

MODEL INTELIGENTNEGO SYSTEMU REGULACJI PRZENOŚNIKA TAŚMOWEGO

JERZY ŚWIDER, DARIUSZ JASIULEK, JOANNA ROGALA, KRZYSZTOF STANKIEWICZ

Institut Automatykacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania. Politechnika Śląska
e-mail: Jerzy.Swider@polsl.pl

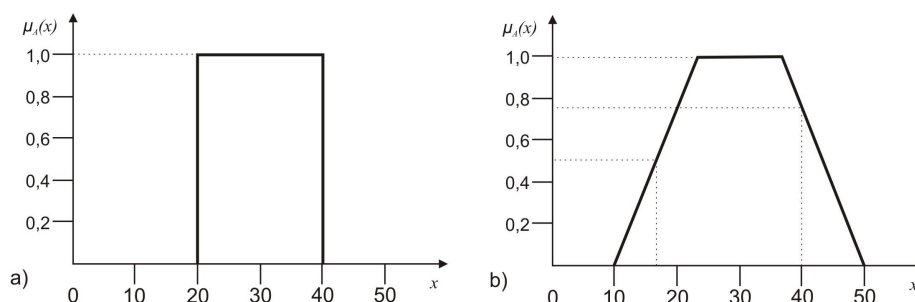
Institut Techniki Górniczej KOMAG
e-mail: djasiulek@komag.eu, jrogala@komag.eu, kstankiewicz@komag.eu

Streszczenie. Opracowano koncepcję dyskretnego algorytmu hybrydowego sterującego wydajnością zasilarki włókienniczej zaopatrującej w surowiec linię do produkcji tkanin. Hybryda składa się z regulatora dwupołożeniowego odpowiedzialnego za detekcję cyklu pracy zasilarki i generowanie sygnałów próbkujących oraz z regulatora rozmytego odpowiedzialnego za wyznaczenie prędkości napełniania pośredniego leja zasypowego. W celu przeprowadzenia badań zasilarka została zastąpiona odpowiednim modelem fizycznym wyposażonym we wszystkie elementy układu rzeczywistego, tak aby możliwie najdokładniej zasymulować zachodzące w nim zjawiska. W przeciwieństwie do obecnie wykorzystywanego sterowania manualnego zasilarki zaproponowany algorytm poprawił wydajność, stabilność i ciągłość procesu dostawy surowca, a przede wszystkim umożliwił automatyzację systemu z uwzględnieniem surowych wymagań użytkownika.

1. WSTĘP

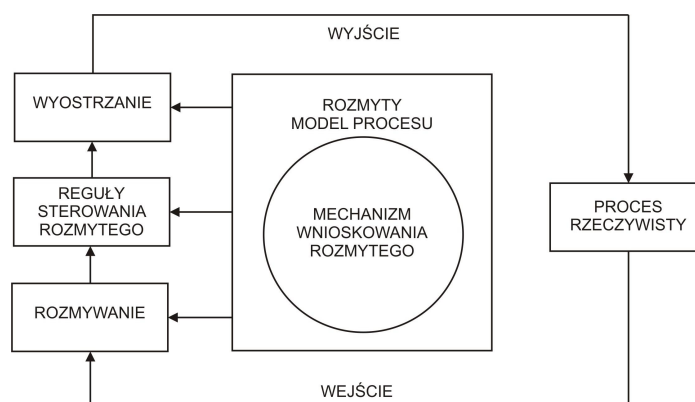
Koncepcja zbiorów rozmytych i logiki rozmytej została zaproponowana w latach sześćdziesiątych zeszłego stulecia przez prof. L.A. Zadeha [1,2,3,4]. Logikę rozmytą można najprościej scharakteryzować jako logikę wnioskowania przybliżonego posługującą się wyrażeniami lingwistycznymi, zmiennymi lingwistycznymi przechowującymi wartości lingwistyczne, niejednoznaczными tablicami prawdy i regułami wnioskowania. Logika rozmyta znacząco odróżnia się od standardowych systemów logiki, logiki modalnej lub wielowartościowej i staje się użyteczna w rozwiązywaniu problemów, gdzie występuje niepewność mierzonych wielkości lub w ogóle nie istnieje możliwość pozyskania ze sterowanego układu odpowiednich danych, a co za tym idzie - określenia jednoznacznych modeli matematycznych. Różnice pomiędzy logiką klasyczną a rozmytą leżą w tzw. „prawie wyłączonego środka” (ang. *the law of the excluded middle*) [5,6,7] mówiącego o tym, że każde zdanie przyjmuje dokładnie jedną z dwóch wartości logicznych: prawdę lub fałsz. Zbiór rozmyty A to zbiór elementów x o zróżnicowanym stopniu przynależności do tego zbioru

