

MODELOWANIE PRZEPŁYWU POWIETRZA W KANAŁACH WENTYLACYJNYCH PIECZARKARNI

Leonard Vorontsov, Ewa Wachowicz

Katedra Automatyki, Politechnika Koszalińska

Streszczenie: W pracy przedstawiono model matematyczny i komputerowy procesu przepływu powietrza w kanałach wentylacyjnych pieczarkarni. Równomierny rozptyw powietrza w pieczarkarni uzyskano dzięki zastosowaniu metod optymalizacyjnych do obliczeń pól powierzchni otworów nawiewowych w kanale wentylacyjnym.

Słowa kluczowe: pieczarkarnia, kanał wentylacyjny, przepływ powietrza, modelowanie

Wykaz oznaczeń

D	– średnica kanału nawiewowego [m],
c_p	– współczynnik oporu przepływu powietrza na wejściu do kanału nawiewowego [-],
E_1	– odwrotność pojemności dla pierwszego segmentu kanału [$s \cdot m^2$],
E_i	– odwrotność pojemności dla i-tego segmentu kanału [$s \cdot m^2$],
K	– ciśnieniowa sztywność kanału [$Pa \cdot m^{-3}$],
l_1	– długość pierwszego segmentu kanału [m],
l_i	– długość i-tego segmentu kanału [m],
m_1	– masowe natężenie powietrza, wpływającego do pierwszego segmentu kanału [$kg \cdot s^{-1}$],
m_2	– masowe natężenie powietrza, wpływającego do drugiego segmentu kanału [$kg \cdot s^{-1}$],
m_i	– masowe natężenie powietrza, wpływającego do i-tego segmentu kanału [$kg \cdot s^{-1}$],
m_{i+1}	– masowe natężenie powietrza, wypływającego z kanału [$kg \cdot s^{-1}$],
m_{si}	– masowe natężenie powietrza nawiewanego z kanału do hali pieczarkarni [$kg \cdot s^{-1}$],
mg_1	– strumień powietrza w pierwszym segmencie kanału [$kg \cdot s^{-1}$],
mg_i	– strumień powietrza w i-tym segmencie kanału [$kg \cdot s^{-1}$],
n	– wykładnik politropowy [-],
p_w	– ciśnienie powietrza wytwarzane przez wentylator [Pa],
p_1	– ciśnienie powietrza w pierwszym segmencie kanału [Pa],
p_i	– ciśnienie powietrza w i-tym segmencie kanału [Pa],
p_{i-1}	– ciśnienie powietrza w i-1 segmencie kanału [Pa],
p_H	– ciśnienie powietrza w hali pieczarkarni [Pa],

Δp_{Ri}	– spadek ciśnienia w segmencie i [Pa],
Re	– liczba Reynoldsa [-],
S	– pole powierzchni przekroju kanału nawiewowego [m ²],
SDN_i	– pole powierzchni otworu nawiewowego kanału wentylacyjnego [m ²],
t	– czas [s],
α	– współczynnik oporu przepływu powietrza z kanału do hali przez otwory [-],
ρ	– gęstość powietrza [kg·m ⁻³],
θ	– temperatura powietrza [°K],
ν	– współczynnik lepkości kinematycznej [m ² ·s ⁻¹],
η	– współczynnik lepkości dynamicznej [N·s·m ⁻²],
λ_i	– współczynnik oporu liniowego [-],
$c_p Re_i$	– współczynnik oporu miejscowego na wejściu do kanału [-],
ω	– prędkość obrotowa wentylatora [obr·min ⁻¹],
ω_{rob}	– zadana prędkość obrotowa wentylatora [obr·min ⁻¹],
ω_{max}	– maksymalna prędkość obrotowa wentylatora [obr·min ⁻¹].

