

IDENTYFIKACJA ZMIENNYCH PROCESOWYCH SUSZARKI DASZKOWEJ W SYSTEMIE SYMUNEURON W ASPEKTCIE DIAGNOSTYKI

Renata WALCZAK

Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii,
Instytut Inżynierii Mechanicznej, Zakład Inżynierii Systemów
ul. Łukasiewicza 17, 09-400 Płock, tel./fax (24) 367 59 95, e-mail: rpwalcza@pw.plock.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono propozycję zastosowania charakterystyki energetycznej przydatności suszarek rolniczych do oceny efektywności systemu bioagrosuszającego. Zastosowano miary efektywności energetycznej systemu uwzględniając warunki zewnętrzne oraz sposób zastosowania systemu. Zidentyfikowano efektywność, jako cechę działania, zdefiniowano miary efektywności energetycznej, efektywność systemu odniesiono do sposobu jego eksploatacji, zakładając, że efektywność energetyczna jako cecha eksploatacji zależy od własności systemu.

Słowa kluczowe: system ekspertowy, system diagnostyki, suszarka daszkowa.

PROCESS VARIABLES IDENTIFICATION IN SYMUNEURON SYSTEM CONSIDERING DRYER SELECTION AND DRYING PROCESS DIAGNOSIS

Summary

The paper identifies process variables substantial from the technology and economy requirements point of view. The efficiency factor matrix has been identified taking into consideration initial and final process variables and their differences. The paper examines and compares several process variables and suggests places where they could be measured. It has been presented Symuneuron system providing process variables and efficiency indexes calculation. In order to calculate final drying process parameters the system uses conventional mathematical model and neural networks as well.

Keywords: expert system, diagnosis system, cascade dryer.

1. WYKAZ PODSTAWOWYCH OZNACZEŃ

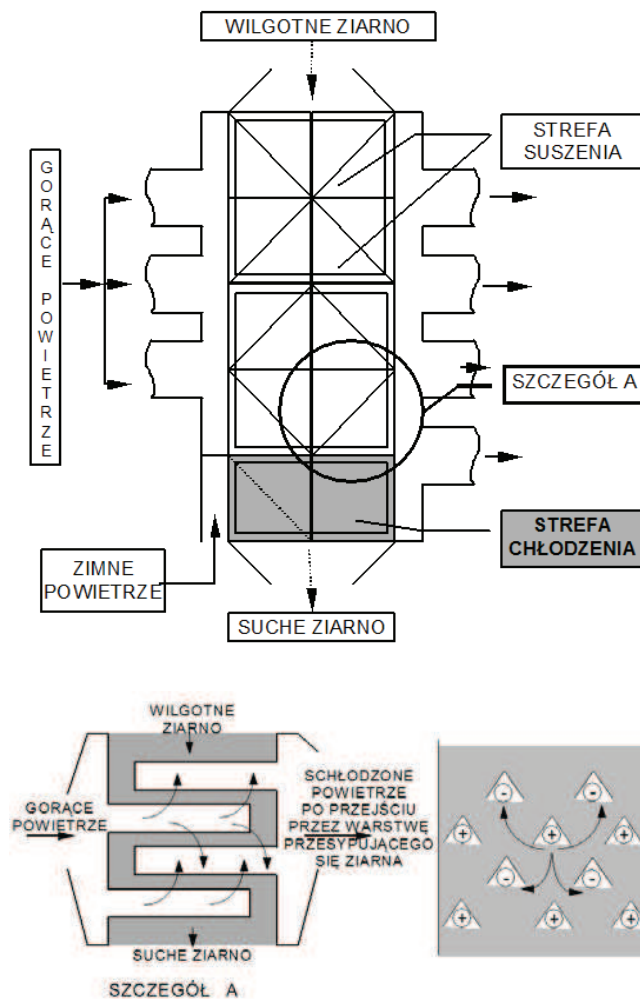
G	- natężenie przepływu powietrza suszającego, kg/s,
G_s	- natężenie przepływu suchego powietrza suszającego, kg/s,
M	- natężenie przepływu materiału suszonego, kg/s,
M	- natężenie przepływu suchego materiału suszonego, kg/s,
Q	- natężenie przepływu ciepła, J/s,
t	- temperatura czynnika suszającego, °C,
t_m	- temperatura suszonego materiału, °C,
t_p	- temperatura suszonego materiału, °C,
u	- zawartość wody w materiale suszonym, kg wody/kg such. masy,
x	- zawartość wody w czynniku suszącym, kg wody/kg such. masy,
φ	- wilgotność względna powietrza suszającego, %
w	- wilgotność względna materiału suszonego, %

