

## OPTIMALIZACJA STEROWANIA MIKROKLIMATEM W PIECZARKARNI

Leonard Woroncow, Ewa Wachowicz

*Katedra Automatyki, Politechnika Koszalińska*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań symulacyjnych, procesów technologicznych zachodzących w pieczarkarni, przeprowadzone z wykorzystaniem kompleksowego modelu pieczarkarni. Wyniki badań wykorzystane zostały do optymalizacji sterowania ze względu na maksymalną dokładność sterowania oraz na minimum zużycia energii.

**Słowa kluczowe:** pieczarkarnia, procesy technologiczne, symulacja, sterowanie, optymalizacja

### Wprowadzenie

Prawidłowa realizacja procesu uprawy grzybów w pieczarkarni polega na zapewnieniu wymaganego przez technologów mikroklimatu oraz składu atmosfery. Wymagania te dotyczą w szczególności:

- temperatury i wilgotności względnej powietrza wewnątrz hali uprawowej,
- temperatury podłoża i zawartości w nim wody,
- zawartości dwutlenku węgla w powietrzu wewnątrz hali uprawowej.

Wymagania odnośnie wymienionych wyżej parametrów technologicznych nie są stałe, lecz zmieniają się w zależności od etapu i fazy uprawy.

Jeśli w pełni zrealizowane zostaną wymogi technologiczne, plon pieczarek będzie wysoki, a także jakość pieczarek będzie bardzo dobra [Szudyga, Maszkiewicz 1995].

Aby pieczarkarnia była konkurencyjna na rynku, oprócz produkcji bardzo dobrej jakości grzybów, musi produkować tanio. Koszty produkcji grzybów można obniżyć poprzez zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych pieczarkarni. Koszty te zaś można obniżyć zmniejszając zużycie energii zasilającej urządzenia wentylacji i klimatyzacji, w jakie wyposażono pieczarkarnię.

Aby spełnić oczekiwania właścicieli pieczarkarni w Katedrze Automatyki Politechniki Koszalińskiej podjęte zostały prace nad opracowaniem kompleksowego modelu pieczarkarni, który mógłby być wykorzystany do opracowania nowych algorytmów sterowania mikroklimatem w pieczarkarni.

Celem niniejszej pracy była optymalizacja sterowania mikroklimatem w pieczarkarni, podczas której wykorzystano kompleksowy model pieczarkarni oraz trzy algorytmy sterowania. Jako kryterium optymalizacji przyjmowano maksymalną dokładność regulacji oraz minimum zużycia energii.

### Wyniki badań symulacyjnych wykonanych z wykorzystaniem kompleksowego modelu pieczarkarni

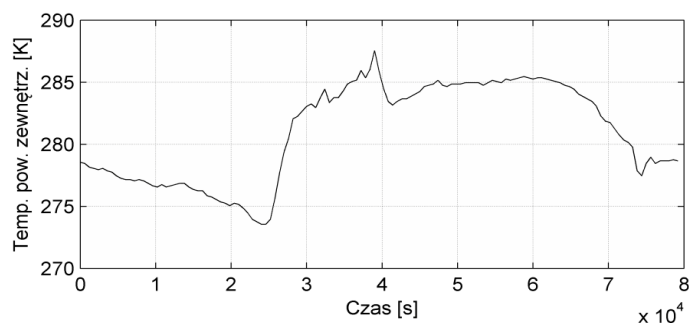
Kompleksowy model pieczarkarni opisano dokładniej w pracach [Vorontsov, Wachowicz 2008; Wachowicz, Woroncow 2009; Wachowicz, Woroncow 2010]. Model ten składa się z:

- matematycznego modelu procesów wymiany ciepła i masy w hali uprawowej oraz w podłożu w pieczarkarni,
- modelu otoczenia,
- modelu układu wentylacji i klimatyzacji,
- modelu układu sterowania, w którym istnieje możliwość wymiany algorytmu sterowania.

Znajomość modelu umożliwiła przeprowadzenie badań symulacyjnych, których wyniki wykorzystano podczas realizacji optymalizacji sterowania. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem trzech algorytmów sterowania mikroklimatem:

- najczęściej aktualnie stosowanego w pieczarkarniach algorytmu sterowania dwupołożeniowego,
- algorytmu sterowania PID (proporcjonalno-całkująco-różniczkującego),
- algorytmu predykcyjnego.

