

Renata Walczak  
Zakład Inżynierii Systemów  
Politechnika Warszawska

## IMPLEMENTACJA W SYSTEMIE „SYMUNEURON” MATEMATYCZNEGO MODELU PROCESU SUSZENIA ZIARNA

### Streszczenie

W systemie wspomaganie doboru suszarki daszkowej Symuneuron wykorzystano model matematyczny opisujący proces suszenia ziarna oraz sieci neuronowe, również opisujące ten proces. Użytkownik ma możliwość zdefiniowania parametrów budowy suszarki oraz wartości zmiennych procesowych. System można wykorzystać do obliczeń suszarki bez recyrkulacji oraz z recyrkulacją. Suszarka może być dobrana na podstawie znajomości wartości podstawowych parametrów procesu decydujących o jej efektywności. Użytkownik może wybrać jedną z wielu zaproponowanych w systemie suszarek lub zdefiniować własną.

**Słowa kluczowe:** suszarka daszkowa, konfiguracja susząca, model symulacyjny

### Wprowadzenie

W projektowaniu elementem istotnym jest weryfikacja konstrukcji, której celem powinna być kontrola, czy projektowany układ spełnia oczekiwania projektanta oraz sprawdzenie funkcjonowania projektowanego obiektu w założonych warunkach. Metody analityczne, polegające na analizie modeli matematycznych są tanimi i szybkimi metodami weryfikacji. Zastosowanie symulacji komputerowej ma na celu odtworzenie przebiegu rozpatrywanego procesu na podstawie jego modelu matematycznego oraz ocenę wpływu otoczenia i wewnętrznych właściwości obiektu na charakterystyki obiektu [Tarnowski, Bartkiewicz 1998]. W celu symulacji i oceny procesu suszenia w suszarce daszkowej zbudowano hybrydowy system „Symuneuron”. Jednym z elementów tego systemu jest matematyczny model procesu suszenia.

## Model

Proces suszenia jest procesem złożonym. Dla celów modelowania matematycznego wyróżniono w nim szereg zjawisk elementarnych, a proces opisano zestawem równań. Do określenia parametrów ziarna po suszeniu w suszarce daszkowej pierwotnie wykorzystano model matematyczny [Pabis, Powierża, Suprunowicz, 1974], po czym zastąpiono go bardziej złożonym modelem matematycznym [Cenkowski, 1984] pozwalającym wyznaczyć przebieg temperatur czynnika suszącego i suszonego ziarna oraz rozkład zawartości wody w ziarnie i w czynniku suszącym wzdłuż kierunku ruchu ziarna. Model zaimplementowano w Delphi i dołączono do aplikacji systemu ekspertowego „Symuneuron” napisanej w Hybrexie w środowisku Sphinx.

## Dane wejściowe

Przed przystąpieniem do obliczeń należy dokonać identyfikacji konfiguracji modelowanego obiektu oraz parametrów początkowych procesu. Za identyfikatory przyjmuje się wymiary daszków, odległości między daszkami, liczba daszków w poszczególnych sekcjach oraz współczynnik przenikania ciepła ścianki suszarki. Parametry początkowe wyznaczane są dla powietrza otoczenia (temperatura, wilgotność względna, ciśnienie), powietrza suszącego (temperatura początkowa w sekcjach suszących, wilgotność względna, strumień powietrza suszącego) oraz materiału suszonego (rodzaj ziarna, strumień suszonego materiału, początkowa wilgotność względna, temperatura początkowa). Użytkownik decyduje, czy modelowany proces będzie uwzględniał recyrkulację powietrza suszącego. Okno programu „Symuneuron” umożliwiające wprowadzenie żądanych przez użytkownika wartości przedstawiono na rysunku 1. W systemie zaproponowano kilkadziesiąt przykładowych suszarek daszkowych produkowanych przez różnych producentów. Użytkownik ma możliwość sprawdzenia parametrów wyjściowych rozpatrywanych suszarek, może je również dowolnie zmieniać. Dane wejściowe zadane przez użytkownika są w systemie dokumentowane. Na żądanie użytkownika generowany jest raport danych wyjściowych.

