

BADANIA ZMIAN TEMPERATURY I MASY PIECZAREK PODCZAS SCHŁADZANIA PRÓŻNIOWEGO

Adam Kopeć, Kamil Dolik

Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego, Politechnika Koszalińska
ul. Raclawicka 15-17, 75-620 Koszalin
e-mail: adam.kopec@tu.koszalin.pl

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań nad próżniowym schładzaniem pieczarek. Schładzano je w komorze próżniowej podłączonej do pompy próżniowej. Podczas schładzania mierzone były następujące parametry: temperatura w komorze, temperatura na powierzchni pieczarki, temperatura w centrum pieczarki, zmiany masy pieczarek oraz ciśnienie w komorze. Na podstawie uzyskanych wyników przedstawiono kinetykę zmian temperatury w centrum i na powierzchni pieczarek podczas badanego procesu. Przeanalizowano zmiany masy schładzanych pieczarek i zmiany ciśnienia w komorze próżniowej. Przedstawiono tabelaryczną zależność ubytku masy od temperatury schładzanych grzybów. Najwyższa szybkość obniżania temperatury wystąpiła w początkowym fazie schładzania i wyniosła $2,7 \text{ deg}\cdot\text{min}^{-1}$. W końcowym okresie szybkość schładzania zmalała do $0,75 \text{ deg}\cdot\text{min}^{-1}$. Podobnie jak w przypadku zmian temperatury szybkość zmian masy malała wraz z czasem trwania procesu schładzania. Na początku wynosiła $1,8 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$, a w końcowym okresie zmalała do $1,2 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$. Średnia szybkość ubytku masy podczas całego procesu wyniosła $1,4 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$.

Słowa kluczowe: pieczarki, schładzanie próżniowe, ubytek masy, szybkość schładzania.

WSTĘP

Pieczarki (*Agaricus*) są najpopularniejszymi grzybami uprawowymi. Walory smakowe i dostępność na rynku przez cały rok powodują, że popyt na te grzyby cały czas stopniowo wzrasta. Stanowią one źródło istotnych dla człowieka kwasów aminowych, witamin (m. in. witamina B2, niacyna) oraz minerałów, takich jak potas i fosfor (Manzi i in. 2001, Tao i in. 2007). Powszechnie wykorzystywane są w popularnych rodzajach potraw, np. w sosach, zapiekankach oraz pizzy. Pieczarki przechowywane w temperaturze pokojowej (ok. 293 K) charakteryzują się krótkim okresem przydatności do spożycia (od 3 do 4 dni). Spowodowane jest to brakiem skutecznej ochrony przed rozwojem mikroorganizmów i wyciekaniem

wody (Martine i in. 2000). Okres przydatności pieczarek można wydłużyć poprzez ich szybkie schłodzenie bezpośrednio po zbiorze i przechowywanie w warunkach chłodniczych aż do momentu spożycia.

Tradycyjne schładzanie produktów spożywczych polega na obniżeniu ich temperatury na skutek oddawania ciepła do czynnika o niższej temperaturze (najczęściej powietrza). Ze względów technologicznych w większości przypadków schładzanie powinno być prowadzone możliwie szybko. Ma to na celu zminimalizowanie strat jakości produktu, będących wynikiem zachodzących w nim reakcji chemicznych i procesów biologicznych (Cziżow 1974).

W ostatnich latach powszechne stało się próżniowe schładzanie produktów żywnościowych. Proces schładzania próżniowego polega na umieszczeniu wilgotnego produktu o dodatniej temperaturze w komorze próżniowej. Wytworzenie próżni powoduje szybkie odparowywanie części zawartej w nim wilgoci. Parowanie jest procesem endotermicznym i przy braku doprowadzania ciepła z zewnątrz ciepło potrzebne na przemianę fazową (parowanie) pobierane jest z produktu powodując jego szybkie wychłodzenie do temperatury zamrażania zawartej w nim wilgoci (Gujgo i in. 1968).

