

ZMIANY STĘŻENIA CO₂ W DWÓCH TYPAH PRZECHOWALNI ZIEMNIAKÓW

Zbigniew Czerko

Zakład Przechowalnictwa i Przetwórstwa Ziemiaka,
Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Oddział w Jadwisinie

Wstęp

Dwa zasadnicze typy przechowalni o składowaniu ziemniaków luzem i w paletach skrzyniowych posiadają różne systemy wentylacji. W przechowalni o składowaniu luzem stosowany jest system wentylacji przepływowej, w którym podczas wentylacji powietrze przepływa wokół wszystkich bulw, a po zaprzestaniu wentylacji ruch powietrza przez pryzmę jest ograniczony do minimum. W przechowalni o składowaniu w paletach skrzyniowych stosowany jest system opływowy, w którym podczas wentylacji następuje szybka wymiana powietrza w przestrzeni przechowalni, natomiast ruch powietrza wewnątrz palety skrzyniowej odbywa się wykorzystując zjawisko grawitacji przez co wymiana powietrza w porach między bulwami jest powolna. Tak różne systemy wymiany powietrza w przechowalni mogą prowadzić do różnego stężenia CO₂. Wielu autorów [BISHOP, THOROGOOD 1996; WILLIAMS, COBB 1992] uważa, że zwiększone stężenie CO₂ w przechowywanych ziemniakach powoduje pogorszenie jakości produktów smażonych oraz pogorszenie jakości handlowej ziemniaka. Autorzy ci uważają, że sterowanie wentylacją powinno uwzględnić intensywność oddychania ziemniaków i stężenie CO₂ w przechowalni.

Celem badań była analiza zmian stężenia CO₂ w przechowalni o składowaniu luzem i w paletach skrzyniowych podczas długotrwałego przechowywania ziemniaków.

Materiał i metody

Analizę stężenia CO₂ przeprowadzono w 2 typach przechowalni: o składowaniu luzem i o składowaniu w paletach skrzyniowych.

Przechowalnia o składowaniu luzem o wysokości 4,5 m posiadała system wentylacji przepływowej o dawce powietrza 120 m³·t⁻¹·h⁻¹. Średni dobowy czas wietrzenia wyniósł 4 godziny.

Przechowalnia o składowaniu w paletach skrzyniowych posiadała system opływowy. Palety były ustawione w stosy na 4 poziomach. Konstrukcja palety drewniana o pojemności 1 000 kg i wymiarach 180 x 120 x 100 cm. Szczeliny między

deskami 2,0 cm. Napływ powietrza górny, rozprowadzany w przestrzeni przechowalni przez kanały rurowe i opad chłodnego powietrza między stosami palet. Dawka wentylacyjna wynosiła $72 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, a dobowy czas wietrzenia 7 godzin. W obu przechowalniach składowane były ziemniaki jadalne o kalibrze 4–6 cm. W długotrwałym okresie przechowywania temperatura wynosiła $6^\circ\text{--}8^\circ\text{C}$. Czujniki do pomiaru koncentracji CO_2 umieszczono w przechowalni o składowaniu luzem na wierzchu przymy, a w przechowalni o składowaniu w paletach skrzyniowych w górnej części na 3 poziomie palety. Czujnik do pomiaru CO_2 typu Airtech działa na zasadzie pochłaniania strumienia podczerwieni nierozproszonej, czujnik nie jest wrażliwy na stopień zawilgocenia powietrza. Zakres czujnika przy pomiarze stężenia CO_2 wynosił 0–10% objętości przy 5% dokładności. Mierzono tempo spadku i wzrostu stężenia CO_2 w fazie wietrzenia powietrzem zewnętrznym i po zaprzestaniu wietrzenia w długotrwałym okresie przechowywania. Wyliczono także spadek stężenia CO_2 w badanych przechowalniach wykorzystując następujący wzór [JONES 1981] dotyczący zaniku stężenia dwutlenku węgla podczas wentylacji:

$$k = \left(\frac{10^6 V_z}{V_w} + k_z \right) (1 - e^{-n}) + k_o e^{-n}$$

gdzie:

k – stężenie CO_2 w przechowalni,

V_z – ilość wydzielanego CO_2 przez ziemniaki ($2,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$),

V_w – natężenie wentylowanego powietrza (luzem – $120 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, palety – $72 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$),

k_z – stężenie CO_2 w wentylowanym powietrzu (0,040%),

n – ilość wymian na 1 godzinę (luzem $n = 92,3$; palety $n = 25,5$),

k_o – początkowe stężenie CO_2 w przechowalni (1,0%).

