

ZBIGNIEW CZERKOZakład Przechowalnictwa i Przetwórstwa Ziemniaka
Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Oddział Jadwisin

Czynniki wpływające na dobór dawki wentylacyjnej w przechowalniach ziemniaków

Factors influencing choice of ventilation dose in potato storage

Głównym parametrem systemu wentylacyjnego w przechowalni ziemniaków jest dawka wentylacyjna. Celem pracy była analiza głównych czynników wpływających na dobór dawki wentylacyjnej w dwóch typach przechowalni o składowaniu luzem i w paletach skrzyniowych w zależności od intensywności oddychania ziemniaków. Wyliczono bilans cieplny, w którym ciepło produkowane w przechowalni jest równoważone ciepłem odprowadzanym przez system wentylacji. Wielkość dawki wentylacyjnej zależy od intensywności oddychania ziemniaków i od czasu pracy wentylatorów. Z przedstawionych zależności wynika, że dawka wentylacyjna dla ziemniaków o średniej intensywności oddychania w przechowalni o składowaniu luzem powinna wynosić 78 m³/t-h i 116 m³/t-h w przechowalni o składowaniu w paletach skrzyniowych. Odmiany o dużej intensywności oddychania wymagają zwiększonej dawki wentylacyjnej o 20%.

Słowa kluczowe: dawka wentylacyjna, przechowalnia, system wentylacji, ziemniak

Ventilation dose is the main parameter of a ventilation system in storage of potatoes. Analysis was made of main factors influencing selection of ventilation dose in two types of storage: loose and pallet box. Thermal balance, in which the produced heat is balanced by ventilation system, was calculated. Amount of ventilation dose depends on intensity of respiration of potatoes and on time of work of ventilation. The results indicate that ventilation dose for cultivars with average respiration cultivars in a loose storage should be 78 m³/t-h and 116 m³/t-h in pallet box storage. For cultivars with high intensity of respiration the ventilation dose should be about 20% higher.

Key words: potato, storage, ventilation dose, ventilation system

WSTĘP

Zasadniczym celem wentylacji w przechowalni jest utrzymanie wymaganej temperatury przechowywania przez odprowadzenie ciepła przez system wentylacji przy zachowaniu jak najniższych ubytków naturalnych. Wielkość zastosowanej dawki wentylacyjnej jako najistotniejszego parametru systemu wentylacyjnego w przechowalni (wydajność wentylatorów na 1 tonę ziemniaków), wynika z cieplnego bilansu przechowalni. Ciepło produkowane przez ziemniaki oraz zawarte w elementach

przechowalni musi być odprowadzone przez system wentylacji. Najwięcej ciepła powstaje w ziemniakach podczas oddychania, które zależy głównie od odmiany, temperatury ziemniaków, fazy przechowywania (Frydecka-Mazurczyk, 1982; Burton, 1987). Inne elementy biorące udział w przepływie ciepła to wymiana ciepła przez przegrody, pojemność cieplna wyposażenia przechowalni i ziemniaków, ciepło produkowane przez wentylatory.

Ilość ciepła odprowadzana przez system wentylacji zależy od dawki wentylacyjnej i czasu pracy wentylatorów oraz parametrów wentylowanego powietrza. W całym sezonie przechowalnictwem okres schładzania wymaga największej intensywności wietrzenia, gdyż występuje potrzeba odprowadzenia największego ciepła oddychania ziemniaków oraz wychłodzenia ziemniaków i obiektu wraz z wyposażeniem (Czerko, 1993). Schładzanie zachodzi najczęściej od temperatury około 15°C do temperatury długotrwałego przechowywania 3–8°C (zależnie od kierunku użytkowania ziemniaków). Przy doborze dawki wentylacyjnej istnieje możliwość wyboru między dużą wydajnością i krótkim czasem wietrzenia a mniejszą wydajnością i długim czasem wietrzenia. Wysoka dawka wentylacyjna i krótki czas wentylacji umożliwiają lepsze wykorzystanie warunków zewnętrznych (atmosferycznych) do wentylacji przechowalni.

