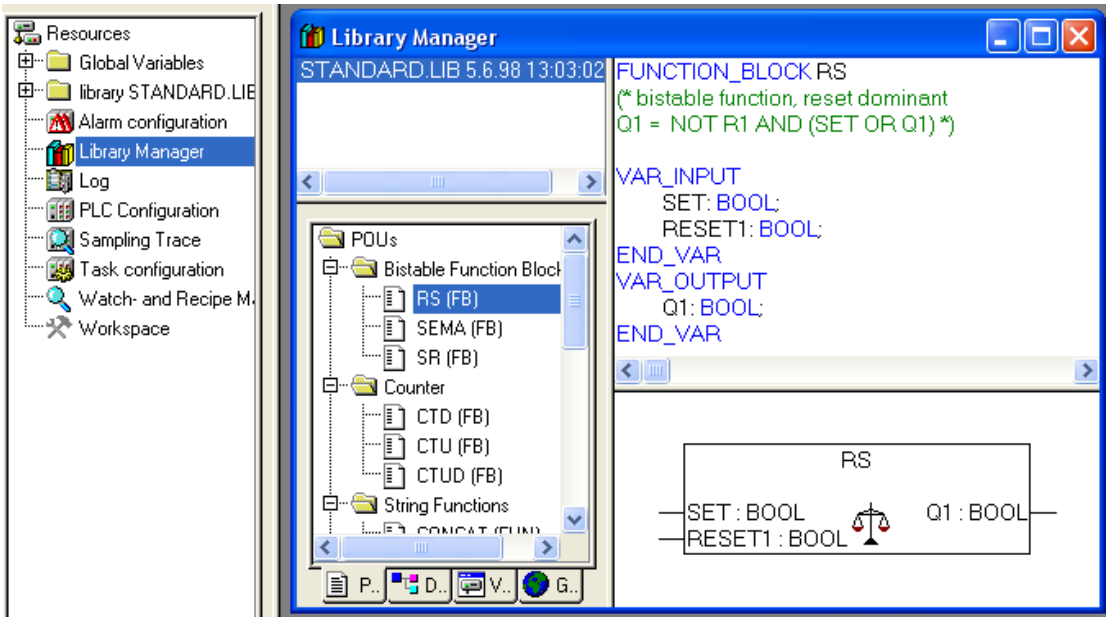
Przerzutnik RS – LD wzór

3. **Biblioteczny blok RS** (TwinCAT)

- Zasoby projektu – *Resources* (prawa dolna ikona pod eksploratorem)



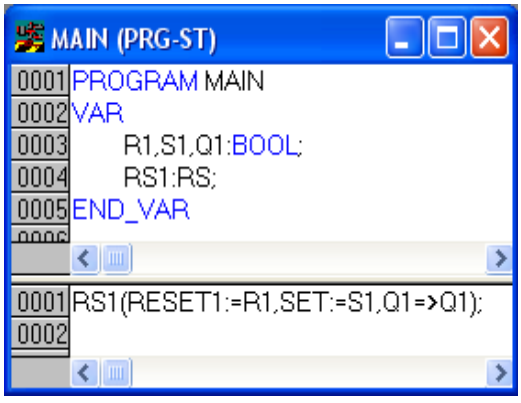
- *Library Manger* > *RS*(*FB*)



Wejścia/wyjścia: SET, RESET1, Q1

4. **Blok RS w programie**

- ST

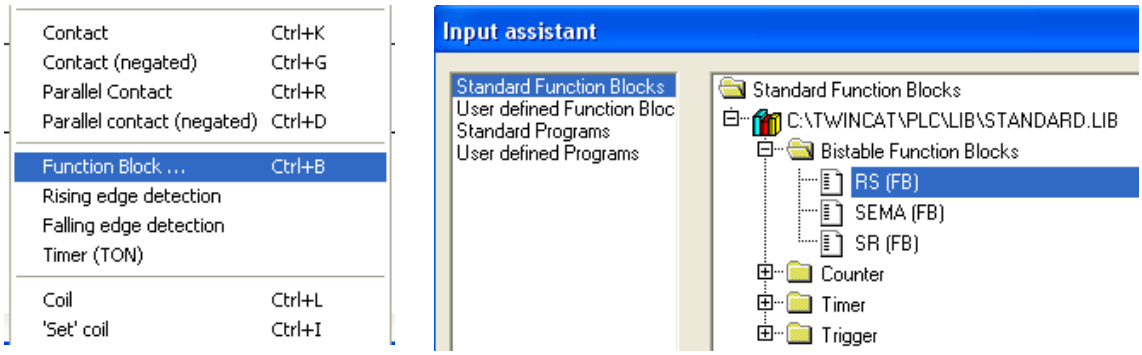


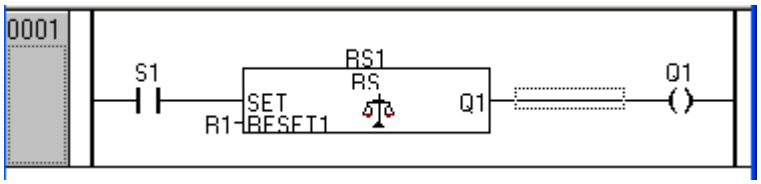
Deklaracje –	zmienne wejściowe i wyjściowe
	– instancja bloku (rezerwacja pamięci)

Przerzutnik RS – ST blok

- LD

Menu *Function Block*… lub ikona (górny pasek) > Okno *Input assistant* > *RS*(*FB*)

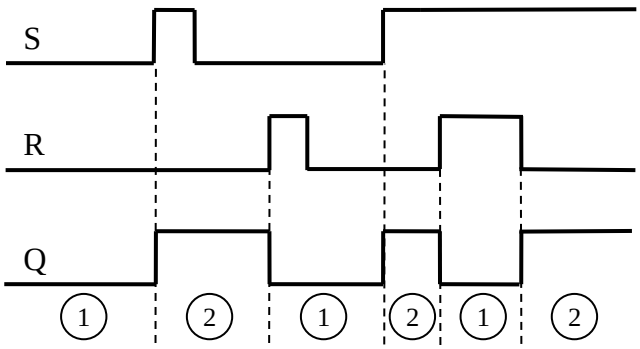




Przerzutnik RS – LD blok

5. Program RS jako automat ST

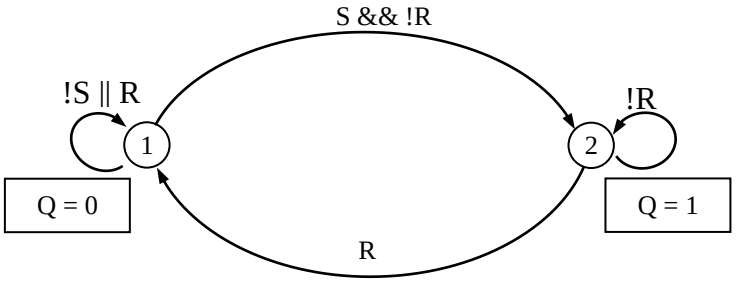
- Przebiegi czasowe



- Stany

(1) – wyzerowany (2) – ustawiony

- Automat



Oznaczenia jak w języku C.