2. WPROWADZENIE

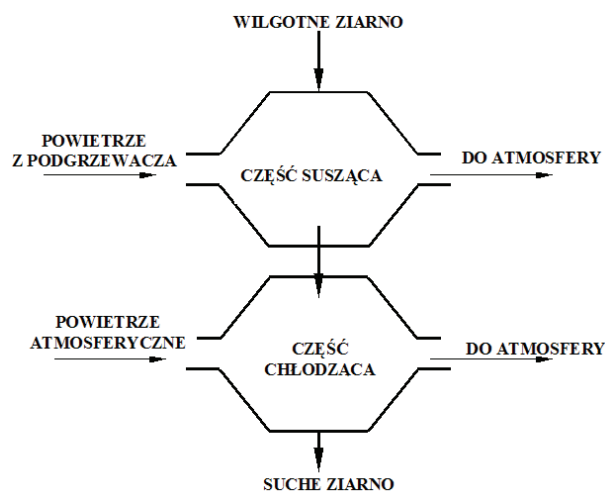
Obiektem rozważań jest system bioagrosuszarniczy, którego egzemplifikację stanowi suszarka daszkowa. Suszarka daszkowa [2] (rys. 1) składa się z szeregu komór umieszczonych jedna nad drugą, przez które grawitacyjnie przesypuje się materiał suszony. Komory wyposażone są w daszkowate kanały doprowadzające i odprowadzające czynnik suszący. Gorący czynnik suszący przepływa z kanałów doprowadzających powietrze do kanałów odprowadzających przepływa przez przesypujący się przez komorę materiał suszony oddając mu swoje ciepło i odbierając parę wodną w nim zawartą. Intensywność i energochłonność procesu suszenia zależy od typu zabudowy w komorach suszarki, rodzaju i ilości kanałów rozprowadzających i odbierających powietrze suszące.

W pracy rozważano dwa układy funkcjonalne suszarek. Pierwsza konfiguracja nie posiada recyrkulacji powietrza suszącego. Schemat ideowy konfiguracji bez recyrkulacji przedstawiono na rys.

Druga konfiguracja zapewnia recyrkulację powietrza suszącego z drugiej części suszającej do części pierwszej oraz z części chłodzącej do części drugiej. Konfigurację tę przedstawiono na rys. 3.



Rys. 1. Schemat budowy i zabudowy suszarki daszkowej

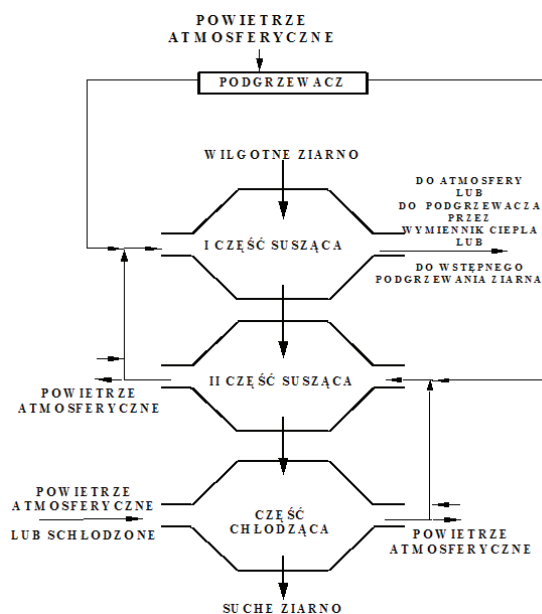


Rys. 2. Schemat funkcjonalny suszarki daszkowej bez recyrkulacji

System bioagrosuszarniczy rozumiany jako system użytkowania, SV określany jest jako zbiór złożony z podsystemów [5]:

$$SV = \langle SW, SP, SZ, O, RV \rangle \quad (1)$$

- SW, podsystemu wytwórczego będącego obiektem eksploatacji, rozumianego jako zbiór użytkowników realizujących przy pomocy zbiorów środków technicznych, zbiór zadań, zgodnie ze zbiorem technologii produkcji.
- SP, podsystemu operacyjnego,
- SZ, podsystemu zasilania,
- O, infrastruktury,
- RV, ciągu relacji pomiędzy podsystemami.



Rys. 3. Schemat funkcjonalny suszarki daszkowej z recykulacją

System uzdatniania SD określony jest jako zbiór złożony z podsystemów: zasilania, SZ, uzdatniającego, SU, wytwórczego, SW i operacyjnego SP. System eksploatacyjny, SE, stanowi zbiór złożony z systemów użytkowania, SV i systemu uzdatniania, SD.

Funkcjonowanie obiektu eksploatacji może być zakłócone przez utratę jego zdadności. Powodem może być utrata zdadności jednego z elementów systemu, przede wszystkim infrastruktury i przedmiotu działania (zdadność techniczna) lub systemu produkcyjnego (zdadność użytkowa).

Obiekt eksploatacji rozumiany jest jako zbiór podstawowych konfiguracji funkcjonalnych w stanie użytkowania, kiedy to na system eksploatacyjny oddziałują system zasilania, SZ, system operacyjny, SP oraz otoczenie [5].

Suszarka daszkowa jest urządzeniem używanym okresowo, przede wszystkim w czasie żniw. Zarówno przed, jak i po kampanii suszarniczej wymaga ona określenia jej stanu. Podobnej oceny należy dokonywać w trakcie okresowego

użytkowania. Diagnostyka stanu maszyny może być prowadzona w trakcie jej funkcjonowania na podstawie sprawdzania poprawności działania. Na podstawie analizy zmiennych procesowych można wnioskować o zdadności, zdadności ograniczonej, ze względu na efektywność pracy lub niezdadności suszarki [1].

Celem pracy jest identyfikacja zmiennych parametrów procesu suszenia oraz wyznaczenie miar przydatności suszarki daszkowej, dzięki którym możliwa będzie ocena wpływu poszczególnych elementów na przydatność użytkową urządzenia w stanie zdadności technicznej.

