

## STEROWANIE ADAPTACYJNE WYBRANEJ KLASY PROCESÓW INŻYNIERII ROLNICZEJ

Ewa Wachowicz, Piotr Grudziński  
*Katedra Automatyki, Politechnika Koszalińska*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono ideę sterowania adaptacyjnego pewną, scharakteryzowaną klasą procesów inżynierii rolniczej. Budowę i funkcjonowanie adaptacyjnego systemu sterowania omówiono na przykładzie sterowania mikroklimatem w przechowalni jabłek.

**Słowa kluczowe:** sterowanie adaptacyjne, mikroklimat, przechowalnictwo, jabłka

### Charakterystyka wybranej klasy procesów inżynierii rolniczej

Klasa procesów inżynierii rolniczej, która jest przedmiotem rozważań w niniejszej pracy, charakteryzuje się ściśle określonymi cechami. Te cechy to:

- nieliniowość. Do opisu procesów wykorzystywane są nieliniowe równania różniczkowe;
- niestacjonarność. Współczynniki równań, opisujących procesy nie są stałe lecz zmieniają się w trakcie realizacji procesu;
- wielowymiarowość. Podczas realizacji tych procesów sterowaniu podlega nie jeden, lecz kilka parametrów technologicznych.

Ponadto są to procesy o parametrach rozłożonych, zmienne w czasie i przestrzeni, opisywane za pomocą równań różniczkowych cząstkowych.

Zakłóceniami są tu parametry termiczno-wilgotnościowe powietrza zewnętrznego.

Zakłócenia te są:

- stochastyczne,
- wolnozmiennie,
- o sinusoidalnym charakterze zmienności.

Przykładowymi procesami tej klasy są procesy wymiany ciepła i masy, występujące w specjalistycznych budynkach rolniczych (przechowalniach, szklarniach, pieczarkarniach). Cechą charakterystyczną tych procesów jest to, iż jednym z obiektów sterowania są organizmy żywe (owoce, warzywa, ziemniaki, rośliny, grzyby). Na przebieg procesów wymiany ciepła i masy, mających miejsce w budynkach rolniczych, mają zatem wpływ różnorodne procesy: biologiczne, biochemiczne i fizyko-chemiczne, zachodzące w organizmach żywych. To powoduje, że w przeciwieństwie do procesów przemysłowych, nie ma powtarzalności ilościowej i jakościowej przebiegu tych procesów w kolejnych sezonach przechowalniczych lub w kolejnych latach upraw. O intensywności procesów wymiany ciepła i masy decydują bowiem czynniki losowe, jakimi są parametry termiczno-wilgotnościowe powietrza zewnętrznego.

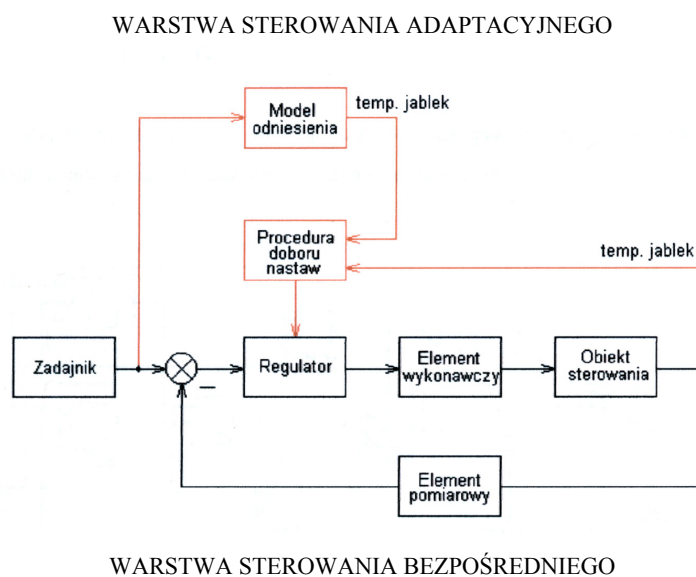
Charakterystyczne jest również to, iż mamy tu równocześnie do czynienia z procesami wolno- i szybkozmiennymi. Procesy zachodzące w organizmach żywych przebiegają wolno, zaś procesy w tym samym czasie zachodzące w powietrzu wewnątrz budynków są szybkozmiennie.

