

ZBIORY ROZMYTE W STEROWANIU MIKROKLIMATEM W BUDYNKACH ROLNICZYCH

Ewa Wachowicz

Katedra Automatyki, Politechnika Koszalińska

Streszczenie. W artykule przedstawiono możliwości wykorzystania zbiorów rozmytych do modelowania procesów inżynierii rolniczej oraz sterowania mikroklimatem w specjalistycznych budynkach rolniczych. Opisano przykładowo lingwistyczny model procesów wymiany ciepła i masy oraz system adaptacyjnego sterowania mikroklimatem w szklarni.

Słowa kluczowe: budynki rolnicze, szklarnia, procesy wymiany ciepła i masy, modelowanie lingwistyczne, sterowanie mikroklimatem

Wprowadzenie

W inżynierii rolniczej często występuje konieczność sterowania mikroklimatem w specjalistycznych budynkach rolniczych, takich jak: szklarnie, przechowalnie (owoców warzyw i ziemniaków), pieczarkarnie, magazyny zbożowe itp. Mamy wówczas do czynienia z nieliniowymi, wielowymiarowymi, niestacjonarnymi, wolnozmiennymi, procesami wymiany ciepła i masy. Są to procesy o parametrach rozłożonych. Dla automatyka sterowanie tymi procesami stanowi wyzwanie. Jednym z obiektów sterowania są tu bowiem organizmy żywe (owoce, warzywa, grzyby itp.). To powoduje, że w przeciwieństwie do procesów przemysłowych, nie ma powtarzalności ilościowej i jakościowej przebiegu różnorodnych procesów (biologicznych, biochemicznych i fizyko-chemicznych), mających miejsce w budynkach rolniczych w kolejnych latach. Przykładowo przebieg procesów przechowalniczych zależy bowiem od zmieniających się w sposób losowy czynników klimatycznych (np. nasłonecznienia, opadów), występujących w danym roku podczas wegetacji roślin. Zakłócenia, którymi są parametry termiczno-wilgotnościowe powietrza zewnętrznego (atmosferycznego), cechuje: stochastyczność, wolnozmiennność oraz sinusoidalny charakter zmienności [Kurpaska 2007, Zabeltitz 1991].

Ze względu na duże nieliniowości procesów, układy regulacji ciągłej z regulatorami PID nie spełniają dobrze swoich zadań w specjalistycznych budynkach rolniczych, nie zapewniając wymaganej jakości regulacji [Yager, Filev 1995]. Stąd wynika potrzeba poszukiwania nowych sposobów sterowania parametrami mikroklimatu.

W Katedrze Automatyki Politechniki Koszalińskiej prowadzone są prace nad zastosowaniem teorii zbiorów rozmytych do sterowania mikroklimatem w obiektach agroinżynierii. Obiecujące wydaje się zastosowanie teorii zbiorów rozmytych:

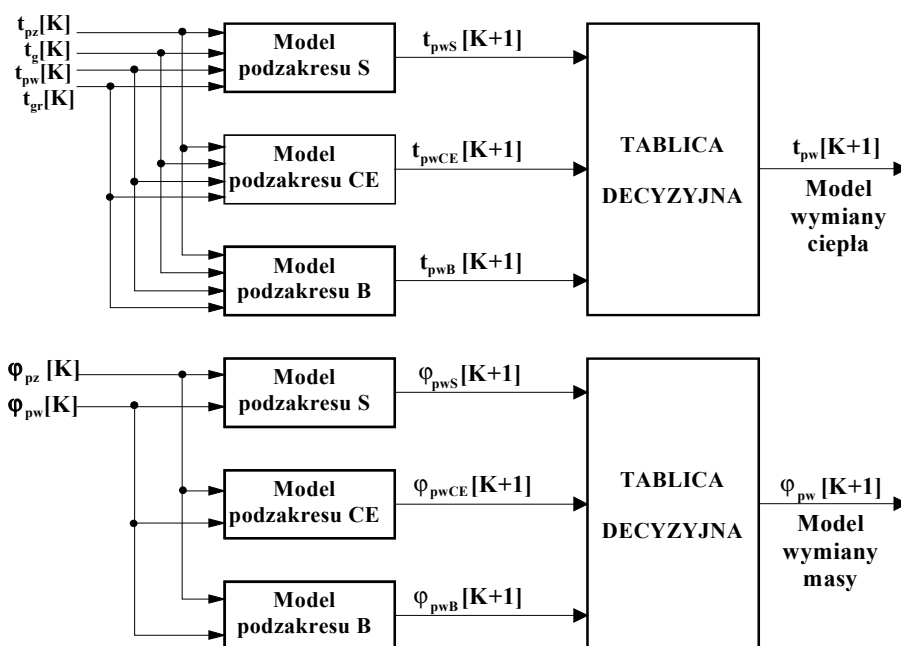
- do formułowania modeli procesów wymiany ciepła i masy, które mogłyby być wykorzystane podczas realizacji sterowania predykcyjnego lub adaptacyjnego,