Schładzanie próżniowe jest szybką metodą schładzania, wykorzystywaną w przypadku produktów wilgotnych i porowatych. Tradycyjne zastosowanie tej metody obejmuje schładzanie warzyw liściastych i grzybów (Zheng i Sun 2004). Zaletami schładzania próżniowego są: skrócenie czasu schładzania w stosunku do metod tradycyjnych (chłodniczych), oszczędność energii, wydłużenie czasu trwałości produktu spożywczego, jego jakości i bezpieczeństwa (McDonald i Sun 2000, Sun i Wang 2000). Tę metodę w celu schładzania pieczarek, wykorzystuje się w zakładach na terenie Stanów Zjednoczonych (Lane 1972, Tao i in. 2007) oraz Wielkiej Brytanii (Barnard 1974) a ostatnio również w Polsce, o czym świadczy handlowa oferta komór do próżniowego schładzania (BT Techem SA – Warszawa, P.H.U.P. „DAJANO” – Żelazków) oraz stosowanie tej metody przez wiodących producentów świeżych pieczarek (F.H.U. Głuchowski – Łosice). Wciąż też prowadzone są badania nad tą metodą, m. in. dotyczące wpływu schładzania próżniowego na jakość produktu, okres jego trwałości i zachodzące w produkcie przemiany (Noble 1985, McDonald i Sun 2000, Tao F. i in. 2007). Literatura podaje również wyniki badań dotyczących porównania klasycznych metod schładzania pieczarek z metodą schładzania próżniowego. Wyniki tych badań wskazują na brak różnic w jakości pieczarek i strukturze ich grzybni w przypadku przechowywania ich w temperaturze -5°C oraz na istotne różnice (na korzyść metody schładzania próżniowego) w przypadku okresowego przechowywania schłodzonych pieczarek w temperaturze -18°C (Wang i Sun, 2001).

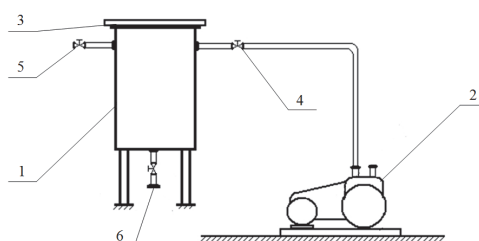
Pomimo tego, że metoda schładzania próżniowego wykorzystywana jest już od ponad 50-ciu lat, niewiele jest krajowych publikacji naukowych związanych

z tą problematyką. Pewne informacje na temat kinetyki procesu i instalacji do schładzania próżniowego produktów rolnych można znaleźć w artykule Kuczyńskiego (1981).

Celem przeprowadzonych badań była analiza kinetyki zmian masy i temperatury w centrum i na powierzchni pieczarek schładzanych próżniowo.

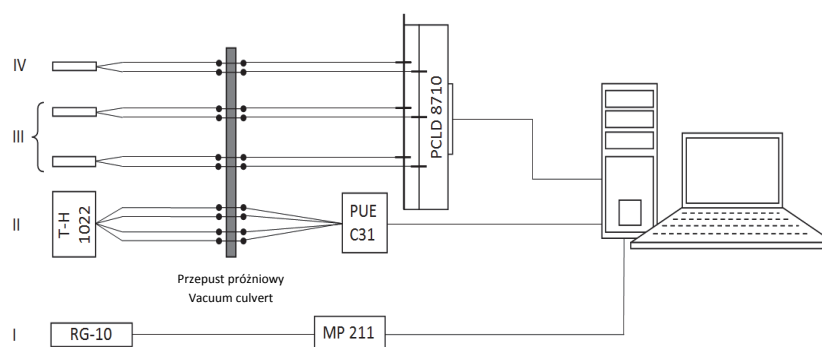
MATERIAŁY I METODY

Schemat stanowiska do schładzania przedstawiono na rysunku 1, a schemat układu pomiarowego na rysunku 2.