**Dane wejściowe [ C01 ( Dane rzeczywiste ) ]**

**Budowa suszarki**

Wysokość części prostokątnej daszka :	0,08 [ m ]	Liczba par daszków w sekcji pierwszej :	6
Wysokość części ukośnej daszka :	0,15 [ m ]	Liczba par daszków w sekcji drugiej :	6
Pionowa odległość między daszkami :	0,08 [ m ]	Liczba par daszków w sekcji chłodzącej :	4
Szerokość daszka :	0,22 [ m ]	Liczba daszków w rzędzie :	5
Pozioma odległość między daszkami :	0,22 [ m ]	Współczynnik przenikania ciepła ścianki suszarki, [ W/m <sup>2</sup> K ]	2,5
Długość daszka	2 [ m ]		

**Parametry powietrza suszącego i zewnętrznego**

Całkowity strumień masy powietrza :	93300 [ m <sup>3</sup> /h ]	<input checked="" type="checkbox"/> Recyrkulacja powietrza w suszarni
Temp. powietrza suszącego w sekcji pierwszej :	71 [ st. C ]	Gdy recyrkulacja jest wyłączona temp. w sekcji drugiej jest indyferentna z temp. sekcji pierwszej
Temp. powietrza suszącego w sekcji drugiej :	71 [ st. C ]	
Temp. powietrza zewnętrznego :	15 [ st. C ]	
Wilgotność względna powietrza zewnętrznego :	0,8	

**Parametry materiału**

Strumień wejściowy masy materiału wilgotnego :	21500 [ kg/h ]	<input type="checkbox"/> Wstępne podgrzewanie ziarna
Wilgotność względna materiału wejściowego :	18 [ % ]	
Pojemność zasypowa suszarni :	34850 [ kg ]	

Otwórz raport      OK      Anuluj      Pomoc

Rys. 1. Okno wprowadzania danych wejściowych

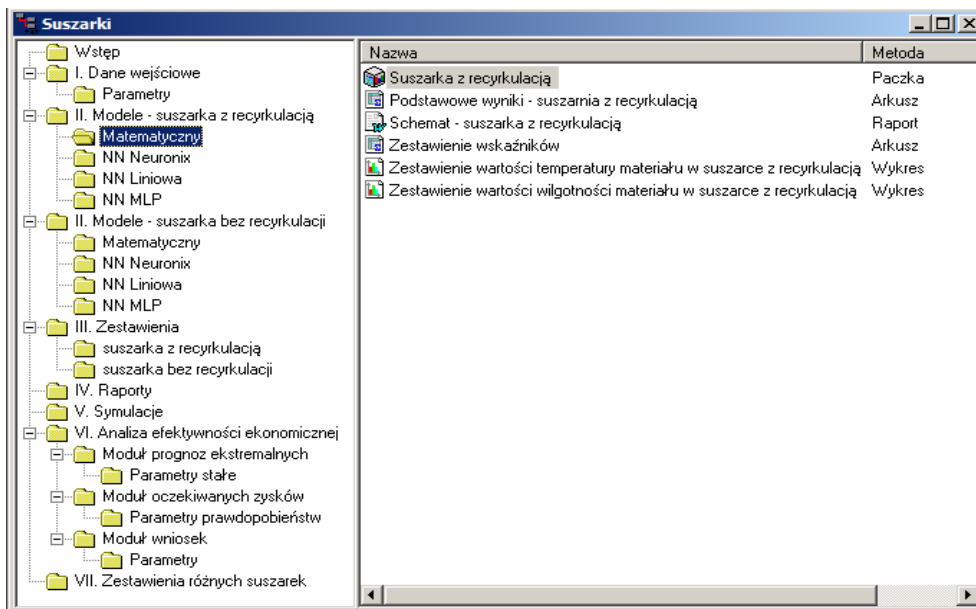
Fig. 1. Input data entry window

## Obliczenia

Po wybraniu określonego zestawu pojawia się okno główne programu Symuneuron (rys. 2). Użytkownik ma możliwość obliczenia suszarek z recyrkulacją powietrza suszącego lub bez, w zależności od wyboru dokonanego na etapie definiowania parametrów początkowych. W oknie głównym znajduje się zbiorcza metoda typu „Paczka” o nazwie „Zbiorcze wywołanie z recyrkulacją” lub „Zbiorcze wywołanie bez recyrkulacji”. Wywołanie tej metody powoduje, że wykonywane są obliczenia modelu matematycznego i wszystkich modeli neuronowych, umieszczonych w systemie obok modelu matematycznego.