- wspomaganie obsługi obiektów rolniczych w podejmowaniu decyzji sterowniczych podczas sterowania parametrami mikroklimatu w specjalistycznych budynkach rolniczych.

Celem pracy było przedstawienie, na przykładzie szklarni, możliwości zastosowania zbiorów rozmytych do modelowania procesów oraz sterowania mikroklimatem.

Modelowanie lingwistyczne procesów inżynierii rolniczej na przykładzie procesów zachodzących w szklarni

Poniżej na przykładzie modelowania procesów wymiany ciepła i masy w szklarni przedstawiono możliwości wykorzystania teorii zbiorów rozmytych do modelowania silnie nieliniowych, trudnych w opisie matematycznym procesów agrotechnologii. Do opisu procesów wymiany ciepła i masy zachodzących w powietrzu oraz w glebie w szklarni wykorzystano strukturę predykcyjnego, lingwistycznego modelu zaproponowanego przez Takagi i Sugeno [Yager, Filev 1995]. Punktem wyjścia podczas formułowania modelu procesów jest znajomość wyników pomiarów parametrów termiczno-wilgotnościowych: powietrza zewnętrznego, podłoża (gleby), powietrza w interesującej nas szklarni.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Struktura lingwistycznego modelu wymiany ciepła i masy w powietrzu wewnątrz szklarni. Oznaczenia: t – temperatura, φ_{pz} – wilgotność względna, indeksy: pz – powietrze zewnętrzne, pw – powietrze wewnętrzne, g – gleba, gr – grzejnik

Fig. 1. Linguistic structure of a heat and mass exchange model in the air inside a greenhouse. Abbreviations: t – temperature, φ_{pz} – relative moisture, indexes: pz – outside air, pw – inside air, g – soil, gr – heater

Na podstawie wyników badań eksperymentalnych, przeprowadzonych w tych samych chwilach czasowych sformułowano:

1. modele procesów wymiany ciepła i masy zachodzące w powietrzu w szklarni, opisujące przebiegi temperatury t_{pw} i wilgotności względnej φ_{pw} powietrza wewnętrznego,
2. modele procesów wymiany ciepła i masy występujące w glebie w szklarni, opisujące przebiegi temperatury t_g i zawartości wody w_g w glebie.

Na rysunku 1 przykładowo pokazano model wymiany ciepła i masy w powietrzu w szklarni. Podobną do pokazanej na rysunku 1 strukturę posiada model wymiany ciepła i masy w glebie.

W skład modeli wchodzi: pomocnicze modele liniowe oraz tablica decyzyjna.

