

*Szymon Głowacki, Mariusz Sojak, Beata Koźbial*  
*Katedra Podstaw Inżynierii*  
*Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie*

## **WPLYW KSZTAŁTU CZĄSTEK KRAJANKI JABŁEK NA CZAS SUSZENIA W WARUNKACH KONWEKCYJ WYMUSZO- NEJ**

### **Streszczenie**

W pracy przedstawiono wpływ podstawowych parametrów suszenia krajanki jabłek na przebieg procesu. Do badań użyto jabłek odmiany „Idared”. Owoce krojone były na: ósemki (jabłko zostało pokrojone na osiem równych części), plastry o grubości 4 mm i kostkę o wymiarach 10 mm x 10 mm x 10 mm.

Suszenie odbywało się w 3 temperaturach: 50, 60 i 70°C. Wyniki badań przedstawiono graficznie w formie wykresów.

**Słowa kluczowe:** suszenie, cząstki jabłek, powierzchnia

### **Wstęp**

Wiedza o suszarnictwie rolniczym rozwija się obecnie w Polsce dość intensywnie. Suszenie pozbawia produkty żywnościowe znacznej ilości wody, a tym samym uniemożliwia wzrost i rozmnażanie się takich szkodliwych mikroorganizmów jak grzyby pleśniowe, drożdże, bakterie. Ponadto w znacznym stopniu obniża wagę produktów i umożliwia w odpowiednich warunkach długie ich przechowywanie. Parametry suszenia i przechowywania produktów roślinnych wpływają na wartości biologiczne, jakościowe i smakowe, które nie mogą naruszać właściwości produktu świeżego.

Jednym z najczęściej suszonych owoców są jabłka. Suszone jabłka są wykorzystywane w przemyśle spożywczo przetwórczym. Są składnikiem do produkcji kaszek dla dzieci oraz innych przetworów przeznaczonych do spożycia.

Jabłka zawierają witaminy i są najlepszym spośród owoców źródłem witaminy C (kwasu askorbinowego), chociaż zawartość tej witaminy we wszystkich owocach

jest dużo mniejsza niż w owocach jagodowych. Innymi związkami bardzo ważnymi ze względów dietetycznych są substancje pektynowe, których właściwości lecznicze mogą mieć większe znaczenie niż zawartość witaminy C [„Pomologia” 1976].

Ze względu na bardzo dużą zawartość wody około 10 kgH<sub>2</sub>O/kgs.s, czas konwekcyjnego suszenia krajanki jabłek jest długi. Teoretycznie można go skrócić, zwiększając temperaturę i prędkość czynnika suszącego. Jednakże ze względu na zawartość cukrów i możliwość jego karmelizacji w temperaturze powyżej 75°C, suszenie w tak podwyższonej temperaturze jest niewskazane, gdyż obniża jakość suszu. Stosowanie zmian prędkości przepływu czynnika suszącego również niesie ze sobą pewne ograniczenia. Mogą one wynikać z samej konstrukcji urządzenia suszarniczego oraz użytego osprzętu (wentylator, silnik), który posiada pewien zakres roboczy. Jak również nie można zwiększyć prędkości przepływu powietrza do dużej wartości gdyż groziłoby to usunięciem suszonego materiału z sit suszarki. Zatem jeszcze innym możliwym sposobem zwiększenia szybkości suszenia może być takie przygotowanie krajanki tak aby miara jej rozwiniętej powierzchni była największa.

Celem pracy było zbadanie wpływu rozdrobnienia jabłek na przebieg ich suszenia w warunkach konwekcji wymuszonej, a więc w warunkach jakie występują w suszarkach przemysłowych. Badania polegały na wyznaczeniu zależności zmian zawartości wody w krajance jabłek od czasu od czasu ich suszenia.

### **Metodyka badań**

Badania przeprowadzone zostały w laboratoryjnej suszarce tunelowej, znajdującej się w Laboratorium Suszarnictwa Katedry Podstaw Inżynierii SGGW w Warszawie.

Metodyka badań została opracowana w oparciu o metodykę badań suszarek do suszenia owoców i warzyw [Kulik, Pabis 1989]. Metodyka badań obejmuje metody pomiarów parametrów procesu suszenia oraz dobór i zastosowanie aparatury kontrolno-pomiarowej do badań laboratoryjnych oraz innych badań mających związek z procesem suszenia.

