

NOWOCZESNE ALGORYTMY STEROWANIA MIKROKLIMATEM W PRZECHOWALNIACH

Ewa Wachowicz

Katedra Automatyki, Wydział Mechaniczny, Politechnika Koszalińska
ul. Raławicka 15-17, 75-620 Koszalin
e-mail: ewa.wachowicz@tu.koszalin.pl

Streszczenie. W pracy omówione zostały mankamenty aktualnie stosowanych algorytmów sterowania pracą urządzeń wentylacji i klimatyzacji w przechowalniach owoców, warzyw i ziemniaków. Zaproponowano także nowoczesne, adaptacyjne i predykcyjne algorytmy sterowania mikroklimatem, ograniczające lub eliminujące wady aktualnie stosowanych algorytmów sterowania. Dzięki ich zastosowaniu możliwe jest zmniejszenie strat technologicznych, zachowanie jakości produktów i uzyskanie lepszych efektów ekonomicznych w przechowalnictwie. Realizacja techniczna algorytmów adaptacyjnych i predykcyjnych wymaga znajomości komputerowego modelu procesu technologicznego i układu sterowania.

Słowa kluczowe: przechowalnie, mikroklimat, sterowanie, algorytmy

WYKAZ OZNACZEŃ

$G(s)$ – transmitancja operatorowa,
 k_p – współczynnik wzmocnienia, bezw.,
 s – operator Laplace'a,
 T_i – czas całkowania, (s),
 T_d – czas różniczkowania, (s),
 T, T_1 – stałe czasowe, (s).

WPROWADZENIE

Chęć sprostania rosnącym wymaganiom konsumentów odnośnie jakości magazynowanych owoców, warzyw lub ziemniaków oraz potrzeba obniżenia kosztów eksploatacyjnych budynku przechowalni powodują, że właściciele przechowalni wyposażają te budynki w urządzenia wentylacji i klimatyzacji oraz układy

automatyki. Automatyzacja procesów przechowalniczych daje tym samym możliwość podniesienia konkurencyjności rynkowej firmy. Zadaniem układów sterowania jest bowiem zapewnienie wymaganego, ściśle określonego przez technologów mikroklimatu wewnątrz komór magazynowych. Jeśli wymogi te zostaną spełnione, wówczas straty technologiczne magazynowanych owoców, warzyw lub ziemniaków są niskie i zachowana zostaje ich jakość. Aktualnie stosowane algorytmy sterowania mikroklimatem nie w pełni realizują wymogi technologiczne.

Celem pracy było przedstawienie nowoczesnych algorytmów sterowania, pozbawionych wad aktualnie stosowanych układów sterowania mikroklimatem.

AKTUALNIE STOSOWANE ALGORYTMY STEROWANIA MIKROKLIMATEM W PRZECHOWALNIACH

Algorytmy sterowania mikroklimatem w przechowalniach owoców różnią się od algorytmów stosowanych w przechowalniach warzyw i ziemniaków. Wynika to stąd, że przechowalnie owoców, ze względu na wyższą wartość magazynowanego towaru, wyposaża się zarówno w urządzenia wentylacji, jak i energochłonne urządzenia klimatyzacji. Natomiast w przechowalniach ziemniaków i warzyw zainstalowane są na ogół tylko urządzenia wentylacji. Poniżej opisane zostaną te algorytmy oraz ich krytyczna ocena.

Przechowalnie owoców

Podczas sterowania mikroklimatem w przechowalniach owoców wykorzystywane są układy regulacji ciągłej, realizujące algorytm sterowania PID (proporcjonalno-całkująco-różniczkujący). Algorytm ten opisany jest transmitancją operatorową $G(s)$ w postaci:

$$G(s) = \frac{k_p}{Ts+1} \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{T_1 s + 1} \right)$$

gdzie:

s – operator Laplace'a,

k_p – współczynnik wzmocnienia,

T_i – czas całkowania, (s),

T_d – czas różniczkowania, (s),

T, T_1 – stałe czasowe, (s).

Współczynniki transmitancji k_p , T_i oraz T_d nazywane są nastawami regulatora. Aby zapewnić wymaganą dokładność regulacji i stabilną pracę układu sterowania, na etapie projektowania układu sterowania dobiera się wartości nastaw regulatora do właściwości dynamicznych automatyzowanego procesu technologiczne-

go. Podczas doboru nastaw regulatora zakłada się, że cała pojemność przechowalni wypełniona jest owocami.