Pomocnicze modele liniowe

Zakres zmian sygnałów wejściowych lingwistycznego modelu procesów zachodzących w szklarni podzielono na trzy podzakresy: S – małych, CE – średnich i B – dużych wartości. Dla każdego z tych podzakresów sformułowano model liniowy. Poniżej przykładowo pokazano pomocnicze modele liniowe dla podzakresów S, CE, B modelu wymiany ciepła w powietrzu wewnątrz szklarni (wzory 1 do 3).

$$t_{pwS}(K+1) = 1.3619 t_{pwS}(K) - 0.3481 t_{pwS}(K-1) + 1.9257 t_{pz}(K) + 2.1178 t_{pz}(K-1) - 0.9183 t_g(K) + 1.8765 t_g(K-1) + 1.5792 t_{gr}(K-1) \quad (1)$$

$$t_{pwCE}(K+1) = 0.2378 t_{pwCE}(K) + 0.9040 t_{pwCE}(K-1) - 2.1130 t_{pz}(K) + 1.0221 t_{pz}(K-1) + 2.3231 t_g(K) + 0.9769 t_g(K-1) + 1.5792 t_{gr}(K-1) \quad (2)$$

$$t_{pwB}(K+1) = 3.2556 t_{pwB}(K) - 1.9873 t_{pwB}(K-1) + 1.3670 t_{pz}(K) + 0.4678 t_{pz}(K-1) - 2.4786 t_g(K) + 1.0021 t_g(K-1) + 1.5792 t_{gr}(K-1) \quad (3)$$

Tablice decyzyjne

Wykorzystane w modelu tablice decyzyjne mają postać wzorów. Przykładowo dla modelu wymiany ciepła w powietrzu wewnątrz szklarni tablica decyzyjna opisana jest zależnością:

$$t_{pw}(K+1) = \frac{\mu_S}{\mu_S + \mu_{CE} + \mu_B} t_{pwS}(K+1) + \frac{\mu_{CE}}{\mu_S + \mu_{CE} + \mu_B} t_{pwCE}(K+1) + \frac{\mu_B}{\mu_S + \mu_{CE} + \mu_B} t_{pwB}(K+1) \quad (4)$$

przy czym:

$\mu_S = \mu_S[t_{pw}(K)]$, $\mu_{CE} = \mu_{CE}[t_{pw}(K)]$, $\mu_B = \mu_B[t_{pw}(K)]$ – wartości funkcji przynależności pomiaru temperatury powietrza wewnątrz szklarni $t_{pw}(K)$ odpowiednio do podzakresów S, CE i B.

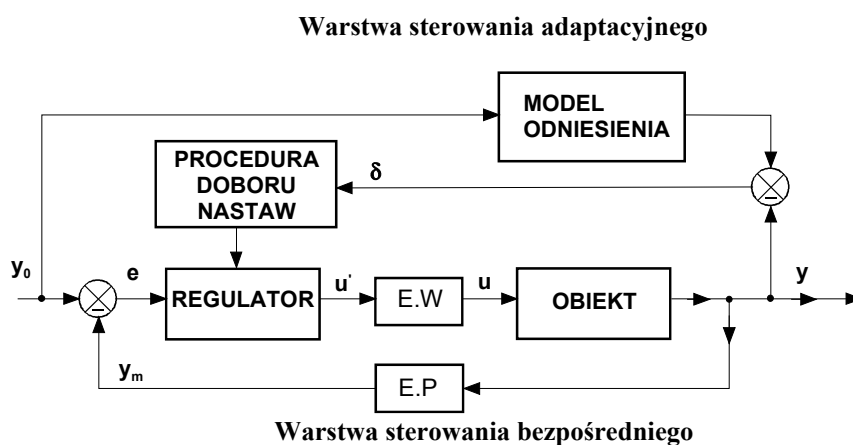
Prezentowany tu lingwistyczny model procesów wymiany ciepła i masy, zachodzących w szklarni, zweryfikowano logicznie i empirycznie. Z analizy błędów modelu wynika, że maksymalne, lokalne błędy modelu nie przekraczają 5%. Szczegółowy jego opis znaleźć można w pracy [Wachowicz 2006].