Rys. 1. Schemat stanowiska do schładzania próżniowego. Oznaczenia: 1 – komora próżniowa, 2 – pompa próżniowa BL-15, 3 – pokrywa komory, 4 – zawór odcinający pompę, 5 i 6 – zawory wpustu powietrza (opracowanie własne)

Fig. 1. Test stand scheme. 1 – vacuum chamber, 2 – BL-15 vacuum pump, 3 – vacuum chamber cover, 4 – pump cut-off valve, 5 and 6 – air inlet valves (own elaboration)



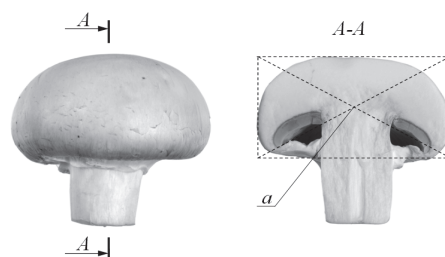
Rys. 2. Schemat układu pomiarowego. Oznaczenia: I – tor pomiaru ciśnienia, II – tor pomiaru masy, III – tor pomiaru temperatury pieczarki, IV – tor pomiaru temperatury w komorze (opracowanie własne)

Fig. 2. Measurement system scheme. I – pressure measurement system, II – mushroom mass measurement system, III – mushroom temperature measurement system, IV – vacuum chamber temperature measurement system (own elaboration)

Schładzanie pieczarek odbywało się w specjalnie zaprojektowanej komorze o pojemności 25 dm³ (rys. 1). Była ona wyposażona w szklaną pokrywę umożliwiającą obserwację zmian zachodzących w produkcie podczas schładzania oraz szereg uszczelnionych wlotów, do których – poprzez zawory kulowe – podłączyć można dodatkową aparaturę. Na potrzeby badań do komory podłączono pompę próżniową BL-15 (TEPRO S.A. Koszalin) o następujących parametrach: szybkość pompowania w zakresie od 1000 do 1 hPa wynosząca 15 m³·h⁻¹, ciśnienie końcowe całkowite bez Gasballastu mniejsze niż 3·10⁻³ hPa.

Stanowisko uzbrojono w szereg czujników i urządzeń pomiarowych (rys. 2). Do pomiaru ciśnienia wewnątrz komory wykorzystano próżniomierz oporowy, składający się z dwóch zespołów roboczych: czujnika Piraniego typ RG-10 i elektronicznego układu pomiarowego MP 211. Zakres pomiarowy zastosowanego próżniomierza zawiera się w zakresie od 1,0·10³ do 1,0·10⁻³ hPa. Zmiany masy były rejestrowane za pomocą tensometru Tedeo-Huntleigh 1022, podłączonego do modułu wagowego RADWAG PUE C31. Do pomiaru temperatur wykorzystano termopary typu K (NiCr-NiAl) o zakresie pomiarowym 223-673 K (-50°C- 400°C). Termopary były podłączone do terminalu zaciskowego PCLD 8710, współpracującego z kartą pomiarową PCI 1710/1710 HG zainstalowaną wewnątrz komputera. Przewody przyrządów pomiarowych były wpuszczone do wnętrza komory poprzez specjalnie uszczelnione przepusty próżniowe umieszczone na jej ścianie bocznej.

Materiał badawczy stanowiły pieczarki białe (*Agaricus bisporus var. albidus*). Przed umieszczeniem wewnątrz komory wyznaczono ich masę za pomocą wagi laboratoryjnej oraz średnicę owocników za pomocą suwmiarki. Masa pieczarek umieszczanych w komorze na czas schładzania wynosiła około 522 g, a średnice owocników pieczarek wahały się od 4 do 6 cm. Hymenofor był dobrze wykształcony i miał postać cienkich blaszek o typowej, brązowej barwie, zamkniętych pod skórką kapelusza. Pieczarki umieszczane były w pojemniku zawieszonym na tensometrze Tedeo-Huntleigh 1022. Termopary były wprowadzane w pojedynczą pieczarkę. Pierwszą termoparę osadzono na głębokości około 1 mm pod powierzchnią skórki kapelusza pieczarki, drugą w centrum termicznym pieczarki. Sposób wyznaczenia centrum termicznego pieczarki przedstawiono na rysunku 3. Na-



