

Elżbieta Skorupska
Katedra Maszyn i Urządzeń Przemysłu Spożywczego
Politechnika Białostocka

WPLYW METODY DOPROWADZENIA CIEPŁA W PROCESIE SUSZENIA MARCHWI NA KINETYKĘ PROCESU

Streszczenie

Badano wpływ sposobu doprowadzania ciepła (strumieniem gorącego powietrza o temperaturze 70, 100 i 150°C przez 4 min lub promieniowaniem mikrofalowego ok. 250W przez 0,5 i 1 minutę) do pojedynczych plastrów marchwi przed procesem suszenia w warunkach konwekcji naturalnej na kinetykę procesu. Określono zależność szybkości suszenia w temperaturze 70 i 106°C w funkcji zawartości wody po zastosowaniu różnych metod wstępnego ogrzewania oraz określono statystycznie charakter tych zmian w przedziałach zawartości wody.

Słowa kluczowe: suszenie, konwekcja, mikrofała, marchew

Wykaz oznaczeń

- τ – czas [s],
 u_i – chwilowa zawartość wody materiału [kg wody/kg suchej substancji].

Wprowadzenie

Suszenie produktów rolniczych jest metodą utrwalania pozwalającą na długotrwałe ich przechowywanie. Uzyskanie suszu o wysokiej jakości, tzn. minimalnie zmienioną strukturą, właściwym składem substancji chemicznych i odżywczych, dobrymi właściwościami smakowymi, odpowiednim kolorem, jest determinowane optymalnymi warunkami suszenia (rozkładem temperatury, ruchem wilgoci), przy których można uzyskać możliwie wysoką wydajność suszarek przy minimalnych nakładach energetycznych. Istotne znaczenie ma też sposób przygotowania surowca do tego procesu, m.in. poprzez blanszowanie. Na przestrzeni wielu lat prowadzone były badania procesu suszenia różnych materiałów różnymi sposobami. Jednak nadal doskonalili się tę metodę utrwalania warzyw, m.in. marchwi [Lin i in. 1998],

ziemniaka [Diamante, Munro 1991], buraków ćwikłowych [Markowski i in. 1994], wzbogacając wiedzę teoretyczną o nowe modele matematyczne kinetyki procesu suszenia, jak też dąży się do coraz lepszej jakości suszu.

Cel pracy

Celem pracy były badania wpływu metody wstępnego doprowadzania ciepła do pojedynczych plastrów marchwi na proces suszenia w warunkach konwekcji naturalnej. Nagrzewanie materiału w strumieniu gorącego powietrza lub promieniowaniu mikrofalowym przed suszeniem w konwekcji naturalnej miało na celu zwiększenie szybkości procesu oraz zbadanie możliwości zastąpienia procesu blanszowania. Badania posłużyły do przeanalizowania charakteru krzywych suszenia i szybkości suszenia marchwi oraz podjęcie próby wskazania najlepszej kombinacji metod. Statystyczne wykresy ramkowe pozwoliły ocenić stopień zależności pomiędzy szybkością suszenia a zawartością wody w określonych przedziałach.