Wprowadzenie

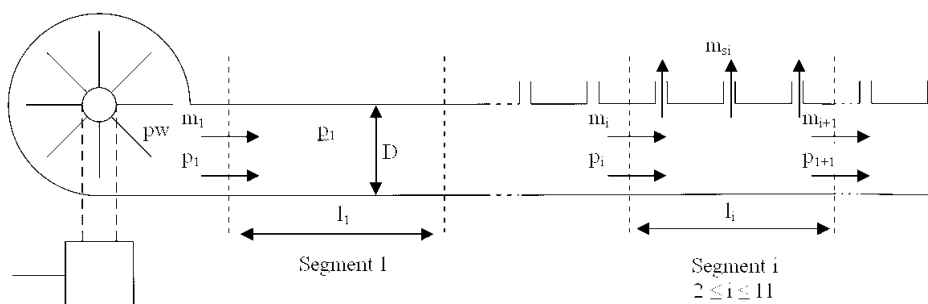
Podczas realizacji procesu hodowli grzybów konieczne jest zagwarantowanie wymaganych przez technologów warunków mikroklimatycznych oraz składu atmosfery wewnątrz hal pieczarkarni. Wymagany mikroklimat zapewniają instalacje do zmiany mikroklimatu oraz systemy sterowania, w które wyposaża się pieczarkarnie [Sakson 2005]. Obiektem badań w niniejszej pracy jest system przepływu powietrza w kanale wentylacyjnym (rys. 1), wyposażonym w wentylator. Rozpatrywany obiekt jest integralną częścią instalacji do zmiany mikroklimatu w budynku pieczarkarni.

Celem pracy jest:

- sformułowanie dla pieczarkarni matematycznego oraz komputerowego modelu przepływu powietrza w kanale wentylacyjnym z wentylatorem,
- optymalizacja doboru wartości pól powierzchni otworów nawiewowych kanału wentylacyjnego, gwarantujących równomierny rozplływ powietrza w pieczarkarni,
- przeprowadzenie badań symulacyjnych procesów z wykorzystaniem opracowanych modeli.

Matematyczny model przepływu powietrza w kanale wentylacyjnym pieczarkarni

Rozpatrywany kanał wentylacyjny pokazano na rysunku 1. Kanał został podzielony na 11 segmentów. Wzdłuż kanału umieszczonych jest 27 otworów o średnicy SDN , którymi nawiewane jest powietrze z kanału do hali w pieczarkarni. W kanale umieszczony jest wentylator, którego prędkość robocza wynosi 2800 obr·min⁻¹.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 1. Kanał wentylacyjny z wentylatorem
Fig. 1. Ventilation duct with fan

Podczas formułowania matematycznego modelu przepływu powietrza w kanale wentylacyjnym przyjęto następujące założenia upraszczające:

- proces jest izotermiczny,
- w danym segmencie chwilowe wartości parametrów gazu są: średnie, jednakowe i zależą tylko od czasu,
- przepływ jest izentropowy, o znanym i stałym wykładniku przemiany n ,
- moduł odkształcalności przewodu K jest stały,
- ciśnienie w hali jest stałe,
- ścianki kanału są idealnie sprężyste,
- powietrze nie płynie z hali do kanału,
- współczynnik oporu wejścia do linii c_p jest stały.

Model uwzględnia następujące zjawiska fizyczne: przepływ powietrza burzliwy lub laminarny, zmiany ciśnienia, zmiany prędkości obrotowej wentylatora, rozpędzanie się silnika wentylatora.

Matematyczny model kanału wentylacyjnego ma postać [Tarnowski, Bartkiewicz 2003]:

Segment 1

$$\frac{dm_1}{dt} = \frac{S}{l_1} (p_w - p_1 - (\Delta p_R)_1) \quad (1)$$

$$(\Delta p_R)_1 = \left[\lambda_1 \cdot \frac{l_1}{D} + c_p \cdot (Re_1) \right] \cdot \frac{m_1^2}{2 \cdot \rho \cdot S^2} \quad (2)$$

$$\frac{dp_1}{dt} = \frac{mg_1}{E_1} \quad (3)$$

$$mg_1 = m_1 - m_2 \quad (4)$$

$$E_1 = \frac{\rho}{K} + \frac{S \cdot l_1}{n \cdot R \cdot \theta} \quad (5)$$

Segment i-ty

$$\frac{dm_i}{dt} = \frac{S}{l_i} (p_{i-1} - p_i - (\Delta p_R)_i) \quad (6)$$

$$\frac{dp_i}{dt} = \frac{mg_i}{E_i} \quad (7)$$

$$(\Delta p_R)_i = \lambda_i \cdot \frac{8 \cdot l_i \cdot m_i^2}{\rho \cdot \pi^2 \cdot D^5} \quad (8)$$