Wyniki i dyskusja

Stężenie CO_2 w przechowalni zależy od intensywności oddychania ziemniaków, masy składowanych ziemniaków oraz od wydajności systemu wentylacji i struktury budynku. Intensywność oddychania ziemniaków, która jest zasadniczym źródłem koncentracji CO_2 w przechowalni, zależy od wielu czynników, ale najistotniejsze to: odmiana, temperatura przechowywania i stan fizjologiczny bulw [FRYDECKA-MAZURCZYK 1981/1982]. Niewielki wpływ na ogólne stężenie CO_2 szczególnie w pierwszym okresie podczas załadunku przechowalni może mieć praca ludzi i maszyn. Wpływ ten jest maksymalnie zredukowany poprzez stosowanie w tym okresie ciągłej wymiany powietrza.

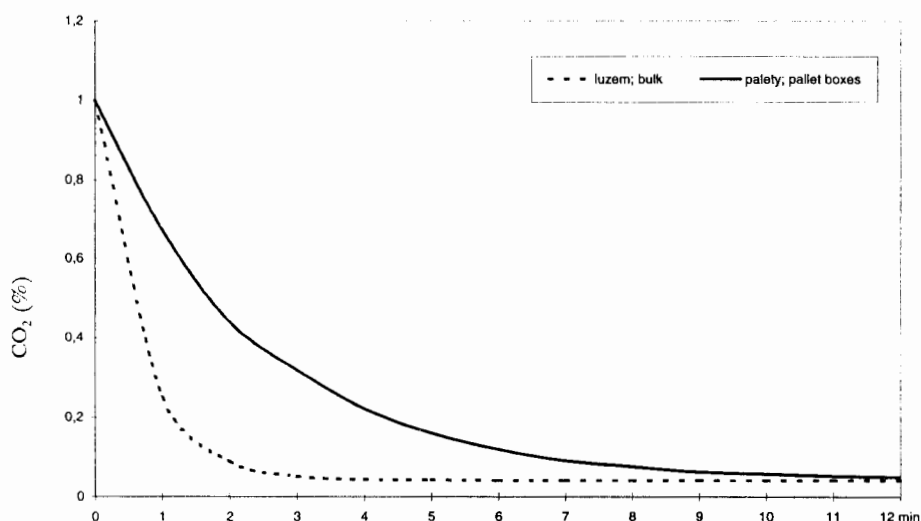
Ogólne dane o systemach wentylacji w badanych przechowalniach przedstawiono w tabeli 1. W przechowalni o składowaniu luzem kubatura przechowalni przypadająca na 1 m^3 ziemniaków wynosiła $1,87 \text{ m}^3$, a w przechowalni o składowaniu w paletach skrzyniowych $2,88 \text{ m}^3$. Kubatura przechowalni przypadająca na 1 m^3 ziemniaków łącznie z dawką wentylacyjną, decyduje o krotności wymiany powietrza w przechowalni. W przechowalni o składowaniu luzem wymiana powietrza na godzinę wynosiła $92,3 \text{ m}^3$, a w przechowalni o składowaniu w paletach skrzyniowych tylko $25,5 \text{ m}^3$. Przebieg wyliczonego spadku stężenia CO_2 (%) w badanych przechowalniach przedstawiono na rysunku 1.