określonym przez funkcję przynależności $\mu_A(x)$ [8,9]. Rys. 1 ilustruje różnicę między funkcją przynależności logiki klasycznej i logiki rozmytej.



Rys. 1. Graficzna ilustracja funkcji przynależności w logice klasycznej (a) i rozmytej (b).

Jednym z podstawowych zastosowań systemów bazujących na logice rozmytej jest „emulacja” zachowań ludzkich w zarządzaniu i rozwiązywaniu problemów, które nie poddają się opisowi matematycznemu teorii sterowania [1]. W sterowaniu rozmytym wiedza eksperta o procesie jest bezpośrednio przekładana na zbiór wyrażen lingwistycznych i implementowana w algorytmie poprzez reguły wnioskowania. System oparty na tym rodzaju wnioskowania ilustruje rys. 2.

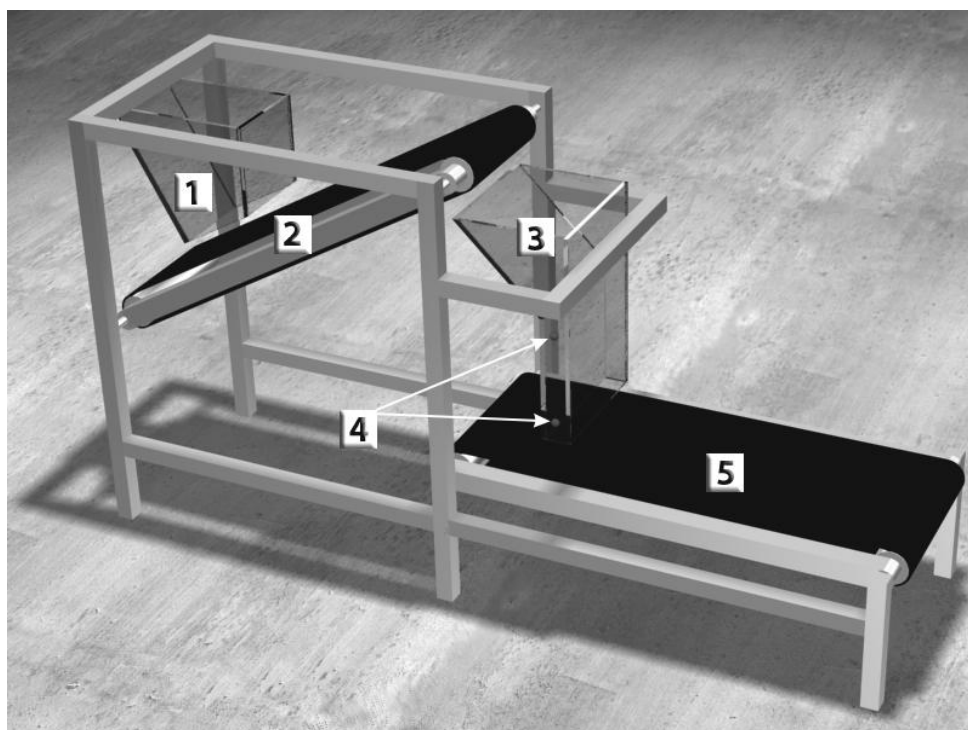


Rys. 2. Schemat blokowy rozmytego systemu sterowania

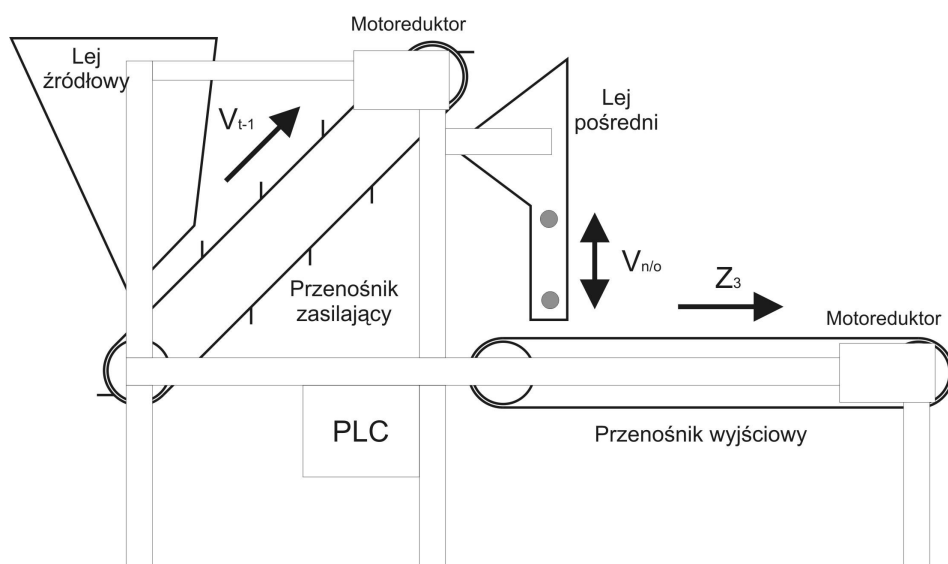
2. PROBLEM AUTOMATYZACJI ZASILARKI

Zasilarka włókiennicza jest maszyną umożliwiającą dostarczenie do linii produkcyjnej znacznych ilości surowca w sposób ciągły i z zadaną wydajnością określoną przez zapotrzebowanie na materiał wsadowy całego procesu produkcji. Główną wadą rozpatrywanego typu zasilarki był wymóg sterowania ręcznego przez wyszkolonego i doświadczonego pracownika. Kontrola manualna ograniczała możliwą do uzyskania wydajność urządzenia oraz powodowała konieczność wprowadzenia w układzie lejów zaspowych o znacznych rozmiarach zapewniających dużą bezwładność procesu regulacji odpowiednią dla możliwości reakcji człowieka. Problemem przy próbie zautomatyzowania systemu okazał się także transportowany materiał oraz wymagania użytkownika (brak możliwości wyłączenia zasilarki z eksploatacji i poddania badaniom oraz brak zgody na przebudowę urządzenia). Z tych powodów podjęto decyzję o budowie modelu fizycznego (rys. 3) i zaprojektowaniu algorytmu sterowania działającego jedynie na podstawie sygnałów

z dwóch barier optycznych zainstalowanych w pośrednim leju zasypowym oryginalnego urządzenia. Rys. 4 przedstawia model zasilarki wraz z zaznaczonymi efektorami i wielkościami istotnymi dla procesu sterowania.