Ze względu na zmieniające się właściwości dynamiczne rozważanych tu procesów technologicznych, do sterowania nimi proponuje się zastosowanie systemów adaptacyjnych z modelem odniesienia. Są to systemy sterowania parametrami mikroklimatu (głównie temperaturą, wilgotnością względną, a czasem składem atmosfery).

Celem pracy jest opracowanie przykładowego, adaptacyjnego systemu sterowania procesami wymiany ciepła i masy, zachodzącymi w przechowalni jabłek. Procesy te należą do scharakteryzowanej wyżej klasy procesów inżynierii rolniczej.

### Idea adaptacyjnego sterowania

Na rysunku 1 pokazano adaptacyjny system sterowania procesami wymiany ciepła i masy w przechowalni jabłek.



Rys. 1. Schemat blokowy adaptacyjnego systemu sterowania [Źródło: opracowanie własne]

Fig. 1. Block diagram of an adaptive control system

Warstwę sterowania bezpośredniego stanowi klasyczny układ sterowania ciągłego. Funkcję regulatora w układzie pełni regulator PID (proporcjonalno-całkująco-różniczkujący). Na wejście regulatora (rys. 1) podawany jest sygnał uchybu regulacji. Sygnał ten jest równy różnicy pomiędzy żadaną wartością parametru technologicznego, którym sterujemy (nastawianą w zadajniku) i rzeczywistą wartością tego parametru zmierzoną przez element pomiarowy. Jeśli różnica ta ma wartość różną od zera, wówczas regu-

lator wytwarza sygnał sterujący, załączający element wykonawczy. Element ten w taki sposób oddziałuje na proces technologiczny (obiekt sterowania), by uchyb regulacji był zminimalizowany.

Podczas projektowania układów regulacji ciągłej zakłada się, że właściwości dynamiczne procesu technologicznego są stałe, niezmiennie w czasie. Wówczas do właściwości dynamicznych procesu technologicznego indywidualnie dobiera się właściwości dynamiczne regulatora. Dzięki temu uzyskuje się stabilność układu i wymaganą jakość regulacji. Właściwości dynamiczne regulatora można zmieniać poprzez dokonywanie nastaw: współczynnika wzmocnienia  $k_p$ , czasu całkowania  $T_i$  i czasu różniczkowania  $T_d$ .

Rozpatrywana tu klasa procesów inżynierii rolniczej to procesy, których właściwości dynamiczne zmieniają się w czasie. Przykładowo w przechowalni jabłek zmienia się masa magazynowanych owoców, a tym samym zmieniają się równania różniczkowe, opisujące wymianę ciepła i masy. Jeśli zatem do sterowania tymi procesami zastosowany zostanie klasyczny układ regulacji ciągłej, wówczas po zmianie właściwości dynamicznych procesu technologicznego, dobrane na etapie projektowania układu automatyki właściwości dynamiczne regulatora nie zapewnią stabilnej pracy układu i wymaganej jakości regulacji. Oznacza to, że regulacja parametrami technologicznymi będzie mało dokładna, a tym samym wzrosną straty technologiczne oraz koszty eksploatacji specjalistycznego budynku rolniczego.

Układami, które eliminują ten mankament są adaptacyjne systemy sterowania. W skład tych systemów (rys. 1), oprócz klasycznego układu regulacji ciągłej (stanowiącego warstwę sterowania bezpośredniego), wchodzi warstwa sterowania adaptacyjnego. Warstwę tę tworzy komputer ze specjalistycznym oprogramowaniem. W skład warstwy sterowania adaptacyjnego wchodzi:

- model odniesienia,
- procedury doboru nastaw regulatora.

Model odniesienia stanowi komputerowy model klasycznego układu regulacji ciągłej. Z jego wykorzystaniem realizowane są badania symulacyjne. Sygnał z zadajnika podawany jest jednocześnie na wejście rzeczywistego układu (tworzącego warstwę sterowania bezpośredniego) i komputerowego modelu układu sterowania. Sygnał wyjściowy z rzeczywistego układu sterowania porównywany jest z sygnałem wzorcowym, będącym wynikiem obliczeń, otrzymywanym na wyjściu modelu odniesienia. Wystąpienie różnicy pomiędzy wartościami tych sygnałów oznacza, że nastąpiła zmiana właściwości dynamicznych procesu technologicznego (obiektu sterowania). W takich sytuacjach każdorazowo uruchamiana jest procedura doboru nowych nastaw regulatora. Dzięki temu przedsięwzięciu regulacja parametrem technologicznym jest dokładna, straty technologiczne niskie, a tym samym obniżone są koszty eksploatacji specjalistycznego budynku rolniczego.