Jak wiadomo, przechowalnia jest magazynem, podczas eksploatacji którego zmienia się masa składowanych owoców. Tym samym zmieniają się właściwości dynamiczne procesu przechowalniczego. Zatem dobrane przez automatykę nastawy regulatora (przy założeniu pełnego wypełnienia przechowalni owocami) nie są właściwymi wówczas, gdy masa owoców różni się od założonej. Pociąga to za sobą mało dokładną regulację, a co za tym idzie zwiększenie strat technologicznych i pogorszenie się jakości magazynowanych owoców.

Ten poważny mankament w pracy układu regulacji ciągłej można usunąć, jeśli w przechowalni, każdorazowo po zmianie masy owoców, samoczynnie dobierane byłyby nowe nastawy regulatora.

Przechowalnie ziemniaków i warzyw

Aktualnie w przechowalniach ziemniaków i warzyw do sterowania mikroklimatem najczęściej stosowane są algorytmy sterowania dwupołożeniowego. Cechą charakterystyczną tych układów jest to, iż przebiegi regulowanych parametrów technologicznych (tzn. przebiegi temperatury ziemniaków lub warzyw oraz wilgotności względnej powietrza wewnątrz przechowalni) mają kształt piłokształtny. Technolodowie przechowalnictwa dopuszczają odchyłki od wartości optymalnych, wymaganych parametrów technologicznych. Przykładowo w przypadku temperatury ziemniaków odchyłka ta wynosi $\Delta T_{zi} = \pm 1^\circ\text{C}$. Niestety podczas realizacji technicznej algorytmu sterowania dwupołożeniowego, ze względu na brak zainstalowanych w przechowalni urządzeń klimatyzacji oraz niekorzystne dla wentylacji warunki meteorologiczne, często odchyłki wartości parametrów technologicznych znacznie przekraczają wartości dopuszczalne. Sytuacje te są niekorzystne, gdyż powodują wzrost strat technologicznych i pogorszenie się jakości magazynowanych ziemniaków lub warzyw.

INNOWACYJNE ALGORYTMY STEROWANIA DLA PRZECHOWALNICTWA

Szybki rozwój informatyki spowodował, że w ostatnich latach pojawiły się nowe możliwości sterownicze i nowe algorytmy takie, jak sterowanie adaptacyjne lub sterowanie predykcyjne. Wydaje się, że dzięki zastosowaniu nowoczesnych algorytmów w przechowalnictwie, możliwe jest wyeliminowanie mankamentów aktualnie stosowanych układów sterowania mikroklimatem. Algorytmy te można technicznie zrealizować dzięki wykorzystaniu komputerów (Aström i Wittenmark 1995).

Poniżej omówione zostaną propozycje zastosowania:

- algorytmu sterowania adaptacyjnego do sterowania mikroklimatem w przechowalni jabłek,
- algorytmu sterowania predykcyjnego do sterowania mikroklimatem w przechowalni ziemniaków.

Przechowalnia jabłek

Algorytmy adaptacyjne mogą być realizowane przez układy sterowania, w których własności dynamiczne procesu technologicznego zmieniają się w czasie, zaś własności dynamiczne regulatora (poprzez zmianę nastaw regulatora) samoczynnie przystosowują się (adaptują) do nowych warunków sterowania. Dzięki temu uzyskuje się wymaganą dokładność i jakość regulacji (Maciejowski 2002, Tatjewski 2002).

Poniżej omówiona zostanie propozycja zastosowania jednego z rodzajów algorytmów adaptacyjnych – algorytmu wykorzystującego model odniesienia czyli model procesu technologicznego – do sterowania mikroklimatem w przechowalni jabłek. Strukturę takiego układu pokazano na rysunku 1.

