

Karol NOWAK\*  
Grzegorz DOMBEK\*  
Andrzej KSIĄŻKIEWICZ\*  
Bartosz BOCHENEK\*  
Piotr NOWACZYK\*  
Paweł PLUTA\*

## ZASTOSOWANIE PRZEKAŹNIKÓW PLC DO REALIZACJI ALGORYTMÓW STEROWANIA OGRZEWANIEM

W artykule przedstawiono techniczne kryteria doboru przekaźników programowalnych PLC wykorzystywanych w automatyce budynkowej. Zaprezentowane zostały również przykłady realizacji sterownia ogrzewaniem w oparciu o przekaźniki PLC firmy Lovato Electric. Przedstawiono rozwiązania umożliwiające dwustanowe sterowanie ogrzewaniem oraz sterowanie typu PID. W sposób szczegółowy omówiono realizację regulacji dwustanowej przy wykorzystaniu przedstawionego przekaźnika, sterowania dwustanowego z regulacją wartości zadanej i wizualizacją odczytu, a także realizację inteligentnego sterownika temperatury. Przedstawione zostały schematy blokowe umożliwiające realizację przedstawionych algorytmów sterownia ogrzewaniem oraz sposoby połączeń.

SŁOWA KLUCZOWE: przekaźniki programowalne PLC, algorytmy sterowania, sterowanie dwustanowe, sterowanie PID, automatyka budynkowa

### 1. WPROWADZENIE

Przekaźniki programowalne PLC (ang. *Programmable Logic Controller*) są mikroprocesorowymi układami elektronicznymi umożliwiającymi realizowanie sterowania procesami i urządzeniami. Wykorzystuje się przede wszystkim w branży przemysłowej. Jednak ostatnimi czasy są one coraz częściej stosowane w budynkach użyteczności publicznej, a także budynkach mieszkalnych.

Zastosowanie przekaźników programowalnych w automatyce budynkowej pozwala na zapewnienie określonego poziomu komfortu oraz oszczędności energii przy stosunkowo niewielkim nakładzie kosztów. Stosowane są one przede wszystkim do sterowania pracą obwodów oświetleniowych i grzewczych. Wykorzystuje się je również w przydomowych systemach nawadniania.

---

\* Politechnika Poznańska.

Algorytm sterowania realizowany przy wykorzystaniu przekaźników PLC tworzony jest indywidualnie dla każdego zastosowania. Takie rozwiązanie zapewnia jak najlepsze dostosowanie do danego obiektu. Ponadto, szereg różnorodnych funkcji, którymi charakteryzują się przekaźniki programowalne, daje możliwość wprowadzania szybkich zmian w obwodzie sterowania nie generując przy tym dużych nakładów finansowych.

W związku z tym w niniejszym artykule przedstawiono możliwości sterowania ogrzewaniem z zastosowaniem przykładowego przekaźnika programowalnego PLC.

## **2. TECHNICZNE KRYTERIA DOBORU PRZEKAŹNIKÓW PLC**

Dobór przekaźnika programowalnego PLC powinien uwzględniać dwa kryteria – kryterium techniczne oraz kryterium ekonomiczne. W związku z tym, że podstawowym aspektem związanym z automatyzacją danego obiektu jest realizacja wszystkich założeń oraz zapewnienie ich prawidłowego przebiegu, aspekty ekonomiczne powinny być rozpatrywane dopiero po technicznych.

Uwzględniając przy doborze przekaźnika PLC kryterium techniczne należy wziąć pod uwagę rodzaj obiektu, w którym realizowane będzie sterowanie. W zależności od rodzaju obiektu możliwe jest sterowanie w systemie skupionym, w którym sterowanie dotyczy pojedynczego obwodu lub urządzenia (albo obwodów i urządzeń zlokalizowanych blisko siebie). Istnieje również możliwość sterowania w systemie rozproszonym, gdzie obwody lub urządzenia znajdują się w znacznej odległości od siebie. W przypadku systemu skupionego zalecane jest stosowanie pojedynczych sterowników. Z kolei dla systemu rozproszonego zaleca się stosowanie kilku sterowników lub jednego sterownika z dołączonymi modułami rozszerzeń [1].