Dla przepływu laminarnego, gdy $Re < 2100$ współczynnik oporu liniowego wynosi $\lambda_i = \frac{64}{Re_i}$, zaś dla przepływu burzliwego, gdy $R > 2100$ $\lambda_i = 0.3164 \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{Re_i}}$.

$$E_i = \frac{\rho}{K} + \frac{S \cdot l_i}{n \cdot R \cdot \theta} \quad (9)$$

$$mg_i = m_i - m_{i+1} - 3 \cdot m_{si} \quad (10)$$

$$m_{si} = \alpha \cdot SDN_i \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot (p_i - p_H)} \quad (11)$$

$$Re_i = \frac{D \cdot m_i}{S \cdot \eta}, Re \in [1; \infty] \quad (12)$$

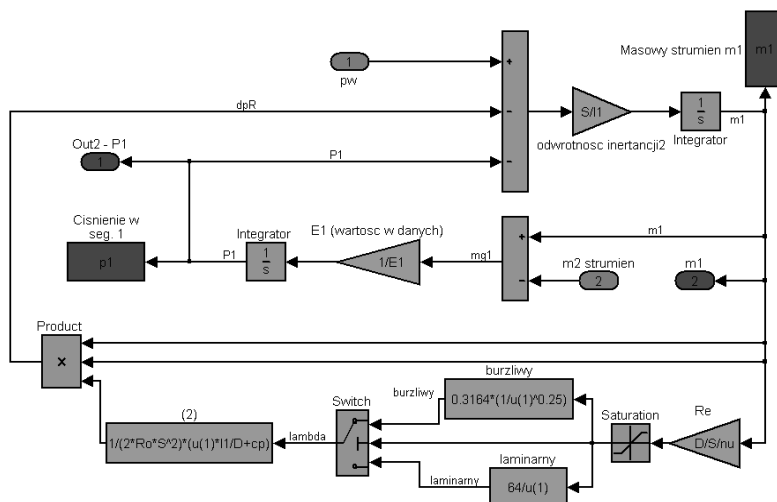
Wentylator

Podczas badań symulacyjnych przyjęto, że w kanale wentylacyjnym zainstalowany jest wentylator firmy Deltafan model 450/KAN/8-8/30/400/H. Jego charakterystyka została użyta do definicji funkcji f w równaniu (13). Wentylator rozpędza się do zadanej prędkości obrotowej według wzoru [Wahwahow 1975]

$$p_w = f(m_1, \omega) \cdot \frac{\omega}{\omega_{rob}} \quad (13)$$

Komputerowy model przepływu powietrza w kanale wentylacyjnym pieczarkarni

Na podstawie znajomości matematycznego modelu przepływu powietrza w kanale wentylacyjnym pieczarkarni opracowano model komputerowy, wykorzystując w tym celu toolbox Simulink w środowisku programowym Matlab. Na rysunku 2 pokazano przykładowo komputerowy model pierwszego segmentu kanału.