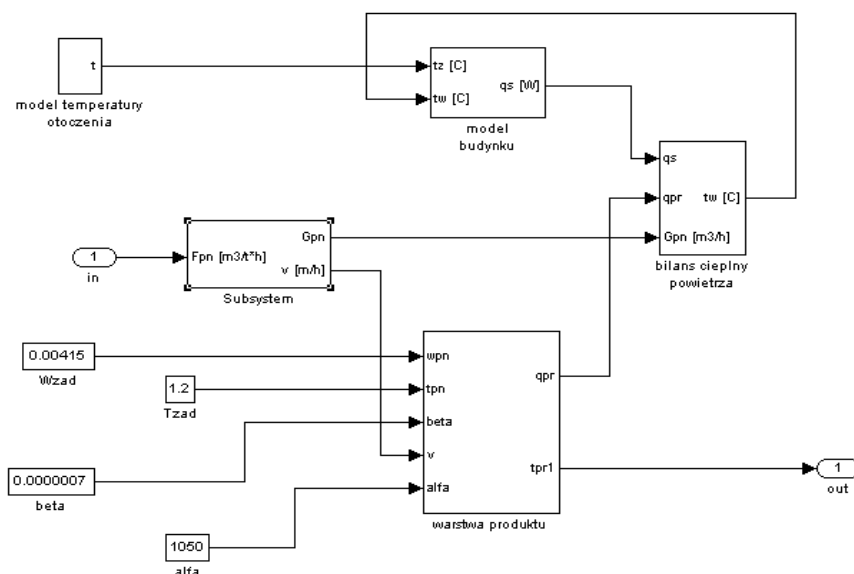
### **Przykładowy adaptacyjny system sterowania mikroklimatem w przechowalni jabłek**

Dla jednego z procesów inżynierii rolniczej, należącego do rozpatrywanej w pracy klasy, a mianowicie dla procesu przechowalnictwa jabłek, opracowany został przykładowo adaptacyjny system sterowania temperaturą jabłek oraz wilgotnością względną powietrza wewnątrz przechowalni. W skład systemu (rys.1) wchodzi klasyczny, typowy układ regulacji ciągłej, tworzący warstwę sterowania bezpośredniego.

Poniżej przedmiotem naszych rozważań będzie realizacja techniczno-informatyczna warstwy sterowania adaptacyjnego z wykorzystaniem środowiska programowego MATLAB [Tarnowski, Bartkiewicz 2000]. Warstwa ta złożona jest z modelu odniesienia i modułu, zawierającego procedury doboru nastaw regulatora.

### Model odniesienia

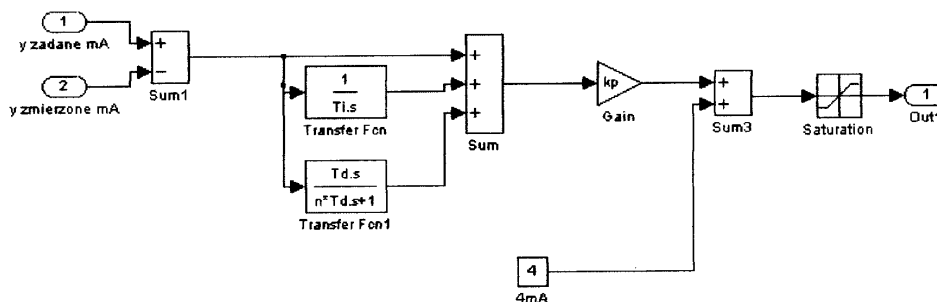
Model odniesienia to komputerowy model układu regulacji ciągłej temperaturą jabłek i wilgotnością względną powietrza wewnętrznego. Złożony jest z: modelu procesu technologicznego (obiektu sterowania), modeli pozostałych elementów funkcjonalnego układu regulacji (regulatora, elementów pomiarowych i elementów wykonawczych) oraz algorytmu sterowania. W przechowalni jabłek mamy do czynienia z procesami wymiany ciepła i masy zachodzącymi w jabłkach oraz w powietrzu wewnątrz przechowalni. Matematyczny model, będący podstawą do opracowania komputerowego modelu procesu technologicznego, przedstawiono szczegółowo w pracy [Wachowicz 2003]. Na rysunku 2 pokazano przykładowo, zaimplementowany w środowisku programowym MATLAB w toolbox'ie Simulink, komputerowy model procesów wymiany ciepła zachodzących w przechowalni jabłek. Model ten zawiera także komputerowy model otoczenia oraz model procesu wymiany ciepła i masy przez ściany budynku przechowalni. Podobny model opracowano dla procesu wymiany masy w jabłkach i powietrzu wewnętrznym.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 2. Komputerowy model procesów wymiany ciepła zachodzących w przechowalni jabłek  
Fig. 2. Computer model of heat exchange processes taking place in an apple store