W kolejnym kroku należy uwzględnić wielkość obiektu, w którym wykorzystany będzie przekaźnik PLC. W kroku tym należy zliczyć punkty, w których zbierane będą informacje oraz punkty które podlegać będą sterowaniu. Na podstawie tych punktów określa się ilość wejść i wyjść zastosowanego przekaźnika programowalnego [2].

Przy doborze przekaźnika programowalnego istotne jest również, aby określić zapotrzebowanie na ilość wejść i wyjść, zarówno cyfrowych, jak i analogowych. W przypadku wejść cyfrowych niezbędne jest określenie rodzaju napięcia sterującego. Natomiast, w przypadku wyjść cyfrowych konieczne jest sprawdzenie obciążenia prądowego zależnego od mocy przyłączonych urządzeń. Z kolei wejścia analogowe dobiera się ze względu na typ sygnału pomiarowego oraz jego zakres. Istotne jest również sprawdzenie czy elementy przyłączone do tych wejść posiadają własne zasilanie. Podobnie jest w przypadku wyjść analogowych [2].

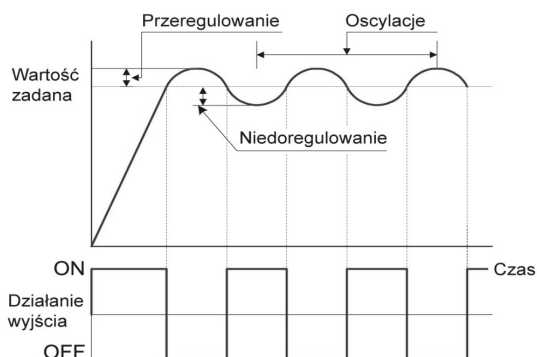
Ponadto, przy doborze przekaźnika programowalnego należy również zwrócić uwagę na warunki otoczenia, w których będzie on pracował [2].

Posiadając wyżej przedstawione informacje, a także znając wszystkie zależności i powiązanie pomiędzy sterowanymi obwodami i urządzeniami, można dobrać przekaźnik programowalny, który zapewni poprawną realizację sterowania obiektem.

### 3. DWUSTANOWE STEROWANIE OGRZEWANIEM

#### 3.1. Regulacja dwustanowa

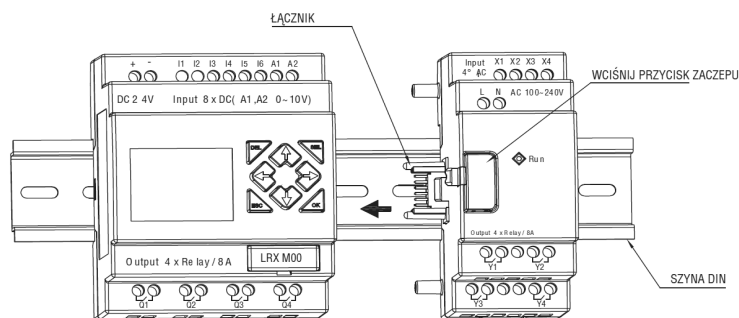
Najprostszym sposobem regulacji jest regulacja proporcjonalna (typu załącz/wyłącz, dwustanowa). Jeżeli wartość mierzonej temperatury jest mniejsza od wartości zadanej, wówczas wyjście regulacyjne zostaje włączone. Natomiast, gdy wartość mierzona przekroczy nastawioną wartość zadaną, wyjście regulacyjne zostanie wyłączone. Sytuację tą ilustruje rysunek 1. Podczas regulacji załącz/wyłącz dochodzi do przeregulowania i oscylacji sygnału wyjściowego, dlatego taki typ regulacji nie jest stosowany, gdy wymagana jest jej duża dokładność i stabilność. Regulacja dwustanowa nadaje się doskonale w przypadku centralnego systemu ogrzewania.