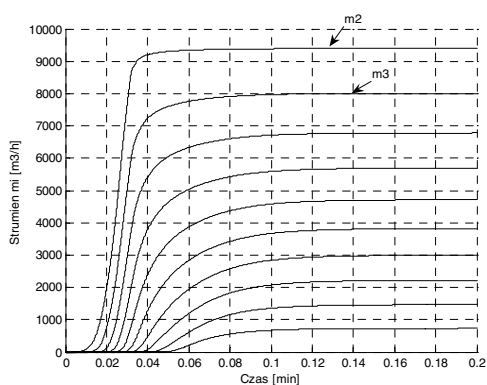


Rys. 2. Komputerowy model pierwszego segmentu kanału wentylacyjnego [Źródło: opracowanie własne]

Fig. 2. Computer model of the first ventilation duct segment

Wyniki badań symulacyjnych przepływu powietrza w kanale wentylacyjnym

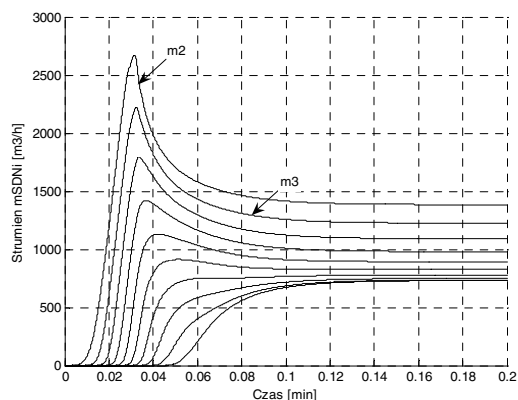
Poniżej pokazano przykładowe wyniki badań symulacyjnych przepływu powietrza w kanale wentylacyjnym w pieczarkarni: zmiany w czasie strumieni powietrza m_i (rys. 3) oraz zmiany w czasie strumieni powietrza, wpływających z kolejnych segmentów kanału wentylacyjnego do hali pieczarkarni (rys. 4).



Źródło: opracowanie własne

Rys. 3. Zmiany w czasie strumieni powietrza w kolejnych segmentach kanału wentylacyjnego

Fig. 3. Changes in time of air streams in successive ventilation duct segments



Źródło: opracowanie własne

Rys. 4. Zmiany w czasie strumieni powietrza, wpływających z kanału wentylacyjnego do hali pieczarkarni

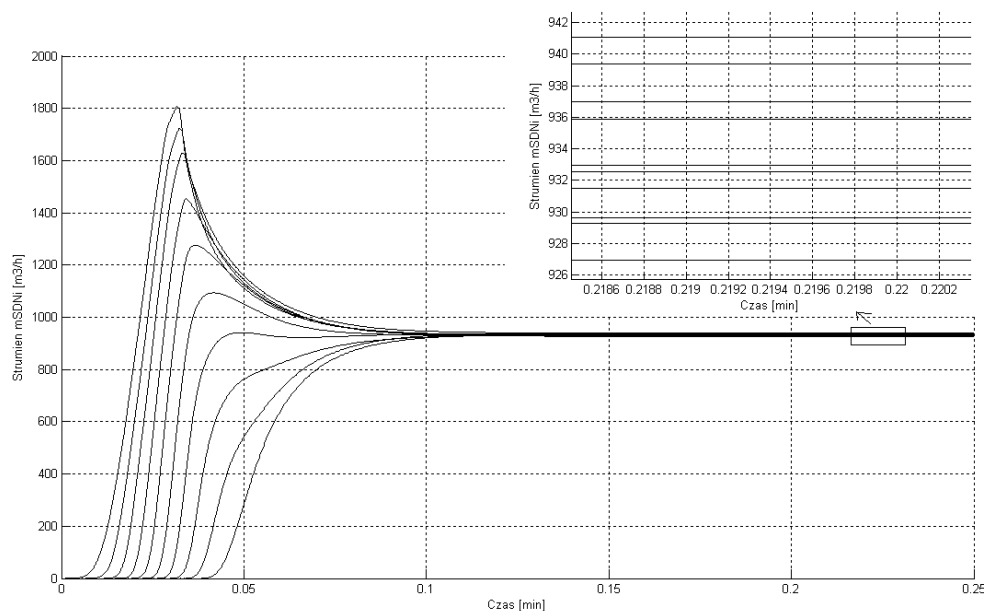
Fig. 4. Changes in time of air streams flowing out from ventilation duct into mushroom-growing cellar

Na rysunkach 3 i 4 widzimy, że im jest wyższy numer segmentu kanału, tym mniejszy strumień powietrza wpływa do segmentu. Na skutek mniejszego ciśnienia w każdym kolejnym segmencie, strumień powietrza nawiewanego z kanału wentylacyjnego do hali pieczarkarni maleje wraz ze wzrostem numeru segmentu kanału.