Każde doświadczenie powtórzono trzykrotnie. Pomiary zmian masy próbek przeprowadzone były w trzech różnych temperaturach powietrza:

1) 50°C, 2) 60°C, 3) 70°C;

przy stałej prędkości czynnika suszącego  $v = 0,9$  m/s i stałym obciążeniu sita wilgotnym materiałem 8 kg /m<sup>2</sup>.

Do badań użyto jabłek odmiany „Idared” pochodzących z jednego źródła. Jabłka zostały odpowiednio rozdrobnione, kolejno: ósemki, plastry i kostka (10 mm × 10mm). Podczas trwania eksperymentu mierzono ubytki wody w suszonych jabłkach w czasie: przez pierwsze 2 godziny co 15 minut, następnie przez 3 godziny co 30 minut zaś dalej co 60 minut, do momentu gdy próbki były bliskie osiągnięcia równowagowej zawartości wody.

Podczas trwania procesu suszenia kontrolowano stałość zadanych parametrów czynnika suszącego. Badany materiał został odpowiednio przygotowany i rozdrobniony:

- ósemki – jabłko zostało pokrojone na osiem równych części
- plastry – jabłka zostały pokrojone na krajalnicy w plastry o jednakowej grubości wynoszącej 4 mm.
- kostka – jabłka zostały pokrojone w kostkę 10mm × 10mm.

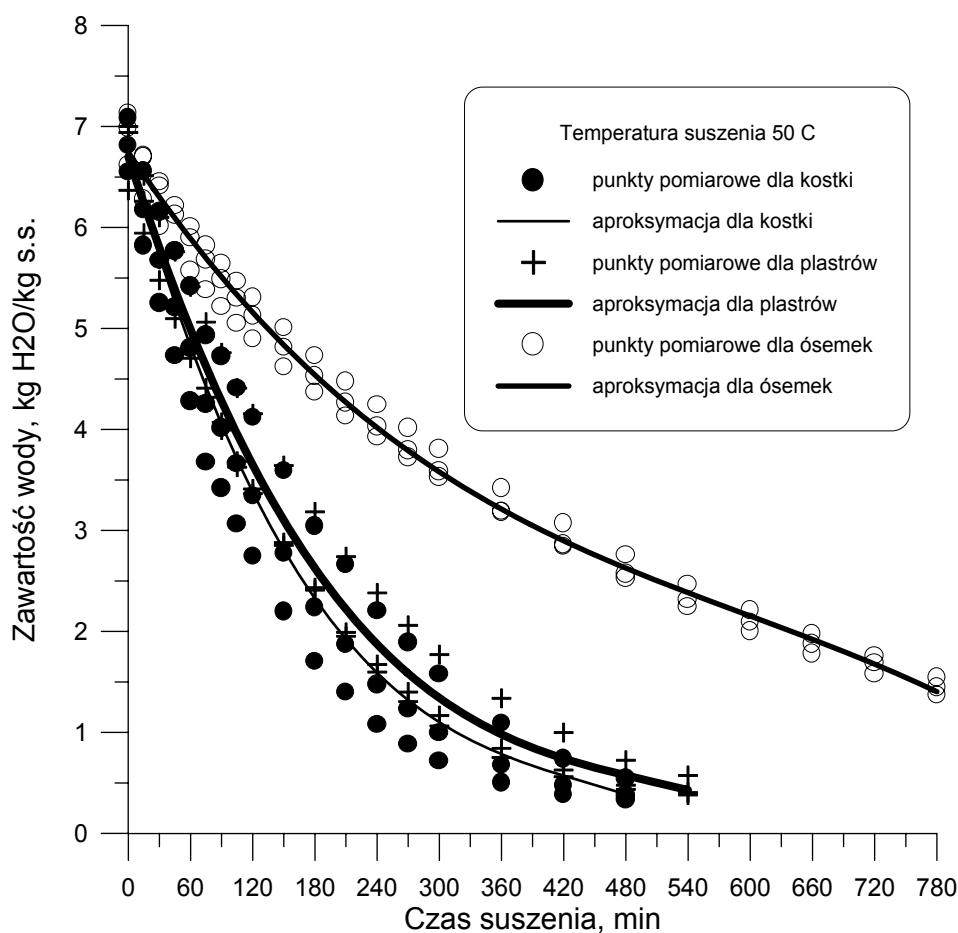
## Wyniki badań

W celu zrealizowania tematu badań przeprowadzono trzy powtórzenia pomiarów zawartości wody. Przedmiotem badań było jabłko krojone kolejno w kształcie „ósemek”, plastrów i kostki w temperaturze 50, 60 i 70°C, przy stałej prędkości przepływu powietrza w komorze suszenia  $v = 0,9$  m/s i przy stałym obciążeniu sita wilgotnym materiałem wynoszącym  $8$  kg/m<sup>2</sup>.