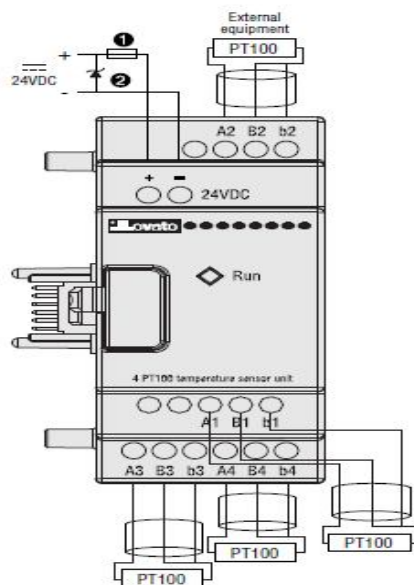
Rys. 1. Przebiegi dla sterowania proporcjonalnego [3]

#### 3.2. Realizacja regulacji dwustanowej

Układ dwustanowej regulacji temperatury został zaprojektowany w oparciu o sterownik programowalny firmy Lovato LRD 12RD024 wraz z dodatkowym modułem rozszerzeń LRE04AD024, który wyposażony jest w cztery wejścia czujników temperatury PT100. Schemat podłączenia dodatkowego modułu rozszerzeń przedstawiono na rysunku 2. Z kolei na rysunku 3 przedstawiono sposób podłączenia sond temperaturowych PT100.

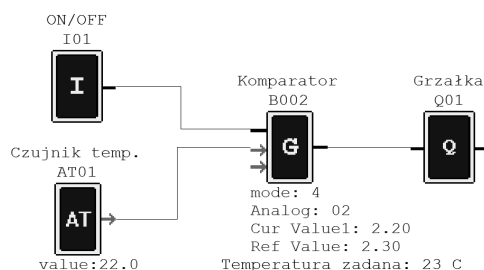


Rys. 2. Schemat przyłączenia dodatkowego modułu do sterownika PLC firmy Lovato [4]



Rys. 3. Schemat podłączenia modułu rozszerzeń LRE04AD024 umożliwiającego pomiaru temperatury [4]

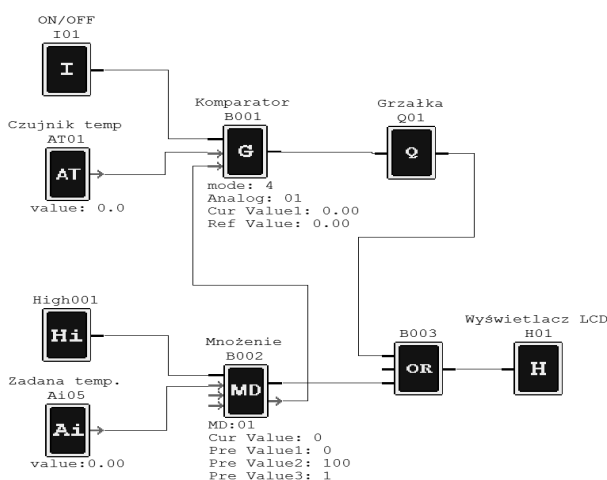
Na rysunku 4 przedstawiono schemat blokowy programu do dwustanowego sterowania ogrzewaniem. Blok funkcyjny *ON/OFF* (I01) służy do podawania sygnału zezwalającego na sterowanie grzałką (Q01). Sygnał czujnika temperatury (AT01) pochodzi z modułu zewnętrznego LRE04AD024. Przekazuje on informację o wartości zmierzonej temperatury za pomocą czujnika PT100, dołączonego do wejścia AT01 modułu rozszerzającego. W bloku komparatora (B002) następuje porównanie zadanej wartości temperatury z wartością zmierzoną, a następnie w zależności od wyniku porównania następuje sterowanie grzałką.



Rys. 4. Schemat blokowy programu do dwustanowego sterowania ogrzewaniem

### 3.3. Sterowanie z regulacją wartości zadanej i wizualizacją odczytu

Na rysunku 5 przedstawiono schemat blokowy programu sterowania ogrzewaniem z możliwością ręcznej nastawy zadanej temperatury oraz wizualizacją pomiarów na wbudowanym wyświetlaczu LCD sterownika PLC. Na analogowe wejścia pomiarowe Ai05 podawana jest wartość odpowiadająca żądanej temperaturze wewnątrz pomieszczenia.