Tabela 1; Table 1

Ogólne dane o systemach wentylacji w badanych przechowalniach
General date about ventilation system in research storage

Typ przechowalni Type of storage	Masa składowanych ziemniaków Mass of stored potatoes	Rodzaj wentylacji Type of ventilation	Dawka wentylacji Rate of ventilation (m ³ ·t ⁻¹ ·h ⁻¹)	Całkowita kubatura przechowalni Total space of storage (m ³)	Kubatura przechowalni przypadająca na 1 m ³ ziemniaków Space of storage per 1 m ³ of potatoes	Ilość wymiany powietrza Amount of air exchange (m ³ ·h ⁻¹)
Luzem Bulk	1000	przepływową through	120	2800	1,87	92,3
Palety skrzyniowe Pallet boxes	1000	opływowa around	72	4320	2,88	25,5

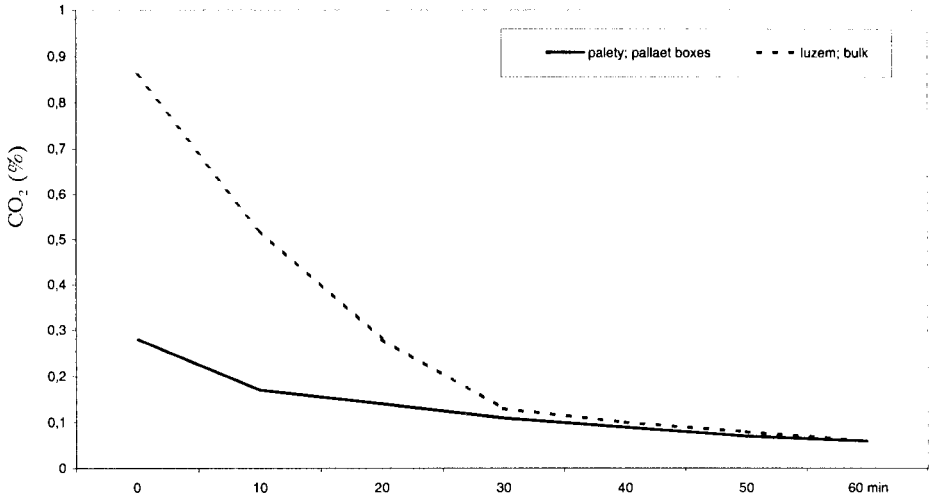
W przechowalni o składowaniu luzem czas wentylacji potrzebny do obniżenia stężenia do poziomu 0,060% CO₂ wyniósł 3 min, a w przechowalni o składowaniu w paletach skrzyniowych 9 minut. Tak krótkie czasy wentylacji przedstawione na wykresie (rys. 1) są bardzo korzystne w procesie wymiany powietrza w przechowalni. Jednak w rzeczywistości, tak w jednej, jak i w drugiej przechowalni ruch powietrza jest zakłócony przez pryzmę ziemniaków i odpowiednio ustawione palety. Dlatego w przestrzeni przechowalni występują strefy o większej i mniejszej wymianie powietrza.



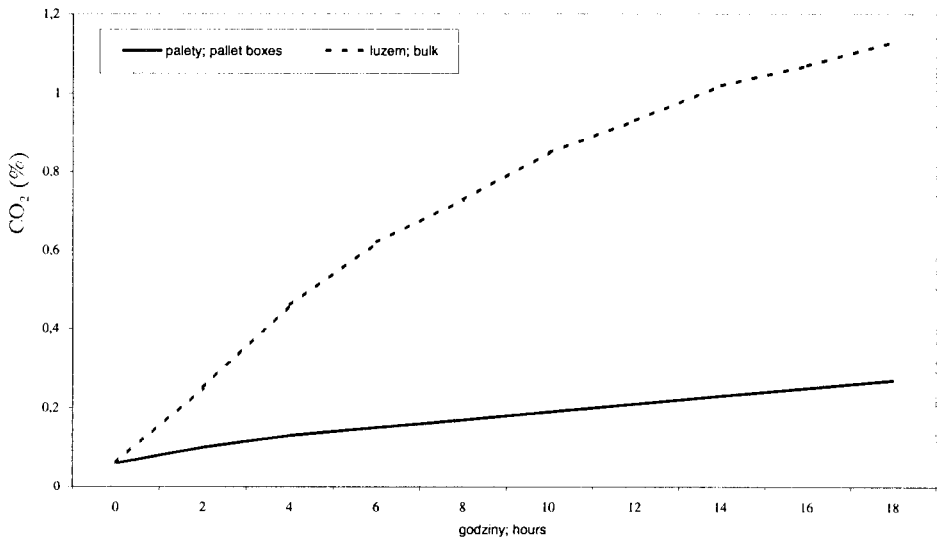
Rys. 1. Teoretyczny wyliczony spadek stężenia CO₂ dla systemu wentylacji w badanych przechowalniach

