

*Jan Ircha  
Zakład Instalacji Budowlanych i Fizyki Budowli  
Politechnika Warszawska*

## **BILANS CIEPLNY PRZECHOWALNI JABŁEK**

### **STRESZCZENIE**

W referacie przedstawiono wyniki badań mikroklimatu powietrza wewnętrznego w dwukomorowej przechowalni jabłek o pojemności 45 ton, usytuowanej w Płocku, obsługującej małe kilkuhektarowe gospodarstwo sadownicze. Na podstawie badań wykonano bilans cieplny przechowalni a następnie opracowano zalecenia mające na celu poprawę mikroklimatu w obiekcie.

**Słowa kluczowe:** Przechowalnie jabłek, mikroklimat, eksploatacja, bilans cieplny

### **Wprowadzenie**

Od kilku lat w Zakładzie Instalacji Budowlanych i Fizyki Budowli Politechniki Warszawskiej prowadzone są badania mikroklimatu w przechowalniach owoców, głównie jabłek, mające na celu ocenę skuteczności ich działania a w konsekwencji ustalenie zaleceń poprawiających ten stan.

W rejonie Płocka produkcja jabłek odbywa się w małych kilkuhektarowych sadach. Przechowalnie to obiekty o pojemności do 100 ton, wolnostojące lub adaptowane z innych budynków gospodarczych. Powyższy fakt wymusza stosowanie rozwiązań o niewielkich kosztach inwestycyjnych.

Przechowalnia to budynek izolowany termicznie, w którym nie ma urządzeń chłodniczych, a jedynie system wentylacji zapewniający chłodzenie złożonych owoców przy wykorzystaniu zimnego powietrza zewnętrznego.

Owoce po zdjęciu z drzewa pozostają nadal organizmami żywymi. Proces oddychania owoców polega na spalaniu przy udziale tlenu związków organicznych, głównie cukrów i wydzielaniu wody, dwutlenku węgla i energii. Intensywność oddychania owoców jest wskaźnikiem intensywności procesów metabolicznych,

jakie w nich zachodzą [2]. Im wolniej przebiegają te procesy, tym wolniej zachodzą przemiany prowadzące do dojrzewania owoców.

Jak wynika z danych literaturowych każda z odmian jabłek ma swoje wymagania co do parametrów mikroklimatu powietrza w przechowalni, przy utrzymaniu których okres ich przechowywania w stanie najmniej zmienionym jest najdłuższy [3].

*Tabela 1. Parametry mikroklimatu w przechowalni jabłek*  
*Table 1. Microclimate parameters in the apple storage facility*

| Odmiana jabłek | Temperatura [°C] | Wilgotność względna [%] | Okres przechowywania [mies.] |
|----------------|------------------|-------------------------|------------------------------|
| Letnie         | 0 - 4            | 85 - 90                 | 1 – 2                        |
| Jesienne       | 0 - 4            | 85 - 90                 | 2 – 4                        |
| Zimowe         | 0 - 4            | 85 - 90                 | 4 – 8                        |

## Badania własne

W tej publikacji przedstawiono wyniki badań w rzeczywistej przechowalni jabłek usytuowanej w Płocku. Jest to budynek przeznaczony do długotrwałego magazynowania i przechowywania jabłek z własnego sadu, głównie odmian zimowych: McIntosh, Cortland, Idared i Jonagold. Cykl przechowalniczy trwa od września do kwietnia.

Budynek przechowalni jest budynkiem wolnostojącym, parterowym posiadającym dwa pomieszczenia użytkowe. Konstrukcja budynku oparta jest na szkieletcie 9 słupów żelbetonowych oraz podciągach, pełniących jednocześnie rolę wieńca. Ściany zewnętrzne i wewnętrzne wykonane są w technologii warstwowej, z pustaków żuźlowych, połowy bloczka z betonu komórkowego, dwóch warstw papy asfaltowej, 10 cm wełny mineralnej, z tynkami – od wewnątrz tynk cementowy a na zewnątrz – tynk cementowo-wapienny. Drzwi wejściowe do budynku i komory przechowalniczej - nietypowe - z blach i kątowników stalowych. Budynek wyposażony jest w instalację elektryczną trójfazową, oświetleniową oraz wentylację.