Na rysunku 1 pokazano przykładowo, założony podczas realizacji badań symulacyjnych, przebieg temperatury powietrza zewnętrznego. Podczas badań symulacyjnych wyznaczono przebiegi regulowanych parametrów technologicznych pieczarkarni w postaci temperatury i wilgotności względnej powietrza wewnątrz hali uprawowej oraz zawartości dwutlenku węgla w tym powietrzu. Przebiegi te uzyskano dla założonych, zadanych przebiegów badanych parametrów oraz założonych przebiegów temperatur i wilgotności względnych powietrza zewnętrznego.

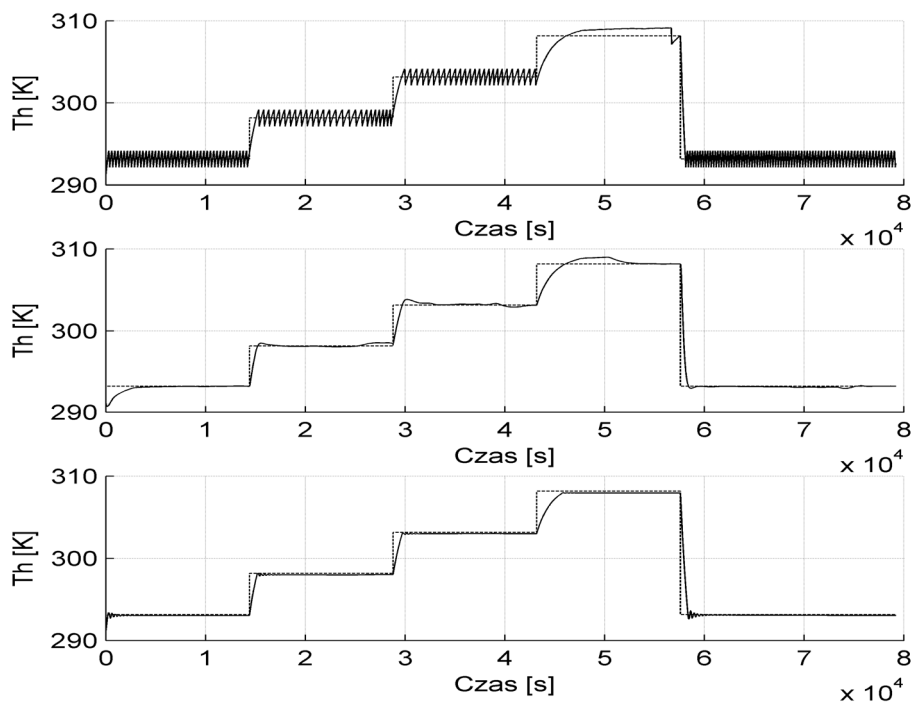


Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Założony podczas badań symulacyjnych przebieg temperatury powietrza zewnętrznego  
 Fig. 1. The course of outside air temperature assumed during the simulative tests

Parametry technologiczne wyznaczano wykorzystując trzy algorytmy sterowania: algorytm sterowania dwupołożeniowego, algorytm PID oraz algorytm sterowania predykcyjnego. Na rysunku 2 pokazano przykładowo przebieg temperatury powietrza wewnątrz hali uprawowej, zaś na rysunku 3 przebieg zawartości dwutlenku węgla w tym powietrzu.