Rys. 3. Model zasilarki: 1 - lej źródłowy, 2 - podajnik taśmowy podawczy, 3 - lej pośredni, 4 - bariery optyczne, 5 - podajnik taśmowy odbiorczy



Rys. 4. Schemat przepływu surowca oraz położenie efektorów i wielkości mierzonych

W systemie zidentyfikowano trzy zakłócenia. Zakłócenie z_1 pochodzi od strumienia surowca przepływającego przed górną barierą optyczną leja zasypowego, powodującego powstanie stochastycznego przebiegu prostokątnego na wyjściu pomiarowym tej bariery. Zakłócenie to ograniczono odpowiednim elementem inercyjnym z opóźnieniem (rys. 7) pełniącym rolę filtra. Zakłócenie z_2 związane jest bezpośrednio z właściwościami fizycznymi materiału i jego rozkładem masowym w zajmowanej objętości leja zasypowego. Im wyższy jest słup materiału

w leju, tym mocniej ściskane są dolne warstwy tego słupa, przez co czas potrzebny do napełnienia leja nie jest związany zależnością liniową z wysokością usypywanego słupa. Z badań wynika, że jest to zależność stochastyczna niepoddająca się jednoznaczemu opisowi matematycznemu. Wpływ zakłócenia z_2 można ograniczyć, zmniejszając wymiary leja. Zakłócenie z_3 to zmienne zapotrzebowanie linii produkcyjnej na surowiec. Ma ono kluczowy wpływ na proces regulacji wydajności zasilarki. Niestety, zapotrzebowanie to jest niemierzalne ani w sposób pośredni, ani bezpośredni. Jedyną możliwością oceny zapotrzebowania jest czas $t_{n/o}$ napełniania lub opróżniania leja zasypowego. Dlatego też zaprojektowano układ regulacji dwupołożeniowej (cykliczne napełnianie i opróżnianie leja) połączonej z regulacją rozmytą zmniejszającą zużywaną energię i polepszającą jakość odpowiedzi układu sterowania (w stosunku do samej regulacji dwupołożeniowej).

3. HYBRYDOWY ALGORYTM STERUJĄCY

W tabeli 1 przedstawiono bazę reguł wykorzystywanych przez regulator rozmyty w cyklu napełniania surowcem leja pośredniego, a w tabeli 2 w cyklu opróżniania leja. Odpowiednio dla wartości v_{t-1} i $v_{n/o}$ oznaczono przez:

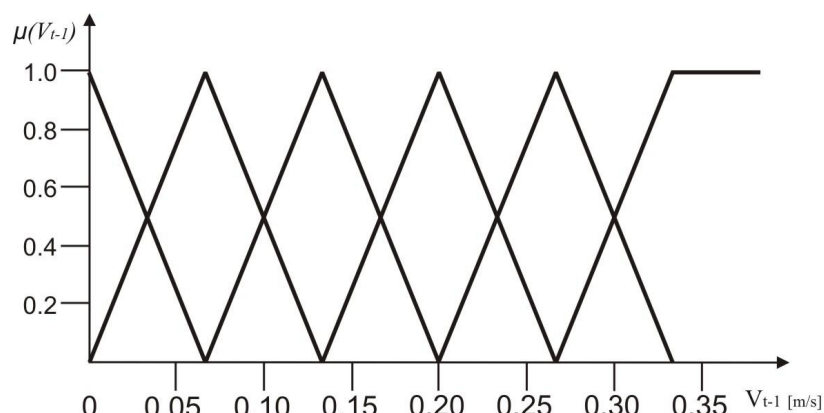
- PBZ - prędkość bliską zeru,
- BMP - bardzo małą prędkość,
- MP - małą prędkość,
- ŚP – średnią prędkość,
- DP – dużą prędkość,
- BDP – bardzo dużą prędkość.