3. MIARY EFEKTYWNOŚCI EKSPLOATACYJNEJ

System bioagrotechniczny opisano następującymi zmiennymi [5]:

- T, czas przebywania systemu w danym stanie eksploatacyjnym,
- U, osiągnięte w określonym czasie efekty,
- N, nakłady poniesione dla osiągnięcia założonych efektów.

Miary przydatności systemu wyrażone są poprzez relacje między powyższymi zmiennymi.

Efektywność eksploatacyjną określono jako iloraz uzyskanych efektów, U, do poniesionych nakładów, N, potrzebnych do osiągnięcia tych efektów w funkcji czasu.

Dla funkcji ciągłych, określonych w całej swojej dziedzinie efektywność eksploatacyjna określona jest równaniem (2), dla funkcji dyskretnych wartości ta kreślona jest równaniem (3).

$$E(\tau) = \int_0^{\tau} \frac{U(T)}{N(T)} dT \quad (2)$$

$$E(\tau) = \sum_{i=1}^{i=I} \frac{U(T)}{N(T)} \Delta T_i \quad (3)$$

I – liczba przedziałów, na którą podzielono przedział $\langle 0, \tau \rangle$.

Wartość funkcji opisującej nakłady jest zawsze większa od zera, wartość funkcji osiągniętych efektów przyjmuje wartości z określonego przedziału $\langle U_d, U_g \rangle$, wartość funkcji efektywności przyjmuje, zatem wartości z przedziału $\langle -E_d, E_g \rangle$.

Ocena wartości funkcji efektywności pozwala wyznaczyć dopuszczalny czas użytkowania systemu oraz dopuszczalne wartości graniczne funkcji efektywności, poniżej których użytkowanie systemu nie jest celowe. Możliwe jest dzięki temu również porównywanie działania tego samego systemu w różnych chwilach albo porównywanie podobnych konfiguracyjnie lub funkcjonalnie systemów. Funkcja efektywności pozwala również przeprowadzić analizę wrażliwości ze względu na zmiany poszczególnych parametrów zmiennych procesu. Analiza wartości funkcji efektywności

w czasie umożliwiają ocenę systemów z punktu widzenia ich stabilności efektywnościowej [5].

Efektywność eksploatacyjna zależy od wielu czynników, między innymi niemierzalnych antropotechnicznych, społecznych, organizacyjnych i mierzalnych, technicznych i ekonomicznych. W niniejszej pracy oceniano efektywność energetyczną procesu suszenia z punktu widzenia wykorzystania ciepła. Do oceny suszarki na podstawie analizy prowadzonego procesu suszenia zarówno na etapie doboru suszarki jak i podczas jej eksploatacji wykorzystano wskaźniki efektywności. Każdy z elementów macierzy W , po uwzględnieniu tylko początkowych i końcowych zmiennych: M , u , t_m , G , x , t , QM , Q i różnic między nimi, zawiera podstawowe charakterystyki efektywności systemu, podstawowy ich zbiór przedstawiono w macierzy W (4). Z macierzy wybrano zbiór wskaźników efektywności systemu bioagrosuszającego. Wskaźniki te wyrażają relacje pomiędzy parametrami konstrukcyjnymi, funkcjonalnymi i technologicznymi systemu [4].

$$W = \begin{pmatrix} \frac{M}{M} & \frac{M}{U} & \frac{M}{t_m} & \frac{M}{G} & \frac{M}{x} & \frac{M}{t} & \frac{M}{QM} & \frac{M}{Q} \\ \frac{U}{U} & \frac{U}{U} & \frac{U}{t_m} & \frac{U}{G} & \frac{U}{x} & \frac{U}{t} & \frac{U}{QM} & \frac{U}{Q} \\ \frac{M}{M} & \frac{U}{U} & \frac{t_m}{t_m} & \frac{G}{G} & \frac{x}{x} & \frac{t}{t} & \frac{QM}{QM} & \frac{Q}{Q} \\ \frac{t_m}{t_m} & \frac{t_m}{U} & \frac{t_m}{t_m} & \frac{t_m}{G} & \frac{t_m}{x} & \frac{t_m}{t} & \frac{t_m}{QM} & \frac{t_m}{Q} \\ \frac{M}{G} & \frac{U}{G} & \frac{t_m}{G} & \frac{G}{G} & \frac{x}{G} & \frac{t}{G} & \frac{QM}{G} & \frac{Q}{G} \\ \frac{M}{M} & \frac{U}{U} & \frac{t_m}{t_m} & \frac{G}{G} & \frac{x}{x} & \frac{t}{t} & \frac{QM}{QM} & \frac{Q}{Q} \\ \frac{x}{x} & \frac{x}{U} & \frac{x}{t_m} & \frac{x}{G} & \frac{x}{x} & \frac{x}{t} & \frac{x}{QM} & \frac{x}{Q} \\ \frac{M}{M} & \frac{U}{U} & \frac{t_m}{t_m} & \frac{G}{G} & \frac{x}{x} & \frac{t}{t} & \frac{QM}{QM} & \frac{Q}{Q} \\ \frac{t}{t} & \frac{t}{U} & \frac{t}{t_m} & \frac{t}{G} & \frac{t}{x} & \frac{t}{t} & \frac{t}{QM} & \frac{t}{Q} \\ \frac{M}{M} & \frac{U}{U} & \frac{t_m}{t_m} & \frac{G}{G} & \frac{x}{x} & \frac{t}{t} & \frac{QM}{QM} & \frac{Q}{Q} \\ \frac{QM}{QM} & \frac{QM}{QM} & \frac{QM}{QM} & \frac{QM}{QM} & \frac{QM}{QM} & \frac{QM}{QM} & \frac{QM}{QM} & \frac{QM}{QM} \\ \frac{M}{M} & \frac{U}{U} & \frac{t_m}{t_m} & \frac{G}{G} & \frac{x}{x} & \frac{t}{t} & \frac{QM}{QM} & \frac{Q}{Q} \\ \frac{Q}{Q} & \frac{Q}{U} & \frac{Q}{t_m} & \frac{Q}{G} & \frac{Q}{x} & \frac{Q}{t} & \frac{Q}{QM} & \frac{Q}{Q} \\ \frac{M}{M} & \frac{U}{U} & \frac{t_m}{t_m} & \frac{G}{G} & \frac{x}{x} & \frac{t}{t} & \frac{QM}{QM} & \frac{Q}{Q} \end{pmatrix} \quad (4)$$