Rys. 3. Wyznaczenie centrum termicznego pieczarki. Oznaczenia: a – centrum pieczarki (opracowanie własne)

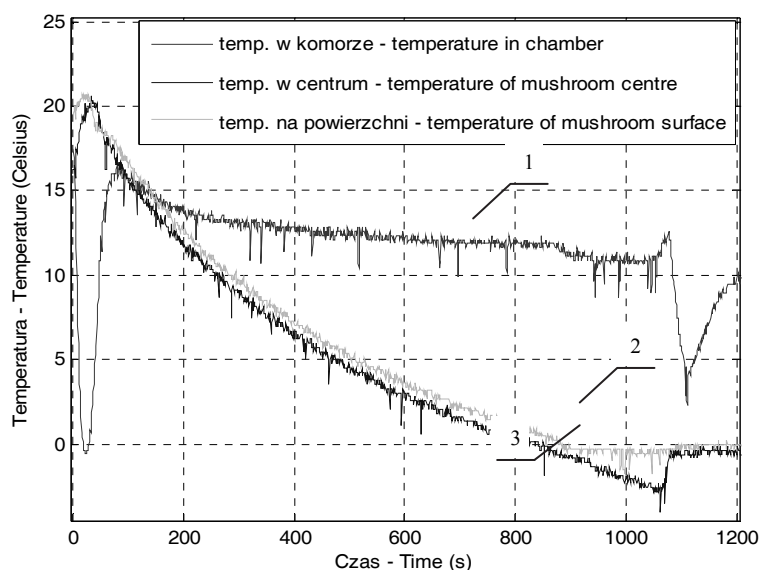
Fig. 3. Determination of mushroom thermal centre. Symbols: a – mushroom thermal centre (own elaboration)

stępnie tak przygotowaną pieczarkę umieszczano w centrum pojemnika, pomiędzy pozostałymi pieczarkami. Komorę zamykano za pomocą szklanej pokrywy i załączano pompę.

Po rozpoczęciu rejestracji danych pomiarowych w oprogramowaniu LabView, zawór pompy został otworzony w celu wypompowania powietrza z wnętrza komory. W trakcie schładzania śledzono zmiany wartości parametrów ciśnienia i temperatury wewnątrz komory. Pomiary wykonano w trzech powtórzeniach. W każdym powtórzeniu zachowywano tą samą temperaturę początkową pieczarek 293 K (20°C) oraz takie same wymiary pieczarki, w której umieszczano termopary.

WYNIKI I DYSKUSJA

Jako wynik badań uzyskano rejestraty obrazujące zmiany temperatury w komorze i w badanych warstwach pieczarki (rys. 4). Proces schładzania prowadzono do momentu uzyskania temperatury 0°C w centrum kapelusza pieczarki. Temperaturę 0°C na powierzchni pieczarki (rejestrata 3) uzyskano po 800 sekundach schładzania, natomiast w centrum pieczarki (rejestrata 2) po 890 sekundach schładzania.



Rys. 4. Zapis zmian temperatury w czasie schładzania pieczarek (opracowanie własne)

Fig. 4. Mushroom temperature changes during the vacuum cooling process (own elaboration)

Temperatura w komorze podczas schładzania stopniowo spadała w zakresie od 15°C do 10°C. Na początku procesu schładzania zarejestrowano również skok w odczycie temperatury (okres pomiędzy 0 i 100 sekundą) spowodowany oddziaływaniem próżni na czujniki pomiarowe.