Tabela 1. Tablica obrazująca bazę reguł regulatora rozmytego w cyklu napełniania leja pośredniego

$v_{t-1} \backslash v_{n/o}$	PBZ	BMP	MP	ŚP	DP	BDP
PBZ	BMP	MP	ŚP	DP	BDP	BDP
BMP	PBZ	PBZ	BMP	MP	ŚP	DP
MP	PBZ	PBZ	PBZ	BMP	MP	ŚP
ŚP	PBZ	PBZ	PBZ	PBZ	BMP	MP
DP	PBZ	PBZ	PBZ	PBZ	PBZ	BMP
BDP	PBZ	PBZ	PBZ	PBZ	PBZ	PBZ

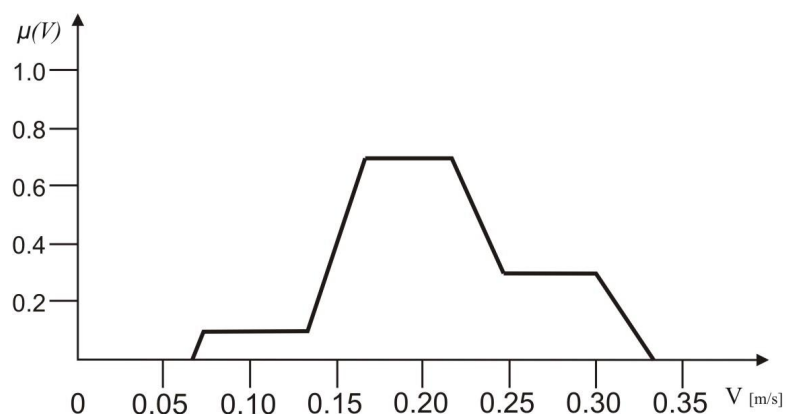
Tabela 2. Tablica obrazująca bazę reguł regulatora rozmytego w cyklu opróżniania leja pośredniego

$V_{n/o} \backslash V_{t-1}$	PBZ	BMP	MP	ŚP	DP	BDP
PBZ	PBZ	PBZ	BMP	MP	ŚP	DP
BMP	BMP	MP	ŚP	DP	BDP	BDP
MP	MP	ŚP	DP	BDP	BDP	BDP
ŚP	ŚP	DP	BDP	BDP	BDP	BDP
DP	DP	BDP	BDP	BDP	BDP	BDP
BDP	BDP	BDP	BDP	BDP	BDP	BDP