4. ZMIENNE PARAMETRY PROCESU SUSZENIA

Z punktu widzenia ekonomiki procesu suszenia najistotniejszym celem jest znalezienie takich parametrów pracy suszarki, dla których jej sprawność będzie najwyższa. Osiągnięcie najwyższej sprawności oznacza najmniejsze wydatki dla jednostki wykorzystującej suszarkę. W poszukiwaniu kompromisu między spełnieniem wymagań technologii procesu suszenia i zapewnienia najwyższej sprawności należy już na etapie projektowania ustalać wartości zmiennych procesowych, na podstawie których można wnioskować o przebiegu procesu suszenia. Wartości tych zmiennych również mogą być wykorzystywane do diagnozowania procesu oraz sterowania nim.

W celu opisanego procesu konieczna jest znajomość następujących zmiennych:

Zmienne opisujące materiał suszony:

- typ ziarna i wartości parametrów charakteryzujących to ziarno, m.in.: ciepło właściwe, ciężar właściwy, ciężar usypny, porowatość warstwy ziarna,

- strumień masy materiału, M_{we} ,
- wejściowa wilgotność względna materiału lub zawartość wody w materiale, w_{mwe} , u_{we} ,
- początkowa temperatura materiału, t_{mwe}
- końcowa wilgotność względna materiału lub zawartość wody w materiale, u_k , x_{mk} ,
- końcowa temperatura materiału, t_{mk}
- * Zmienne opisujące powietrze:
 - strumień masy powietrza suszającego, G_s ,
 - początkowa temperatura powietrza suszającego, t_{pwe}
 - początkowa wilgotność względna powietrza suszającego lub początkowa zawartość wody w powietrzu, ϕ_{we} , x_{we} ,
 - ciśnienie atmosferyczne, p ,
 - temperatura powietrza otoczenia, t_{ot} ,
 - recyrkulacja powietrza,
 - końcowa wilgotność względna powietrza suszającego, końcowa zawartość wody w powietrzu, ϕ_{wys} , x_{wys} ,
 - końcowa temperatura powietrza suszającego, t_{pwy}
- * Zmienne opisujące budowę suszarki:
 - liczba sekcji suszących,
 - wymiary daszków,
 - liczba daszków,
 - współczynnik przenikania ciepła ścianki suszarki.

Zmienne parametry procesu suszenia to sześć zmiennych procesowych: strumień masy materiału, M , zawartość wody w materiale suszonym, u , temperatura materiału suszonego, t_m , strumień masy powietrza suszającego, G , zawartość wody w powietrzu suszącym, x , temperatura powietrza suszającego, t_p .

Wielkość nakładów energii cieplnej określona jest przez bilans cieplny:

$$Q_{we} = c_p G_s (1+x) (t_{pwe} - t_{ot}) \quad (5)$$

gdzie:

G_s – suchy strumień masy powietrza suszającego.

Zawartość wody x_{we} w wejściowym powietrzu suszącym mierzona jest pośrednio poprzez pomiar wilgotności względnej powietrza otoczenia, które wykorzystywane jest jako powietrze suszące. Wilgotność względna powietrza wyznaczana jest metodą psychrometryczną. Zawartość wody wyznaczana jest analitycznie na podstawie zależności:

$$x = \frac{\phi \cdot 0,622 \cdot p_s}{p_{at} - \phi \cdot p_s} \quad (6)$$

gdzie:

p_s – ciśnienie nasycenia przy danej temperaturze wyznaczono analitycznie.