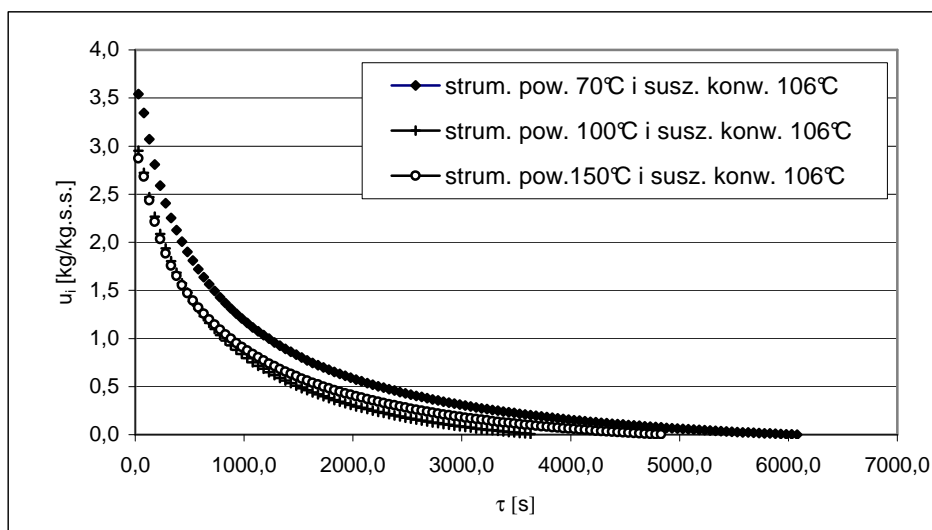
Metodyka

Materiałem do badań była marchew odmiany wczesnej dostępna w handlu rozdrobniona w cząstki o kształcie plastra o grubości 5mm. Średnia zawartość wody materiału wynosiła 3,5 kg/kg s.s.. Stosowanymi metodami wstępnego doprowadzenia ciepła do materiału były: ogrzewanie strumieniem powietrza o temperaturze 70, 100, 150°C w czasie 4 minut w kombiwarze oraz promieniowanie mikrofalowe ok. 250W przez czas 0,5 i 1 minuty w kuchence mikrofalowej (temperatura materiału po procesie wynosiła ok. 70°C). Warunki konwekcji naturalnej w laboratoryjnej wagosuszarce WS30 utrzymywały promienniki o mocy 200W umieszczone bezpośrednio nad materiałem suszonym. Do statystycznego określenia zmian szybkości konwekcyjnego suszenia w poszczególnych przedziałach zawartości wody wykorzystano program STATISTICA 7.0.

Wyniki badań i ich analiza

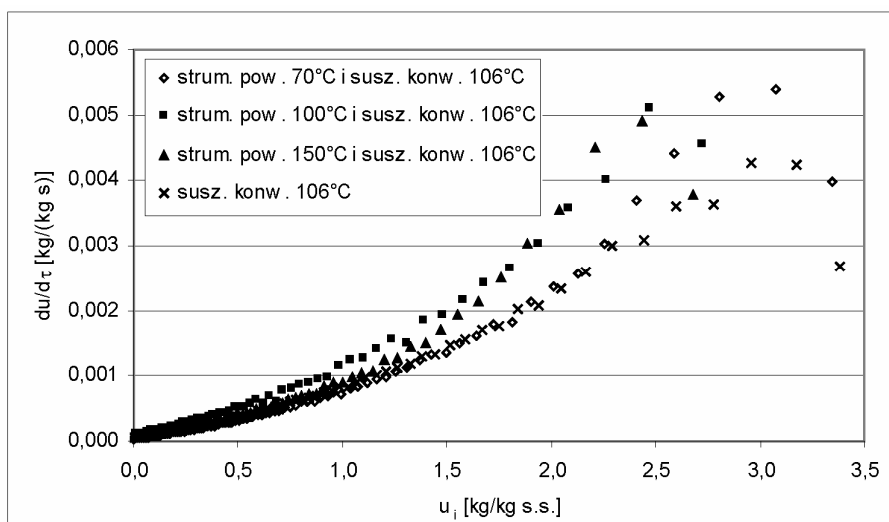
W wyniku badań wpływu metody ogrzewania cząstek marchwi na proces konwekcyjnego suszenia otrzymano krzywe suszenia i szybkości suszenia. Zastosowanie ogrzewania materiału w strumieniu powietrza o temperaturze 70, 100 i 150°C (rys. 1.) powoduje skrócenie czasu suszenia w temperaturze 106°C (szczególnie po ogrzewaniu strumieniem powietrza w 100°C). Wartości szybkości suszenia po wstępnym ogrzewaniu materiału w temperaturze 100 i 150°C są proporcjonalnie wyższe niż otrzymane przy ogrzewaniu w 70°C i bez ogrzewania o wartość ok.

0,0012 kg/(kg s) w początkowej fazie procesu przy zawartości wody 2,4 kg/kg s.s. (rys. 2.).