Ponieważ w hali pieczarkarni wymagany jest równomierny rozptył powietrza, konieczne było dobranie (z wykorzystaniem metod optymalizacji) takiego pola powierzchni otworów w każdym z segmentów od 2-go do 11-go kanału wentylacyjnego, aby strumienie powietrza nawiewanego do hali pieczarkarni z każdego z segmentów posiadały taką samą wartość. Jako narzędzie optymalizacyjne został użyty toolbox Simulink programu Matlab. Do poszukiwania rozwiązania zastosowano algorytm genetyczny. Zaproponowana funkcja celu ma postać

$$F_celu = (|m_{s2} - m_{s3}| + |m_{s3} - m_{s4}| + |m_{s4} - m_{s5}| + |m_{s5} - m_{s6}| + |m_{s6} - m_{s7}| + |m_{s7} - m_{s8}| + |m_{s8} - m_{s9}| + |m_{s9} - m_{s10}| + |m_{s10} - m_{s11}|) \cdot 100000 \rightarrow \min . \quad (14)$$

Dokładność obliczeń przyjęto na poziomie 0,001, zaś maksymalną liczbę iteracji ustawiono na 10000. Wprowadzono następujące ograniczenia wartości zmiennych decyzyjnych: SDNi jest większe lub równe 0,02 m² oraz jest mniejsze lub równe 0,07 m². Jako wartości początkowe zostały przyjęte wartości maksymalne zmiennych decyzyjnych. Przykładowe wyniki badań symulacyjnych, uwzględniających wyniki obliczeń optymalizacyjnych, pokazano na rysunku 5.



Źródło: opracowanie własne

Rys. 5. Zależność uzyskanych w wyniku optymalizacji strumieni powietrza $mSDN_{i}$ wpływających do hali pieczarkarni z kolejnych segmentów kanału wentylacyjnego

Fig. 5. Dependence of air streams $mSDN_{i}$ obtained using optimisation, which flow into mushroom-growing cellar room from successive ventilation duct segments

Podsumowanie

Analiza logiczna otrzymanych wyników badań symulacyjnych oraz weryfikacja logiczna modelu pozwala stwierdzić, że model przepływu powietrza w kanale wentylacyjnym z wentylatorem został wykonany poprawnie. Uzyskano równomierny wypływ powietrza z otworów nawiewowych kanału wentylacyjnego do hali pieczarkarni. Proponowany w pracy model kanału wentylacyjnego z wentylatorem będzie wykorzystany podczas modelowania instalacji do zmiany mikroklimatu oraz systemu sterowania w budynku pieczarkarni.

Bibliografia

- Tarnowski W. Bartkiewicz S. 2003. Modelowanie matematyczne i symulacja komputerowa dynamicznych procesów ciągłych. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin. s. 231-235.
- Sakson N. 2005. Pieczarka: uprawa intensywna. PWRiL. Poznań. ISBN 83-09-01767-7.
- Wahwahow G.G. 1975. Rabota wentilatorow w seti. Strojizdat. Moskwa. UDK 697 953.

MODELLING OF AIR FLOW IN VENTILATION DUCTS OF MUSHROOM-GROWING CELLAR

Abstract. The paper presents mathematical and computer model of the air flow process in ventilation ducts of mushroom-growing cellar. Even spreading of air in mushroom-growing cellar was obtained owing to the use of optimisation methods for computing air supply holes in a ventilation duct.

Key words: mushroom-growing cellar, ventilation duct, air flow, modelling

Adres do korespondencji:

Ewa Wachowicz; e-mail: ewa.wachowicz@tu.koszalin.pl

Katedra Automatyki

Politechnika Koszalińska

ul. Raławicka 15/17

75-620 Koszalin