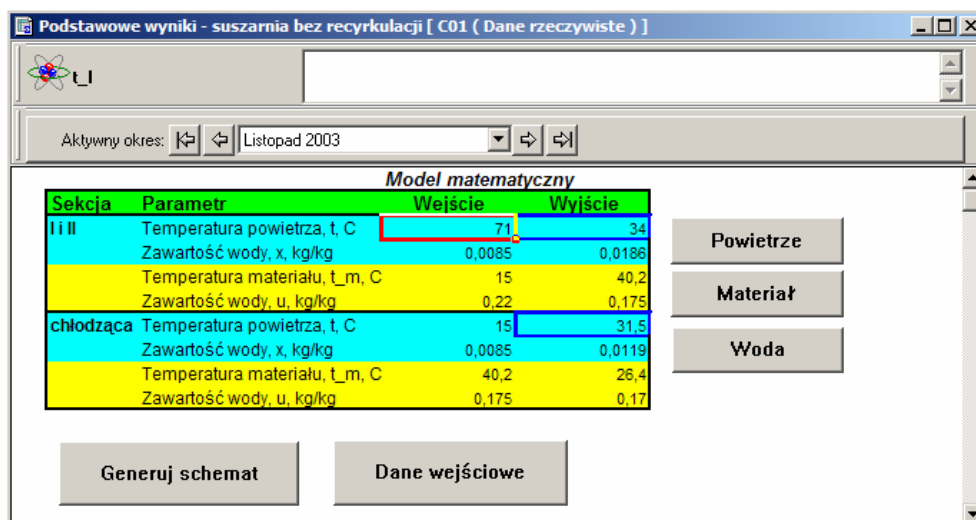
## Prezentacja wyników

Podstawowe wyniki to arkusz prezentujący podstawowe parametry wyliczone w odpowiednim modelu (rys. 3). W arkuszu tym znajdują się przyciski uruchamiające szczegółowe zestawienia parametrów powietrza, materiału i wody. Przykładowe okno zestawiające dane szczegółowe dotyczące parametrów powietrza suszącego przedstawiono na rysunku 4. Dodatkowo użytkownik może wybrać opcję generowania podstawowego schematu (rys. 5) Obliczane są wskaźniki procesu suszenia. W systemie umieszczone jest zestawienie wskaźników opisujących wygenerowany model (rys. 6). W raporcie prezentowane są również wykresy Sankey’a, dla wymiany ciepła i wody, dotyczące realizowanego procesu. Przebieg zmian temperatury i wilgotności materiału i powietrza suszącego przedstawiany jest na wykresach. Przykładowy wykres temperatur przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 2. Okno główne programu „Symuneuron”

Fig. 2. The main window of „Symuneuron” system



Rys. 3. Okno zestawiające podstawowe wyniki obliczeń suszarki

Fig. 3. The window presenting the basic output data

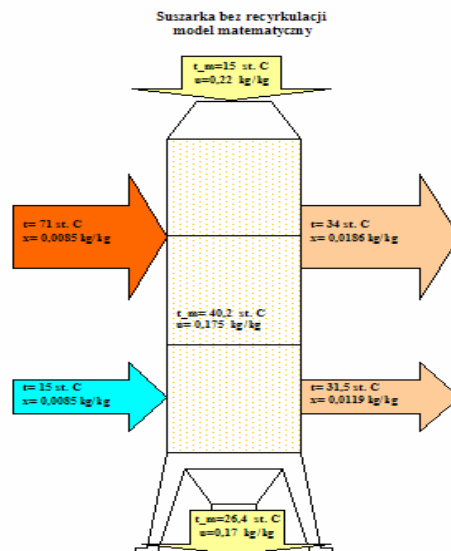
Dane szczegółowe - powietrze - bez recyrkulacji [ C01 ( Dane rzeczywiste ) ]