- ST

```
MAIN (PRG-ST)
0001 PROGRAM MAIN
0002 VAR
0003       R1,S1,Q1:BOOL;
0004       stan: INT:=1;
0005 END_VAR

0001 CASE stan OF
0002 1: Q1:=FALSE;
0003    IF S1 AND NOT R1 THEN stan:=2; END_IF
0004 2: Q1:=TRUE;
0005    IF R1 THEN stan:=1; END_IF
0006 END_CASE
```

Przerzutnik RS – ST automat

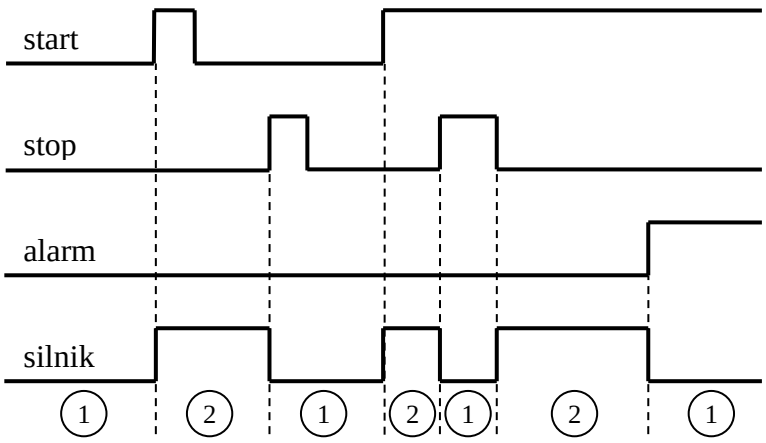
UKŁAD START–STOP

1. Problem

Silnik jest załączany przyciskiem *start*, a wyłączany przyciskiem *stop*. Raz włączony *silnik* pracuje, aż do przyciśnięcia *stop* (pomimo zwolnienia *start*). *Stop* ma priorytet nad *start*, tzn. jednoczesne naciśnięcie obydwu przycisków nie uruchamia *silnika*. Dostępny jest ponadto sygnał *alarm* działający tak jak *stop*, tzn. gdy jest on ustawiony, to *silnika* nie można uruchomić.

Wyjaśnienie. Zwykle *alarm* pochodzi z termicznego zabezpieczenia silnika.

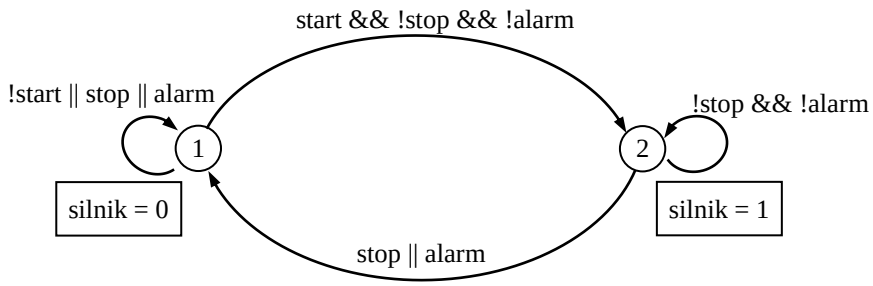
2. Przebiegi czasowe



3. Stany

(1) – zatrzymanie (2) – praca

4. Automat



Oznaczenia jak w języku C.

5. Programy

- **C**

```
char start, stop, alarm, silnik;
char stan=1;
   ...
switch(stan)
   {
    case 1: silnik=0;
            if(start&&!stop&&!alarm) stan=2;
            break;
    case 2: silnik=1;
            if(stop||alarm) stan=1;
   }
```

- **ST**

```
MAIN (PRG-ST)
0001 PROGRAM MAIN
0002 VAR
0003     START, STOP, ALARM, SILNIK: BOOL;
0004     stan: INT:=1;
0005 END_VAR

0001 CASE stan OF
0002 1: SILNIK:=FALSE;
0003   IF START AND NOT STOP AND NOT ALARM
0004     THEN stan:=2; END_IF
0005 2: SILNIK:=TRUE;
0006   IF STOP OR ALARM THEN stan:=1; END_IF
0007 END_CASE
```

Start Stop – CASE

6. Wzór bezpośredni

- Wzór zastępuje automat

$$silnik_i = (start_i + silnik_{i-1}) \cdot \overline{stop_i} \cdot \overline{alarm_i}$$

gdzie $silnik_{i-1}$ jest wartością zmiennej z poprzedniego cyklu obliczeniowego (i-1). Pozostałe oznaczenia dotyczą cyklu aktualnego (i).

- **C**

```
silnik = (silnik||start)&&!stop&&!alarm;
```

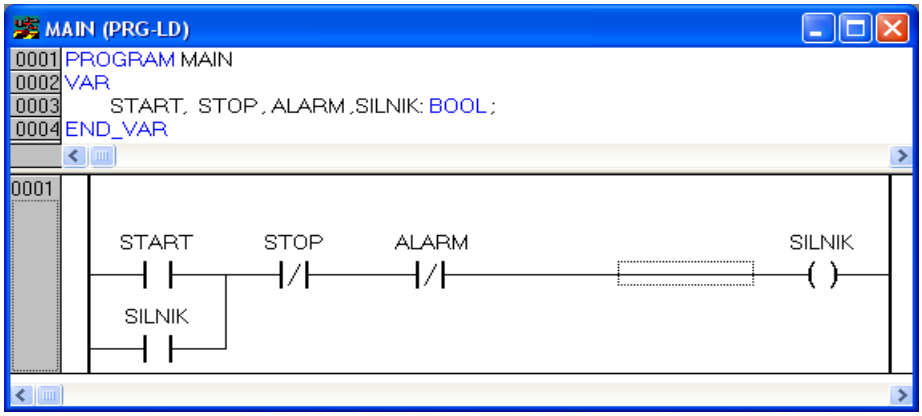
- **ST**

```
MAIN (PRG-ST)
0001 PROGRAM MAIN
0002 VAR
0003     START, STOP, ALARM,
0004     SILNIK: BOOL;
0005 END_VAR

0001 SILNIK := (START OR SILNIK) AND NOT STOP
0002                             AND NOT ALARM;
```