Rys. 1. Wpływ temperatury powietrza owiewającej cząstki przed suszeniem w temperaturze 106°C na zmiany zawartości wody w czasie

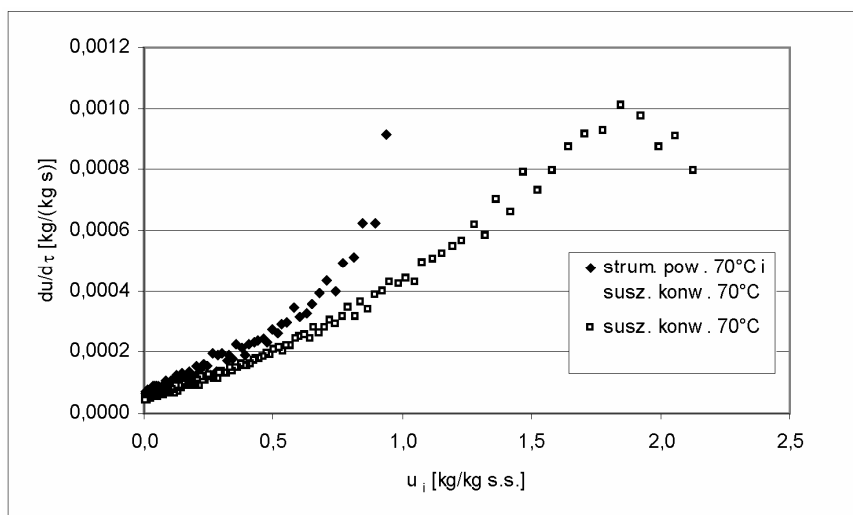
Fig. 1. Influence of temperature of air which strokes particles before drying at temperature 106°C on changes of water content in time



Rys. 2. Krzywe szybkości suszenia w konwekcji naturalnej w temperaturze 106°C po procesie ogrzewania strumieniem powietrza o temperaturze 70, 100 i 150°C w funkcji zawartości wody

Fig. 2. Curves of drying speed in natural convection at temperature 70, 100 and 150°C in water content function

W przypadku stosowania temperatury 70°C podczas ogrzewania w strumieniu powietrza i suszenia konwekcyjnego szybkość suszenia nie przekraczała wartości 0,001 kg/(kg s) (rys. 3.) a proces suszenia konwekcyjnego przebiegał dwa razy krócej. Przy tej metodzie suszenia susz nie posiadał intensywnego koloru, natomiast duży skurcz suszarniczy.

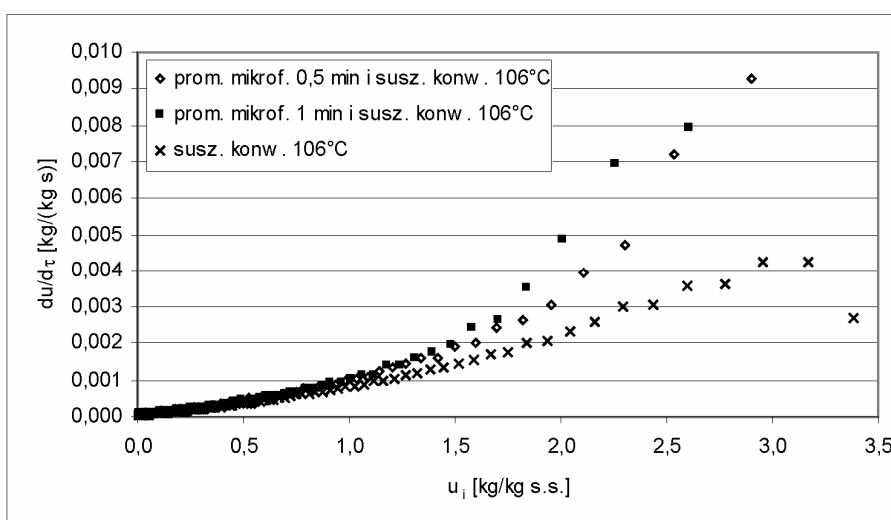


Rys. 3. Krzywe szybkości suszenia w konwekcji naturalnej w temperaturze 70°C po procesie ogrzewania strumieniem powietrza o temperaturze 70°C w funkcji zawartości wody

Fig. 3. Curves of drying speed in natural convection at temperature 70°C after heating with air flow at temperature 70°C in water content function