Podłoga w strefach I i II jest wykonana z następujących warstw: gładź cementowa, 2 x papa asfaltowana, beton zwykły z kruszywa kamiennego i żużel paleniskowy. Budynek przechowalni wyposażony jest w wentylację mechaniczną wywiewną z dwoma wentylatorami dachowymi typu WD-25, po jednym w każdym pomieszczeniu. Wentylatory uruchamiane były ręcznie przez właściciela. Cztery otwory nawiewne o wymiarach 400 x 600 mm są usytuowane bezpośrednio nad posadzką w ścianach zewnętrznych komory przechowalniczej.

Wszystkie otwory nawiewne wyposażone są w klapy zamykające, ocieplone styropianem o grubości 5 cm, których współczynnik przenikania ciepła wynosi 0,741 [W/m<sup>2</sup>·K]

Dla takiej konstrukcji przegród budowlanych ustalono współczynniki przenikania ciepła:

- |                             |                                                      |
|-----------------------------|------------------------------------------------------|
| a) ściana zewnętrzna – śz   | $U_{\text{sz}} = 0,334 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$   |
| b) ściana wewnętrzna – św   | $U_{\text{sw}} = 1,165 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$   |
| c) stropodach – std         | $U_{\text{std}} = 0,657 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  |
| d) podłoga I strefy – pdI   | $U_{\text{pdI}} = 0,720 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  |
| e) podłoga II strefy – pdII | $U_{\text{pdII}} = 0,582 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ |

Pomiary parametrów powietrza zewnętrznego i wewnętrznego dokonywano przy pomocy 3 termohigrografów, które rejestrowały w sposób ciągły zmiany temperatury oraz wilgotności względnej powietrza zewnętrznego i powietrza w komorze przechowalni.

Zarejestrowane zmiany wartości temperatury były podstawą do opracowania bilansu cieplnego komory przechowalniczej oraz szczegółowej analizy wszystkich jego składowych. Na bilans cieplny komory przechowalniczej składają się następujące czynniki: [4]

$$Q = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7) \quad [\text{W}]$$

gdzie:

- Q – strumień cieplny dla komory przechowalniczej, konieczny do zbilansowania zysków i strat ciepła,
- Q<sub>1</sub> – strumień cieplny przenikający z otoczenia,
- Q<sub>2</sub> – strumień cieplny doprowadzany z produktem,
- Q<sub>3</sub> – strumień cieplny od oddychania owoców,
- Q<sub>4</sub> – strumień cieplny wprowadzany z powietrzem wentylacyjnym,
- Q<sub>5</sub> – strumień cieplny od pracujących silników,
- Q<sub>6</sub> – strumień cieplny od oświetlenia,
- Q<sub>7</sub> – strumień cieplny od pracujących ludzi.

W obliczeniach bilansu cieplnego nie uwzględniano wpływu ciepła wydzielanego od oświetlenia i od pracy ludzi, ze względu na ich małe wartości w porównaniu do ogólnej ilości ciepła, jak i trudności określenia czasu występowania tych składowych. Ciepło od pracy silników nie występuje, gdyż wentylator wywiewny jest zainstalowany na zewnątrz budynku.

Ponadto w obliczeniach nie uwzględniano ciepła doprowadzanego z produktem, ponieważ w trakcie okresu badań nie było już dalszych dostaw owoców. Uwzględniano natomiast sprzedaż, gdyż zmniejszała się ilość przechowywanych jabłek.

W czasie cieplejszych dni, kiedy temperatura powietrza zewnętrznego była bliska 0°C lub wyższa, właściciel przechowalni włączał wentylację na okres około  $0,5 \div 7,0$  godzin, natomiast przy bardzo niskich temperaturach powietrza zewnętrznego włączał elektryczną nagrzewnicę powietrza o mocy 1500 [W] przez okres ok.  $1,0 \div 6,0$  godzin.