Start Stop – ST wzór

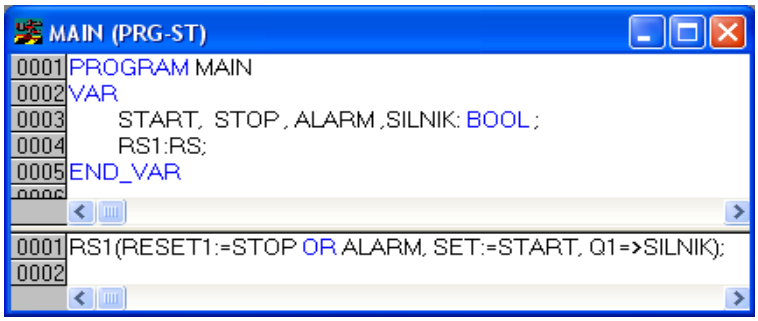
- **LD**



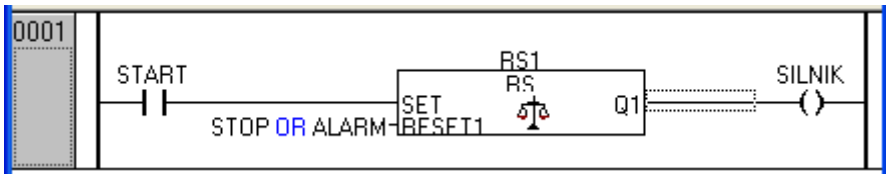
Start Stop – LD wzór

7. Start–Stop z przerzutnikiem RS

- Wzór opisujący układ Start–Stop (powyżej) jest prostym rozszerzeniem wzoru dla przerzutnika RS.
- ST i LD



Start Stop – ST i RS



LD i RS

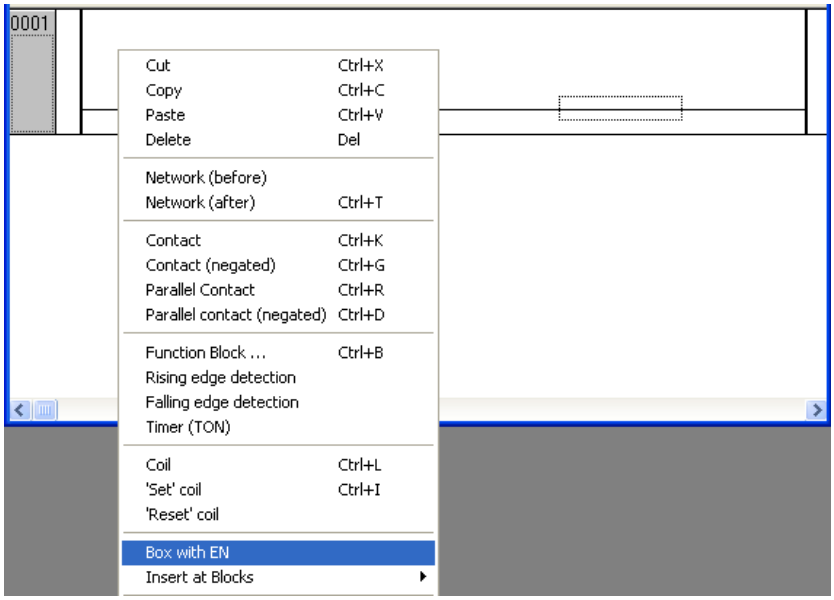
AUTOMATY W JĘZYKU LD

1. Zasady programowania

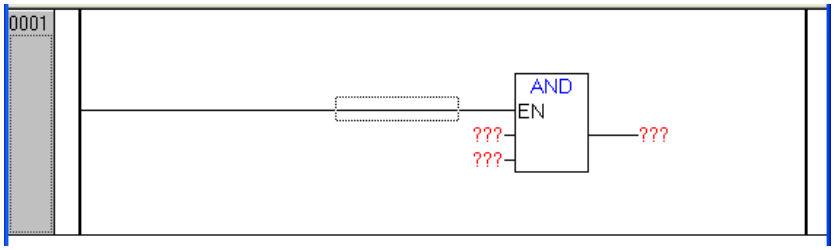
- Oprócz zmiennej *stan* typu INT wprowadza się dodatkowe zmienne boolowskie S1, S2 itd., których wartości TRUE odpowiadają spełnieniu warunków *stan*=1, *stan*=2 itd. Zmienne S1, S2, … generowane są przez szczeble z funkcjami EQ (*equal*) lub jeden szczebel z „równoległymi” funkcjami EQ.
- Szczebel przejścia między stanami *i*, *j* zawiera wejściową zmienną S_i, warunek przejścia odpowiadający gałęzi grafu automatu oraz podstawienie *stan*=j wykonywane przez funkcję MOVE.
- Szczebel z wyjściem sterującym (cewka) ma jako wejście (styk) z tymi spośród zmiennych S1, S2, … reprezentującymi stany, w których wyjście przyjmuje wartość TRUE.

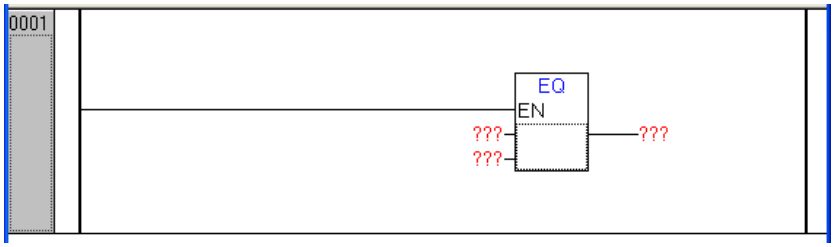
2. Wstawianie funkcji EQ, MOVE do szczebli

- Zaznaczyć miejsce w szczeblu > menu kontekstowe > *Box with EN*

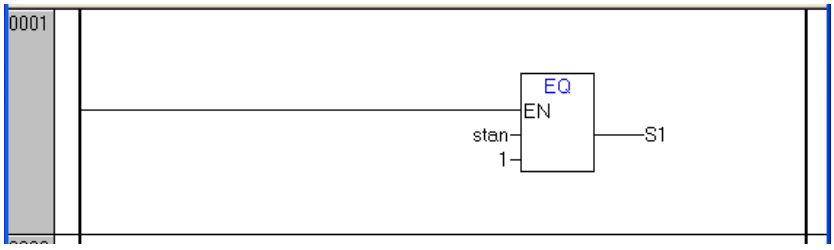


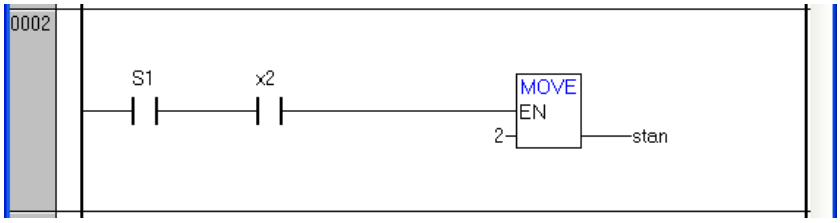
- Zamiast domyślnej nazwy funkcji AND wpisać nazwę właściwą, tj. EQ lub MOVE.