Rezultaty pomiarów zostały przedstawione graficznie. Rysunki od 1 do 3 przedstawiają wykresy zmian zawartości wody w czasie suszenia w krajance jabłek kolejno w temperaturze 50, 60 i 70°C a rysunki od 4 do 6 przedstawiają wpływ temperatury dla trzech różnych cząstek krajanki jabłek.

Rysunek 1 przedstawia zmianę zawartości wody w czasie suszenia w krajance jabłek o różnych kształtach w temperaturze suszenia 50°C. Możemy zauważyć, że początkowa zawartość wody  $u$  zawierała się w przedziale od  $u_0 = 6,4$  do  $u_0 = 7,2$  kgH<sub>2</sub>O/kgs.s. Taka różnica może wynikać z niejednorodności materiału, oraz z tego, że każdy pomiar mógł być obarczony pewnym błędem. Zwiększenie rozdrobnienia wpływa na czas suszenia – dla ósemek  $\tau = 780$  minut, dla plastrów  $\tau = 540$  minut, zaś dla kostki  $\tau = 480$  minut. Jak wynika z badań czas suszenia kostki i plastrów znacząco różni się od czasu suszenia ósemek. Dla plastrów i kostki po upływie 540 minut suszenia i przy zawartości wody około  $u = 0,5$  kgH<sub>2</sub>O/kgs.s możemy zakończyć proces suszenia. Niestety nie możemy tego uczynić dla ósemek, gdyż po upływie 780 minut suszenia zawartość wody

wynosi jeszcze około  $u = 1,4 \text{ kgH}_2\text{O/kg s.s.}$  Jest to duża różnica stanowiąca około 30% czasu cyklu suszenia ósemek.

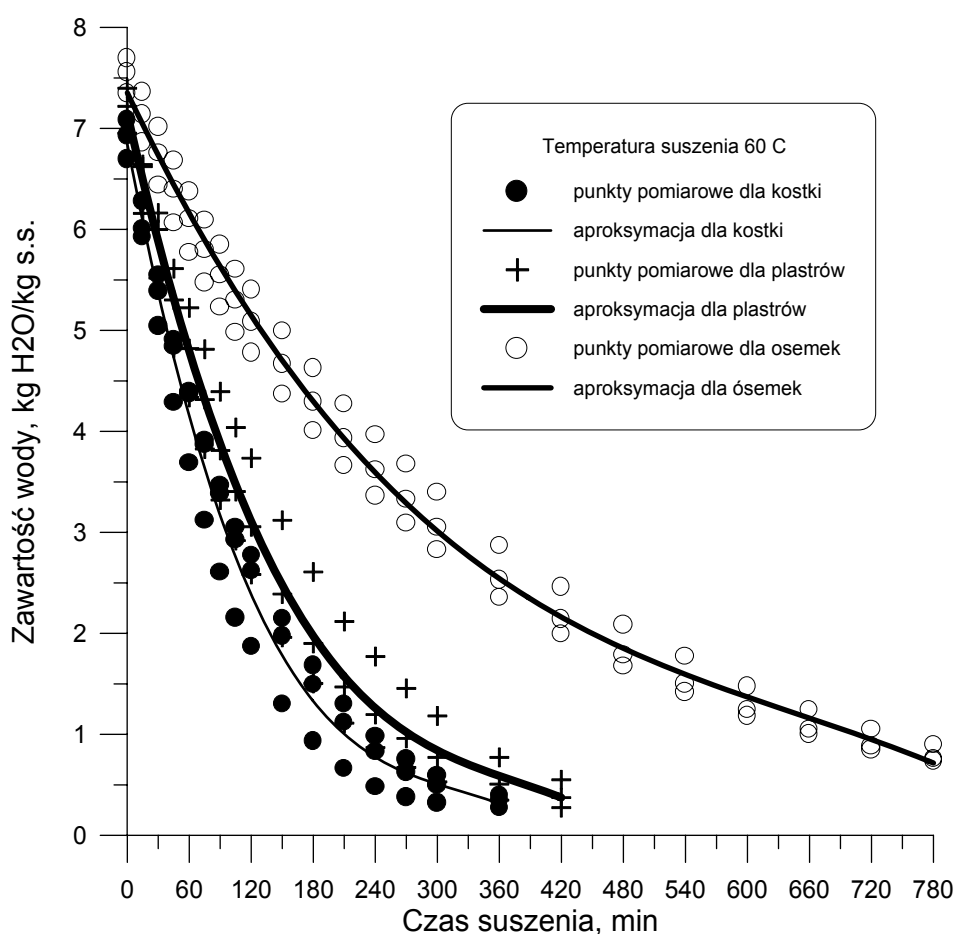


Rys. 1. Wyniki pomiarów i krzywe aproksymujące zmiany zawartości wody w czasie suszenia w krajance jabłek w temperaturze 50 °C