Konieczny jest również pomiar wielkości strumienia masy powietrza suszającego na wejściu do suszarki. Wartość ta również wyznaczana jest pośrednio poprzez wyznaczenie strumienia objętości

powietrza suszącego. Strumień objętości wyznaczany jest przy pomocy zwężki Venturiego zamontowanej bezpośrednio przed suszarką. Strumień masy suchego powietrza wyznaczany jest z zależności:

$$G_s = \frac{G}{(1+x)} \quad (7)$$

Pomiar temperatury otaczającego powietrza wykonywany jest w miejscu poboru powietrza do podgrzewacza. Pomiar temperatury powietrza suszącego wykonywany przy wejściu do suszarki. Pomiar temperatury wykonywane są za pomocą czujników do pomiaru temperatury. W bilansie energetycznym suszarki nie uwzględniono strat ciepła na odcinku przewodu dostarczającego powietrze z podgrzewacza do suszarki. Założono doskonałą izolację tego przewodu. W przypadku braku izolacji należy uwzględnić straty ciepła na odcinku od podgrzewacza do suszarki, do wyznaczenia których konieczny jest pomiar temperatury powietrza suszącego tuż za podgrzewaczem oraz przed wejściem do suszarki. Straty ciepła wyznaczane są z równania (8)

$$\Delta Q = Q_{\text{podgrzewacza}} - Q_{\text{we}} \quad (8)$$

gdzie:

$$Q_{\text{podgrzewacza}} = G c_p t_{\text{podgrzewacza}} \quad (9)$$

$$Q_{\text{we}} = G c_p t_{\text{pwe}} \quad (10)$$

Zużycie ciepła w procesie obliczone jest z zależności (11)

$$\Delta Q = Q_{\text{we}} - Q_{\text{wy}} \quad (11)$$

gdzie:

$$Q_{\text{we}} = G c_p t_{\text{pwe}} \quad (12)$$

$$Q_{\text{wy}} = G c_p t_{\text{pwy}} \quad (13)$$

Oprócz pomiaru temperatury powietrza suszącego podawanego do suszarki mierzone są temperatury powietrza opuszczającego każdą sekcję suszącą, a także w przypadku zastosowania recykulacji powietrza, temperatury powietrza zasilającego każdą z sekcji suszarki.

Zużycie energii na odparowanie wody w procesie suszenia, obliczane wg równania (14) wymaga określenia początkowej i końcowej zawartości wody w materiale suszonym.

$$Q_{\text{parowania}} = M_{\text{wody}} r \quad (14)$$

$$M_{\text{wody}} = M_s (u_{\text{we}} - u_{\text{wy}}) \quad (15)$$

gdzie:

$Q_{\text{parowania}}$ – ciepło zużyte na odparowanie wody z materiału suszonego,

r – ciepło parowania

M_s – strumień masy suchego materiału

u_{we} – zawartość wody w materiale wchodzącym do suszarki

u_{wy} – zawartość wody w materiale opuszczającym suszarkę

Zawartość wody wyznaczana jest pośrednio przez wyznaczenie wilgotności względnej materiału suszonego. Wilgotność względna wyznaczana jest za pomocą czujników wilgotności przy wejściu do suszarki i na wyjściu z każdej sekcji suszącej. Okresowo wilgotność względna wyznaczana jest metodą wagową. Zawartość wody wyznaczana jest z zależności:

$$u = \frac{w}{100 - w} \quad (16)$$

gdzie

u – zawartość wody w materiale suszonym,

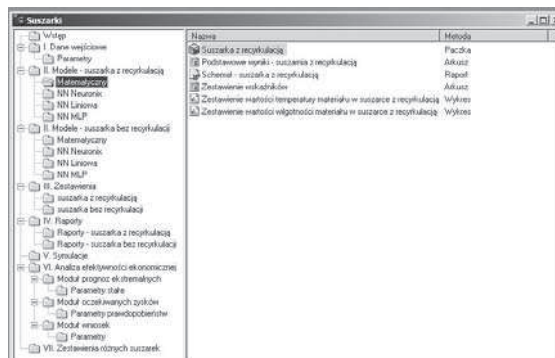
w – wilgotność względna materiału suszonego,

Strumień masy materiału wyznaczany jest metodą wagową lub za pomocą rotametrów przy wejściu do suszarki. Strumień masy suchego materiału wyznaczany jest z zależności:

$$M_s = \frac{M}{(1+u)} \quad (17)$$

5. SYSTEM SYMUNEURON

Na etapie projektowania suszarki konieczne jest analizowanie wpływu zmiennych parametrów procesu suszenia oraz pozostałych parametrów na wskaźniki efektywności. W tym celu model matematyczny procesu suszenia [3] został zaimplementowany w Delphi i wykorzystano go w systemie Symuneuron napisanym w środowisku Sphinx. Okno główne systemu przedstawiono na rysunku 4.