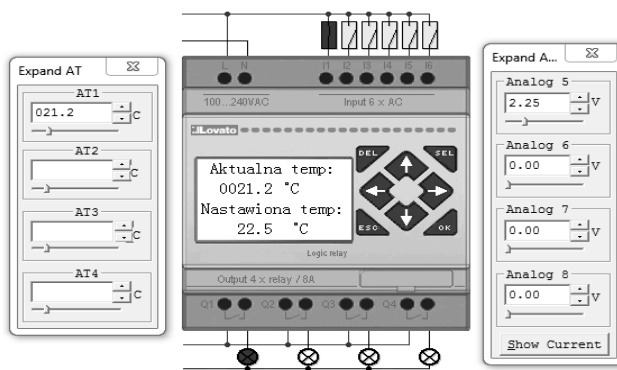


Rys. 5. Schemat blokowy programu do sterowania temperatury z wizualizacją pomiarów

Sygnal analogowy może zawierać się w przedziale 0–10 V. W najprostszym rozwiązaniu może to być potencjometr pracujący jako dzielnik napięcia. Zadaniem bloku B002 jest zamiana wartości napięcia analogowego na odpowiadający mu sygnał w postaci temperatury. Komparator B001 porównuje wartość temperatury zmierzonej za pomocą czujnika temperatury AT01 i wartości nastawionej na wejściu Ai05, a następnie w zależności od wyniku pomiaru załącza lub wyłącza

cza grzałkę Q01. Wynik temperatury zmierzonej i ustawionej wyprowadzony jest na wyświetlacza LCD za pomocą bloku funkcyjnego LCD (H01).

Na rysunku 6 przedstawiono symulację działania programu, którego schemat blokowy przedstawia rysunek 5. Na ekranie wbudowanego wyświetlacza można zaobserwować temperaturę zmierzona, której wartość pochodzi z zewnętrznego modułu pomiarowego oraz temperaturę nastawioną za pomocą analogowego wejścia pomiarowego. Temperatura zmierzona wynosi 21,2°C a zadana 22,5°C. W wyniku działania algorytmu sterowania na wyjściu Q01 pojawi się stan wysoki – grzałka zostanie załączona.



Rys. 6. Symulacja działania sterowania załącz/wyłłącz ogrzewaniem

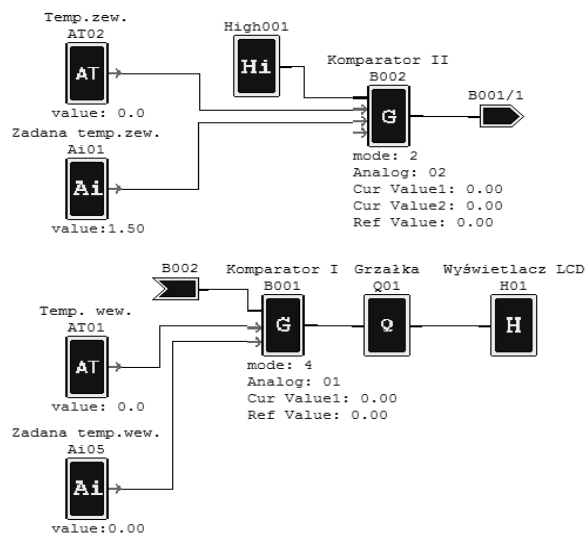
### 3.4. Inteligentny sterownik temperatury

Na rysunku 7 przedstawiono schemat blokowy programu sterującego ogrzewaniem z automatyzacją procesów pomiarowych. Inteligentne sterowanie polega na pomiarze temperatury (czujnik AT02) na zewnątrz budynku i porównaniu jej z wartością ustawioną, jako minimalna. Jeżeli temperatura spadnie poniżej zadanego progu, komparator (B002) na wyjściu wystawi jedynkę logiczną. Stan wysoki na wyjściu komparatora B002 zezwoli na pomiar temperatury wewnątrz pomieszczenia. Informacja z czujnika temperatury AT01 trafia do komparatora, gdzie zostanie porównywana z wartością zadaną. Jeżeli w pomieszczeniu jest chłodniej niż zakłada użytkownik, nastąpi wysterowanie wyjścia Q01 i załączenie grzałki.