Fig 1. Results of measurements and approximation curves changes of water content during desiccation in sliced cake in temperature 50°C

Rysunek 2 przedstawia zmianę zawartości wody w czasie suszenia w krajance jabłek o różnych kształtach w temperaturze suszenia 60°C. Początkowa zawartość wody zawierała się w przedziale od  $u = 6,6$  do  $u = 7,7 \text{ kgH}_2\text{O/kg s.s.}$  Zmiana kształtu geometrycznego wpływa na czas suszenia: dla ósemek  $\tau = 780$  minut, dla

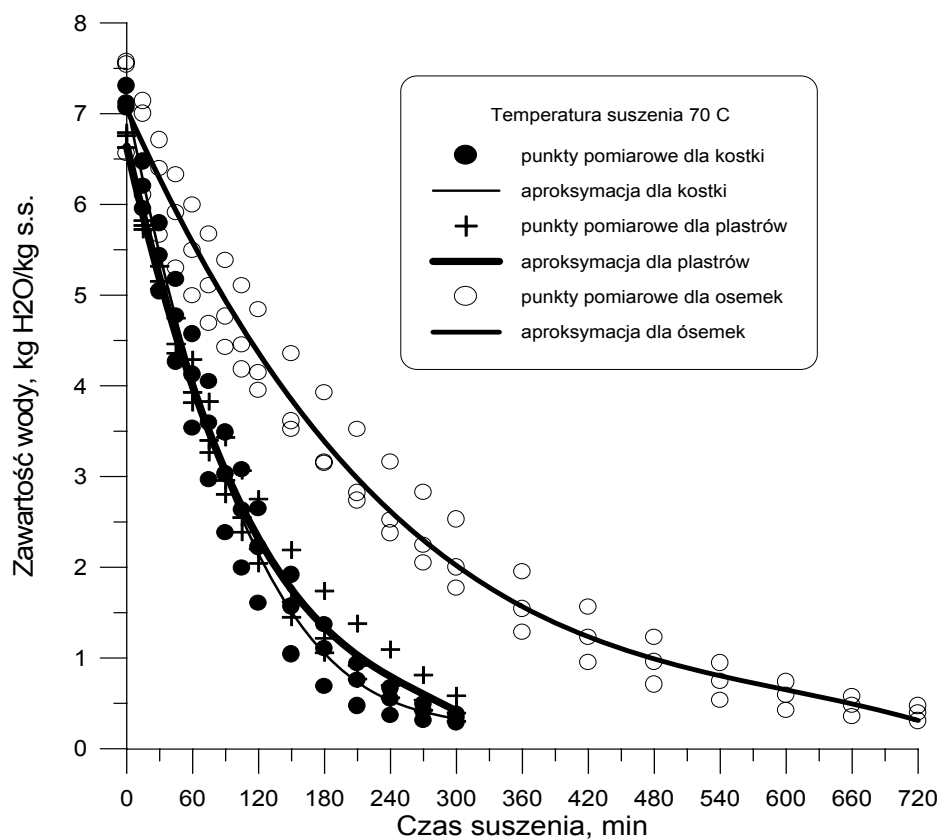
plastrów  $\tau = 420$  minut, zaś dla kostki  $\tau = 360$  minut. Dla ósemek spadek zawartości wody jest o wiele wolniejszy niż dla plastrów i kostki. Dla kostki po upływie 360 minut suszenia zawartość wody wynosi  $u = 0,4$  kgH<sub>2</sub>O/kg.s co stanowi około 46% cyklu suszenia ósemek. Dla plastrów po upływie 420 minut suszenia zawartość wody wynosi  $u = 0,5$  kg H<sub>2</sub>O/kg.s.s co stanowi około 54% cyklu suszenia ósemek. Zaś dla ósemek po upływie 780 minut suszenia zawartość wody wynosi jeszcze około  $u = 1$  kg H<sub>2</sub>O/kg.s.s. Tak więc krzywa aproksymująca zawartość wody dla ósemek znacząco odbiega od pozostałych.