Rys.4. Okno główne programu Symuneuron

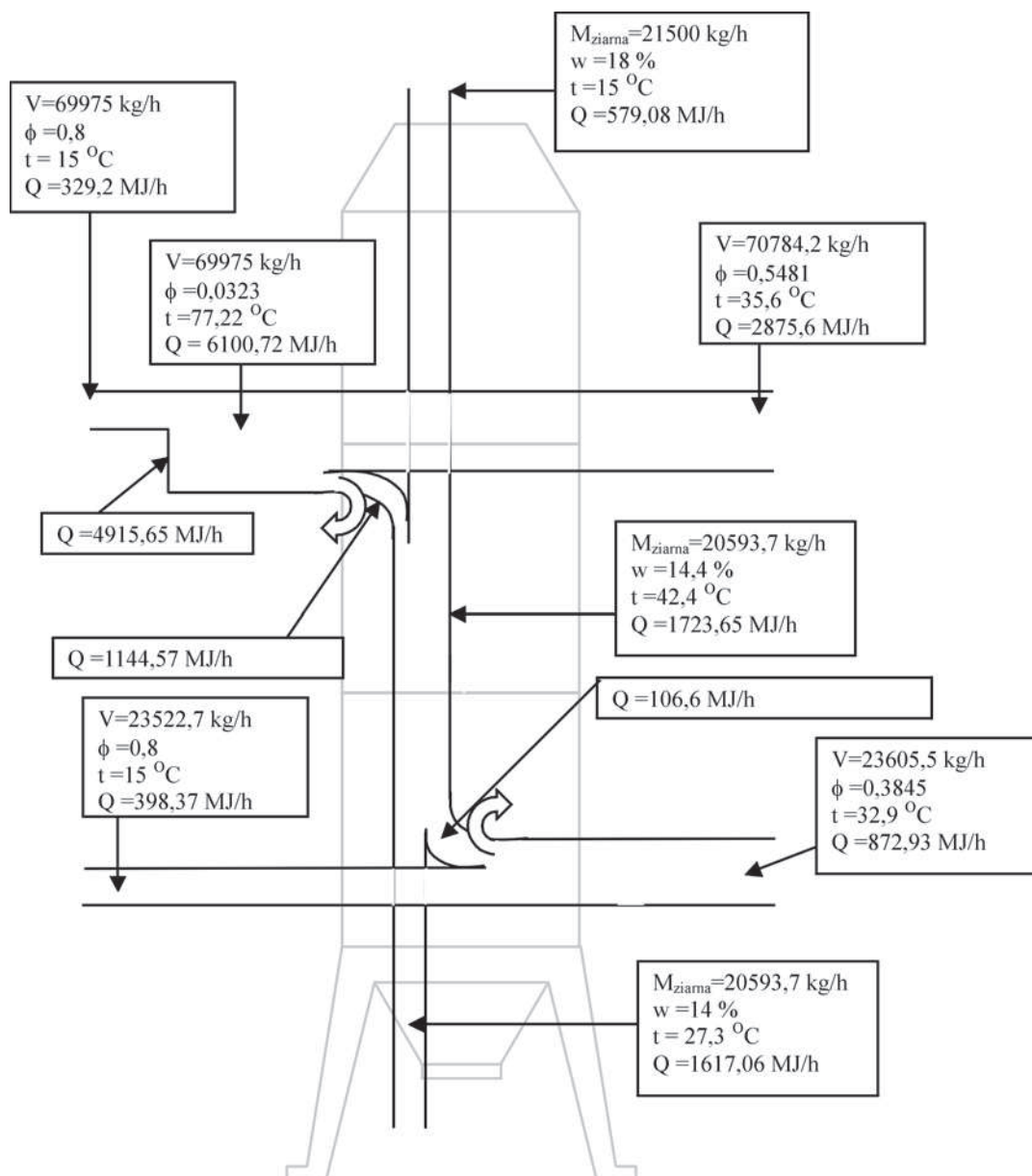
System ten pozwala dobrać i ocenić najbardziej użyteczną konfigurację suszącą suszarki daszkowej. Suszarka podzielona jest na dwie sekcje suszące oraz sekcję chłodzącą. Do wyznaczenia parametrów końcowych procesu wykorzystano również sieci neuronowe. Użytkownik definiuje wymiary kanałów suszących, odległości między nimi, liczbę daszków w poszczególnych częściach urządzenia, współczynnik przenikania ciepła ścianki suszarki, początkową temperaturę i wilgotność suszonego materiału, początkową wilgotność i temperaturę powietrza suszającego, strumień masy suszonego materiału, strumień powietrza suszającego. Na tej

podstawie obliczane są końcowe wartości zmiennych procesowych w każdej sekcji urządzenia: temperatura i wilgotność powietrza suszącego oraz temperatura i wilgotność suszonego materiału. Eksperymenty symulacyjne pozwalają ocenić projektowaną suszarkę. Możliwa jest analiza wartości poszczególnych zmiennych oraz ustalenie przedziałów zmienności tych zmiennych. W trakcie czynnego użytkowania suszarki prowadzona jest kontrola jej stanu na podstawie wartości wyznaczonych zmiennych procesowych.

Uzyskane z obliczeń wyniki przedstawiane są w systemie Symuneuron w różnej formie. Wykres Sankey'a dla wymiany ciepła przedstawiono na rys. 6, zestawienie wskaźników przedstawia rys. 5.