W Polsce zalecana dawka wentylacyjna wynosi średnio 90 m³/t·h. Jednak budowane w ostatnich latach przechowalnie mają system wentylacyjny, w których dawka wynosi od 18 m³/t·h do 120 m³/t·h. Podczas projektowania nowych przechowalni problem dawki wentylacyjnej jest najgoręcej dyskutowany, gdyż brakuje pełnych danych a nadmierne zwiększenie dawki wentylacyjnej wymaga większych przekrojów kanałów wentylacyjnych oraz klap, które znacznie podnoszą koszty budowy. Z drugiej strony zastosowanie niższych dawek wymaga wydłużenia czasu wietrzenia wpływającego na wzrost ubytków naturalnych.

Celem pracy była analiza głównych czynników wpływających na dobór dawki wentylacyjnej w dwóch typach przechowalni o składowaniu luzem i w paletach skrzyniowych.

METODYKA

Wyliczenie dawki wentylacyjnej oparto na bilansie przechowalni (Rostovski, 1981).

$$Q_{pr} = Q_z + Q_f + Q_p + Q_w$$

$$Q_{pr} = Q_{od}$$

przy czym:

Q_{pr} — ciepło produkowane w przechowalni,

Q_z — ciepło produkowane przez ziemniaki w wyniku oddychania przyjęto dzieląc ziemniaki na 3 grupy pod względem intensywności oddychania w okresie schładzania (Kubiki, 1988):

— $Q_{z\ sr} = 1050$ kJ/t·doba dla odmian o średniej intensywności oddychania,

— $Q_{z\ min} = 678$ kJ/t·doba dla odmian o niskiej intensywności oddychania,

— $Q_{z\ max} = 1428$ kJ/t·doba dla odmian o wysokiej intensywności oddychania.

$$Q_f = m_z \times c_z \times \Delta t$$

gdzie:

Q_f — ciepło fizyczne odprowadzone z ziemniaków (uwzględniono palety), kJ/t·dobę

m_z — masa ziemniaków (t)

c_z — ciepło właściwe ziemniaków, 3.600 kJ/t·K,

Δt — dobowy założony spadek temperatury; 0,25°C (wynika z tempa spadku temperatury zewnętrznej w okresie schładzania przechowalni)

$$Q_p = F \times \Delta t \times K$$

Q_p — ciepło przenikające przez przegrody

F — powierzchnia przegród (m²)

Δt — różnica temperatury wewnętrznej i zewnętrznej $\Delta t = 0,25^\circ\text{C}$,

K — współczynnik przenikania ciepła dla ścian $K = 0,35$ (W/m²·K),

dla sufitu $K = 0,30$,

dla podłogi I strefa $K = 1,28$ W/m² K, II strefa $K = 0,56$ W/m² K

$$Q_w = \frac{V \times \Delta p}{n}$$

Q_w — ciepło produkowane przez wentylatory (kJ/t·dobę)

V — wydajność wentylatora (m³/h)

Δp — przyrost ciśnienia, przechowalnia luzem 250 Pa, w paletach 50 Pa

n — sprawność instalacji wentylacyjnej

$$Q_{od} = V \times \Delta i \times h \times r$$

Q_{od} — ciepło odprowadzone przez wentylowane powietrze (kJ/t·dobę)

V — wydajność wentylatora (m³/h·t)

Δi — różnica entalpii powietrza wypływającego i napływającego do przechowalni (kJ/kg)

h — czas wietrzenia w ciągu doby (h/dobę)

r — gęstość powietrza (1,27 kg/m³)

Ciepło odprowadzane przez system wentylacji (Q_{od}) wyliczono na podstawie pomiarów parametrów powietrza wypływającego z przemy i wpływającego do przemy. Zmierzona różnica entalpii w badanym okresie schładzania wynosiła średnio 4,2 kJ/kg w przechowalni o składowaniu luzem i 2,5 kJ/kg, a w przechowalni paletowej. Pomiary te uzyskano przy różnicy temperatury wynoszącej 2°C między ziemniakami a powietrzem wentylowanym oraz przy dawce wentylacyjnej około 90 m³/t·h. Mimo że jest to parametr uzależniony od wielu czynników jednak metoda pomiaru parametrów wentylacji powietrza w działających przechowalniach wydaje się najkorzystniejszą do tego rodzaju analizy. Taką sugestię przedstawia autor (Rastovski, 1981) metody obliczania bilansu cieplnego przechowalni.