Automatyzacja procesu załączania i wyłączania oraz procesu pomiaru temperatury wewnątrz budynku sprawia, że:

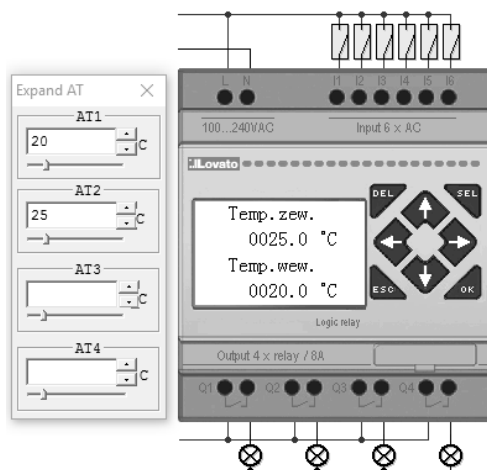
- w ciepłych porach roku nie załączy się ogrzewanie wewnątrz pomieszczenia, nawet jeżeli temperatura spadnie poniżej zadanej wartości,

- przy gwałtownym spadku temperatury na zewnątrz, urządzenie automatycznie zareaguje i pozwoli na pomiar temperatury wewnątrz nie dopuszczając do wychłodzenia pomieszczenia.



Rys. 7. Schemat blokowy programu – inteligentny sterownik ogrzewania

Wyniki działania symulacji algorytmu przedstawiono na rysunku 8. Zmierzane wartości temperatury zostają wyświetlane na ekranie sterownika PLC. Algorytm sterowania można rozbudować o wyświetlanie wartości zadanych.



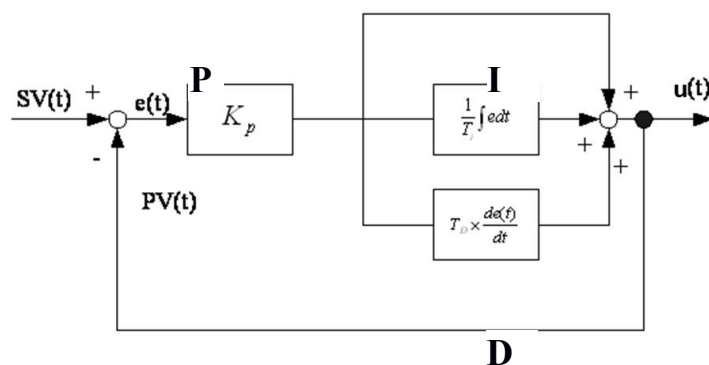
Rys. 8. Symulacja automatycznego sterowania ogrzewaniem

#### 4. STEROWANIE PID

Regulacja PID jest połączeniem członów proporcjonalnego, całkującego i różniczkującego (rys. 10). Działanie bloku  $P$  zapobiega przeregulowaniom i oscylacjom. Działanie bloku  $I$  polega na sprowadzeniu uchybu do 0, a działanie bloku  $D$  zapobiega zmianom wartości regulowanej w wyniku zakłóceń. Regulacja PID umożliwia zatem optymalną regulację procesu.

Algorytm PID pracuje w układzie regulacji automatycznej, operuje więc na pojęciach wartości zadanej  $SV$ , uchybu  $e$ , oraz na tzw. prawie sterowania, tzn. formule, według której wyznaczany jest sygnał wyjściowy regulatora. Prawo to przedstawia wzór:

$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\sigma) d\sigma + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (1)$$



Rys. 10. Schemat blokowy regulatora PID;  $K_p$  – współczynnik wzmocnienia (proporcjonalności),  $T_i$  – czas zdwojenia (całkowania),  $T_d$  – czas wyprzedzenia (różniczkowania),  $e(t)$  – odchyłka regulacji ( $e(t) = SV(t) - PV(t)$ ),  $SV(t)$  – wartość zadana,  $PV(t)$  – wartość procesowa (mierzona) [5]

##### 4.1. Realizacja sterowania PID przy wykorzystaniu sterownika PLC

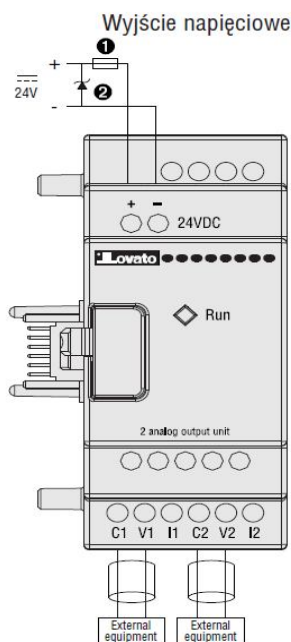
Układ sterowania temperatury z wykorzystaniem regulatora PID został zaprojektowany przy wykorzystaniu sterownika programowalnego LRD 12RD024 firmy Lovato Electric oraz modułów rozszerzeń:

- LRE04AD024 – z 4 wejściami czujników temperatury PT100 (rys. 3),
- LRE02AD024 – z 2 wyjściami analogowymi 0–10 V lub 0–20 mA (rys. 11).