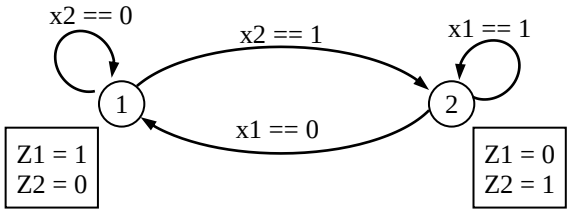
- Wpisać nazwy wejść i wyjść funkcji



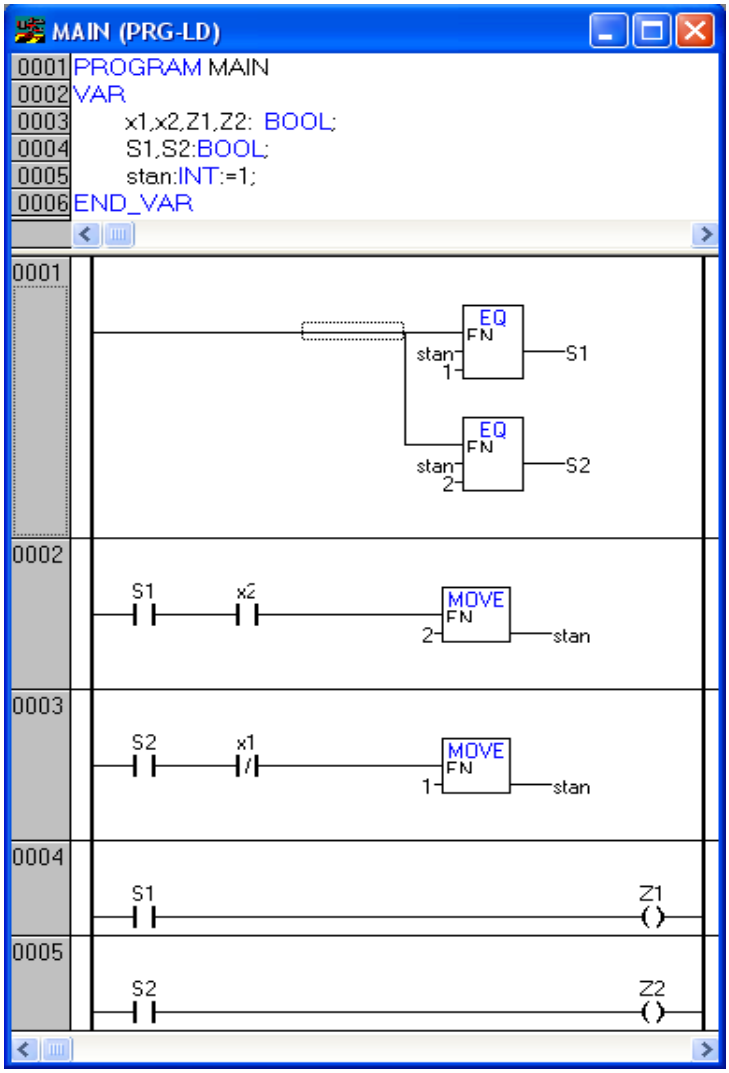


3. Napełnianie i opróżnianie

- Automat



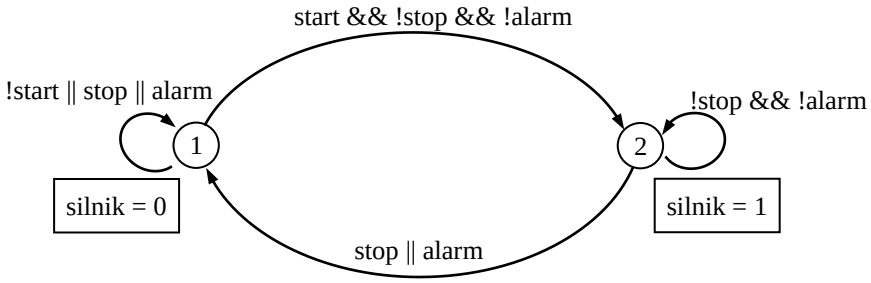
- LD



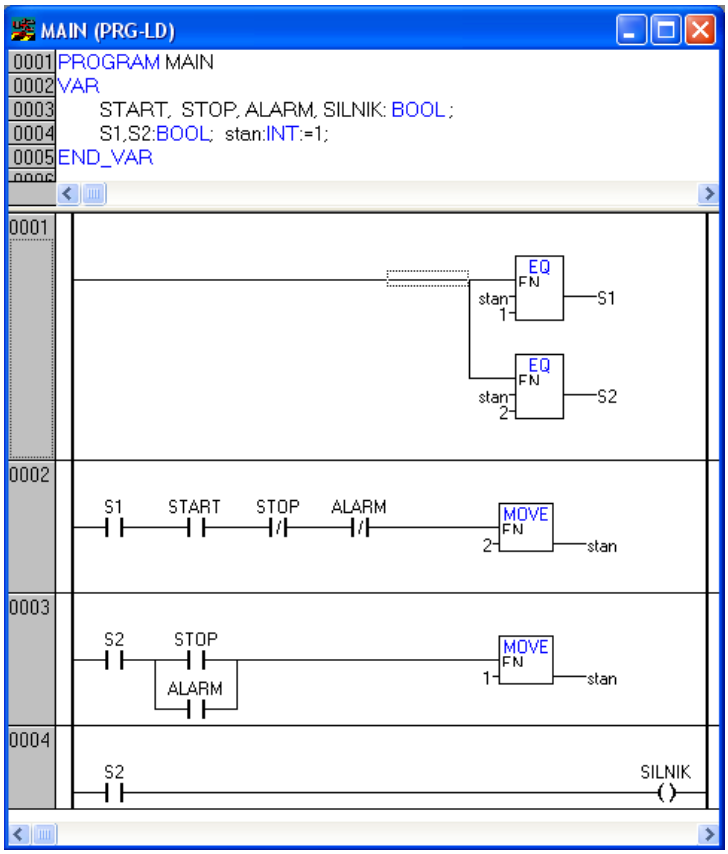
Zbiornik – 2 zawory LD CASE

4. Układ Start–Stop

- Automat



- LD *StartStop – LD CASE*

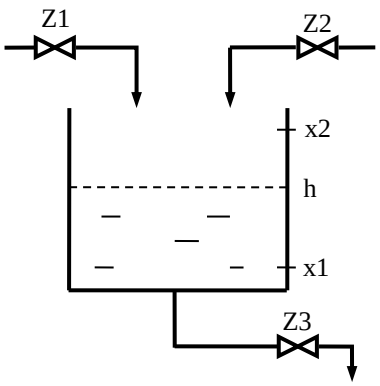


ZBIORNIK Z TRZEMA ZAWORAMI

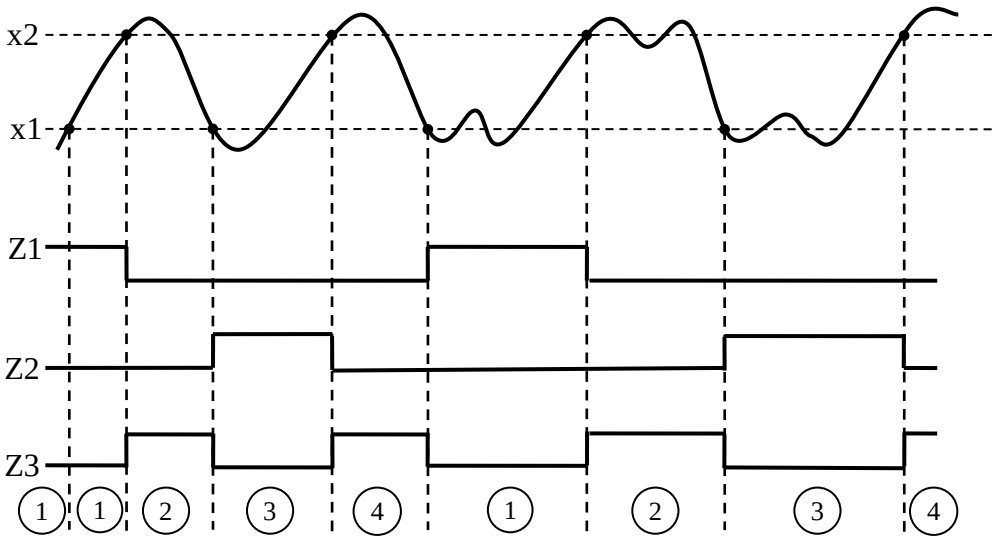
1. Problem

Zbiornik pokazany na rysunku jest napełniany na zmianę zaworami dopływowymi Z1, Z2, a po napełnieniu opróżniany zaworem Z3. Sekwencja pracy wygląda następująco:

- otwarcie Z1, aż poziom osiągnie x2
- zamknięcie Z1, otwarcie Z3, aż poziom spadnie do x1
- zamknięcie Z3, otwarcie Z2, aż poziom osiągnie x2
- zamknięcie Z2, otwarcie Z3, aż poziom spadnie do x1
- zamknięcie Z3, otwarcie Z1 itd.



2. Przebiegi czasowe



3. Stany

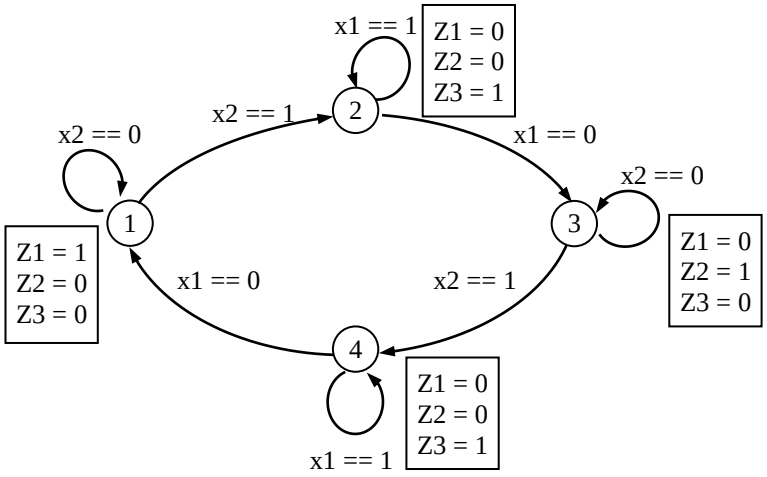
(1) – napełnianie z zaworu Z1

(2) – opróżnianie po Z1

(3) – napełnianie z zaworu Z2

(4) – opróżnianie po Z2

4. Automat



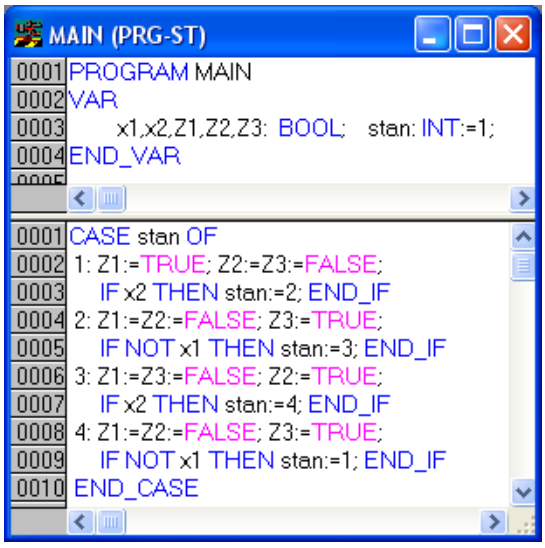
Oznaczenia jak w języku C.