Fig. 1. Theoretical decrease of CO₂ concentration during ventilation of research storage

Rzeczywiste badania oparte na pomiarze stężenia CO_2 w przechowalniach (rys. 2, 3) przedstawiają, że przebieg wzrostu stężenia CO_2 w przechowalniach po zaprzestaniu wentylacji, jak i spadek stężenia CO_2 podczas wentylacji, przebiega inaczej niż wynikałoby to z teoretycznych wyliczeń.



Rys. 2. Spadek stężenia CO_2 w badanych przechowalniach
Fig. 2. Decrease of CO_2 concentration in research storage



Rys. 3. Wzrost stężenia CO_2 w badanych przechowalniach
Fig. 3. Growth of CO_2 concentration in research storage

Po rozpoczęciu wentylacji powietrzem zewnętrznym następuje spadek stężenia CO_2 (rys. 2). Osiągnięcie stężenia do poziomu 0,060% następuje dopiero po 60 minutach w przechowalni o składowaniu luzem i w paletach skrzyniowych.

Biorąc pod uwagę, że czas wentylacji potrzebny do obniżenia temperatury w tego typu przechowalniach wynosił 2–10 godz. na dobę to proces obniżenia CO₂ do najniższego poziomu będzie zachodził w każdym cyklu wietrzenia.

Wzrost stężenia CO₂ w badanych przechowalniach przedstawia rysunek 3. W przechowalni o składowaniu luzem tempo wzrostu stężenia CO₂ w okresie bez wentylacji jest większe niż w przechowalni o składowaniu w paletach skrzyniowych. Związane jest to z mniejszym wskaźnikiem kubatury przechowalni przypadającej na 1 m³ ziemniaków (luzem 1,88, a w paletowej – 2,88). Teoretyczny przyrost stężenia CO₂ w danym obiekcie przy stałym źródle zasilania ma przebieg liniowy. W badanych przechowalniach przyrost stężenia ma tendencję malejącą. Przyczynić się do tego może rozciągnięte w czasie rozpraszanie CO₂ poza strefę przyzmy ziemniaków w trudno dostępnych przestrzeniach przechowalni (przestrzeń kanałów wentylacyjnych).

Głównym kryterium decydującym o potrzebie wentylacji jest temperatura. W obu przechowalniach czas między sąsiednimi cyklami wentylacji wynosił 16–20 godzin co powodowało wzrost stężenia CO₂ do poziomu 0,870% w przechowalni o składowaniu luzem i 0,300% w przechowalni o składowaniu w paletach skrzyniowych.

Ogólne dane o stężeniu CO₂ w obu przechowalniach przedstawiono w tabeli 2. Średni poziom CO₂ w długotrwałym okresie przechowywania wynosił w przechowalni luzem 0,370%, a w przechowalni w paletach skrzyniowych 0,119%. Maksymalne wartości stężenia CO₂, które wynosiły 1,3% w przechowalni luzem i 0,380% w przechowalni o składowaniu w paletach skrzyniowych osiągnięto w sytuacjach, kiedy występował dłuższy okres bez wietrzenia (24–30 godzin), sztucznie wydłużony w niniejszym doświadczeniu.

Tabela 2; Table 2

Ogólne dane o stężeniu CO₂ w przechowalni o składowaniu luzem
i w paletach skrzyniowych

General data of CO₂ concentration in bulk and pallet boxes of potato storage

Wyszczególnienie Specification	Stężenie CO ₂ (%) CO ₂ concentration (%)	
	luzem; bulk	palety skrzyniowe pallet boxes
Srednie stężenie CO ₂ Average concentration of CO ₂	0,345	0,119
Stężenie po 18 godzinach – bez wentylacji Concentration of CO ₂ after 18 hours – without ventilation	0,770	0,210
Stężenie po wentylacji Concentration of CO ₂ after ventilation	0,050	0,050
Maksymalne zanotowane stężenie Maximum concentration CO ₂ noted	1,300	0,300
Przyrost CO ₂ bez wietrzenia (CO ₂ :10 h ⁻¹) Increase of CO ₂ without ventilation	0,600	0,120
Spadek CO ₂ podczas wietrzenia (CO ₂ :0,5 h ⁻¹) Decrease of CO ₂ during ventilation	0,700	0,120