Na rysunku 12 został przedstawiony regulator PID wraz z odbiornikiem, którym jest obiektem dwuinercyjnym. Korzystając z metody Zieglera-Nicholsa [6] dobrano parametry regulatora PID. Otrzymano następujące wartości:

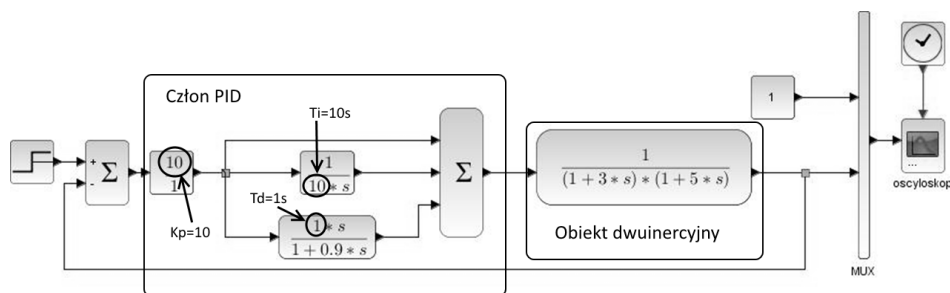
- $K_p = 10$ ,
- $T_i = 10$  s,
- $T_d = 1$  s.





Rys. 11. Moduły rozszerzeń: LRE02AD024 [4]

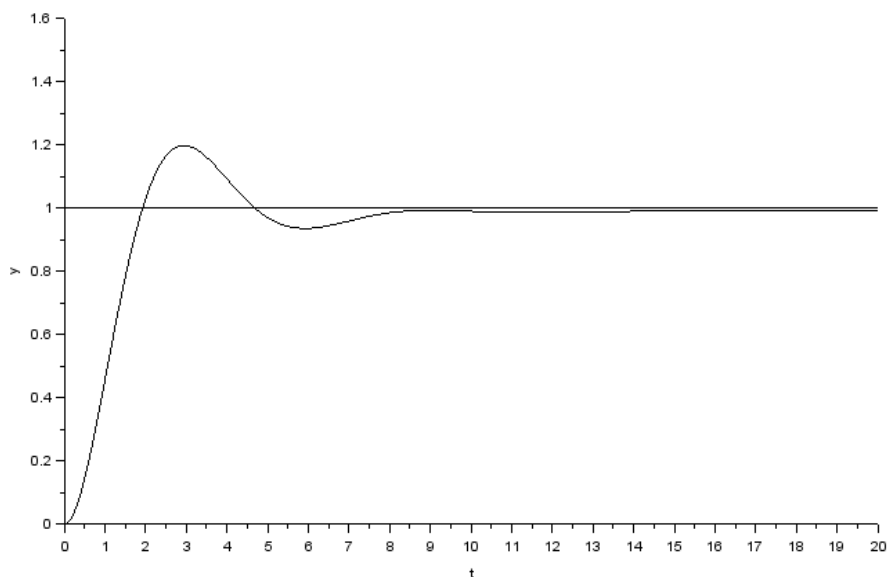
Schemat połączeń regulatora PID z elementem grzewczym (rys. 12) oraz odpowiedź układu na skok jednostkowy (rys. 13) otrzymano przy wykorzystaniu pakietu SCILAB. Wykres przedstawiony na rysunku 14 obrazuje zmianę sygnału wyjściowego regulatora PID na skok jednostkowy wartości zadanej.