Rys. 2. Wyniki pomiarów i krzywe aproksymujące zmiany zawartości wody w czasie suszenia w krajance jabłek w temperaturze 60 °C

Fig 2. Results of measurements and approximation curves changes of water content during desiccation in sliced cake in temperature 60°C

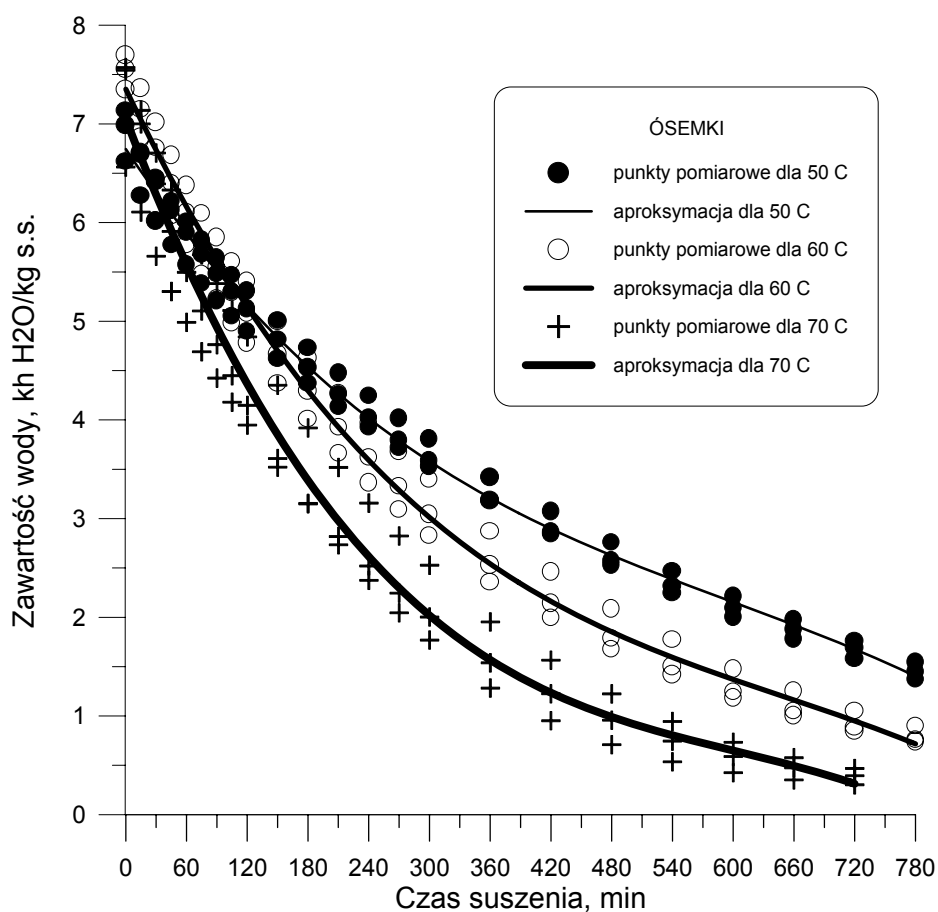
Rysunek 3 przedstawia zmianę zawartości wody w czasie suszenia w krajance jabłek o różnych kształtach w temperaturze suszenia 70°C. Początkowa zawartość wody zawierała się w przedziale od  $u = 6,5$  do  $u = 7,5$  kg H<sub>2</sub>O/kg s.s. Zmiana kształtu rozdrobnienia materiału wpłynęła na skrócenie czasu suszenia do 720 minut dla ósemek i do 300 minut dla plastrów i kostki. Dla kostki i plastrów przy czasie suszenia wynoszącym 300 minut zawartość wody wynosi około  $u = 0,4$  kgH<sub>2</sub>O/kg.s, co stanowi około 42% cyklu suszenia ósemek. Dla ósemek po upływie 720 minut zawartość wody wynosi około  $u = 0,5$  kgH<sub>2</sub>O/kg.s. Różnica w krajance wynosi około 58% cyklu suszenia ósemek, jak widać jest więc znaczna. Po 300 minutach suszenia zawartość wody dla kostki i plastrów wynosi  $u = 0,4$  kgH<sub>2</sub>O/kg.s, zaś dla ósemek aż  $u = 2$  kgH<sub>2</sub>O/kg.s.