Wskaźnik	Wartość
Podstawowe	
Masa odparowanej wody	579,5
Ilość ciepła dostarczonego, MJ/h	4424,24
Jednostkowe zużycie ciepła na odparowanie wody, MJ/kg ² h	5,03
Jednostkowy ubytek wody, kg/kg	0,95
Sprawność suszarki	0,517
Wskaźnik wysuszenia	0,96
Strumień powietrza	
Natężenie strumienia powietrza na strumień wejściowego materiału, kg/kg	3,3
Natężenie powietrza na 1 kg wysuszonego materiału, kg/kg	3,8
Natężenie strumienia gazu wejściowego na 1 kg odparowanej wody, kg/kg	89,1
Natężenie powietrza suchego na 1 kg materiału suchego, kg/kg	5,2
Współczynnik aeracji, kg/kg	3,2
Strumień ciepła	
Strumień ciepła dostarczonego na 1 kg wilgotnego materiału, MJ/kg	0,286
Strumień ciepła dostarczonego na 1 kg wysuszonego materiału, MJ/kg	0,215

Rys. 5. Okno zestawiające wskaźniki efektywności procesu suszenia



Rys. 6. Wykres Sankey'a dla wymiany ciepła utworzony w systemie Symuneuron

W systemie Symuneuron użytkownik ma możliwość zdefiniowania żądanej końcowej temperatury i wilgotności suszonego materiału, a system wygeneruje wartości parametrów konstrukcyjnych i technologicznych procesu suszenia zapewniające osiągnięcie tych wartości.

6. SIECI NEURONOWE

W systemie Symuneuron obok modelu matematycznego do opisu procesu suszenia wykorzystano sieci neuronowe. Najlepiej proces ten opisują sieci typu MLP uczone z nauczycielem metodą wstecznej propagacji błędów. W wyniku wielu eksperymentów, do nauki wybrano następujące zmienne:

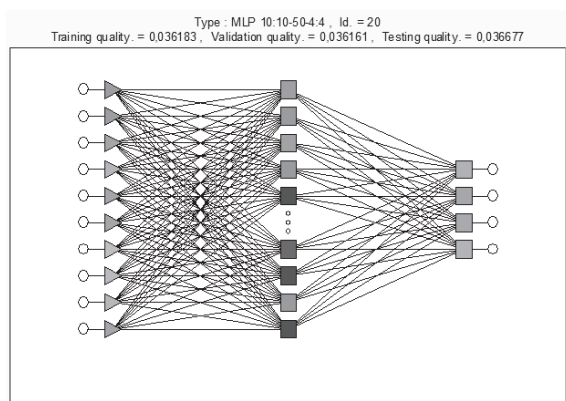
* Zmienne wejściowe:

- pole przekroju suszarki w płaszczyźnie normalnej do kierunku przepływu ziarna,
- wysokość całej sekcji suszącej,
- temperatura powietrza zewnętrznego,
- temperatura początkowa materiału,
- początkowa zawartość wody w materiale,
- temperatura początkowa powietrza suszącego,
- zawartość wody w powietrzu suszącym,
- strumień suchej masy suszonego materiału,
- strumień suchej masy powietrza suszącego,
- współczynnik przenikania ciepła ścianki suszarki.

* Zmienne wyjściowe:

- temperatura końcowa suszonego materiału,
- końcowa zawartość wody w materiale,
- temperatura końcowa powietrza suszącego,
- zawartość wody w powietrzu suszącym.

Schemat sieci najlepiej opisującej proces suszenia przedstawiono na rys. 7.



Rys. 7. Struktura sieci neuronowej wykorzystanej do modelowania procesu suszenia

Na rys. 8 przedstawiono efekty uczenia różnych sieci neuronowych. W celu ustalenia, które zmienne są najistotniejsze przeprowadzono analizę wrażliwości najlepszego modelu neuronowego. Kolejno z danych wejściowych wykluczano

poszczególne zmienne i oceniano błąd popełniany przez sieć w stosunku do kompletnego zestawu zmiennych wejściowych. Na rysunku 9 przedstawiono wyniki analizy wrażliwości. W tabeli 1 wejściowe zmienne procesowe uszeregowano wg ważności od najważniejszych do najmniej ważnych.

Obok zmiennej określono błąd, jaki popełniała sieć po wyłączeniu tej zmiennej w stosunku do całego modelu. Zmienne, które po wyłączeniu dają taki sam błąd jak model bez wyłączenia żadnej zmiennej można spróbować zaniedbać i uważać za nieistotne z punktu widzenia oceny procesu i sterowania nim. W celu wyłączenia zmiennej konieczne jest przeprowadzenie wielu eksperymentów. Między zmiennymi może występować efekt synergii i zaniedbanie ich po jednorazowym przeprowadzeniu analizy wrażliwości mogłoby być błędem.

Biorąc pod uwagę najważniejsze zmienne wejściowe zaimplementowano moduł umożliwiający ich dobór ze względu na żądane wartości parametrów końcowych procesu suszenia.