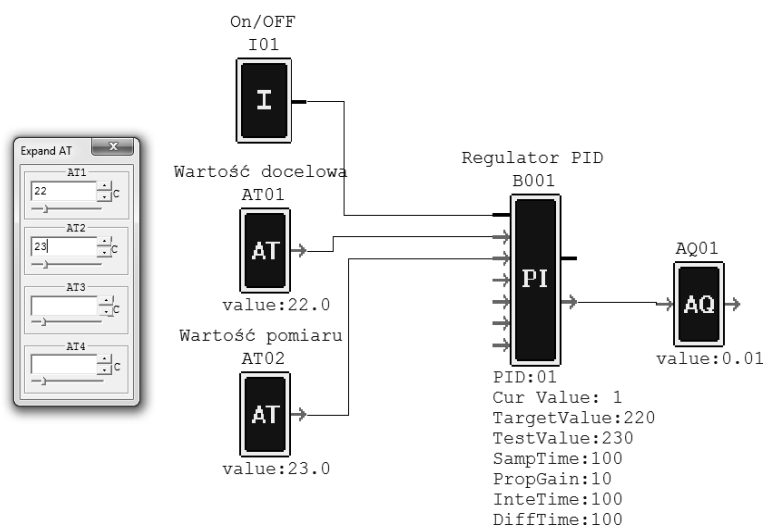
Rys. 12. Połączenie regulatora PID z elementem grzewczym (obiekt dwuinercyjny)

Przykład budowy regulatora PID na podstawie wybranego przekaźnika programowalnego PLC przedstawiono na rysunku 14. Współczynnik wzmocnienia, czas całkowania i różniczkowania zostały dobrane przy zastosowaniu metody Zieglera-Nicholsa. Zadaniem regulatora jest utrzymywanie temperatury

w pomieszczeniu, w którym znajduje się czujnik. Wartość pomiaru z czujnika AT01 zostaje porównana z sygnałem sprzężenia zwrotnego pochodzącego od czujnika AT02 i na tej podstawie wyjściowy sygnał sterujący podawany jest do zewnętrznego modułu wyjściowego poprzez analogowy blok wyjściowy AQ01.



Rys. 13. Odpowiedź układu na skok jednostkowy dla regulatora i obiektu z rysunku 12



Rys. 14. Schemat programu regulatora PID

#### 4. PODSUMOWANIE

Przystawione w artykule algorytmy sterowania są gotowymi rozwiązaniami wykorzystania sterowników PLC do sterowania ogrzewaniem. Oprócz prostego sterowania dwustanowego, sterownik PLC umożliwia regulację z wykorzystaniem rozbudowanego sterownika PID.

Sterownik PLC może być tańszą alternatywą dla dużych systemów automatyki budynkowej.

#### LITERATURA

- [1] Ruda A., Olesiński R., Sterowniki programowalne PLC, Centralny Ośrodek Szkolenia i Wydawnictwa SEP, Warszawa, 2008.
- [2] Kwaśniewski J., Sterowniki PLC w praktyce inżynierskiej, Wydawnictwo BTC, Legionowo 2008.
- [3] Regulatory temperatury – regulacja i kontrola temperatury i procesu <http://acse.pl/regulacja-temperatury/>
- [4] Instrukcja obsługi Mikro PLC serii LRD, [http://www.lovatoelectric.pl/HandlerDoc.ashx?s=I185PL07\\_12.pdf&ic=108](http://www.lovatoelectric.pl/HandlerDoc.ashx?s=I185PL07_12.pdf&ic=108)
- [5] Regulatory temperatury – regulacja i kontrola temperatury i procesu <http://acse.pl/regulacja-temperatury/>
- [6] Kaczorek T., Dzieliński A., Dąbrowski W., Łopatka R., Podstawy teorii sterowania, Wydawnictwo WNT, Warszawa, 2016.

#### IMPLEMENTATION OF HEATING CONTROL ALGORITHMS WITH PLC DEVICES

The technical criteria for selection of programmable PLC relays used in building automation are presented in the article. Examples of implementation of heating control based on PLC relays from LOVATO Electric are presented. Solutions for digital heating and PID control are also presented. Implementation of the controller using the relay is discussed in detail. Digital control with adjustable setpoint and visualization of reading, as well as the implementation of intelligent temperature controller is described. Block diagrams and wiring methods are presented for implementation of heating control algorithms.

*(Received: 02. 02. 2017, revised: 28. 02. 2017)*