Rys. 3. Wyniki pomiarów i krzywe aproksymujące zmiany zawartości wody w czasie suszenia w temperaturze 70°C

Fig 3. Results of measurements and approximation curves changes of water content during desiccation in sliced cake in temperature 70°C

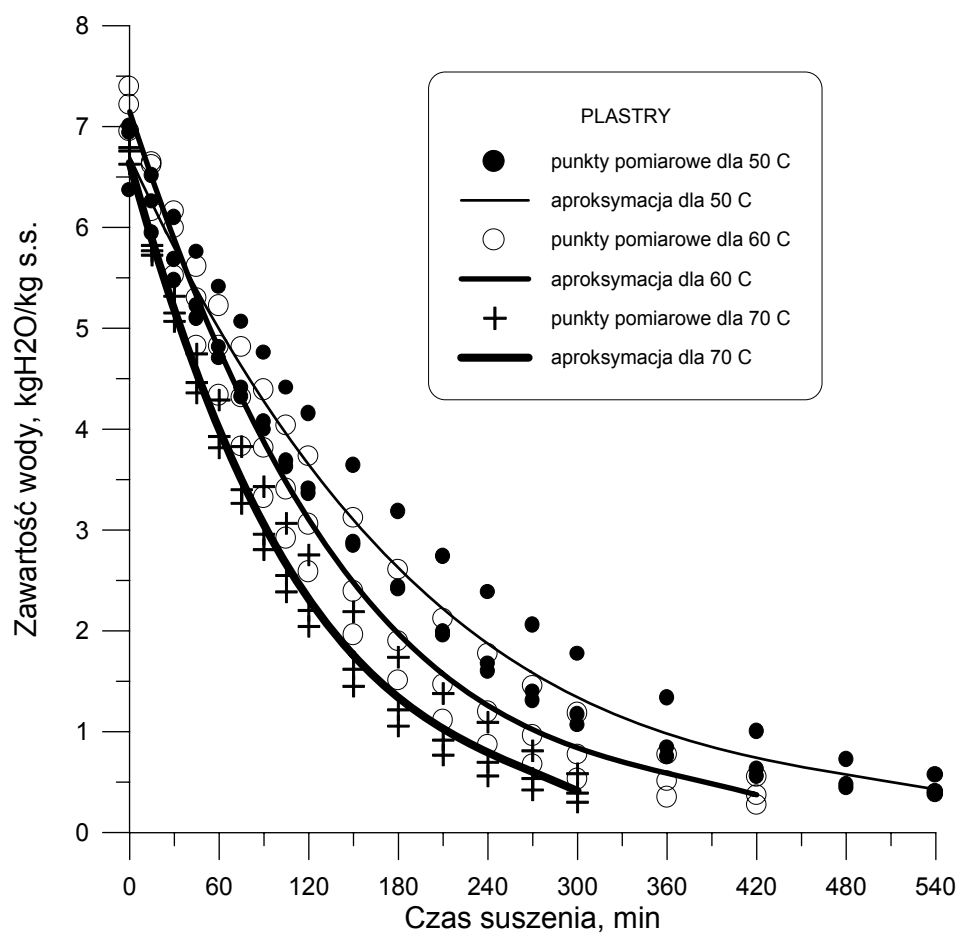
Rysunek 4 przedstawia zestawienie krzywych suszenia aproksymujących wyniki zmian zawartości wody w czasie suszenia dla ósemek dla trzech temperatur 50, 60 i 70 °C. Widzimy, że wraz ze wzrostem temperatury skraca się czas suszenia. Są to różnice rzędu około 60 minut, spowodowane między innymi kształtem geometrycznym badanego materiału, jego grubością i zajmowaną powierzchnią. Dla 50°C zawartość wody wynosi około 7.5 kgH<sub>2</sub>O/kgs.s, dla 60°C około 7 kg H<sub>2</sub>O/kgs.s zaś dla 70°C około 6.6 kgH<sub>2</sub>O/kgs.s. Zwiększając temperaturę do 70°C uzyskujemy około 10% wzrost szybkości suszenia. Jak widzimy jest to mała różnica wynikająca z takiego kształtu geometrycznego badanego materiału.



Rys. 4. Wyniki pomiarów i krzywe aproksymujące zmiany zawartości wody w czasie suszenia dla „ósemek” dla trzech podanych temperatur suszenia

Fig. 4. Results of measurements and approximation curves changes of water content during desiccation for "eights" in three announced temperatures

Rysunek 5 przedstawia zestawienie krzywych aproksymujących wyniki zmian zawartości wody w czasie suszenia plastrów w każdej dla trzech temperatur 50, 60 i 70°C. Widzimy coraz większą różnicę, że wraz ze wzrostem temperatury suszenia skraca się czas suszenia. I tak w temperaturze 50°C czas suszenia wynosi 540 minut, zaś w temperaturze 70°C – 300 minut. Jest to duża różnica wynosząca około 240 minut czyli stanowiąca około 35%.