Szybkość zmian temperatury S_T zdefiniowano wzorem (1).

$$S_T = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta T}{\Delta \tau} \quad (1)$$

gdzie: α – kąt pochylenia stycznej do krzywej temperaturowej w badanym punkcie,

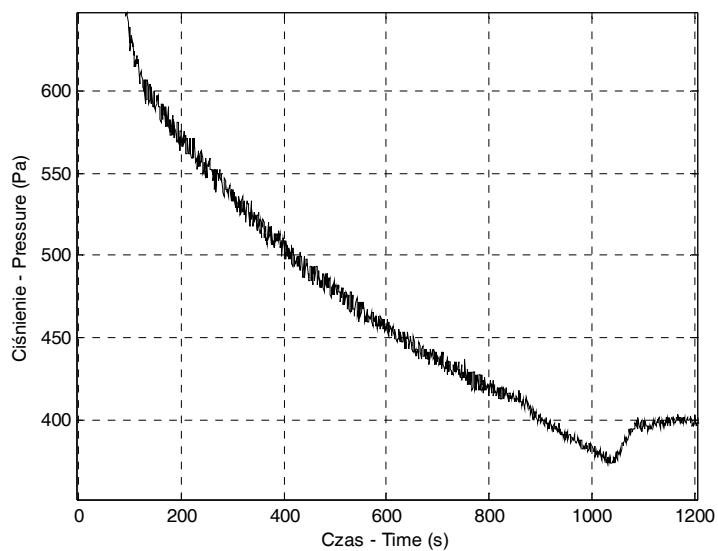
$\Delta \tau$ – przedział czasu,

ΔT – przedział zmian temperatury odpowiadający przedziałowi czasu.

Z analizy krzywych zmian temperatury w schładzanych pieczarkach wynika, że szybkość schładzania maleje wraz z czasem procesu. W początkowym okresie (dla czasu od 0 do 200 s) szybkość schładzania centrum pieczarki wynosiła 2,7 deg·min⁻¹, a w końcowym fragmencie (dla czasu od 600 do 800 s) 0,75 deg·min⁻¹. Średnia szybkość spadku temperatury podczas całego procesu wynosiła 1,5 deg·min⁻¹. Na krzywej 3 (rys. 4), przedstawiającej zmiany temperatury przy powierzchni pieczarki, widoczny jest efekt przechłodzenia, objawiający się spadkiem temperatury do -3°C na początku przemiany fazowej wody w lód. Następnie temperatura szybko wzrasta do punktu krioskopowego w wyniku wydzielania się ciepła krystalizacji. W przypadku zmian temperatury w centrum pieczarki (rys. 4, krzywa 2) efekt ten nie wystąpił. Skokowe obniżenie temperatury w komorze w momencie wydzielania ciepła krystalizacji (rys. 4, krzywa 1) spowodowane było prawdopodobnie zintensyfikowanym uwalnianiem pary wodnej z powierzchni pieczarek, o znacznie niższej temperaturze niż panująca w komorze.

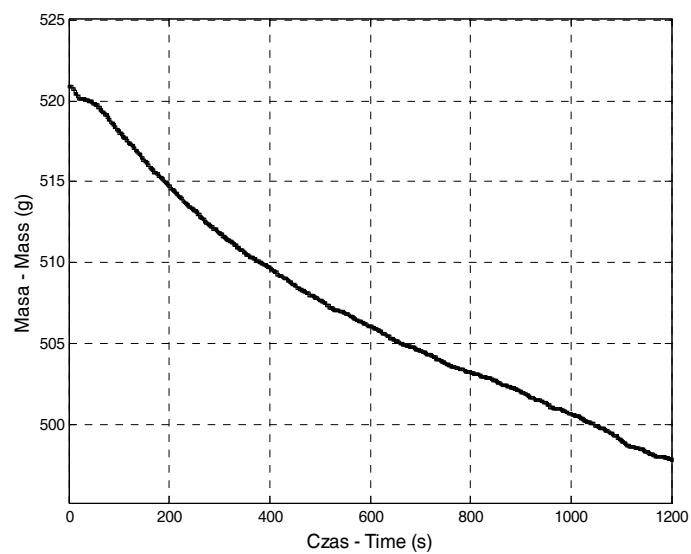
Jednocześnie, wraz ze zmianami temperatury, rejestrowano zmiany ciśnienia w komorze (rys. 5). Z wykresu tego wynika, że początkowo następuje bardzo szybki spadek ciśnienia w komorze. Osiągnięcie próżni do poziomu 650 Pa trwało 100 s, co daje szybkość wytwarzania próżni na poziomie 1000 Pa·s⁻¹. Po tym czasie obniżanie ciśnienia następowało znacznie wolniej (średnia szybkość wytwarzania próżni wynosiła 0,31 Pa·s⁻¹).