Sterowanie adaptacyjne złożonymi procesami technologicznymi w budynkach rolniczych na przykładzie szklarni

Aktualnie w budynkach rolniczych stosuje się głównie dwupołożeniowe układy sterowania mikroklimatem. Jak wiadomo, układy te nie gwarantują dużej dokładności regulacji. Szybki rozwój informatyki spowodował, że w ostatnich latach pojawiły się nowe możliwości sterownicze i nowe algorytmy takie, jak sterowanie adaptacyjne lub sterowanie predykcyjne. Jednakże warunkiem ich zastosowania jest znajomość modelu (matematycznego lub lingwistycznego) procesu technologicznego oraz posiadanie komputera ze specjalistycznym oprogramowaniem. Wydaje się, że dzięki zastosowaniu nowoczesnych algorytmów w inżynierii rolniczej, możliwe jest wyeliminowanie mankamentów aktualnie stosowanych układów sterowania mikroklimatem.

Poniżej na przykładzie szklarni opisano adaptacyjne sterowanie mikroklimatem. Układy adaptacyjne powinny być stosowane wówczas, gdy własności dynamiczne procesu technologicznego zmieniają się w czasie (tak jak to ma miejsce w szklarni), zaś własności dynamiczne regulatora (poprzez zmianę nastaw regulatora) samoczynnie przystosowują się do nowych warunków sterowania. Dzięki temu uzyskuje się wymaganą dokładność i jakość regulacji.

Na rysunku 2 pokazano schemat blokowy adaptacyjnego układu sterowania jednym parametrem mikroklimatu (np. temperaturą powietrza wewnętrznego) szklarni. Jest to układ adaptacyjny z modelem odniesienia. Układ odniesienia stanowi lingwistyczny model procesów wymiany ciepła i masy w szklarni, opisany w punkcie 2. Adaptacyjny układ sterowania parametrem mikroklimatu złożony jest z dwóch warstw: warstwy sterowania bezpośredniego oraz warstwy sterowania adaptacyjnego.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 2. Schemat blokowy adaptacyjnego układu sterowania parametrem mikroklimatu w szklarni. Oznaczenia: EW – elementy wykonawcze, EP – elementy pomiarowe

Fig. 2. A flow chart of a microclimate parameter adaptive control system in a greenhouse. Abbreviations: EW – executing elements, EP – measurement elements

Warstwę sterowania parametrem mikroklimatu szklarni stanowi konwencjonalny układ regulacji ciągłej, w skład którego wchodzi komputer pełniący funkcję regulatora. Układ ten realizuje algorytm sterowania PID (proporcjonalno-całkująco-różniczkujący).

Warstwę adaptacyjną stanowi dodatkowe oprogramowanie komputera, umożliwiające przeprowadzenie badań symulacyjnych procesu technologicznego uprawy roślin w szklarni z wykorzystaniem modelu odniesienia. Ponadto w skład warstwy wchodzi moduł procedur doboru nastaw regulatora. Sygnał wyjściowy y z procesu technologicznego (obiektu sterowania), porównywany jest z wyliczonym przez komputer podczas badań symulacyjnych sygnałem wyjściowym z modelu. Jeśli wystąpi różnica pomiędzy tymi sygnałami, przekraczająca założoną wartość δ , oznacza to, że nastąpiła zmiana właściwości dynamicznych procesu technologicznego i konieczne jest uruchomienie procedur doboru nowych nastaw regulatora PID tzn.: współczynnika wzmocnienia proporcjonalnego k_p , czasu całkowania T_i , czasu różniczkowania T_d . Dzięki temu właściwości dynamiczne regulatora dostosowane będą do zmienionych właściwości procesu technologicznego, a tym samym układ będzie stabilny, regulacja będzie dokładna i będzie posiadała wymaganą jakość w stanie nieustalonym.