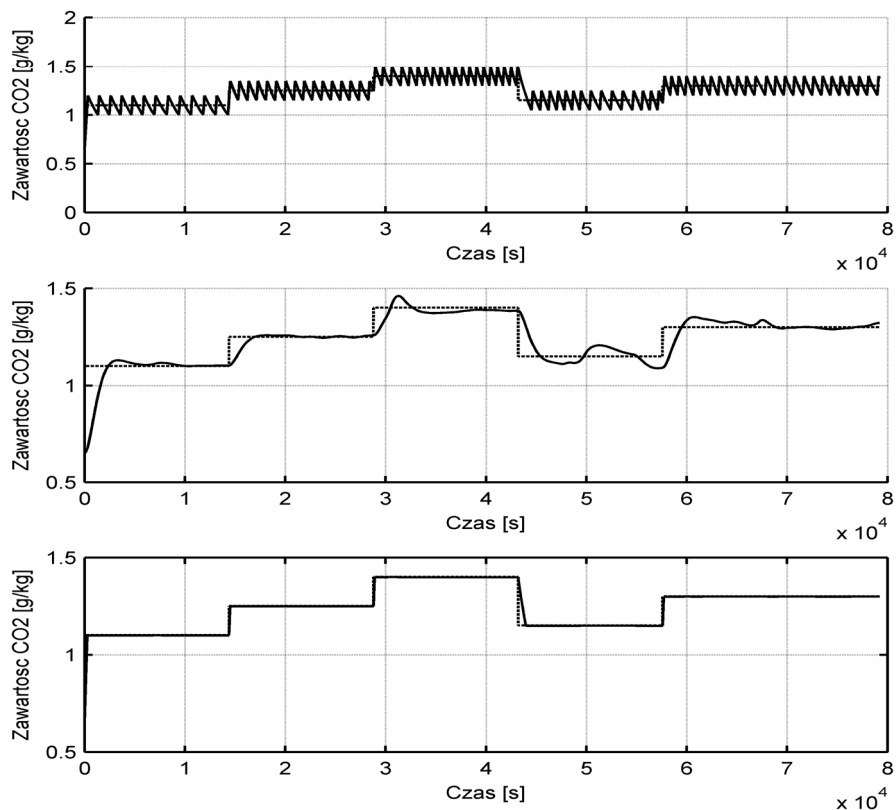
Pokazane na rysunkach 2 i 3 przebiegi uzyskano wówczas, gdy załączone były urządzenia klimatyzacji w postaci: chłodnicy, nagrzewnicy i nawilzacza powietrza, a także załączona była instalacja do zmiany zawartości CO<sub>2</sub> w powietrzu wewnątrz hali. Przykładowo przebieg pracy nagrzewnicy pokazano na rysunku 4, zaś przebieg pracy instalacji do zmiany CO<sub>2</sub> w powietrzu wewnętrznym przedstawiono na rysunku 5.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 2. Zadane i regulowane przebiegi temperatury powietrza wewnątrz hali uprawowej uzyskane z wykorzystaniem: a) algorytmu sterowania dwupołożeniowego, b) algorytmu sterowania PID oraz c) algorytmu sterowania predykcyjnego mikroklimatem w pieczarkarni

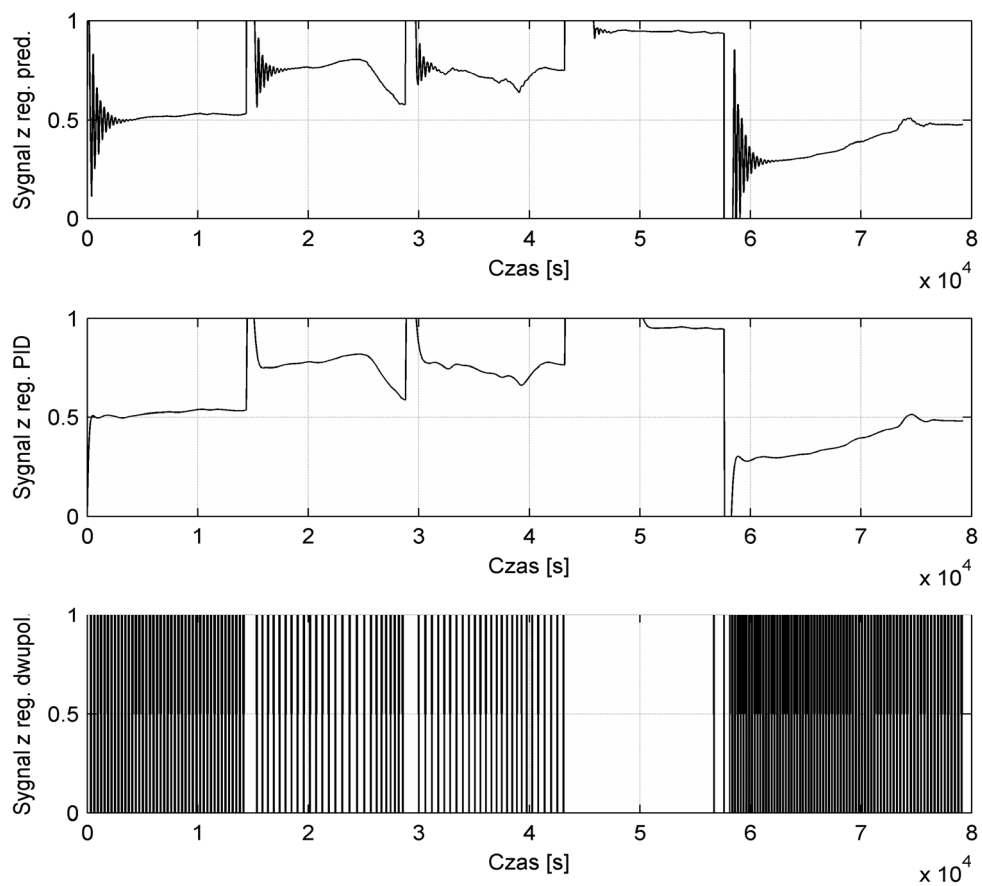
Fig. 2. Set and regulated courses of temperature inside the cultivation room obtained with the use of: a) an algorithm of a two-location control, b) an algorithm of a PID control and c) an algorithm of a predictive control of microclimate in a mushroom-growing cellar