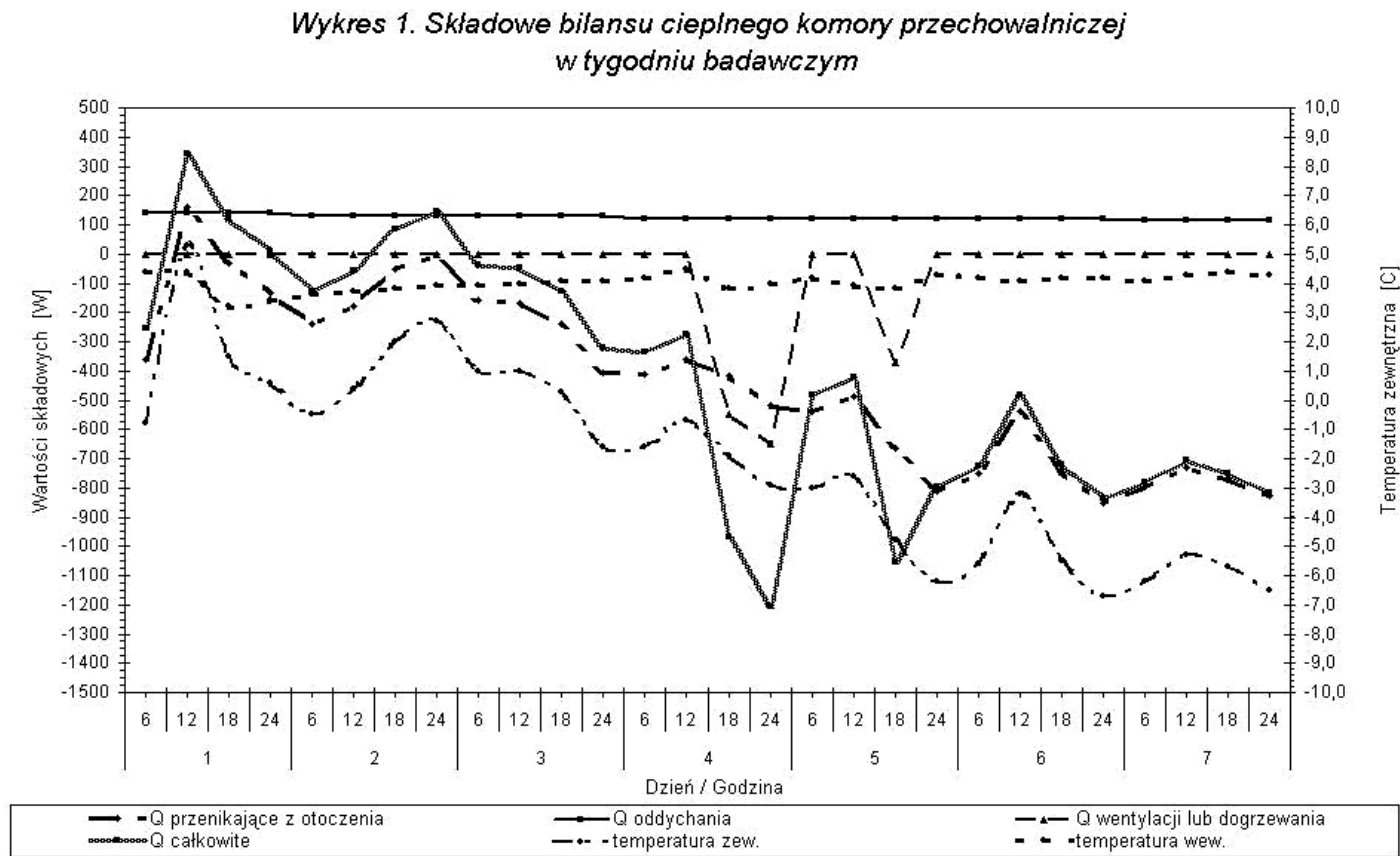
Przykładowe wyniki obliczeń eksploatacyjnego bilansu cieplnego dla komory przechowalniczej przedstawiono na wykresie nr 1.

### **Analiza otrzymanych wyników**

Na wykresie 1 przedstawiono zmienność wartości składowych bilansu cieplnego dla komory przechowalniczej w przykładowym tygodniu badawczym. W tym okresie temperatura powietrza zewnętrznego mieściła się w granicach od -6,7°C do 5,3°C. Na wykresie widać, że największy wpływ na całkowity bilans ciepła w komorze ma strumień ciepła przenikający przez przegrody budowlane (ściany, stropodach, i strefę podłogi) z wnętrza przechowalni do otoczenia. W tym okresie, z uwagi na występowanie niskich temperatur powietrza zewnętrznego, ciepło przenikało z pomieszczenia przechowalni a całkowity bilans ciepła był w większości ujemny. Oznacza to, że straty ciepła przewyższają zyski. Jednak w pomieszczeniu bilans cieplny musi być zrównoważony i ciepło konieczne do zamknięcia tego bilansu pojawiło się w układzie.