Adaptacyjny system sterowania wszystkimi parametrami mikroklimatu w szklarni jest złożony. Zawiera tyle układów sterowania pokazanych na rysunku 2, ile jest parametrów mikroklimatu, które wymagają regulacji. W skład systemu wchodzi:

- czujniki pomiarowe: temperatury i wilgotności względnej powietrza wewnętrznego, temperatury i zawartości wody w podłożu, temperatury i wilgotności względnej powietrza atmosferycznego, zawartości dwutlenku węgla w powietrzu wewnętrznym, temperatury wody obiegów grzewczych, natężenia światła, obecności deszczu oraz prędkości i kierunku wiatru;
- komputer, monitor i drukarka, umożliwiające realizację: sterowania, monitoringu, wizualizacji oraz sygnalizacji;
- urządzenia wykonawcze, tworzące układy: wentylacji (wentylator i siłowniki przepustnic), ogrzewania (grzejniki), zaciemniania (siłowniki kurtyn zaciemniających i zaciemniających), nawadniania (kroplowniki, deszczownie) oraz oświetlenia;
- awaryjne sterowanie ręczne urządzeniami wykonawczymi.

Strukturę systemu sterowania wszystkimi parametrami mikroklimatu w szklarni opisano szerzej w pracy [Wachowicz 2009].

Podsumowanie

1. Zrealizowane w Katedrze Automatyki Politechniki Koszalińskiej prace potwierdziły możliwość zastosowania zbiorów rozmytych do modelowania procesów wymiany ciepła i masy w specjalistycznych obiektach rolniczych. Modele te mogą zostać wykorzystane podczas sterowania mikroklimatem w tych obiektach.
2. Przedstawiony w pracy lingwistyczny model procesów wymiany ciepła i masy w szklarni może zostać wykorzystany także podczas:
 - badań symulacyjnych procesu technologicznego, powiększających naszą wiedzę o procesie,
 - badań symulacyjnych, mających na celu sprawdzenie poprawności funkcjonowania zaprojektowanego przez automatyka układu do zmiany mikroklimatu w szklarni. Lingwistyczny model procesów zachodzących w szklarni musi być wówczas uzupełniony o zastosowany algorytm sterowania.

3. Przedstawiony w pracy system sterowania mikroklimatem w szklarni może w pełni realizować wymagania odnośnie czynników wzrostu roślin w szklarni. Zastosowanie adaptacyjnego systemu sterowania mikroklimatem, dzięki możliwości samoczynnego przystosowywania się właściwości dynamicznych regulatora PID do zmieniających się właściwości dynamicznych procesu technologicznego, gwarantuje uzyskanie dokładniejszej regulacji parametrów technologicznych szklarni (temperatury i wilgotności względnej powietrza wewnętrznego, temperatury podłoża oraz zawartości wody w podłożu). Zdolności takiej nie posiadają aktualnie stosowane w szklarniach systemy sterowania. Wydaje się, że dzięki dokładniejszej regulacji możliwe będzie uzyskanie wyższych i lepszej jakości plonów.

Bibliografia

- Kurpaska S.** 2007. Szklarnie i tunele. Inżynieria i procesy. PWRiL. Warszawa. ISBN 978-83-09-01024-1.
- Wachowicz E.** 2006. Lingwistyczny model procesów zachodzących w szklarni. Inżynieria Rolnicza. Nr 12(87). s. 527-536.
- Wachowicz E.** 2009. System sterowania czynnikami wzrostu roślin w szklarni. Inżynieria Rolnicza. 6(115). s. 315-321.
- Yager R.R., Filev D.P.** 1995. Podstawy modelowania i sterowania rozmytego. WNT. Warszawa. ISBN 83-204-1909-3.
- Zabeltitz C.** 1991. Szklarnie. Projektowanie i budowa. PWRiL. Warszawa. ISBN83-09-01471-6.

APPLICATION OF FUZZY SETS IN MICROCLIMATE CONTROL IN AGRICULTURAL BUILDINGS

Abstract. The article presents possibilities of application of fuzzy sets in modelling agricultural engineering processes and microclimate control in specialistic agricultural buildings. An exemplary linguistic model of heat and mass exchange processes and a microclimate adaptive control system in a greenhouse were described.

Key words: agricultural buildings, greenhouse, heat and mass exchange processes, linguistic modelling, microclimate control

Adres do korespondencji:

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