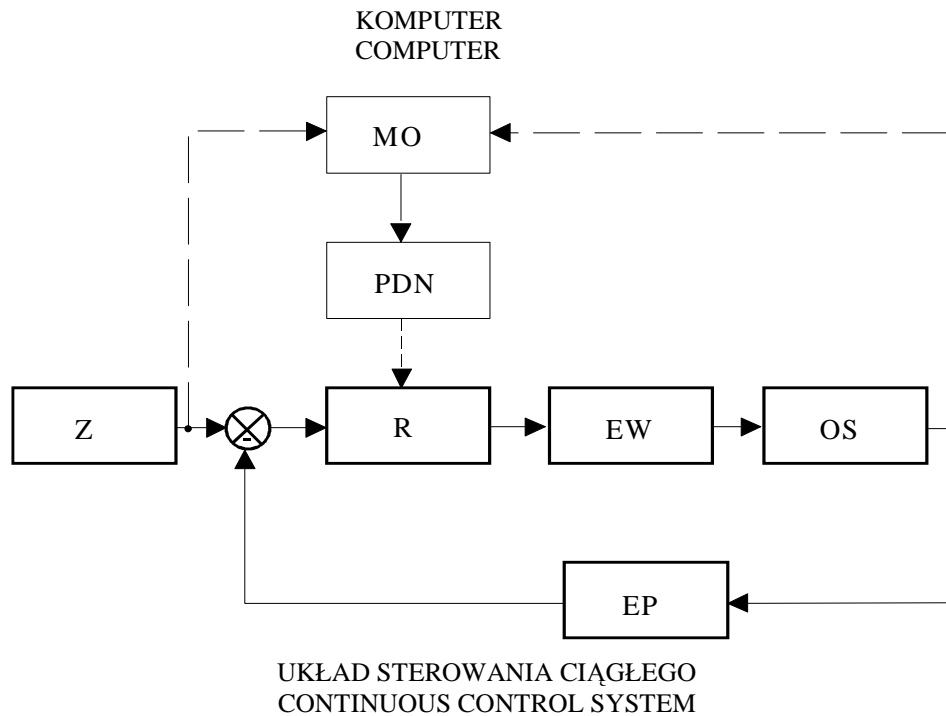
Warunkiem realizacji technicznej sterowania adaptacyjnego w przechowalni jabłek jest:

- wyposażenie przechowalni w układ sterowania ciągłego i komputer,
- wprowadzenie do pamięci komputera oprogramowania, zawierającego:
 - model matematyczny (model odniesienia) procesów zachodzących w przechowalni jabłek,
 - procedury doboru nastaw regulatora.

Podczas sterowania mikroklimatem w przechowalni jabłek, równoległe z pracą układu regulacji ciągłej, przeprowadzane są przez komputer badania symulacyjne (Tarnowski 2004). Podczas badań wykonywanych z wykorzystaniem modelu odniesienia wyznaczane są wzorcowe przebiegi parametrów technologicznych przechowalni, tzn. temperatury jabłek oraz temperatury i wilgotności względnej powietrza wewnątrz przechowalni. Jeśli obliczone podczas symulacji, wzorcowe parametry technologiczne przechowalni różnią się od rzeczywistych, zmierzonych przez czujniki pomiarowe, oznacza to, że zmieniła się masa składowanych jabłek, a tym samym zmieniły się własności dynamiczne procesu technologicznego. W takich sytuacjach uruchamiane są procedury doboru nowych nastaw regulatora.

W Katedrze Automatyki Politechniki Koszalińskiej opracowano model odniesienia oraz procedury doboru nastaw regulatora. Opisano je szczegółowo w pracy (Wachowicz 2003). Znajomość ich pozwoliła na przeprowadzenie badań symulacyjnych funkcjonowania układu, realizującego adaptacyjny algorytm sterowania

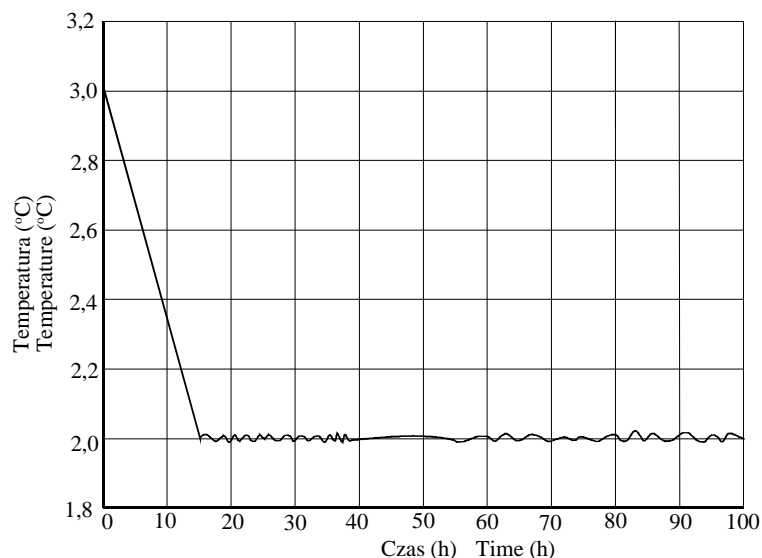
mikroklimatem w przechowalni jabłek. Na rysunku 2 pokazano przykładowe wyniki badań symulacyjnych w postaci przebiegów temperatury jabłek. Aby sprawdzić poprawność funkcjonowania algorytmu adaptacyjnego podczas symulacji zmieniano masę jabłek w przechowalni z 25 000 kg na 250 kg.