5. Programy

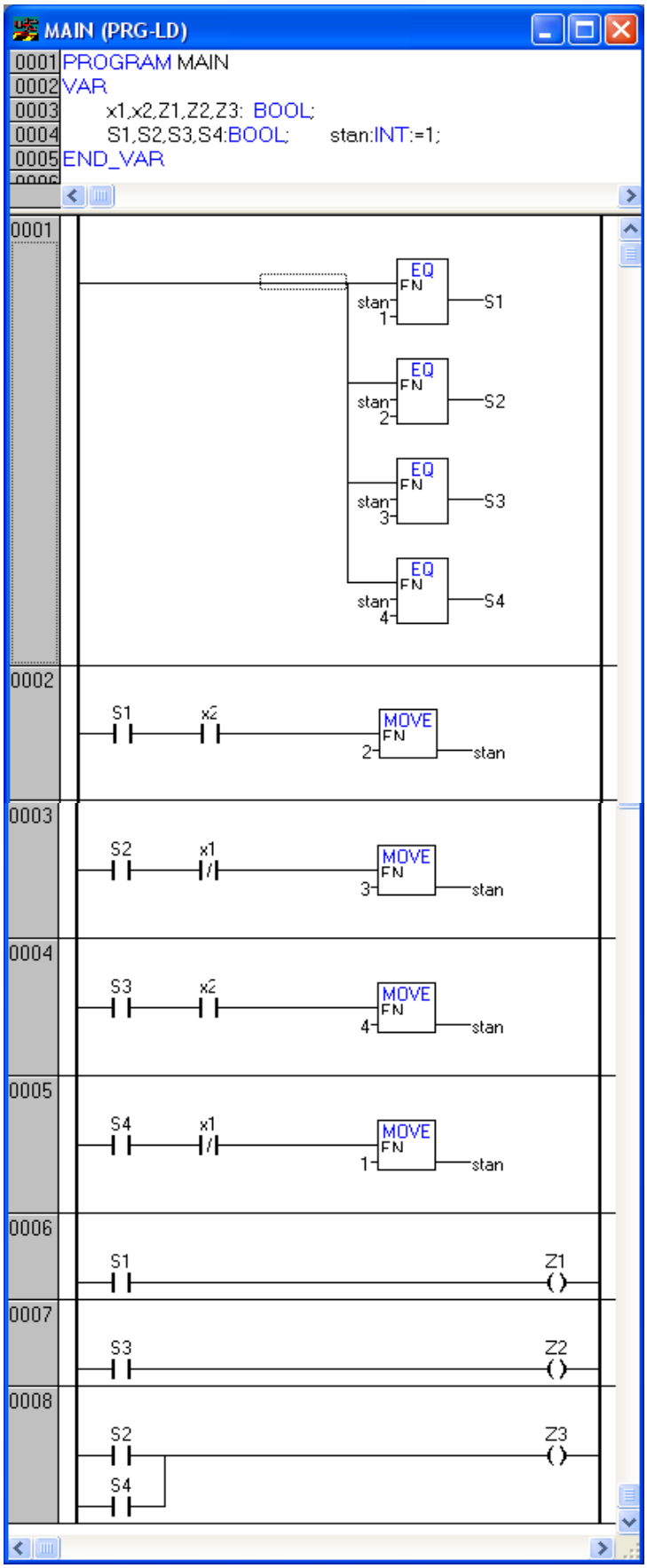
- C

```
switch(stan)
    {
     case 1: Z1=1; Z2=Z3=0;
             if(x2)  stan=2;
             break;
     case 2: Z1=Z2=0; Z3=1;
             if(!x1) stan=3;
             break;
     case 3: Z1=Z3=0; Z2=1;
             if(x2) stan=4;
             break;
     case 4: Z1=Z2=0; Z3=1;
             if(!x1) stan=1;
             break;
    }
```

- ST *Zbiornik – 3 zawory CASE*



- LD



Zbiornik – 3 zawory LD CASE

STEROWANIE SYMULOWANYM ZBIORNIKIEM

1. Symulacja zmian poziomu

- Założenia
  - Poziom H może zmieniać się w przedziale 0…100%.
  - Otwarcie jednego z zaworów wlewowych Z1, Z2 powoduje całkowite napełnianie pustego zbiornika w ciągu 20 s. Otwarcie zaworu Z3 opróżnia zbiornik również w ciągu 20s.
  - Czujniki x1, x2 umieszczane są na wysokości odpowiednio 20 i 80%.

- Zmiana poziomu w ciągu jednego cyklu
  Przyjmując, że program symulacyjny będzie wykonywany z domyślnym cyklem T#10ms (=0.01 s), zmiana poziomu w ciągu jednego cyklu spowodowana otwarciem zaworu wlewowego wyniesie

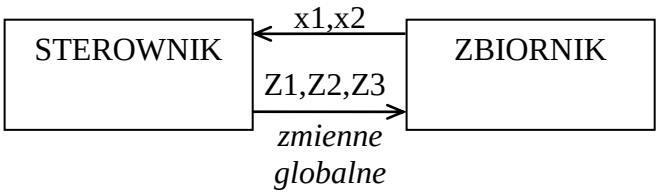
$$\Delta H = \frac{100\%}{20s} \cdot 0.01s = 0.05\%$$

  Odpowiednia instrukcja w języku ST będzie mieć postać

$$H := H + 0.05;$$

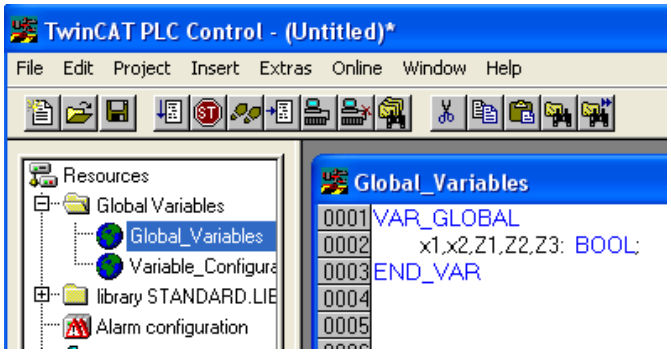
2. Współdziałanie programów

- Zakłada się, że sterowanie i symulacja poziomu będą dwoma oddzielnymi programami – STEROWNIK I ZBIORNIK, wymieniającymi dane za pośrednictwem zmiennych globalnych (wymaganie normy IEC 61131–3).