*Źródło: opracowanie własne*

Rys. 3. Zadane i regulowane przebiegi zawartości dwutlenku węgla w powietrzu wewnątrz hali uprawowej uzyskane z wykorzystaniem: a) algorytmu sterowania dwupołożeniowego, b) algorytmu sterowania PID oraz c) algorytmu sterowania predykcyjnego mikroklimatem w pieczarkarni

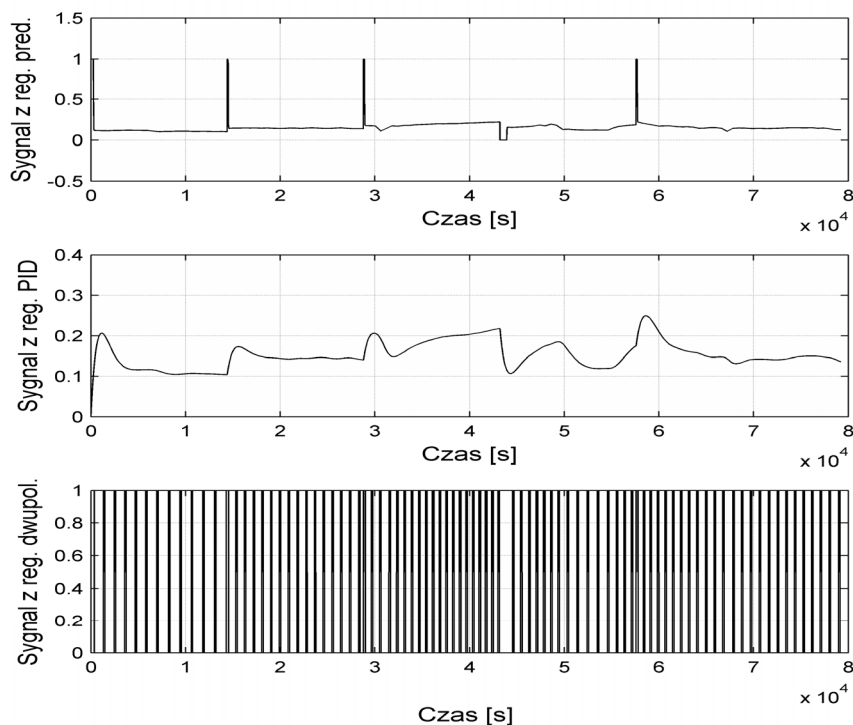
Fig. 3. Set and regulated courses of carbon-dioxide content in the air inside the cultivation room obtained with the use of: a) an algorithm of a two-location control, b) an algorithm of a PID control and c) an algorithm of a predictive control of microclimate in a mushroom-growing cellar



Źródło: opracowanie własne

Rys. 4. Przebiegi sygnału sterującego nagrzewnicą powietrza wewnętrznego, uzyskane podczas sterowania mikroklimatem z wykorzystaniem algorytmów sterowania: a) dwupołożeniowego, b) algorytmu PID, c) algorytmu predykcyjnego

Fig. 4. Courses of a signal controlling the inside air heater obtained during a microclimate control with the use of the control algorithms: a) a two-location algorithm, b) a PID algorithm, c) a predictive algorithm



Źródło: opracowanie własne

- Rys. 5. Przebiegi sygnału sterującego instalacją do zmiany zawartości dwutlenku węgla w powietrzu wewnątrz hali uprawowej, uzyskane podczas sterowania mikroklimatem z wykorzystaniem algorytmów sterowania: a) dwupołożeniowego, b) algorytmu PID, c) algorytmu predykcyjnego
- Fig. 5. Courses of a signal controlling the installation for a change of carbon-dioxide content in the air inside the cultivation room obtained during the microclimate control with the use of control algorithms: a) a two-location algorithm b) a PID algorithm, c) a predictive algorithm

Przebiegi te uzyskano podczas sterowania mikroklimatem z wykorzystaniem algorytmów sterowania: dwupołożeniowego, algorytmu PID oraz algorytmu predykcyjnego.