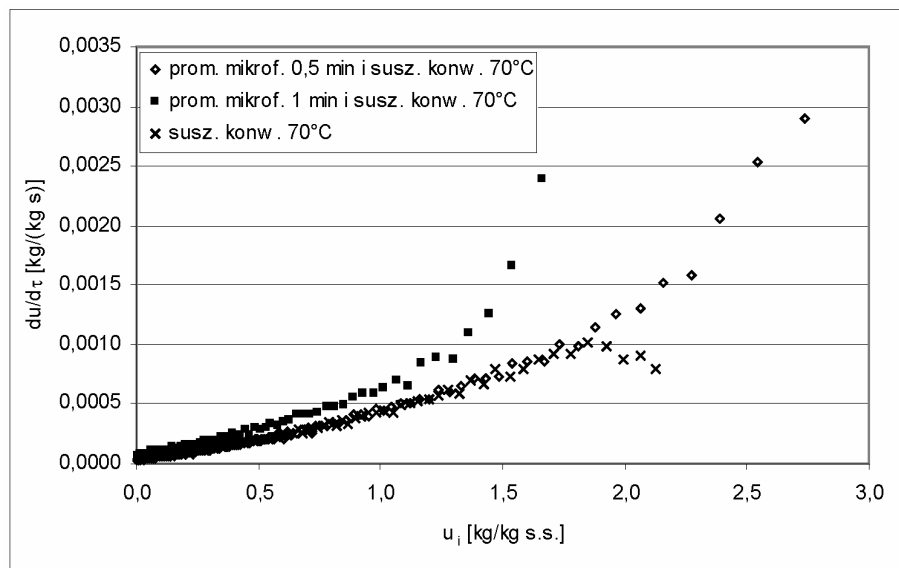
Podczas badań zaobserwowano w początkowej fazie suszenia konwekcyjnego wzrost szybkości suszenia (rys. 2 i 3) w przypadku, gdy w podpowierzchniowej warstwie próbki znajdowała się nieodparowana woda a cząstka materiału szybko się ogrzewała intensywnie parując. Zjawisko to zanika po zastosowaniu promieniowania mikrofalowego, po którym warstwa powierzchniowa jest pozbawiona wolnej wody (rys. 4 i 5). Podobnie zachowywała się cząstka marchwi ogrzana w strumieniu powietrza i suszona w tej samej temperaturze 70°C (rys. 3).

Stosowanie promieniowania mikrofalowego przed suszeniem konwekcyjnym wpłynęło na wzrost szybkości procesu. Największą szybkość suszenia uzyskano w temperaturze 106°C po działaniu mikrofal przez 0,5 jak i 1 minutę (rys. 4), której wartość wynosiła ok. 0,0085 kg/(kg s), tj. więcej o 0,005 kg/(kg s) w porównaniu z procesem suszenia bez wstępnego ogrzewania. W przypadku suszenia konwekcyjnego w temperaturze 70°C (rys. 5) zaobserwowano różny wpływ czasu działania promieniowania mikrofalowego.



Rys. 4. Krzywe szybkości suszenia konwekcyjnego w temperaturze 106°C po procesie ogrzewania promieniowaniem mikrofalowym

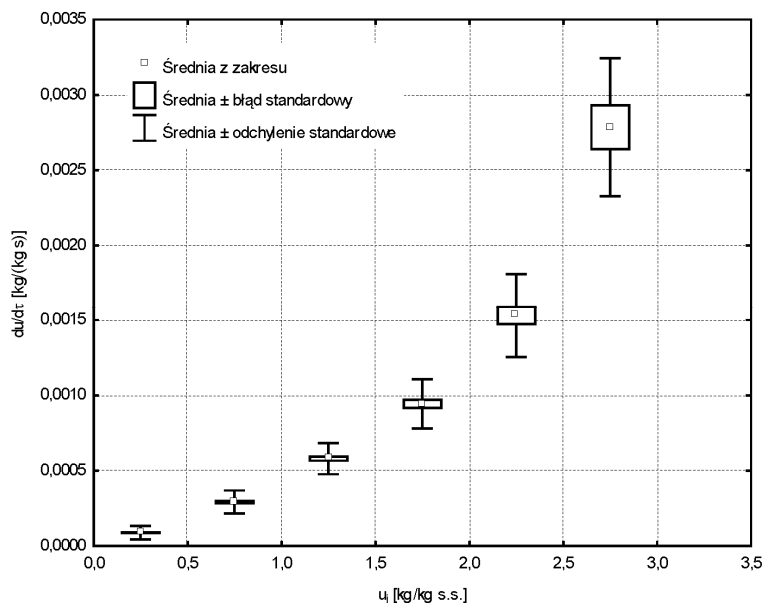
Fig. 4. Curve of convection drying speed at temperature 106°C after heating with microwave radiation