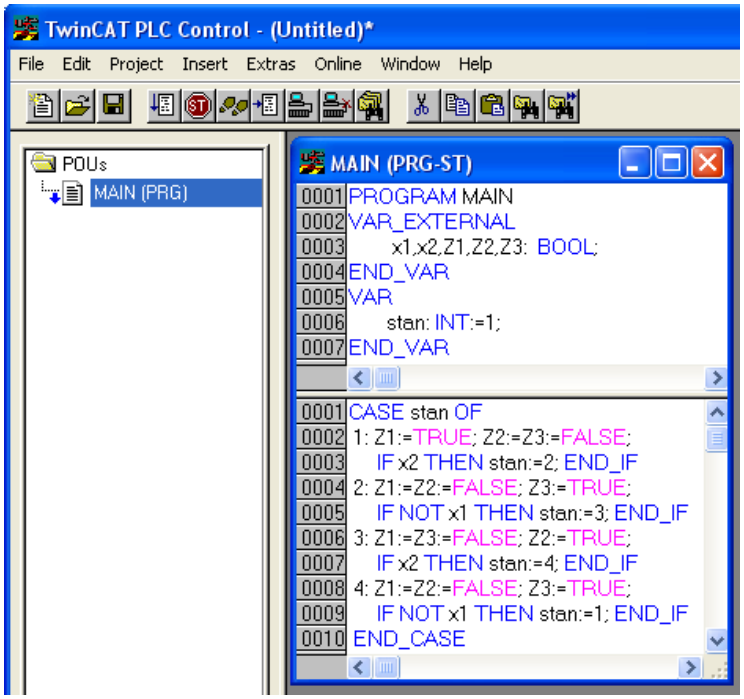
3. Deklaracja zmiennych

- Zakładka *Resources* > *Global variables* > *Global variables*



4. **Program STEROWNIK** (zmiana deklaracji zmiennych)

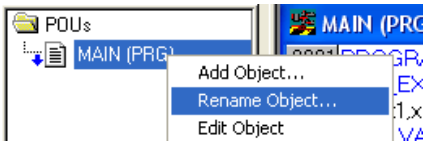
- ST



x1, x2, z1, z2, z3 – zmienne zewnętrzne VAR_EXTERNAL

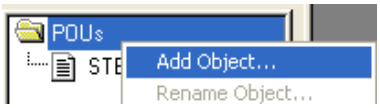
stan – zmienna lokalna

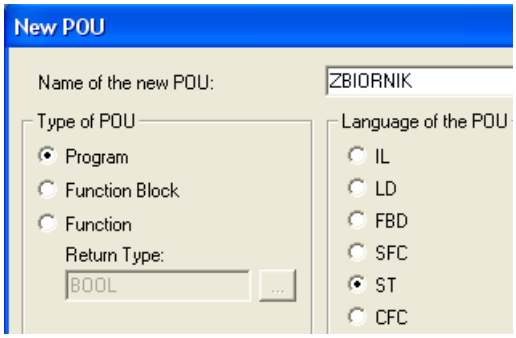
- Zmiana nazwy – *Rename Object*



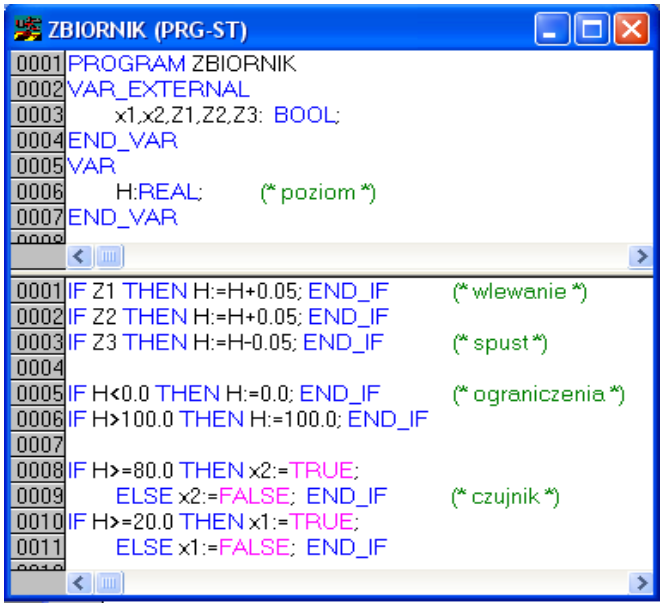
5. **Program ZBIORNIK**

- Dodanie nowego programu – *Add Object*
  Domyślna nazwa MAIN zastąpiona nazwą ZBIORNIK.





- ST



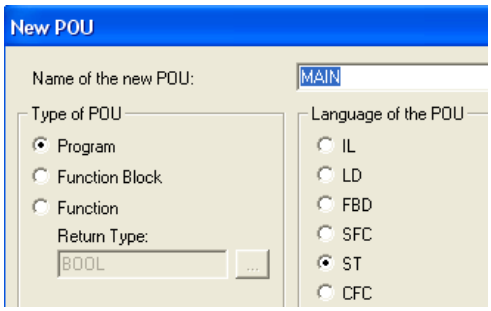
H – zmienna lokalna

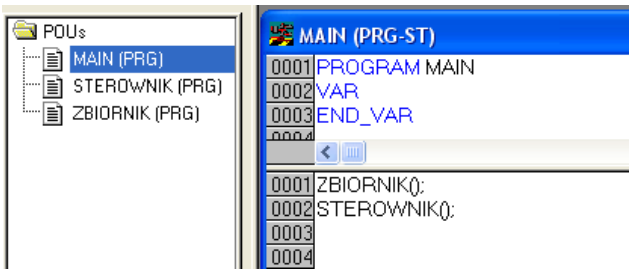
6. Program MAIN

- TwinCAT wymaga, aby główny program MAIN wywoływał programy podrzędne STETROWNIK i ZBIORNIK tak jak funkcje bezparametrowe.

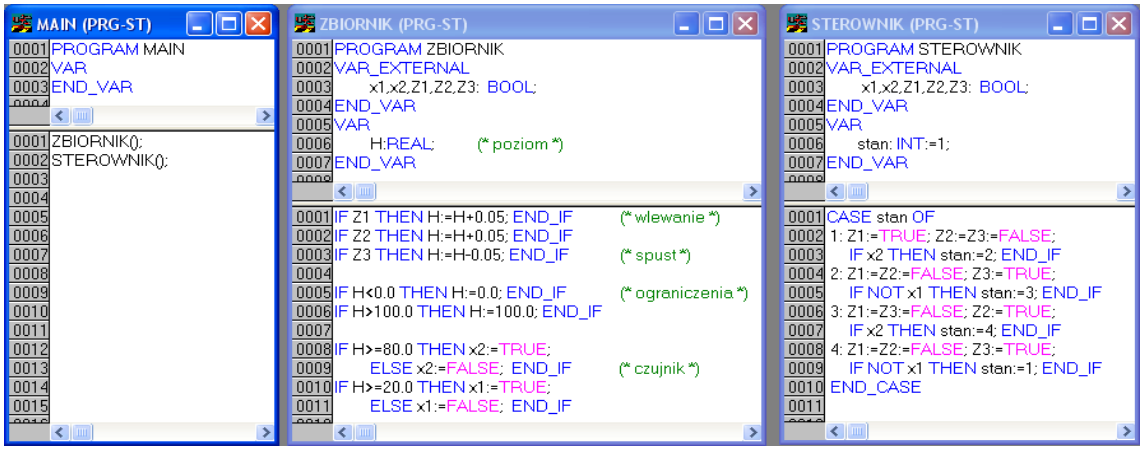
  Dodanie programu MAIN – *Add Object* (j.w.)