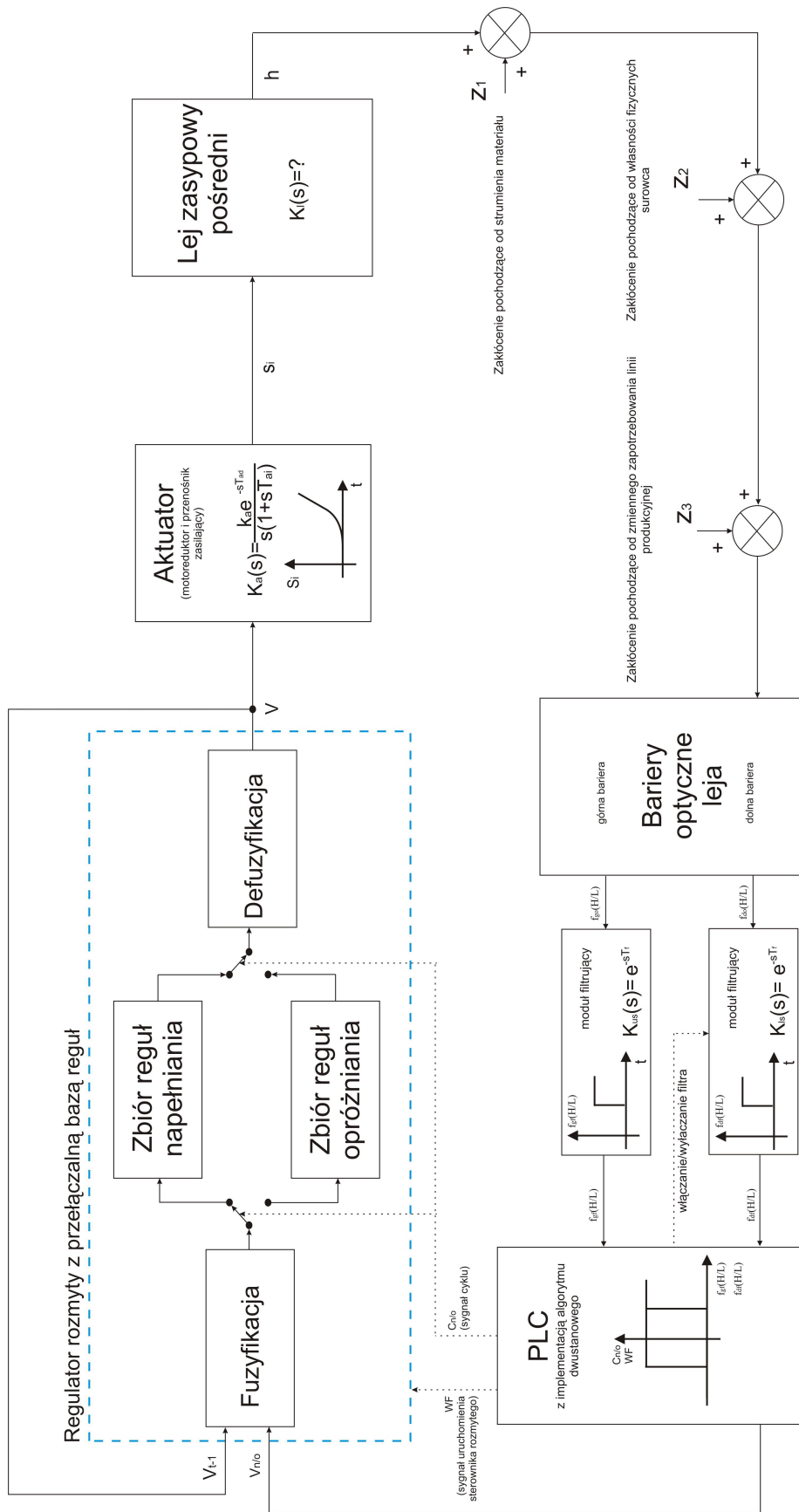
Rys. 5. Funkcja przynależności prędkości przenośnika v_{t-1} .

Sterownik porównuje ostre wartości wejść z zadanymi funkcjami przynależności, określając ich stopień przynależności. Następnie zgodnie z zapisanymi regułami określana jest wyjściowa funkcja przynależności. Rys. 6 przedstawia przykładowy kształt funkcji wyjściowej.



Rys. 6. Wyjściowa funkcja przynależności

Rys. 7 przedstawia schemat blokowy inteligentnego systemu sterowania



Rys. 7. Schemat blokowy systemu sterowania z algorytmem hybrydowym

W wyniku inferencji uzyskiwany jest wyjściowy zbiór rozmyty, który jednak nie może zostać bezpośrednio wykorzystany do określenia nastaw i sterowania elementami wykonawczymi systemu. W zastosowaniu praktycznym musi zostać wyznaczona ostra wartość wyjściowa. Istnieje pięć popularnych metod wyznaczania ostrej wartości wyjściowej:

- Middle of Maxima (metoda środka maksimum)
- First of Maxima (metoda pierwszego maksimum)
- Last of Maxima (metoda ostatniego maksimum)
- Centre of Gravity (metoda środka ciężkości)
- Height Method (metoda wysokości)

Wartość prędkości liniowej transportera zasilającego leją pośredni jest otrzymywana na wyjściu regulatora rozmytego jako wynik wyostrozania metodą środka ciężkości (1) lub metodą wysokości (2).

$$v^* = \frac{\int v \mu_{wyn}(v) dv}{\int \mu_{wyn}(v) dv} \quad (1)$$

gdzie:

- μ_{wyn} - wynikowa funkcja przynależności
- v^* - wyostrozona wartość prędkości
- v - wartość zmiennej wyjściowej

$$v^* = \frac{\sum_{j=1}^m v_j \mu_{cj}}{\sum_{j=1}^m \mu_{cj}} \quad (2)$$

gdzie:

- μ_{cj} - stopień aktywacji i -tego singletonu przez daną regułę
- v_j - wartość zmiennej wyjściowej, dla i -tego singletonu
- v^* - wyostrozona wartość prędkości
- m - ilość reguł

Wartość ta zostaje następnie ograniczona do wartości dopuszczalnych dla przetwornika częstotliwości sterującego motoreduktorem oraz zwrócona do modułu rozmywania jako zmienna historyczna v_{t-1} . Następuje cykl napełniania lub opróżniania pośredniego leja zasypowego. Wartość prędkości tego cyklu jest drugą zmienną wejściową do modułu rozmywania. Na podstawie danych z barier optycznych regulator dwupołożeniowy uruchamia odpowiednią bazę reguł regulatora rozmytego i rozpoczyna wyznaczanie prędkości transportera.

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone prace badawczo-wdrożeniowe umożliwiły wprowadzenie do zasilek włókienniczych systemów automatyki uniezależniając tym samym prowadzony proces

technologiczny od niskowydajnego sterowania ręcznego. Zaproponowane rozwiązanie zapewnia automatyczną pracę bez konieczności przebudowy mechanicznej samego urządzenia, zmniejsza zużycie energii, zapewnia proporcjonalną odstawę surowca, pozwala na zmniejszenie gabarytów zasilarki i zapewnia możliwość dalszej rozbudowy. Założone cele osiągnięto poprzez opracowanie hybrydowego algorytmu sterowania. Dzięki zastosowaniu bloku nadzoru czuwającego nad zakresem regulacji i analizującego stany barier optoelektronicznych algorytm ten okazał się rozwiązaniem stabilnym i wydajnym.

LITERATURA

1. D'Errico, G.E.: Fuzzy control system with application to machining processes. "Journal of Materials Processing Technology", 2001, 109.
2. Zadeh, L.A.: Fuzzy sets. „Information and Control”, 1965, 8.
3. Zadeh, L.A.: The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. "Information sciences" 1975, 1.
4. Zadeh, L.A.: Knowledge representation in fuzzy logic. IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering 1989, 1.
5. Rywotycki, R.: Food frying process control system. "Journal of Food Engineering" 2003, 59.
6. Mayer, A., Mechler, B., Schlinwein, A., & Wolke, R.: Fuzzy-logic. Addison-Wesley, 1993.
7. Bolc, L., Brodziewicz, W., & Wójcik, M.: Podstawy przetwarzania informacji niepewnej i niepełnej. Warszawa : WNT, 1991.
8. Piegat, A.: Modelowanie i sterowanie rozmyte. Warszawa : EXIT, 1999.
9. Kacprzyk, J.: Wieloetapowe sterowanie rozmyte. Warszawa :WNT, 2001.

MODEL OF INTELLIGENT CONTROL SYSTEM OF SPECIALIZED CONVEYOR

Summary. The article presents a control algorithm based on fuzzy logic, modified by hybrid connection with an on-off controller, which was especially developed to automate the feeder in unwoven fibers transport system of fabrics production line in the textile industry. During research the feeder was simulated by the physical model system which consisted two conveyors, funnels, drives, optical sensors and precise mass measure system for a quality assessment of the control process. Transported raw material was the same as a raw material in the real production system. The input values to the controller are the values of speed of filling or emptying the funnel ($v_{n/o}$) and the speed of conveyor during the last filling/emptying process (v_{t-1}). Control algorithm providing conveyor speed value for the next filling/emptying stage (v). Necessary rules of the decision making process were achieved from experts to form a basis for the controller programming. In opposition to existent solution, which basing on the manual control, *proposed algorithm allows to automate the feeder, improve its efficiency, stability and continuity of transportation process.*