### Optimalizacja sterowania mikroklimatem w pieczarkarni

Celem optymalizacji sterowania mikroklimatem w pieczarkarni było sprawdzenie, który z badanych algorytmów sterowania parametrami mikroklimatu w pieczarkarni gwarantuje:

- najdokładniejszą regulację,
- najniższe zużycie energii zasilającej.

Jak wiadomo, wysokość i jakość plonu uprawianych pieczarek zależy od tego, czy spełnione są z żadaną dokładnością wymogi technologiczne uprawy. Na podstawie uzyskanych w wyniku badań symulacyjnych przebiegów:

- temperatury (rys. 2) i wilgotności względnej powietrza wewnętrznego,
- zawartości dwutlenku węgla (rys. 3) w powietrzu hali uprawowej

dokonano obliczeń wartości wskaźnika  $I_{JR}$  jakości regulacji parametrami technologicznymi pieczarkarni z wykorzystaniem algorytmów sterowania: dwupołożeniowego, algorytmu PID oraz algorytmu predykcyjnego. Jako kryterium optymalizacji przyjęto minimum wartości całki z kwadratu uchybu regulacji  $e$  (wzór 1). Wyliczone wartości wskaźnika regulacji zawiera tabela 1.

$$I_{JR} = \min \int_{t_0}^{t_k} e^2(\tau) d\tau \quad (1)$$

Tabela 1. Wartości wskaźnika jakości regulacji  $I_{JR}$   
Table 1. Values of quality regulation index  $I_{JR}$

| Algorytm       | Wartości wskaźnika jakości regulacji $I_{JR}$ |  |                                   |                 |
|----------------|---|--|-----------------------------------|-----------------|
|                | Temperatura powietrza wewnętrznego            | Zawartość CO <sub>2</sub> w powietrzu w hali | Zawartość wody w powietrzu w hali | Suma wskaźników |
| Dwupołożeniowy | 86734,6                                       | 312,8  | 29153,4                           | 116200,8        |
| PID            | 80390,0                                       | 295,1  | 10898,0                           | 91583,1         |
| Predykcyjny    | 75852,4                                       | 34,2   | 4804,0                            | 80690,6         |

*Źródło: obliczenia własne*

Jak wiadomo, uchyb regulacji jest różnicą pomiędzy wymaganą przez technologów i rzeczywistą wartością sterowanego parametru mikroklimatu, a tym samym jest miarą dokładności regulacji parametrami technologicznymi pieczarkarni.

Analizując dane zawarte w tabeli 1 można stwierdzić, że najdokładniejszą regulację, a co za tym idzie najwyższy zbiór i najlepszą jakość grzybów zapewnia algorytm sterowania predykcyjnego mikroklimatem w pieczarkarni. Dla tego algorytmu wartość wskaźnika  $I_{RJ}$  jest najniższa.

Podczas obliczeń związanych z minimalizacją zużycia energii przez urządzenia klimatyzacji, zainstalowane w pieczarkarni, jako miarę zużycia energii zasilającej przyjęto kwadrat sygnału sterującego  $u$ , załączającego dane urządzenie. Jako kryterium minimalizacji zużycia energii przyjęto minimum wartości całki z kwadratu sygnału sterującego rozpatrywanym urządzeniem (wzór 2).

$$I_E = \min \int_{t_0}^{t_k} u^2(\tau) d\tau \quad (2)$$

Na podstawie uzyskanych w wyniku badań symulacyjnych przebiegów sygnałów sterujących:

- nagrzewnicą powietrza wewnątrz hali (rys. 4),
- instalacją do zmiany zawartości CO<sub>2</sub> w powietrzu wewnętrznym (rys. 5),
- nawilżaczem powietrza w powietrzu hali uprawowej.

obliczano wartość wskaźnika  $I_E$  zużycia energii zasilającej wówczas, gdy urządzeniami tymi sterowano z wykorzystaniem algorytmów sterowania: dwupołożeniowego, algorytmu PID oraz algorytmu predykcyjnego. W tabeli 2 przedstawione zostały wyliczone wartości tego wskaźnika.