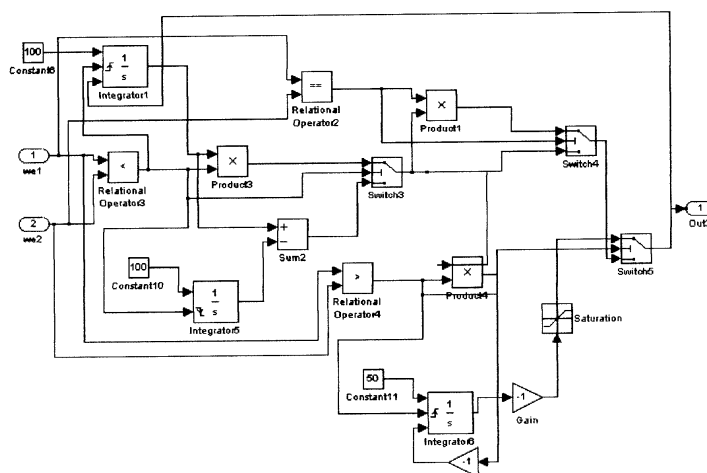
Komputerowy model regulatora PID, zrealizowany w toolbox'ie Simulink środowiska programowego MATLAB pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Komputerowy model regulatora PID, zrealizowany w Matlabie  
 Fig. 3. Computer model of PID regulator, created in Matlab

### Procedury doboru nastaw regulatora

Jak wcześniej wspomniano, doboru nastaw regulatora dokonuje się każdorazowo po zmianie właściwości dynamicznych procesu technologicznego. Na podstawie znajomości charakterystyk czasowych skokowych wyznacza się parametry pomocnicze. Ich wartości podstawiane są do znanych w automatyce wzorów, umożliwiających wyliczenie nastaw regulatora PID: współczynnika wzmocnienia  $k_p$ , czasu całkowania  $T_i$  oraz czasu różniczkowania  $T_d$ . Informatyczną realizację modułu, pozwalającego w pożądany sposób zmieniać nastawy regulatora pokazano na rysunku 4.

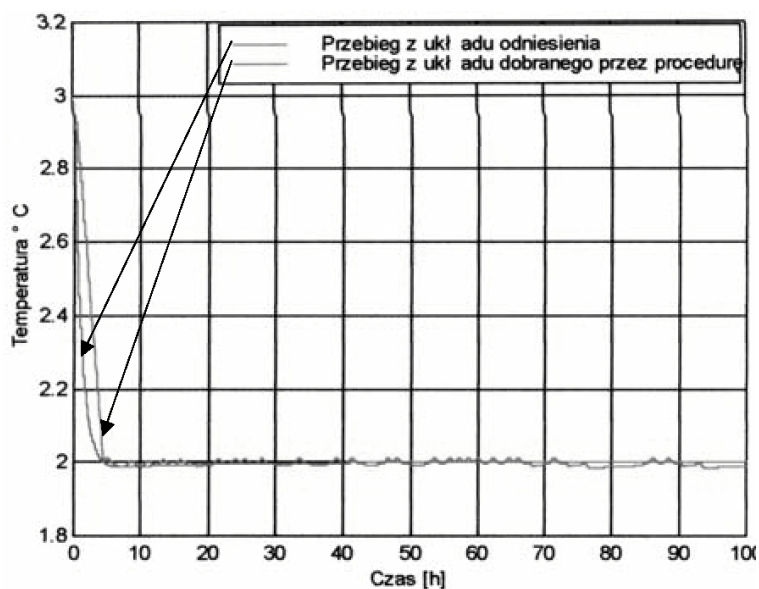


Źródło: opracowanie własne

Rys. 4. Moduł realizujący procedury doboru nastaw regulatora  
 Fig. 4. Module executing regulator settings selection procedures