W analizowanym tygodniu sprzedano około 1,6 tony jabłek, co powodowało stopniowe zmniejszanie ilości ciepła oddychania od 138 W do 116,6 W.

W pierwszym dniu badań temperatura zewnętrzna wzrosła do +5,3°C. Wpłynęło to na zwiększenie strumienia ciepła przenikającego przez przegrody budowlane do komory i zbilansowany strumień ciepła w przechowalni wzrósł do +345 W. W kolejnych pięciu dniach temperatura otoczenia stopniowo spadała do wartości -6,7°C, a tym samym wzrosły straty i bilans cieplny przechowalni znowu był ujemny. W kolejnych dniach widoczny jest wpływ włączenia wentylacji na okres odpowiednio 4 i 1 godziny. Przy panujących wówczas na zewnątrz ujemnych temperaturach, spowodowało to wprowadzenie do komory strumienia ciepła o ujemnej wartości, od -371 W do -649 W i obniżenie całkowitego bilansu cieplnego przechowalni do wartości -1204 W. Wentylacja wpłynęła również na zmniejszenie temperatury wewnętrznej z +4,5°C do +3,8°C.



71 Fig. 1. Heat balance constituents of a storage chamber in the week subject to tests

Na całkowity bilans cieplny przechowalni największy wpływ miało ciepło przenikające przez przegrody budowlane. Przez większość czasu całkowity bilans cieplny badanej komory był ujemny, czyli było więcej strat ciepła niż jego zysków. Jednak temperatura wewnętrzna nie zmieniała się lub nieznacznie malała, mimo że stan taki występował przy bardzo niskich wartościach temperatury powietrza zewnętrznego i utrzymywał się przez kilka dni.

Na podstawie otrzymanych wyników można wnioskować, że badana komora przechowalnicza stwarzała nieodpowiedni mikroklimat dla przechowywanych owoców. Temperatura powietrza wewnętrznego przez cały okres badań wynosiła średnio  $+3,6^{\circ}\text{C}$  i była wyższa od temperatury optymalnej ( $+2,0^{\circ}\text{C}$ ). Aby ograniczyć wpływ zmian temperatury zewnętrznej na parametry powietrza wewnętrznego w badanej przechowalni oraz ustabilizować mikroklimat panujący w jej komorze, należałoby przeprowadzić gruntowną modernizację obiektu.

### **Propozycje poprawy mikroklimatu powietrza w przechowalni**

W rozpatrywanym budynku przechowalni należy poddać modernizacji głównie przegrody budowlane, w celu zmniejszenia przenikającej przez nie ilości ciepła z otoczenia do wnętrza komory i w odwrotnym kierunku. Obliczone współczynniki przenikania ciepła dla istniejących przegród przekraczają dopuszczalne maksymalne wartości, podawane w wytycznych do projektowania komór chłodniczych [5]:

- |                                       |                            |
|---------------------------------------|----------------------------|
| – dla ścian zewnętrznych:             | 0,41 [W/m <sup>2</sup> ·K] |
| – dla ścian wewnętrznych:             | 0,47 [W/m <sup>2</sup> ·K] |
| – dla stropodachów nie wentylowanych: | 0,31 [W/m <sup>2</sup> ·K] |
| – dla podłóg:                         | nie izoluje się            |

Zatem modernizacja polega na ociepleniu od strony wewnętrznej wszystkich ścian komory 5 cm warstwą styropianu a stropodachu - 10 cm warstwą, a następnie przykryciu styropianu 2 cm warstwą tynku cementowego. Również należy ocieplić drzwi wejściowe do komory przechowalniczej stosując 4 cm warstwą styropianu i 1 cm warstwę płyty pilśniowej. Uzyskane w wyniku modernizacji wartości współczynników przenikania ciepła przedstawia tabela 2.

Dodatkowa izolacja termiczna zmniejszy strumień ciepła wprowadzanego do przechowalni w okresie wysokich temperatur zewnętrznych i zmniejszy strumień

cieplny przenikający do otoczenia w okresie z niskimi temperaturami. Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli nr 3.