W analizie bilansu cieplnego porównywano dwa typy przechowalni o składowaniu w paletach skrzyniowych i luzem o pojemności 1000 ton:

- przechowalnia o pojemności 1000 ton do składowania luzem ma następujące wymiary: długość — 20 m, szerokość — 17,5 m, wysokość składowania — 4,5 m, powierzchnia przegród: F_p — podłoga = 350 m², F_s — ściany = 444 m², F_d — stropodach = 356 m².
- przechowalnia o składowaniu w paletach skrzyniowych o pojemności 1000 ton ma wymiary: długość — 30 m, szerokość — 18 m, wysokość składowania — 6,0 m, powierzchnia przegród: F_p — podłoga = 540 m², F_s — ściany = 700 m², F_d — stropodach = 554 m².

WYNIKI I DYSKUSJA

W przechowalni o składowaniu luzem przy założeniu, że temperatura, od której następuje schładzanie wynosi 15°C (w praktyce od tej temperatury następuje etap schładzania), a tempo wychładzania 0,25°C na dobę, suma ciepła produkowanego w przechowalni dla trzech poziomów intensywności oddychania bulw jest następująca:

$$Q_{pr\ sr} = Q_f + Q_p + Q_{z\ sr} = 905,5 - 87,3 + 1050 = 1868,2 \text{ kJ/t dobę},$$

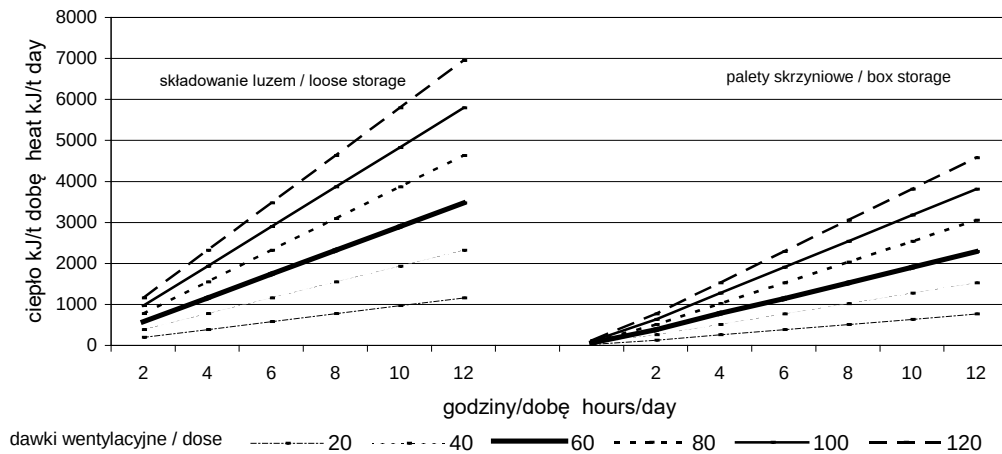
$$Q_{pr\ min} = Q_f + Q_p + Q_{z\ min} = 905,5 - 87,3 + 678 = 1496,2 \text{ kJ/t dobę},$$

$$Q_{pr\ max} = Q_f + Q_p + Q_{z\ max} = 905,5 - 87,3 + 1428 = 2246,2 \text{ kJ/t dobę}.$$