Uzyskane wyniki wskazują, że poziom CO₂ osiągnąony w obu typach przechowalni, przy prawidłowej wentylacji, jest dużo niższy niż podawany w literaturze

jako ten, który może spowodować zmiany jakości ziemniaków.

BURTON [1978a, 1978b] przedstawił badania wpływu stężenia CO_2 na wielkość kielków, w których wzrost stężenia CO_2 do 5% powodował wzrost masy kielków na bulwach, a podczas dalszego wzrostu stężenia CO_2 masa kielków malała. Poziom 5% stężenia CO_2 w przechowalni prawidłowo wentylowanej nigdy nie występuje.

Przetwory z ziemniaków przechowywanych w warunkach większego stężenia CO_2 mogą ulec pogorszeniu jakości. BRIDDON, JINA [1996] podają, że frytki wyprodukowane z ziemniaków przechowywanych w warunkach podwyższonego stężenia CO_2 charakteryzują się wzrostem ciemnienia. Stężenie CO_2 w zakresie 0,5–1,5% nie powodowało istotnego wzrostu ciemnienia frytek w stosunku do frytek zrobionych z ziemniaków przechowywanych w warunkach bez podwyższonego stężenia CO_2 . Jednak już stężenie 0,6% CO_2 w przechowalni ziemniaków może prowadzić do przemian okresu spoczynku, a tym samym do zmian metabolicznych, powodujących zwiększanie zawartości sacharozy i pogorszenie koloru produktów smażonych.

MAWSON i KUNINGTON [1999] w swoim doświadczeniu wykazali wzrost zawartości sacharozy w ziemniakach przechowywanych w kontrolowanej atmosferze z dużą zawartością CO_2 (5%) i niską tlenu (5%).

Wentylacja w badanych przechowalniach odbywała się codziennie, a jeżeli przebieg temperatury zewnętrznej i w przechowalni nie wymagał wentylacji to system sterowania był tak zaprogramowany, aby codziennie zachodziła kilkunastominutowa wymiana powietrza. Jak przedstawiają wykresy (rys. 2) spadku stężenia CO_2 w przechowalni czas trwania wentylacji powinien trwać przez kilkanaście minut każdego dnia, niezależnie od zasadniczej wentylacji związanej z utrzymywaniem temperatury.

Temat koncentracji CO_2 w przechowalni powinien być kontynuowany w dwóch kierunkach, jeden to szczegółowe pomiary stężenia CO_2 , szczególnie w miejscach gorzej wentylowanych, np.: w dużych paletach skrzyniowych, a drugi kierunek to reakcja danej odmiany na różne stężenie CO_2 w aspekcie jakości przetworów ziemniaka.

Wnioski

1. Średni poziom stężenia CO_2 w okresie długotrwałego przechowywania ziemniaków w przechowalni o składowaniu luzem wynosił 0,345%, a w przechowalni o składowaniu w paletach skrzyniowych 0,119%.
2. Maksymalne stężenie CO_2 w okresie bez wentylacji (po 18 godzinach) osiągało wartość 0,770% w przechowalni luzem, a w przechowalni o składowaniu w paletach skrzyniowych – 0,210%.
3. Szybszy wzrost stężenia CO_2 występował w przechowalni o składowaniu luzem (0,6%/10 godz.) niż w przechowalni o składowaniu w paletach skrzyniowych (0,12%/10 godz.).
4. Podczas wentylacji następuje szybki spadek stężenia CO_2 w obu typach przechowalni przy czym w przechowalni o składowaniu luzem spadek wynosi 0,700% na 0,5 godziny, a w przechowalni o składowaniu w paletach skrzyniowych 0,120% na 0,5 godziny.