Tabela 2. Wartości wskaźnika zużycia energii  $I_E$   
Table 2. Values of energy consumption index  $I_E$

| Algorytm       | Wartości wskaźnika zużycia energii |                              |   |                              |                 |
|----------------|------------------------------------|------------------------------|---|------------------------------|-----------------|
|                | Sygnal sterujący chłodnicą         | Sygnal sterujący nagrzewnicą | Sygnal sterujący instalacją CO <sub>2</sub> | Sygnal sterujący nawilżaczem | Suma wskaźników |
| Dwupołożeniowy | 15530,9                            | 63669,0                      | 12214,0                                     | 16360,5                      | 107774,4        |
| PID            | 315,1                              | 37729,6                      | 1938,0                                      | 3726,1                       | 43708,8         |
| Predykcyjny    | 193,9                              | 36896,0                      | 2365,6                                      | 4179,6                       | 43635,1         |

*Źródło: obliczenia własne*

Z analizy wyników obliczeń, zawartych w tabeli 2 wynika, że najniższe zużycie energii zapewniają dwa algorytmy sterowania – algorytm sterowania ciągłego i algorytm sterowania predykcyjnego, dla których wartość wskaźnika  $I_E$  jest najniższa i porównywalna.

## Podsumowanie

Prezentowane w artykule wyniki to rezultaty wstępnego etapu prac, związanych z polioptymalizacją sterowania mikroklimatem w pieczarkarni. Podsumowując, można stwierdzić, iż:

- Przeprowadzone badania symulacyjne potwierdziły przydatność opracowanego kompleksowego modelu pieczarkarni do testowania algorytmów sterowania mikroklimatem. Podczas badań testowano trzy algorytmy sterowania: algorytm sterowania dwupołożeniowego, algorytm sterowania ciągłego i algorytm sterowania predykcyjnego.
- Badania symulacyjne wykazały, że:
  - najdokładniejszą regulację mikroklimatem w pieczarkarni realizuje algorytm sterowania predykcyjnego. Oznacza to, że sterowanie predykcyjne gwarantuje spełnienie w najszerszym zakresie wymogów technologicznych uprawy grzybów. Najmniej dokładne sterowanie zapewnia algorytm sterowania dwupołożeniowego,
  - największe zużycie energii zasilającej przez urządzenia wentylacji i klimatyzacji ma miejsce wówczas, gdy realizowany jest algorytm sterowania dwupołożeniowego. Algorytmy sterowania ciągłego i predykcyjnego gwarantują porównywalne ilościowo zużycie energii.



## **Bibliografia**

- Szudyga K., Maszkiewicz J.** 1995. Uprawa pieczarek. HORTPRESS. Warszawa. ISBN 83-86384-01-8.
- Woroncow L., Wachowicz E.** 2008. Modelowanie przepływu powietrza w kanałach wentylacyjnych pieczarkarni. Inżynieria Rolnicza. Nr 10(108). s. 269-276.
- Wachowicz E., Voroncow L.** 2009. Simulation of heat and mass exchange processes proceeding in mushroom-growing cellars. Polish Journal of Environmental Studies. Vol. 18. No 4B. pp. 216-220.
- Wachowicz E., Woroncow L.** 2010. Comprehensive Model of Processes Proceeding at a Mushroom-Growing Cellar. Technical Sciences. Nr 13. s. 30-39.

## **OPTIMISATION OF MICROCLIMATE CONTROL IN A MUSHROOM GROWING CELLAR**

**Abstract.** The study presents results of simulative research and technological processes which take place in a mushroom - growing cellar, carried out with the use of a complex model of a mushroom-growing cellar. Results of the research were used for optimisation of control on account of the maximum control precision and the minimum energy consumption.

**Key words:** mushroom-growing cellar, technological processes, simulation, control, optimisation.

### **Adres do korespondencji:**

Ewa Wachowicz; e-mail: ewa.wachowicz@tu.koszalin.pl  
Katedra Automatyki  
Politechnika Koszalińska  
ul. Raclawicka 15-17  
75-620 Koszalin