Rys. 1. Struktura układu sterowania mikroklimatem w przechowalni jabłek, realizującego algorytm adaptacyjny. Oznaczenia: MO – model odniesienia, PDN – procedury doboru nastaw, Z – zadajnik, R – regulator, EW – element wykonawczy, OS – obiekt sterowania, EP – element pomiarowy

Fig. 1. The structure of a microclimate control system in apple store, performing the adaptive algorithm. Symbols: MO – reference model, PDN – tuning procedure, Z – setpoint, R – controller, EW – actuator, OS – controlled system, EP – sensing element

Analiza wyników badań symulacyjnych potwierdza przydatność algorytmu sterowania adaptacyjnego do zastosowań w przechowalnictwie owoców. Dzięki dokonywanej na bieżąco identyfikacji własności dynamicznych procesu technologicznego oraz dzięki procedurom doboru nowych nastaw regulatora, pomimo zmian masy składowanych jabłek, dokładność regulacji temperatury jabłek jest zadawalająca. Zatem nie występuje wzrost strat technologicznych i pogorszenie się jakości jabłek.



Rys. 2. Przykładowe przebiegi temperatury jabłek w przechowalni, w której zastosowano adaptacyjny algorytm sterowania

Fig. 2. Sample runs of temperature in an apple store, where an adaptive control algorithm was applied

Przechowalnia ziemniaków

Podczas sterowania mikroklimatem w przechowalni ziemniaków mamy do czynienia z zakłóceniami, którymi są temperatura i wilgotność względna powietrza zewnętrznego.

W aktualnie stosowanych w przechowalniach ziemniaków konwencjonalnych, dwupołożeniowych układach sterowania mikroklimatem, zakłócenia, do chwili ich wystąpienia, nie są znane. Układ likwiduje jedynie skutki działania tych zakłóceń. Algorytmem sterowania, pozwalającym na wyeliminowanie mankamentów pracy dotychczas stosowanych w przechowalniach ziemniaków algorytmów sterowania dwupołożeniowego, jest proponowany tu algorytm sterowania predykcyjnego.

Predykcyjny algorytm sterowania realizowany jest przez układ sterowania, w którym:

- przewiduje się czas wystąpienia oraz wartość zakłóceń,
- przeciwdziała się ewentualnym skutkom zakłóceń.

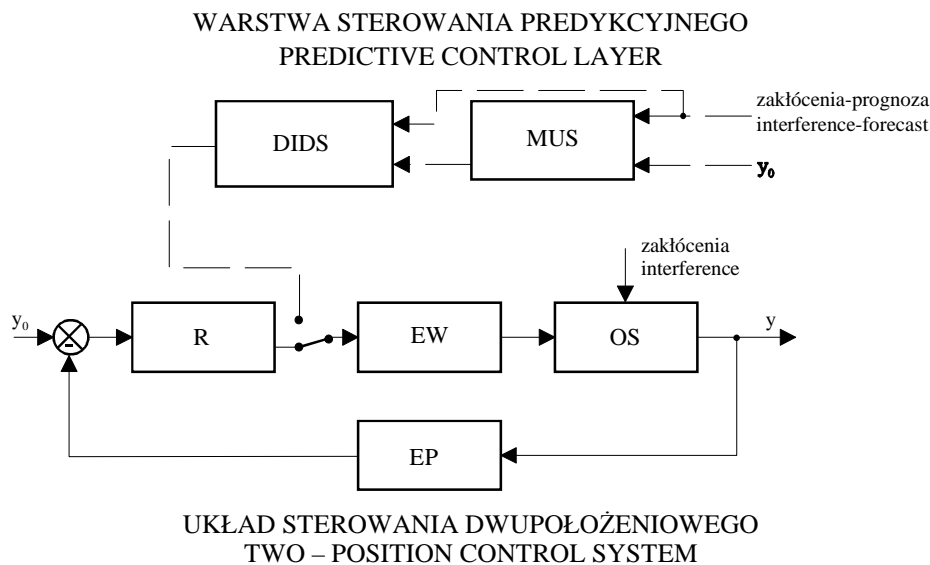
Realizacja techniczna predykcyjnego algorytmu sterowania wymaga wyposażenia przechowalni w (rys. 3):

- konwencjonalny układ, wykonujący dwupołożeniowy algorytm sterowania,
- komputer, do pamięci którego wprowadzono:

- o model matematyczny układu sterowania, w tym procesu technologicznego,
- o zaproponowane przez automatyka interwencyjne oddziaływania sterownicze,
- o prognozę pogody.