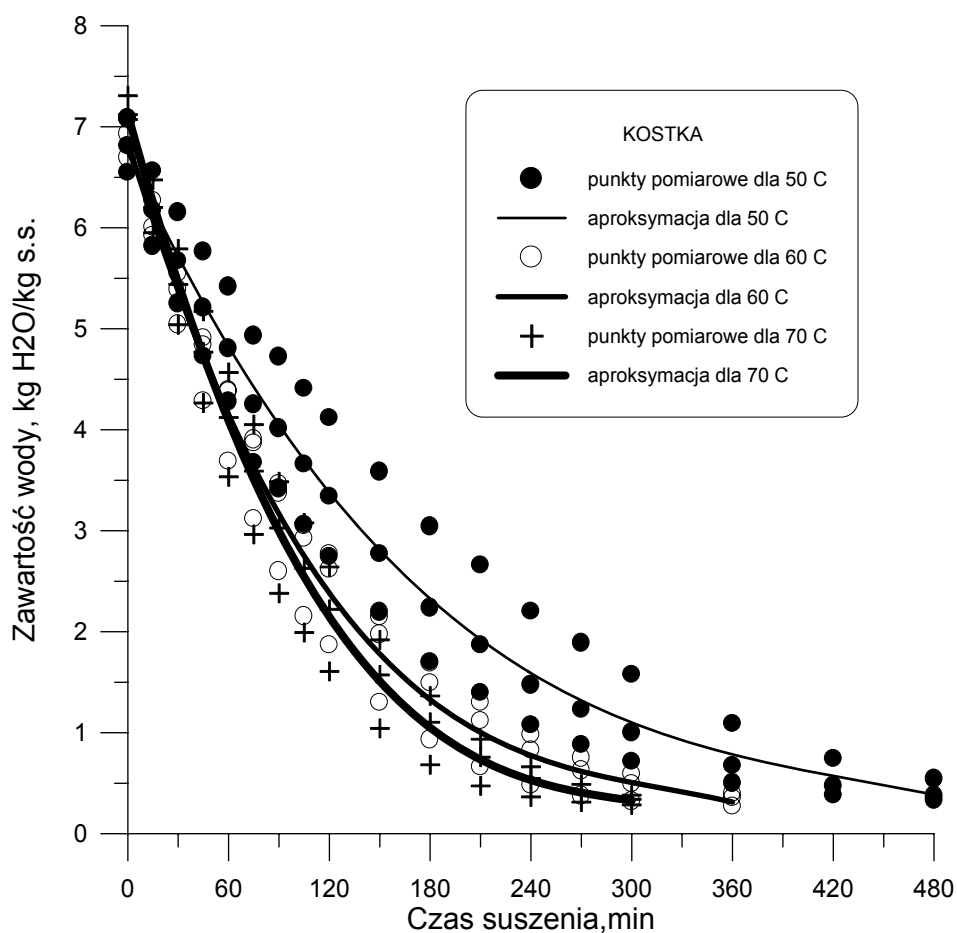


Rys. 5. Wyniki pomiarów i krzywe aproksymujące zmiany zawartości wody w czasie suszenia dla plastrów dla trzech wybranych temperatur suszenia



Fig. 5. Results of measurements and approximation curves changes of water content during desiccation for plasters in three announced temperatures

Rysunek 6 przedstawia zestawienie krzywych aproksymujących wyniki zmian zawartości wody w czasie suszenia dla kostki w każdej z trzech temperatur. Widzimy, że wraz ze wzrostem temperatury skraca się czas suszenia. Różnice są duże – dla temperatury 50°C czas suszenia wynosi 480 minut, dla 60°C – 360 minut, zaś dla 70°C 300 minut. Spowodowane jest to zmianą kształtu rozdrobnienia badanego materiału. Widzimy, że krzywa dla temperatury 50°C znacznie odbiega od pozostałych dwóch. Wpływa na to między innymi również niska temperatura suszenia.