- ST



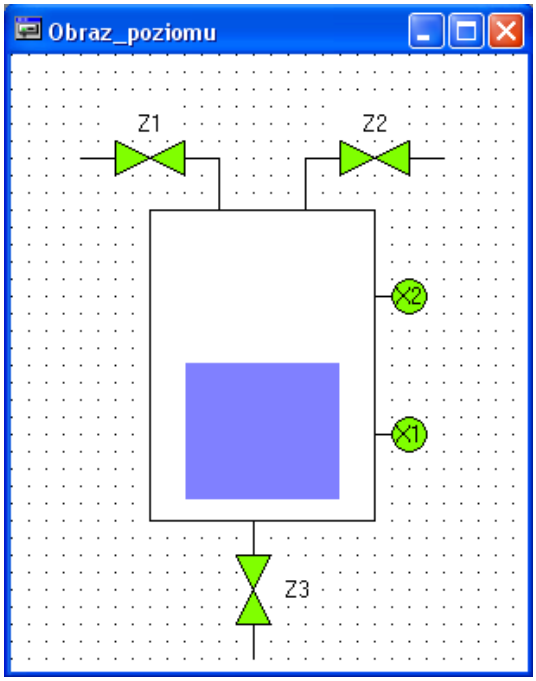


Zestaw programów aplikacji



7. Obraz poziomu

- Docelowy obraz

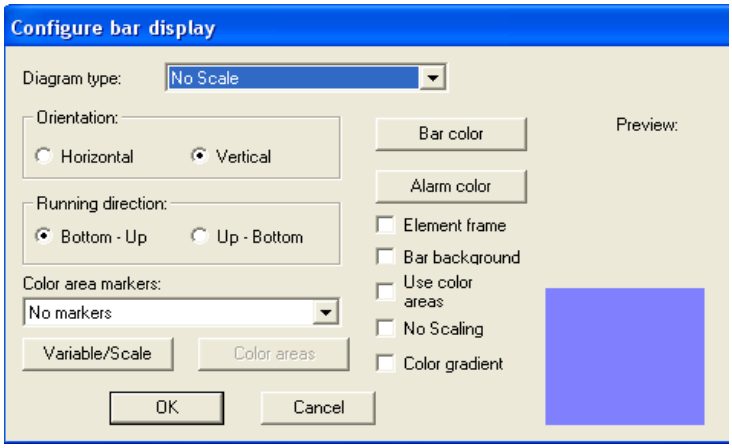


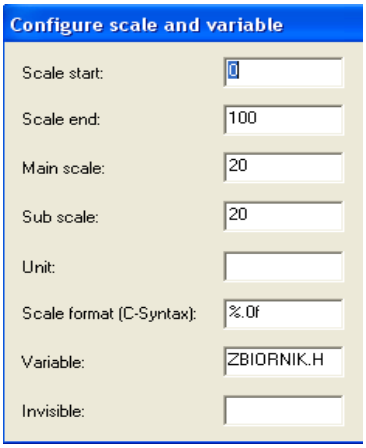
x1, x2, Z1, Z2, Z3 – zmiana koloru
poziom – bargraf

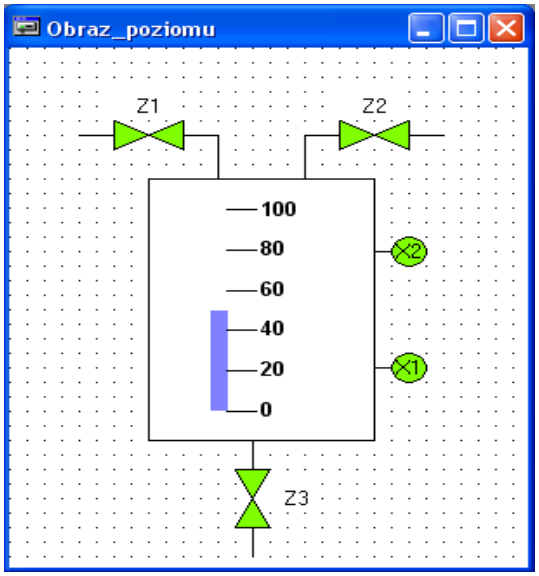
- Poziom H – bargraf bez skali (*No scale*)

  Ikona *Bar display*

  Konfiguracja bargrafu

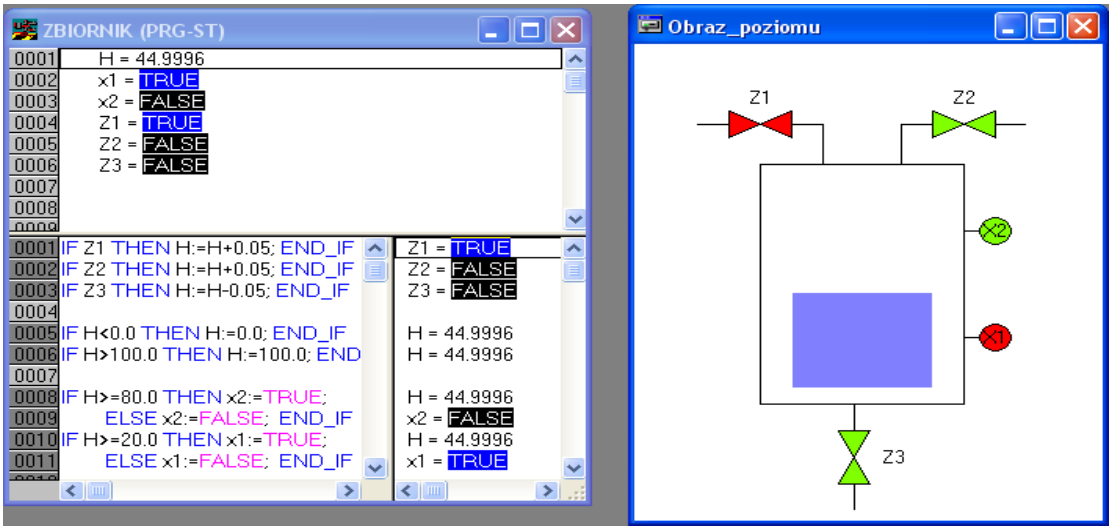






Poziom jako bargraf ze skalą (*Scale beside bar*)

8. Praca RUN



Sygnalizatory i sondy poziomu

Emerson

Controlmatica

Przyciski i wyłączniki krańcowe

Rockwell