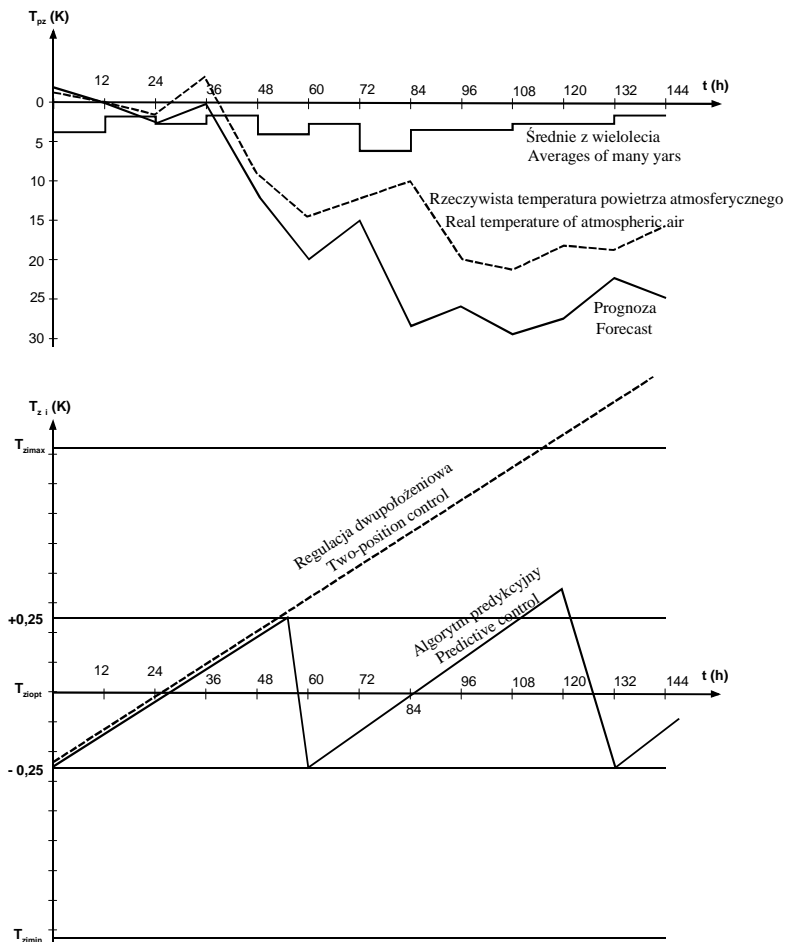
Układ sterowania mikroklimatem w przechowalni ziemniaków, realizujący predykcyjny algorytm sterowania jednocześnie wykonuje dwa działania:

- dwupołożeniowo steruje parametrami technologicznymi: temperaturą ziemniaków, temperaturą i wilgotnością względną powietrza wewnętrznego, tak jak to robią konwencjonalne, aktualnie stosowane układy sterowania,
- przeprowadza badania symulacyjne, podczas których (wykorzystując model procesu technologicznego oraz na bieżąco wprowadzane do programu prognozy pogody) wyliczane są dla okresu objętego prognozą pogody przewidywane przebiegi parametrów technologicznych.



Rys. 3. Schemat blokowy układu sterowania mikroklimatem w przechowalni ziemniaków, realizujący predykcyjny algorytm sterowania. Oznaczenia: DIDS – moduł interwencyjnych decyzji sterowniczych, MUS – model układu sterowania, R – regulator, EW – element wykonawczy, OS – obiekt sterowania, EP – element pomiarowy

Fig. 3. Block diagram of microclimate control system in a potato store, implementing the predictive control algorithm. Symbols: DIDS – module of intervention control decisions, MUS – model of control system, R – controller, EW – actuator, OS – controlled system, EP – sensing element



Rys. 4. Przykładowe wyniki badań symulacyjnych: założone podczas obliczeń przebiegi w czasie t temperatury powietrza zewnętrznego T_{pz} (rysunek górny) i zmieniające się w czasie t , wyliczone przebiegi temperatury ziemniaków T_{zi} w przechowalni z regulacją dwupołożeniową i w przechowalni z predykcyjnym algorytmem sterowania (rysunek dolny)