*Tabela 2. Zestawienie wartości współczynników przenikania ciepła dla przegród budowlanych po przeprowadzonej modernizacji*

*Table 2. Comparing the heat penetration coefficient for constructional partitions after the performed modernization*

| Przegroda budowlana       | Przed modernizacją             |                                   | Po modernizacji                |                                   |
|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
|                           | $U_p$<br>[W/m <sup>2</sup> ·K] | $U_{sr}$<br>[W/m <sup>2</sup> ·K] | $U_p$<br>[W/m <sup>2</sup> ·K] | $U_{sr}$<br>[W/m <sup>2</sup> ·K] |
| ściana zewnętrzna (sz)    | 0,330                          | 0,334                             | 0,236                          | 0,241                             |
| ściana wewnętrzna (sw)    | 0,321                          | 1,165                             | 0,231                          | 0,322                             |
| Stropodach (std)          | 0,657                          | -                                 | 0,255                          | -                                 |
| drzwi wejściowe do komory | 5,600                          | -                                 | 0,806                          | -                                 |

Oznaczenia w tabeli:

$U_p$  – współczynnik przenikania ciepła dla przegrody budowlanej,

$U_{sr}$  – średni współczynnik przenikania ciepła dla przegrody budowlanej

*Tabela 3. Zestawienie poszczególnych wartości ciepła przenikającego przez przegrody budowlane w zależności od stanu budynku*

*Table 3. Comparing the individual values for heat penetrating the construction partitions depending upon the building condition*

| Stan budynku       | $U_{sz}$<br>[W/m <sup>2</sup> ·K] | $Q_{sz1}$<br>[W] | $Q_{sz2}$<br>[W] | $U_{sw}$<br>[W/m <sup>2</sup> ·K] | $Q_{sw}$<br>[W] | $U_{std}$<br>[W/m <sup>2</sup> ·K] | $Q_{std}$<br>[W] |
|--------------------|-----------------------------------|------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------------|
| Przed modernizacją | 0,334                             | 388,5            | 366,3            | 1,165                             | 958,1           | 0,657                              | 1412,5           |
| Po modernizacji    | 0,241                             | 280,3            | 264,3            | 0,322                             | 264,8           | 0,255                              | 548,2            |

Z obliczeń wynika, że do zbilansowania strumieni ciepła w badanej komorze przechowalniczej konieczne jest wprowadzenie lub wyprowadzenie z niej strumienia ciepła  $Q_{całk.}$ . Ta różnica wynika prawdopodobnie z nieuwzględnienia w obliczeniach wpływu akumulacji ciepła w przegrodach budowlanych i w materiałach znajdujących się w komorze przechowalniczej oraz dodatkowych nieznanymi zysków ciepła, jak np. wpływ promieniowania słonecznego w pogodne dni.

## **Podsumowanie**

Podsumowując niniejszą pracę można stwierdzić, że badany budynek przechowalni w istniejącym stadium nie spełnia podstawowych kryteriów stawianych tego typu obiektom.

W okresie przeprowadzanych badań występowały bardzo zróżnicowane warunki pogodowe, a mimo to temperatura powietrza w komorze przechowalniczej była w miarę stabilna ale utrzymywała się na poziomie wyższym od optymalnego dla przechowywanych odmian jabłek.

Na całkowity bilans cieplny przechowalni największy wpływ miało ciepło przenikające przez przegrody budowlane. O dużym znaczeniu tej składowej bilansu decyduje przede wszystkim zbyt wysoki współczynnik przenikania ciepła stropodachu, który znacznie przekracza dopuszczalną wartość.

## **Bibliografia**

Pieniążek Stanisław „Sadownictwo”, PWRiL, Warszawa 1995 r.

Lange Edward, Ostrowski Waldemar „Przechowalnictwo owoców”, PWRiL, Warszawa 1992 r.

Drozdowicz M., Budowa przechowalni i przechowywanie owoców przez producentów, CRS, Warszawa 1969,

Szolc Tadeusz „Chłodnictwo”, Państwowe Wydawnictwa Szkolnictwa Zawodowego, Katowice 1970 r.

„Wytyczne technologiczne projektowania chłodni i przechowalni owoców”, BI-SPROL 1986 r., wydanie III.

## **HEAT BALANCE OF AN APPLE STORAGE FACILITY**

### **Summary**

The paper presents the results of research regarding the microclimate of indoor air in a two-chamber apple storage facility of the volume 45 tons, located in Płock, used by a small orchard farm of several hectares. On the basis of the research, the storage facility's heat balance was prepared, and then the recommendations were developed, aiming at the improvement of the microclimate in the facility.

**Key words:** apple storage facilities, microclimate, usage, heat balance