

Sławomir Bakier
Wydział Mechaniczny, Katedra Maszyn i Urządzeń Przemysłu Spożywczego
Politechnika Białostocka

ANALIZA WPŁYWU PARAMETRÓW EKSPLOATACYJNYCH URZĄDZENIA P-10 NA PROCES UPLASTYCZNIANIA MIODU SKRYSTALIZOWANEGO

Streszczenie:

W pracy przedstawiono wyniki badań procesu uplastyczniania miodu skrystalizowanego w oryginalnym urządzeniu P-10. Badano wpływ takich parametrów eksploatacyjnych, jak częstość obrotowa, sposób napełnienia komory roboczej i dławienie na przewodzie przelewowym na jakość produktu. Jako surowiec wykorzystano miód skrystalizowany rzepakowy, wielokwiatowy i gryczany. Wykazano, że podstawowe znaczenie w realizowanym procesie ma sposób napełnienia komory roboczej. Dla zastosowanej konstrukcji określono optymalny sposób wykorzystania urządzenia.

Słowa kluczowe: miód kremowy, mieszadło ślimakowe, zawiesina kryształów

Wprowadzenie

Miód jest jednym z nielicznych produktów spożywczych, do którego nie można wprowadzać żadnych dodatków. Dzięki wysokiej zawartości enzymów stanowi cenne uzupełnienie codziennej diety człowieka. Przesycenie glukozą powoduje, że w trakcie przechowywania krystalizuje [Crone 1975]. Ze stanu płynnego wykazującego cechy newtonowskie o lepkości kilku paskalosekund w temperaturze 20°C, miód przechodzi w zawiesinę krystaliczną o właściwościach pseudoplastycznych, a następnie przyjmuje postać ciała stałego [Bakier 2002; Crone 1975]. Zmiana konsystencji wynika z tworzenia się wewnątrz cieczy szkieletu w postaci struktury krystalicznej będącej monohydratami glukozy [Crone 1975]. Powstające kryształy mają charakter dendrytycznych aglomeratów o charakterze przestrzennym, które usztywniają konsystencję krupca. Poprzez mieszanie w trakcie krystalizacji można wpływać na tworzącą się strukturę krystaliczną, a przez to zmieniać końcową konsystencję produktu, uzyskując tzw. miód kremowy zwany też „kremem miodowym” [Bakier, Pękała 2005]. Walory jakościowe miodu kremowego wynikają

głównie z faktu, że ma niezmienny skład chemiczny, gdyż uzyskiwany jest bez obróbki termicznej [Tosi i in. 2002]. Produkt w takiej postaci uzyskuje się zwykle poddając krystalizujący miód cyklicznemu mieszaniu. W celu przyspieszenia procesu krystalizacji do płynnej patoki dodaje się zwykle na wstępie procesu starter w postaci szczepu krystalicznego [Bakier 2004; Crone 1975]. Proces taki realizowany jest w aparatach z wolnoobrotowymi mieszadłami łopowymi [Bakier 2002]. Właściwości reologiczne mieszanej zawiesiny krystalicznej sprawiają, że zapotrzebowanie mocy przy realizacji procesu jest znaczne [Bakier 2002]. W efekcie stosowane do tego celu konstrukcje charakteryzują się znacznymi gabarytami zaś sam proces kremowania jest stosunkowo długi i trwa zwykle kilka dni. Ze względu na właściwości reologiczne uzyskanego medium występują również problemy z jego przetłaczaniem. Wymusza to zastosowanie dodatkowych pomp rotacyjnych. W efekcie linie do kremowania są stosunkowo drogie i stosowane jedynie w dużych wyspecjalizowanych przedsiębiorstwach.

W celu uniknięcia niedogodności związanych z produkcją miodu kremowego dotychczasowym sposobem zrodził się zamysł, ażeby produkt ten uzyskiwać poprzez obróbkę mechaniczną miodu po całkowitej krystalizacji. Zespół gdańskich konstruktorów opracował oryginalną konstrukcję oraz wykonał prototyp urządzenia do uplastyczniania miodu, który nazwano podajnikiem i nadano mu symbol P-10 [Pękala i in. 2004]. Głównym jego elementem jest poziomy ślimak z charakterystycznym uzwojeniem, na którym nacięto specjalne uzębienie [Bakier, Pękala 2005; Pękala i in. 2004]. Poprzez mechaniczne oddziaływanie na krupiec doprowadza on do rozbicia jego przestrzennej struktury krystalicznej i uzyskania miodu o konsystencji kremowej [Bakier, Pękala 2005]. Charakterystycznymi wyróżnikami produkcji miodu kremowego z wykorzystaniem proponowanego urządzenia jest skrócenie czasu kremowania do zaledwie kilku minut, przy zapotrzebowaniu mocy wynoszącym tylko 1,5 kW i wydajności około 120 kg/godz. Na podstawie wstępnych badań prototypu stwierdzono, że występują problemy z napowietrzeniem miodu w trakcie obróbki [Bakier, Pękala 2005]. Z tego też powodu stało się konieczne przeprowadzenie szerszych badań umożliwiających określenie warunków optymalnego wykorzystania nowej konstrukcji do procesu kremowania miodu skryształizowanego.