Ciepło odprowadzane przez wentylowane powietrze Q_{od} pomniejszone jest o ciepło produkowane przez silnik wentylatora:

$$Q_{od} = V \times \Delta i \times h \times r - V \times \Delta_p \times n$$

Przy dawce 20 m³/t·h i pracy wentylacji przez 2 godziny na dobę ciepło odprowadzone przez system wentylacji wynosi: $Q_{od} = 193 \text{ kJ/t dobę}$. Zależność odprowadzanego ciepła Q_{od} w przechowalni o składowaniu luzem od dawki wentylacyjnej i czasu trwania wentylacji w ciągu doby przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Zależność odprowadzającego ciepła przez system wentylacji od czasu pracy i dawki wentylacyjnej

Fig. 1. Quantity of heat removed by a ventilation system depending on time and dose of ventilation

Zastosowanie wyższej dawki wentylacyjnej przy tej samej ilości odprowadzanego ciepła skraca znacznie czas wietrzenia.

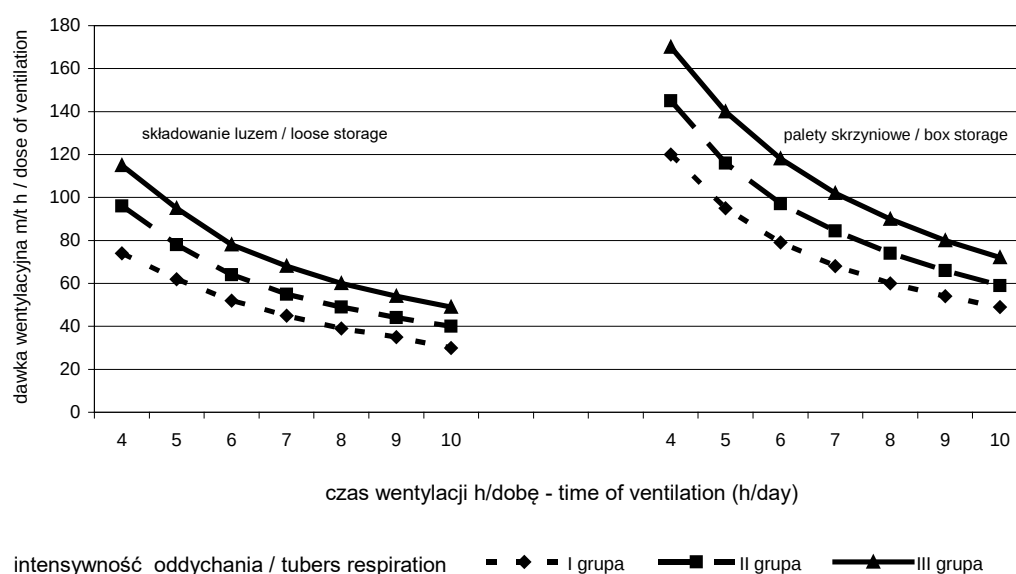
W przechowalni o składowaniu w paletach skrzyniowych przy dobowym spadku temperatury 0,25°C ciepło powstające w przechowalni jest następujące:

$$Q_{pr\ sr} = Q_f + Q_p + Q_{z\ sr} = 980,5 - 131,6 + 1050 = 1898,9 \text{ kJ/t dobowe},$$

$$Q_{pr\ min} = Q_f + Q_p + Q_{z\ min} = 980,5 - 131,6 + 678 = 1526,9 \text{ kJ/dobę},$$