Rys. 5. Krzywe szybkości suszenia konwekcyjnego w temperaturze 70°C po procesie ogrzewania promieniowaniem mikrofalowym

Fig. 5. Curve of convection drying speed at temperature 70°C after heating with microwave radiation

Ogrzewając plastry marchwi przez 0,5 minuty (uzyskano temperaturę cząstki ok. 70°) przebieg szybkości suszenia rozpoczął się od wartości 0,0029 kg/(kg s) przy zawartości wody 2,73 kg/kg s.s., tj. wyższą o 0,0005 kg/(kg s) ($u_i = 1,66$ kg/kg s.s.) przy ogrzewaniu przez 1 minutę i o 0,0019 kg/(kg s) ($u_i = 1,85$ kg/kg s.s.) bez ogrzewania. W przypadku zastosowania promieniowania mikrofalowego przed suszeniem konwekcyjnym zaobserwowano, że po działaniu mikrofal cząstki marchwi stają się wypukłe (jakby nastąpiło delikatne ekspandowanie cząstek), a kolor bardziej intensywny. Wygląd suszonych konwekcyjnie plastrów jest bardzo efektowny ze względu na wzajemnie prostopadły kierunek skurczu w rdzeniu, w odróżnieniu od kory marchwi. Metoda suszenia konwekcyjnego poprzedzona ogrzewaniem cząstek marchwi promieniami mikrofalowymi przez 0,5 minuty, ze względu na szybkość procesu jak i wygląd suszu, jest najbardziej wskazaną. Przedstawiając wyniki badań w formie wykresów ramka-wąsy można ocenić stopień zależności pomiędzy zmienną zależną $du/d\tau$ [kg/(kg s)] a zmienną grupującą u_i [kg/kg s.s.]. Określono przedziały zawartości wody w materiale suszonym (po 0,5 kg/kg s.s.), w których statystycznie określono średnie wartości szybkości suszenia z wartościami błędów oraz odchylenia standardowego. Rysunek 6 przedstawia przykładowy wykres ramka-wąsy zależności szybkości suszenia konwekcyjnego w temperaturze 70°C poprzedzone suszeniem mikrofalowym przez 0,5 minuty od zawartości wody.



Rys. 6. Krzywa szybkości suszenia konwekcyjnego w temperaturze 70°C po procesie ogrzewania promieniowaniem mikrofalowym przez 0,5 minuty
 Fig. 6. Curve of convection drying speed at temperature 70°C after heating with microwave radiation for 0.5 minute

Wnioski

1. Plastry marchwi poddane wstępnej obróbce termicznej osiągają szybciej stan równowagi suszarniczej.
2. W przypadku stosowania ogrzewania cząstek marchwi strumieniem powietrza w temperaturze 100 i 150°C przed suszeniem konwekcyjnym zaobserwowano wzrost szybkości suszenia w badanym zakresie zawartości wody.
3. Najbardziej efektywną metodą poprzedzającą konwekcyjne suszenie jest promieniowanie mikrofalowe przez 0,5 minuty, dzięki któremu zwiększa się szybkość suszenia w temperaturze 70°C o 0,002 kg/(kg.s).

Bibliografia

Diamante L.M., Munro P.A. 1991. Mathematical modeling of hot air drying of sweet potato slices. International Journal of Food Science and Technology 26, str. 99-109.

Lin T.M., Durance T.D., Scaman C.H. 1998. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. *Food Research International* 31 (2), str. 111-117.

Markowski M., Jaros M., Kaleta A. 1994. Analiza procesu konwekcyjnego suszenia buraków ćwikłowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, z. 417, str. 77-92.

Praca wykonana w ramach pracy statutowej S/WM/1/01

INFLUENCE OF THE METHOD OF HEAT INPUT IN CARROT DRYING ON THE KINETICS OF THE PROCESS

Summary

Influence of the method of heat input (stream of hot air at temperature 70, 100 and 150°C for 4 minutes or microwave radiation circa 250W for 0.5 and 1 minute) to single carrot slices before the drying process in natural convection conditions on the process kinetics was analysed. The relation between drying speed at temperature 70 and 106°C as function of water content after application of various methods of preliminary heating was determined and character of these changes in water content ranges was determined.

Key words: drying, convection, microwaves, carrot