## Wyniki badań symulacyjnych

Dysponując komputerowym modelem adaptacyjnego systemu sterowania przeprowadzono badania symulacyjne, mające na celu sprawdzenie poprawności jego funkcjonowania. Przykładowe wyniki badań symulacyjnych adaptacyjnego układu sterowania mikroklimatem w przechowalni jabłek pokazano na rysunkach 5 i 6. Na rysunku 5 przedstawiono przebieg temperatury jabłek podczas ich schładzania, uzyskany na wyjściu modelu odniesienia (wzorcowy) oraz na wyjściu układu sterowania bezpośredniego, po zmianie nastaw regulatora. Na podstawie wyników symulacji można stwierdzić, że oba te przebiegi niewiele się różnią, a zatem funkcjonowanie systemu jest poprawne.



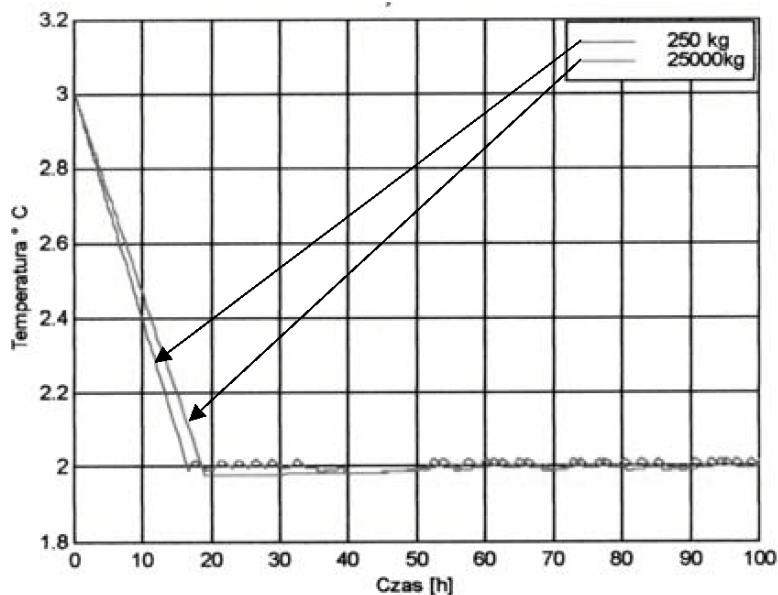
Źródło: opracowanie własne

Rys. 5. Zmiany w czasie temperatury jabłek uzyskane na wyjściu modelu odniesienia oraz na wyjściu układu sterowania bezpośredniego

Fig. 5. Changes in time of apple temperature, obtained on the output of a reference model and on the output of a direct control system

Widać, że adaptacyjny system sterowania zapewnia wymaganą temperaturę jabłek wynoszącą 2°C.

Podczas badań symulacyjnych zmieniano właściwości dynamiczne procesu technologicznego poprzez zmianę masy magazynowanych jabłek. Obserwowano przebieg temperatur jabłek na wyjściu układu sterowania bezpośredniego po zmianie nastaw regulatora (rys. 6).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 6. Przebieg temperatury jabłek, uzyskany na wyjściu układu sterowania bezpośredniego, po zmianie właściwości dynamicznych procesu technologicznego i zmianie nastaw regulatora  
Fig. 6. Apple temperature curve, obtained on the output of a direct control system, following modification of manufacturing process dynamic properties and change of regulator settings

## Podsumowanie

Weryfikacja logiczna modelu oraz analiza logiczna otrzymanych wyników badań symulacyjnych pozwalają stwierdzić, że adaptacyjny system sterowania może znaleźć zastosowanie do sterowania wybraną, scharakteryzowaną w pracy klasą procesów inżynierii rolniczej.

## Bibliografia

- Tarnowski W. Bartkiewicz S. 2000. Modelowanie matematyczne i symulacja komputerowa dynamicznych procesów ciągłych. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin. Wyd. II. ISBN 83-87424-633.
- Wachowicz E. 2003. Modelowanie procesów zachodzących w przechowalniach jabłek. Inżynieria Rolnicza 9(51). s. 99-108.

## **ADAPTIVE CONTROL FOR SELECTED CLASS OF AGRICULTURAL ENGINEERING PROCESSES**

**Abstract.** The paper presents the concept of adaptive control for certain, characterised class of agricultural engineering processes. The structure and functioning of an adaptive control system has been discussed using the example of microclimate control in an apple store.

**Key words:** adaptive control, microclimate, storage, apples

**Adres do korespondencji:**

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