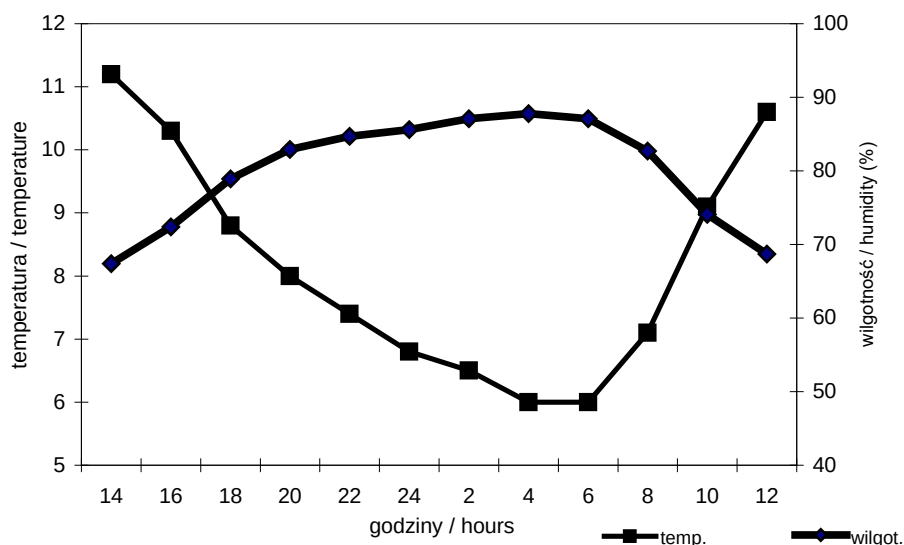
$$Q_{pr\ max} = Q_f + Q_p + Q_{z\ max} = 980,5 - 131,6 + 1.428 = 2276,9 \text{ kJ/dobę}.$$

Ciepło odprowadzone przez wentylowane powietrze przy dawce 20 m³ /t·h i pracy wentylacji przez 2 godziny wynosi: $Q_{od} = 127 \text{ kJ/t doba}$. Zależność odprowadzanego ciepła Q_{od} w przechowalni o składowaniu w paletach skrzyniowych od dawki wentylacyjnej i czasu trwania wentylacji w ciągu doby przedstawia rysunek 1.

**Rys. 2. Zależność dawki wentylacyjnej od intensywności oddychania ziemniaków i czasu pracy systemu wentylacji****Fig. 2. Relationship between ventilation dose and tubers respiration and time of ventilation**

Jak widać z przedstawionych rysunków odprowadzenie ciepła z przechowalni o składowaniu luzem w przedziale 1496 — 2246 kJ/t-doba i 1527 — 2277 kJ/t-doba w przechowalni paletowej może być zrealizowane przez budowanie systemów wentylacyjnych o bardzo dużych wydajności wentylatorów i krótkim czasie wietrzenia lub o małej wydajności i długim czasie wietrzenia.

Rysunek 2 przedstawia zależność dawki wentylacyjnej od czasu pracy wentylacji dla 3 grup odmian o różnej intensywności oddychania w obu typach przechowalni.



Rys. 3. Rozkład dobowy temperatury i wilgotności (październik, średnie z lat 1993-1997)
 Fig. 3. Air temperature and humidity distribution during a day (October, mean 1993–1997)

Z zależności tych wynika, że dobór dawki wentylacyjnej zależy przede wszystkim od dostępnego czasu nadającego się do wietrzenia w ciągu doby. Analizując przyjęte na początku pracy założenie, że tempo wychładzania przechowalni powinno pokrywać się z tempem spadku temperatury zewnętrznej ($0,25^{\circ}\text{C}/\text{doba}$) oraz, że temperatura zewnętrzna dostępna do wentylacji powinna być o około 2°C niższa niż w przechowalni, można z rozkładu dobowego temperatury w październiku (w miesiącu, kiedy w przechowalni występuje okres schładzania) określić dostępny czas nadający się do wietrzenia w ciągu doby. Na rysunku 3 przedstawiono dobowy rozkład temperatury i wilgotności w październiku (średnia z 5 lat). Średnia miesięczna temperatura wynosiła $8,6^{\circ}\text{C}$ i po odjęciu 2°C (temperatura nadająca się do wietrzenia) wynosiła $6,6^{\circ}\text{C}$. Poniżej tej temperatury występuje około 5 godzin czasu do wietrzenia. Ponadto z wykresu można zauważyć, że wilgotność względna powietrza jest w tym okresie bardzo wysoka, powyżej 85%, korzystna do przeprowadzenia wentylacji.