Literatura

- BISHOP C.F.II., THOROGOOD A.J. 1996. *In store (Box) respiration monitoring of potatoes with relation to storage life and storage design*. 13th Trien. Conf. of EAPR Abstract: 105–106.
- BRIDDON A., JINA A. 1996. *Fry colours improve with preconditioning but carbon dioxide can be damaging*. Sutton Bridge Experimental Unit, Annual Review: 8–10.
- BURTON W.G. 1978a. *Post-harvest behaviour and storage of potatoes*. Academia Press, London, New York, San Francisco, Cooker T.H. (Ed.), Applied Biology vol. II: 86–228.
- BURTON W.G. 1978b. *The physics and physiology of storage*, in: *The Potato Crop*. Harris P.H. (Ed.) Chapman and Hall, London: 545–606.
- FRYDECKA-MAZURCZYK A. 1981/1982. *Oddychanie bulw ziemniaka w czasie wzrostu i przechowywania*. Ziemiak: 125–135.
- JONES W.P. 1981. *Klimatyzacja*. Arkady W-wa: 512 ss.
- KUBICKI K. 1988. *Biologiczne i techniczne uwarunkowania przechowywania ziemniaków*. PWN W-wa: 207.
- MAWSON K., KUNINGTON A.C. 1999. *Storage of new potatoes using controlled atmosphere*. Abstracts of Conference Papers, Posters and Demonstrations. Sorrento, Italy, May 2–7: 604–665.
- VEERMAN A. 1996. *The effect of increased CO₂ levels on fry colour during storage*. 13th Trien Conf. of EAPR, Abstracts: 419–420.
- WILLIAMS R.O., COBB A.II. 1992. *Relationships between storage temperatures, respiration, reducing sugar content and reconditioning regimes in stored potato tubers*. Assoc. of Appl. Biol. Conference 33, Cambridge: 213–220.

Słowa kluczowe: dwutlenek węgla, przechowywanie ziemniaków, wentylacja

Streszczenie

W badaniach oceniano zmianę stężenia CO₂ w dwóch typach przechowalni; o składowaniu luzem i w paletach skrzyniowych. Pomiar stężenia CO₂ dokonywano w fazie wentylacji, w której następowało zmniejszenie stężenia CO₂ oraz w fazie po zaprzestaniu wentylacji. Przyrost stężenia CO₂ w wyniku oddychania ziemniaków był większy w przechowalni o składowaniu luzem i wynosił 0,6%/10 godz., a w przechowalni o składowaniu w paletach skrzyniowych 0,12%/10 godz. Średnia wartość stężenia CO₂ w przechowalni luzem wynosiła 0,345%, a w paletach skrzyniowych 0,119%. Podczas wentylacji następował spadek stężenia CO₂, szybciej w przechowalni luzem 0,7%/0,5 godz. niż w paletowej 0,12%/0,5 godz. Podczas wentylacji niski poziom stężenia CO₂ osiągnięto w obu typach przechowalni już po 0,5 godzinie wietrzenia powietrzem zewnętrznym.

CHANGE OF CO₂ CONCENTRATION IN TWO TYPES OF POTATO STORAGE

Zbigniew Czerko

Department of Potato Storage and Processing,
Plant Breeding and Acclimatization Institute, Branch Jadwisin

Key words: carbon dioxide, potato storage, store, ventilation

Summary

Concentration of CO₂ in two types of storage (bulk and pallet box) during and after air ventilation was examined. The average value of CO₂ concentration in the bulk storage amounted to 0.345%/h and in the pallet box one to 0.119 %/h. In the bulk storage there was a higher increase of CO₂ concentration during potato tuber respiration (0.6%/10 h) than in the pallet box (0.12%/10 h). During ventilation faster decrease of CO₂ concentration was noticed in the bulk storage (0.7%/0.5 h) than in the pallet box one (0.12%/0.5 h). After 0.5 hour of air ventilation a low level of CO₂ concentration in two types of storage was achieved.

Dr Zbigniew **Czerko**

Zakład Przechowalnictwa i Przetwórstwa Ziemniaka

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin

Oddział w Jadwisinie

05-140 SEROCK

e-mail: iharoj@pol.pl