Porównując ze sobą rysunki 3 i 4 można zauważyć również wpływ przechłodzenia wody zawartej w pieczarkach, objawiający się skokiem ciśnienia od 350 Pa do 400 Pa, spowodowanym wydzielaniem ciepła krystalizacji, które intensyfikuje proces uwalniania pary wodnej.



Rys. 5. Zapis zmian ciśnienia w komorze w czasie schładzania pieczarek (opracowanie własne)

Fig. 5. Changes of chamber pressure during the vacuum cooling process (own elaboration)



Rys. 6. Zapis zmian masy pieczarek w czasie schładzania pieczarek (opracowanie własne)

Fig. 6. Mushrooms mass changes during the vacuum cooling process (own elaboration)

Z istoty procesu próżniowego schładzania wynika, że produkt oddaje ciepło w wyniku intensywnego odparowywania zawartej w nim wilgoci. Nieunikniona jest więc strata masy schładzanych pieczarek (niepożądana z handlowego punktu widzenia). Na rysunku 6 przedstawiono krzywą zmian masy w trakcie omawianego procesu. Definiując szybkość zmian masy jako stosunek ubytku masy w jednostce czasu (wzór 2),

$$S_m = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta m}{\Delta \tau} \quad (2)$$

gdzie: α – kąt pochylenia stycznej do krzywej w badanym punkcie, $\Delta \tau$ – przedział czasu, Δm - ubytek masy odpowiadający przedziałowi czasu, możemy stwierdzić, że szybkość zmian masy malała w trakcie schładzania w początkowym okresie (od 0 do 200 s) wynosiła $0,03 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$ a w końcowym fragmencie (od 600 do 800 s) wynosiła $0,02 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$. Średnia szybkość ubytku masy podczas procesu schładzania wynosiła $0,024 \text{ g}\cdot\text{s}^{-1}$. Ubytki masy pieczarek od osiągniętej temperatury schładzania pokazano w tabeli 1.

Tabela 1. Średni ubytek masy dla badanych temperatur schłodzenia (opracowanie własne)
Table 1. Average weight loss for the cooling temperatures tested (own elaboration)

Średnia temperatura Mean temperature (°C)	Ubytek masy Weight loss (%)
20	0
18	0,55
16	0,8
14	1,1
12	1,52
10	1,82
8	2,23
6	2,66
4	3,02
2	3,43
0	3,66

W chwili osiągnięcia temperatury 3°C , zalecanej dla pieczarek przez producentów komór próżniowych (P.H.U.P. „DAJANO”, 2012), ubytek masy wyniósł 3%.

WNIOSKI

1. Obniżenie temperatury schładzanych pieczarek w laboratoryjnej komorze próżniowej od 20°C do 3°C trwało 600 s (10 min). Ubytek masy schładzanych w tych warunkach pieczarek wyniósł 3%.

2. Największa szybkość obniżania temperatury występuje w początkowym okresie procesu schładzania i wynosi 2,7 deg·min⁻¹. W końcowym okresie schładzania przed osiągnięciem temperatury krioskopowej szybkość schładzania była 3,6 krotnie niższa i wynosiła 0,75 deg·min⁻¹.

3. Obniżenie temperatury schładzanych pieczarek jest efektem intensywnego parowania zawartej w nich wilgoci. Ma to bezpośredni wpływ na ubytek masy schładzanych grzybów. Podobnie jak w przypadku zmian temperatury szybkość zmian masy malała wraz z czasem trwania procesu schładzania. Na początku procesu wynosiła ona 1,8 g·min⁻¹, a w końcowym okresie zmalała do 1,2 g·min⁻¹. Średnia szybkość ubytku masy podczas całego procesu schładzania wyniosła 1,4 g·min⁻¹.