Z zależności przedstawionej na rysunku 3 wynika, że przy 5 godzinach wietrzenia dawka wentylacyjna dla ziemniaków o średniej intensywności oddychania w przechowalni o składowaniu luzem wynosi $78 \text{ m}^3/\text{t}\cdot\text{h}$ a dla paletowej $116 \text{ m}^3/\text{t}\cdot\text{h}$. W przypadku składowania ziemniaków o dużej intensywności oddychania dawki wentylacyjne wynoszą odpowiednio 95 i $140 \text{ m}^3/\text{t}\cdot\text{h}$.

W praktyce występuje tendencja budowania przechowalni z systemem wentylacji o niższej wydajności ($60\text{--}80 \text{ m}^3/\text{t}\cdot\text{h}$) i bez zróżnicowania dawki na przechowalnię luzem i w paletach skrzyniowych. Z przeprowadzonej analizy wynika, że na wielkość dawki ma wpływ dostępny czas wentylacji w ciągu doby. Jest on jednakowy dla obu typów

przechowalni. W celu uzyskania podobnego efektu wychładzania w przechowalni paletowej z systemem opływowym dawka powinna być o 48% większa niż w przechowalni luzem. W praktyce przechowalniczej obserwuje się, że dobowy czas wentylacji w przechowalni paletowej jest dłuższy i wydłużony jest okres schładzania (Leppack, 1991; Czerko, 2000). Drugim czynnikiem wpływającym na dobór dawki wentylacyjnej jest zróżnicowanie ciepła oddychania, które jest uzależnione przede wszystkim od odmiany.

Ponieważ przechowalnia jest inwestycją przewidzianą na kilka dziesięcioleci należy liczyć się z tym, że w przechowalni mogą znaleźć się odmiany o różnej intensywności oddychania. Optymalny dobór dawki wentylacyjnej powinien uwzględniać ziemniaki o średniej i wysokiej intensywności oddychania.

WNIOSKI

1. Wielkość zastosowanej w przechowalni dawki wentylacyjnej zależy od czasu pracy systemu wentylacji w ciągu doby.
2. Do odprowadzania takiej samej energii cieplnej system wentylacji w przechowalni paletowej opływowej wymaga o 48% większej dawki wentylacyjnej niż w przechowalni o składowaniu luzem z systemem przepływowym.
3. Odmiany o wysokiej intensywności oddychania w porównaniu do odmian o średniej intensywności wymagają zwiększenia dawki wentylacyjnej o 20%.
4. Wyliczone z bilansu cieplnego dawki wentylacyjne są następujące: przechowalnia o składowaniu luzem, 78–95 m³/t·h i przechowalnia do składowania w paletach skrzyniowych, 116–140 m³/t·h.
5. Zmniejszenie dawki wentylacyjnej jest możliwe, ale kosztem wydłużenia dobowego czasu wietrzenia.

LITERATURA

- Burton W. G. 1987. The physic and physiology of storage. In: The Potato Crop. P. M. Harris (ed.). London.
- Czerko Z. 1993. Zmiany energochłonności i utrzymania mikroklimatu w przechowalni w zależności od wymagań technologicznych odmian. Biul. Inst. Ziem. 43: 137 — 146.
- Czerko Z. 2000. Ocena systemu wentylacyjnego opływowego górnego w przechowalni ziemniaków. Biul. IHAR 213: 275 — 283.
- Frydecka-Mazurczyk A. 1982. Oddychanie bulw ziemniaka w czasie wzrostu i przechowywania. Ziemiak 1981/82: 124 — 135.
- Kubicki K. 1988. Biologiczne i techniczne uwarunkowania przechowywania ziemniaków. Warszawa, PWN.
- Leppack E. 1991. Versuche zur Kartoffellagerung KTBL — Versuchstation Dethlingen, Jahresbericht: 18 — 24.
- Rastovski A., Es van A. 1981. Storage of potatoes. Centre for Agricultural Publishing and Documentation. Wageningen.