Aktywny okres: Listopad 2003

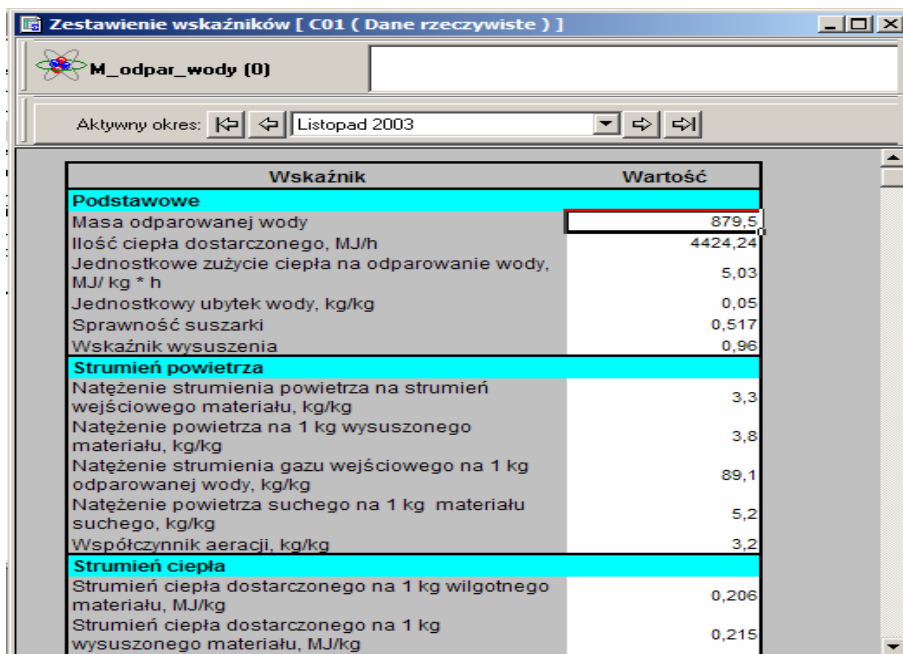
Model matematyczny

Sekcja	Parametr	Wejście	Wyjście
I i II	Temperatura powietrza, t, C	71	34
	Zawartość wody, x, kg/kg	0,0085	0,0186
	Wilgotność względna powietrza	0,8	0,5547
	Strumień powietrza suszącego, m3/h	69975	70680
	Ilość ciepła związana z powietrzem suszącym, MJ/h	5609,32	2740,34
chłodząca	Ilość ciepła dostarczonego z podgrzewacza, MJ/h	4424,24	---
	Temperatura powietrza, t, C	15	31,5
	Zawartość wody, x, kg/kg	0,0085	0,0119
	Wilgotność względna powietrza	0,8	0,4124
	Strumień powietrza chłodzącego, m3/h	23522,7	23603
	Ilość ciepła związana z powietrzem chłodzącym, MJ/h	398,37	835,69

Rys. 4 Okno zestawiające szczegółowe parametry dotyczące powietrza suszącego  
 Fig. 4. The window presenting detail output data concerning drying air

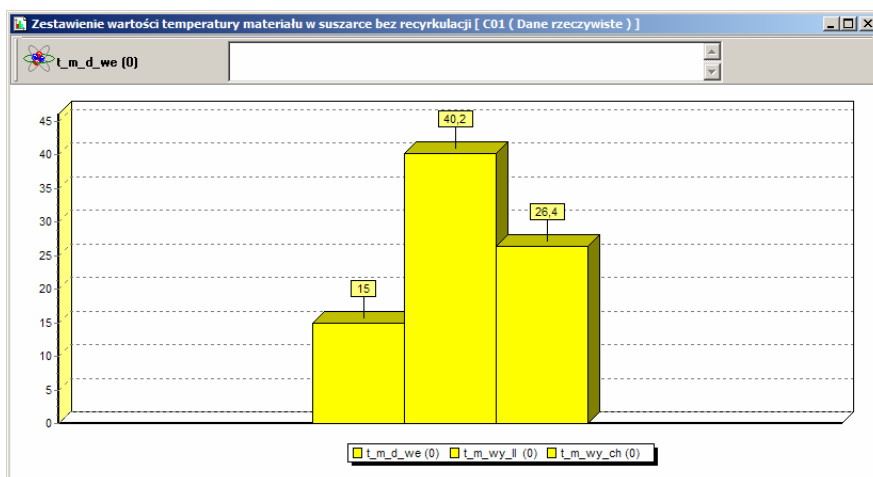


Rys. 5. Schemat podstawowych parametrów procesu suszenia  
 Fig. 5. The diagram of basic drying process data



Rys. 6. Okno zestawiające wybrane wskaźniki pracy suszarki

Fig. 6. The window presenting selected drying indexes



Rys. 7. Okno zestawiające temperatury materiału na wejściu do suszarki, na końcu części suszącej i na wyjściu z suszarki

Fig. 7. The window presenting material temperatures at the beginning and at the end of every dryer section