test	Typ	Jakość ucz.	Jakość wal.	Jakość test.	Błąd ucz.	Błąd wal.	Błąd test.	Uczemie/hładin.	w	Wpłd	Ukryta(1)	Ukryta(2)
1	GRN4 10-10-5170-4-4	0.041456	0.640978	0.663383	1.75651	29.62094	21.49555		SS	10	5170	5
2	GRN4 10-10-5170-4-4	0.496660	0.611584	0.601888	15.35523	18.98883	18.44434		SS	10	5170	5
3	GRN4 10-10-5170-4-4	0.328739	0.588873	0.533944	8.82307	17.96234	17.55589		SS	10	5170	5
4	GRN4 10-10-5170-4-4	0.242854	0.558755	0.513463	7.20711	17.59534	17.60736		SS	10	5170	5
5	GRN4 10-10-5170-4-4	0.390853	0.568960	0.606588	10.20577	17.39182	18.21262		SS	10	5170	5
6	GRN4 10-10-5170-4-4	0.293800	0.563518	0.520541	8.85004	17.28912	16.81939		SS	10	5170	5
7	RBF 10-10-316-4-4	0.456778	0.475152	0.480433	8.89071	10.34314	10.62130		KM KMLP	10	316	0
8	RBF 10-10-475-4-4	0.381890	0.429737	0.403405	8.86915	8.88181	8.66913		KM KMLP	10	475	0
9	RBF 10-10-713-4-4	0.317805	0.390440	0.387792	6.60437	8.32882	8.26288		KM KMLP	10	713	0
10	RBF 10-10-1071-4-4	0.260595	0.333110	0.319328	5.32757	7.18259	6.86653		KM KMLP	10	1071	0
11	RBF 10-10-1627-4-4	0.198219	0.262258	0.258293	3.85400	5.68433	5.74122		KM KMLP	10	1627	0
12	RBF 10-10-2085-4-4	0.161886	0.204609	0.270918	3.38486	5.55204	5.71809		KM KMLP	10	2085	0
13	Linowa 10-10-4-4	0.528659	0.518996	0.532267	0.85222	0.85686	0.85666		PL	10	6	0
14	MLP 10-10-13-4-4	0.173389	0.198629	0.174963	0.82111	0.82144	0.82134		BP100 CG106	10	13	0
15	MLP 10-10-15-4-4	0.150897	0.144821	0.148475	0.82045	0.82091	0.82179		BP96	10	15	0
16	MLP 10-10-11-4-4	0.145115	0.143719	0.154516	0.82068	0.82030	0.82072		BP100 CG193	10	11	0
17	MLP 10-10-15-4-4	0.148441	0.152288	0.151888	0.81928	0.81928	0.81970		BP91a	10	15	0
18	MLP 10-10-15-4-4	0.157223	0.158818	0.160409	0.81953	0.81911	0.82034		BP91b	10	15	0
19	MLP 10-10-15-4-4	0.142026	0.142694	0.149159	0.81985	0.81895	0.81895		BP92b	10	15	0
20	MLP 10-10-15-4-4	0.149822	0.152925	0.153227	0.81983	0.81933	0.82020		BP95	10	15	0

Rys. 8. Wyniki uczenia różnych sieci neuronowych

	Zmienna1	Zmienna2	Zmienna3	Zmienna4	Zmienna5	Zmienna6	Zmienna7	Zmienna8	Zmienna9	Zmienna10
Horaz 32	1.431333	4.330135	1.959201	1.751122	3.334432	1.683864	2.284433	3.813046	5.553382	0.99927
Rang 32	1.980000	2.000000	3.000000	6.000000	3.000000	7.000000	5.000000	4.000000	1.000000	10.00000

Rys. 9. Wyniki analizy wrażliwości modelu neuronowego

7. PODSUMOWANIE

Wykorzystując system Symuneuron możliwa jest ocena wpływu zmiennych parametrów procesu suszenia, parametrów otoczenia oraz parametrów konstrukcyjnych na efektywność energetyczną suszarki. Zaproponowano miejsca pomiaru temperatur, wilgotności i strumieni masy powietrza suszącego i materiału suszonego. Zaproponowano również przyjęcie do oceny procesu suszenia zbioru wskaźników efektywności energetycznej.

Tabela.1. Wyniki analizy wrażliwości modelu neuronowego

	Zmienne procesowe uszeregowane wg ważności	Wielokrotność błędu popełnianego przez sieć neuronową bez rozpatrywanej zmiennej
1	Strumień suchej masy powietrza suszącego	5,56
2	Wysokość całej sekcji suszącej	4,33
3	Początkowa zawartość wody w materiale	3,63
4	Strumień suchej masy suszonego materiału	3,61
5	Zawartość wody w powietrzu suszącym	2,28
6	Temperatura początkowa powietrza suszącego	1,75
7	Temperatura początkowa materiału	1,68
8	Pole przekroju suszarki w płaszczyźnie normalnej do kierunku przepływu ziarna	1,43
9	Temperatura powietrza zewnętrznego	1,09
10	Współczynnik przenikania ciepła ścianki suszarki	0,99



Dr inż. **Renata Walczak**
Wydział Budownictwa,
Mechaniki i Petrochemii
Politechniki Warszawskiej.
W swojej pracy naukowej
zajmuje się zagadnieniami
sztucznej inteligencji oraz
ekonomiki eksploatacji.

LITERATURA

1. Cempel C. Diagnostyka maszyn. Międzyresortowe Centrum Naukowe Eksploatacji Majątku Trwałego. Radom.1992.
2. Olesen H.: Grain drying. Innovation Development Engineering ApS, Thisted, Denmark 1987.
3. Pabis S., Powierża L., Suprunowicz: Porównanie niektórych matematycznych modeli procesu konwekcyjnego suszenia warstwy ziarna w przeciwprądzie. Roczniki Nauk Rolniczych, t. 71-C-1, s. 65-72. Warszawa 1974.
4. Powierża L.: Zarys inżynierii systemów bioagrotechnicznych. Instytut Technologii Eksploatacji Radom-Płock 1997.
5. Powierża L. Efektywność eksploatacyjna maszyn rolniczych. Rozprawa habilitacyjna. IBMER, Warszawa 1981.