Fig. 4. Example results of simulation tests: functions of external air temperature T_{pz} vs time t assumed for calculations (upper figure) and functions of potato temperature T_{zi} calculated in time t for the store with two position regulation and for the store with predictive control algorithm (lower figure)

Jeśli w wyniku analizy badań symulacyjnych (rys. 4) uzyskamy informację, że w rozpatrywanym okresie:

- parametr technologiczny temperatura ziemniaków, przekroczy dopuszczalną przez technologów wartość T_{ziopt} ,
- prognoza pogody jest niekorzystna dla wentylacji,

wówczas przerywana jest praca konwencjonalnego układu sterowania dwupołożeniowego i podjęte zostają przez algorytm predykcyjny stosowne oddziaływania interwencyjne.

Przykładem takich działań może być „gromadzenie ciepła” w przechowalni, poprzedzające nadejście fali mrozów. Działanie to ilustruje rysunek 4. Matematyczny model procesów zachodzących w przechowalni ziemniaków oraz proponowane oddziaływania interwencyjne opisano w pracy (Wachowicz 1998).

Na podstawie analizy logicznej przebiegów pokazanych na rysunku 4 można stwierdzić, że zaprezentowany w pracy matematyczny model poprawnie opisuje przebieg procesów technologicznych zachodzących w przechowalni ziemniaków.

WNIOSKI

1. Algorytmy adaptacyjne stosuje się wówczas, gdy własności dynamiczne procesu technologicznego ulegają zmianie. W porównaniu z konwencjonalnym układem sterowania, układ adaptacyjny umożliwi samoczynny dobór nowych nastaw regulatora po każdorazowej zmianie własności dynamicznych procesu technologicznego. Pozwala to uzyskać wymaganą jakość i dokładność regulacji. Układy adaptacyjne wykorzystują matematyczne modele procesów.

2. Algorytmy predykcyjne stosuje się wówczas, gdy zależy nam na eliminacji lub ograniczeniu wpływu zakłóceń na proces technologiczny.

3. Realizacja techniczna nowoczesnych algorytmów sterowania wymaga znajomości komputerowych modeli układów sterowania, w tym matematycznych modeli procesów technologicznych. Modele te mogą być wykorzystane także podczas projektowania i uruchamiania konwencjonalnych układów sterowania.

4. Dzięki zastosowaniu nowoczesnych algorytmów sterowania możliwe jest:

- zmniejszenie strat technologicznych,
- zachowanie jakości produktów,
- uzyskanie lepszych efektów ekonomicznych w przechowalnictwie.

PIŚMIENNICTWO

- Aström K.J., Wittenmark B., 1995. Adaptive Control. Addison-Wesley. Reading, Massachusetts.
- Maciejowski J.M., 2002. Predictive control. Prentice Hall. Harlow, England.
- Tarnowski W., 2004. Modelowanie systemów. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin.
- Tatjewski P., 2002. Sterowanie zaawansowane obiektów przemysłowych. Struktury i algorytmy. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa.
- Wachowicz E., 1998. Modelowanie wybranych procesów w przechowalniach ziemniaków. Inżynieria Rolnicza, Seria: Monografie, 4(5).

Wachowicz E., 2003. Modelowanie procesów zachodzących w przechowalniach jabłek. *Inżynieria Rolnicza*, 9 (51), 99-108.

MODERN CONTROL ALGORITHMS FOR MICROCLIMATE IN STORES

Ewa Wachowicz

Department of Automation, Faculty of Mechanical Engineering,
Koszalin University of Technology
ul. Raławicka 15-17, 75-620 Koszalin
e-mail: ewa.wachowicz@tu.koszalin.pl

Abstract. This paper presents a discussion of the shortcomings of currently used algorithms for controlling ventilation and air conditioning equipment for fruit, vegetable and potato stores. It also offers modern adaptive and predictive control algorithms for microclimate that reduce or eliminate the disadvantages of currently used control algorithms. Implementation of the described adaptive and predictive systems to control microclimate parameters inside the stores is likely to improve the quality of the produce and economic effects of stores. It is also possible to make use of the algorithms during energy-saving control over the microclimate in stores based on the weather forecast. However, the technological viability of the adaptive or predictive control systems calls for knowledge of a model of the technological process and model control system.

Key words: stores, microclimate, control, algorithms