## Dobór parametrów

Dla określonej konfiguracji suszarki system „Symuneuron” umożliwia poszukiwanie parametrów procesu, dla których uzyskiwane jest ziarno o założonej wilgotności. Zmieniane są wartości parametrów: liczba par daszków w sekcji I, liczba par daszków w sekcji II, liczba par daszków w sekcji chłodzącej, temperatura powietrza suszącego w sekcji I, temperatura powietrza suszącego w sekcji II. Przeprowadzane są obliczenia w zadanych przez użytkownika zakresach, a uzyskane wyniki prezentowane są w oknie ustawiania parametrów (rys. 8). Każdy z przypadków może być wstępnie oceniony dzięki zestawieniu wartości końcowej wilgotności ziarna, końcowej temperatury ziarna oraz sprawności suszarki. Dokładne obliczenia dla wybranych parametrów użytkownik może przeprowadzić korzystając z modułu obliczeniowego systemu „Symuneuron”.

Poszukiwanie konfiguracji dla oczekiwanej wilgotności

Liczba par daszków w sekcji pierwszej: 5 · 7

Liczba par daszków w sekcji drugiej: 5 · 7

Liczba par daszków w sekcji chłodzącej: 3 · 5

Temp. powietrza suszącego w sekcji pierwszej: 60 · 80 [ st. C ]

Oczekiwana wilgotność materiału po wysuszeniu: 14 +/- 0,1

Model: matematyczny

	lpd_I	lpd_II	lpd_ch	t_I	t_II	w_wy_ch	sprawnosć	t_m_koncowe
10	7	6	3	75	75	13,9	0,514	29,9
11	7	6	4	75	75	13,9	0,548	27
12	7	6	5	75	75	13,9	0,579	24,8
13	7	7	3	70	70	14,1	0,529	28,8
14	7	7	4	70	70	14,1	0,561	26,2
15	7	7	5	70	70	14,1	0,59	24,2

Zakończono poszukiwania. Znalezione 15 rozwiązań.

Rys. 8. Okno umożliwiające wyszukanie parametrów początkowych procesu suszenia

Fig. 8. The window enabling searching the initial drying process parameters

W systemie możliwy jest również dobór konfiguracji suszarki w celu otrzymania założonej wilgotności oraz założonej temperatury ziarna po wysuszeniu. System wyposażono w opcję „Symulacja”. Przeszukiwane są wyniki obliczeń zgodnie z podanymi przez użytkownika kryteriami. Wybrane konfiguracje użytkownik może analizować i zachować.

## Podsumowanie

System „Symuneuron” umożliwia ocenę różnych suszarek daszkowych i ustalenie ich charakterystyk przy różnych wartościach sygnałów wejściowych oraz parametrów procesu. System umożliwia wprowadzanie zmian parametrów początkowych, oraz wprowadzanie określonych zakłóceń oraz wymuszeń. Dzięki symulacji system pozwala na ustalenie właściwości użytkowych suszarek daszkowych oraz dobór odpowiedniej konfiguracji urządzenia, dobór najkorzystniejszych parametrów suszarek oraz parametrów procesu suszenia.

## Bibliografia

Pabis S., Powierża L., Suprunowicz 1974. Porównanie niektórych matematycznych modeli procesu konwekcyjnego suszenia warstwy ziarna w przeciwnym kierunku. Roczniki Nauk Rolniczych, t. 71-C-1, s. 65-72

Cenkowski S. 1984. Modelowanie procesu suszenia ziarna zbóż. Rozprawa habilitacyjna. Instytut Mechanizacji Rolnictwa Akademii Rolniczej we Wrocławiu. Wrocław

Tarnowski W., Bartkiewicz S. 1998. Modelowanie matematyczne i symulacja komputerowa dynamicznych procesów ciągłych. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin

## THE IMPLEMENTATION OF GRAIN DRYING MATHEMATICAL MODEL IN SYMUNEURON SYSTEM

### Summary

Symuneuron system is devoted to aid the selection of cascade grain dryer. In order to characterize drying process the mathematical model of grain drying process has been used. By using the mathematical model it was possible to analyze the effects of changes in each parameters of the process. Thus the design of the dryer can be based on optimum choice of essential parameters deciding the total economy. The effects of ordinary and alternative flow could be observed as well. The Symuneuron user is not only provided in many exemplary dryers but could analyze ones own dryer as well.

**Key words:** cascade dryer, drying configuration, simulation model