PIŚMIENNICTWO

- Barnard N., 1974. Some experiments in vacuum cooling. *Mushrooms Journal*, 14, 48-51.
- Cziżow G.B., 1974. Procesy cieplne w technologii chłodniczej produktów żywnościowych. WNT Warszawa.
- Gujgo E.I., Żurawska N.K. Kaucheszewili E.I., 1968. Suszenie sublimacyjne produktów spożywczych. WPL, Warszawa.
- Kuczyński A.P., 1981. Szybkie schładzanie próżniowe nietrwałych płodów rolnych. *Postępy Nauk Rolniczych*, 6, 115-123.
- Lane W.C., 1972. Pre-packaging and marketing of fresh mushrooms. *Mushrooms Science*, 8, 330-336.
- Manzi P., Aguzzi A., Pizzoferrato L., 2001. Nutrition value of mushrooms widely consumed in Italy. *Food Chemistry*, 73, 321-325.
- Martine B., Gaelle L. P., Ronan G., 2000. Post-harvest treatment with citric acid or hydrogen peroxide to extend the shelf life of fresh sliced mushrooms. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 33, 285-289.
- McDonald C., Sun D.-W., 2000. Vacuum cooling technology for the food processing industry: a review. *Journal of Food Engineering* 45, 55-65.
- Noble R., 1985., A review of vacuum cooling of mushrooms. *Mushroom Journal*, 149, 168-170.
- P.H.U.P. „DAJANO” Żelazków; strona producenta podciśnieniowych urządzeń do szybkiego schładzania; dajano.pl/strona-komory,vacuum.html, 2012.
- Sun D.-W., Wang L.J., 2000. Heat transfer characteristics of cooked meats using different cooling methods. *International Journal of Refrigeration*, 2, 508-516.
- Tao F., Zhang M., Hang-qing Y., 2007. Effect of vacuum cooling on physiological changes in the antioxidant system of mushroom under different storage conditions. *Journal of Food Engineering*, 79, 1302-1309.
- Tao F., Zhang M., Hangqing Y., Jincai S., 2006. Effect of different storage conditions on chemical and physical properties of white mushrooms after vacuum cooling, *Journal of Food Engineering*, 77, 545-549.

Wang L., Sun D.-W., 2001. Rapid cooling of porous and moisture foods by using vacuum cooling technology. *Trend in Food Science & Technology*, 12, 174-184.

Zheng L., Sun D.-W., 2004. Vacuum cooling for the food industry, *Trends in Food Science and Technology*, 15, 555-568.

RESEARCH ON CHANGES IN MUSHROOM MASS AND TEMPERATURE DURING VACUUM COOLING

Adam Kopeć, Kamil Dolik

Division of Processes and Equipments in Food Industry, Koszalin University of Technology
ul. Raławicka 15-17, 75-620 Koszalin
e-mail: adam.kopec@tu.koszalin.pl

Abstract. The paper presents the result of research on mushroom vacuum cooling. The mushrooms were cooled in a vacuum chamber connected to a vacuum pump. During the cooling the following parameters were measured: the temperature in the chamber, the temperature at the surface of the mushrooms, the temperature in the centre of the mushroom cap, the changes in mushrooms weight, and the pressure in the chamber. On the basis of the results the kinetics of temperature changes in the centre and on the surface of mushrooms in the course of the process studies was presented. The changes of cooled mushrooms weight and pressure changes in the vacuum chamber were analysed. The tabular dependence between the weight loss and the temperature of cooled mushrooms was presented. The maximum cooling rate was in the first phase of the process and its value was 2.7 deg min^{-1} . At the end of the process the cooling rate decreased to $0.75 \text{ deg min}^{-1}$. The weight loss rate also decreased during the cooling process. At the beginning it was 1.8 g min^{-1} and at the end it decreased to 1.2 g min^{-1} . The average mass loss rate during the whole process was 1.4 g min^{-1} .

Keywords: mushrooms, vacuum cooling, weight loss, cooling rate