Rys. 6. Wyniki pomiarów i krzywe aproksymujące zmiany zawartości wody w czasie suszenia dla kostki dla trzech wybranych temperatur suszenia

*Fig. 6. Results of measurements and approximation curves changes of water content during desiccation for lumps in three announced temperatures*

Wzrost temperatury i zmiana kształtu geometrycznego badanego materiału wpływają na skrócenie czasu suszenia, a więc tym samym na wzrost szybkości suszenia. Biorąc pod uwagę kształt badanego materiału największy wzrost szybkości suszenia uzyskano w temperaturze 70°C dla kostki co wiąże się z powierzchnią wymiany ciepła i masy. Zmieniając temperaturę z 50 do 70°C i kształt geometryczny krajanki (kolejno ósemka, plastry, kostka) uzyskano około 35% wzrost szybkości suszenia.

Przeprowadzone badania wpływu kształtu geometrycznego krajanki jabłek na szybkość suszenia w warunkach konwekcji wymuszonej a więc w warunkach jakie panują w suszarkach przemysłowych. Dany materiał, krajankę jabłek o kształcie – plastry, ósemki i kostka suszono w zakresie trzech temperatur czynnika suszącego 50, 60 i 70°C i przy stałym natężeniu przepływu czynnika suszącego równym 0,9 m/s. Można stwierdzić, że zarówno jeden – temperatura jak i drugi parametr – kształt, mają istotny wpływ na szybkość suszenia.

Wzrost temperatury i zmiana kształtu geometrycznego badanego materiału wpływają na skrócenie czasu suszenia, a więc tym samym na wzrost szybkości suszenia [Głowacki 2000]. Biorąc pod uwagę kształt badanego materiału największy wzrost szybkości suszenia uzyskano w temperaturze 70°C dla kostki co wiąże się z powierzchnią wymiany ciepła i masy. Zmieniając temperaturę z 50 do 70°C i kształt geometryczny krajanki (kolejno „ósemka”, plastry, kostka) uzyskano około 35% wzrost szybkości suszenia.

Powierzchnia czynna 100 g krajanki jabłek o różnych kształtach geometrycznych wynosiła:

- dla kostki 600 cm<sup>2</sup>,
- dla plastrów 536 cm<sup>2</sup>,
- dla „ósemek” 174 cm<sup>2</sup>.

Przeprowadzone pomiary powierzchni czynnej suszonych cząstek potwierdziły iż kostka ma największą rozwiniętą powierzchnię. Powierzchnia ta umożliwia opływ rozgrzanego czynnika suszącego wokół cząstki co zwiększa wymianę ciepła i masy między suszonym materiałem a czynnikiem suszącym.

## **Wnioski**

1. W miarę wzrostu temperatury czynnika suszącego czas suszenia krajanki jabłek maleje dla określonego, każdego kształtu geometrycznego.

2. Kształt geometryczny krajanki jabłek odmiany „Idared” ma decydujący wpływ na czas suszenia materiału w określonej temperaturze czynnika suszącego. Dla kostki jest on krótszy o 12% w stosunku do plastrów. Dla ósemek jest dłuższy o około 100% w stosunku do kostki i plastrów.
3. Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono iż optymalna temperatura czynnika suszącego wynosi 60°C i optymalnym kształtem geometrycznym jest kostka. Zmiana kształtu geometrycznego krajanki jabłek wpłynęła na zmianę powierzchni czynnej wymiany ciepła i masy. Największą powierzchnię wymiany miała właśnie kostka co znalazło odzwierciedlenie w przedstawionych badaniach.
4. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że największy wpływ na szybkość suszenia ma temperatura czynnika suszącego. Zwiększając temperaturę z 50 do 70°C uzyskano około 30% skrócenie czasu suszenia dla każdego kształtu geometrycznego krajanki.

### **Bibliografia**

Głowacki Sz. 2000. Modelowanie kinetyki suszenia krajanki dyni. Rozprawa doktorska SGGW Warszawa.

Pabis J., Kulik T. 1998. Metodyka badań suszarek tunelowych. SGGW.

Rejman A. 1976. Pomologia Warszawa PWRiL.

## **EFFECT OF THE APPLE CHIPS SHAPE ON DRYING TIME IN THE CONDITION OF FORCED CONVECTION**

### **Summary**

The paper describes the effect of basic parameters of drying the apple chips on the process progress. “Idared” apples have been used for the experiment. The fruits were cut into octants (into eight equal pieces), slices 4 mm thick and blocks dimensioned 10 mm x 10 mm x 10 mm. Drying was carried out in 3 temperatures: 50, 60 and 70°C. The results of the study are presented in graphs.

**Key words:** drying, pieces of apples, surface