Cel i zakres pracy

Główne cele przeprowadzonych badań prototypu urządzenia do uplastyczniania miodu o symbolu P-10 obejmowały:

- analizę procesu kremowania i identyfikację parametrów eksploatacyjnych wpływających na jakość produktu;
- badanie możliwości kremowania różnych gatunków miodu;
- wypracowanie optymalnych warunków eksploatacji urządzenia.

Ze względu na fakt, że konstrukcja ma charakter prototypowy, na wstępie badano efekty oddziaływań mechanicznych organów roboczych urządzenia na przetwarzane medium i identyfikowano główne parametry eksploatacyjne mające wpływ na przebiegający proces. Następnie analizowano wpływ wyłonionych wyróżników na stan produktu końcowego. Pomiaru poboru mocy i wydajności urządzenia stanowiły uzupełnienie przeprowadzonych analiz.

Metodyka

Stan miodu skryształowanego po obróbce w urządzeniu określano poprzez obserwację mikrostruktury wewnętrznej i wyglądu zewnętrznego w opakowaniu jednostkowym. Badano również stabilność produktu, czyli zachowanie się w trakcie przechowywania. Wszystkie pomiary prowadzono w stałej temperaturze, której wartość nominalna wynosiła $20^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Strukturę wewnętrzną miodu po obróbce badano poprzez fotografowanie próbek w warunkach interferometrii birefrakcyjnej na mikrointerferometrze Biolar PI analogicznie jak w innych pracach [Bakier 2004; Bakier, Pękala 2005]. Akwizycji obrazu dokonywano przy użyciu cyfrowego rejestratora obrazu Casio QV-2900UX w formacie (jpg). Wygląd zewnętrzny i stabilność produktu w trakcie przechowywania prowadzono w ujęciu makroskopowym poprzez obserwację i fotografowanie próbek miodu o objętości $0,9\text{dm}^3$, w kolejnych dniach jego przechowywania.

Zawartość wody w miodzie określano refraktometrycznie za pomocą Refraktometru Abbego. Do regulacji częstości obrotowej wykorzystano falownik firmy ABB umożliwiający bezstopniową zmianę prędkości silnika w zakresie $0-23,5\text{ s}^{-1}$, co po uwzględnieniu przełożenia przekładni ślimakowej umożliwiała uzyskanie prędkości obrotowej wału ślimaka w podajniku na poziomie $0-2,5\text{ s}^{-1}$. Badania poboru mocy realizowano z wykorzystaniem przenośnego urządzenia do pomiaru mocy czynnej KWS-1083. Przebieg zmian poboru mocy w trakcie pracy rejestrowano za pomocą rejestratora XY. Badania wydajności polegały na pomiarze czasu wypływu masy miodu wynoszącej około 10 kg z podajnika przez zawór spustowy, którą następnie ważono z dokładnością do 1g. Aproksymacje wyników pomiarów przeprowadzono w programie Statistica. Właściwości reologiczne określano w temp. 20°C w przepływie reometrycznym Searle'a za pomocą Rheotestu 2.

Charakterystyka badanego materiału

Ze względu na fakt, że miód w zależności od pochodzenia wykazuje różną podatność do kremowania do badań wykorzystano trzy różne gatunki: rzepakowy, wielokwiatowy i gryczany. Zgodnie ze wskazaniem Dyce'a [Crone 1975] do badań

zastosowano miód o zawartości wody poniżej 19%. Wynosiła ona odpowiednio dla miodu: rzepakowego 18,6%, wielokwiatowego 18,9% i gryczanego 18,8%. Miód był całkowicie skryształizowany. Kryształizacja przebiegała w sposób naturalny w zamkniętych naczyniach o pojemności 10 litrów w temperaturze około 14°C.

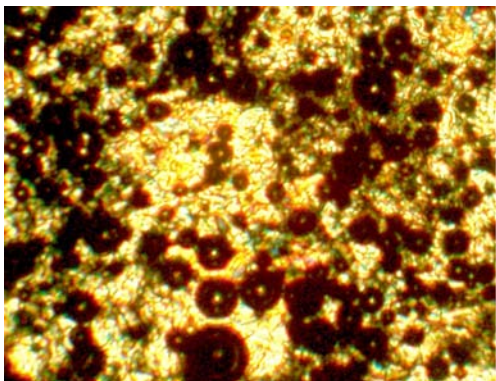
Wyniki badań i ich analiza

Na rys. 1 przedstawiono wnętrze urządzenia P-10 w trakcie procesu obróbki miodu gryczanego. Charakterystycznym zjawiskiem występującym w trakcie pracy podajnika jest formowanie się „wałka” z produktu obrabianego, który obraca się w kierunku przeciwnym do ślimaka. Analiza procesu przebiegającego w urządzeniu, mikrostruktury medium oraz przeprowadzenia szeregu prób potwierdziła, że podstawowym parametrem eksploatacyjnym wpływającym na jakość otrzymywanego produktu w tych warunkach jest częstość obrotowa ślimaka. Nie ma natomiast praktycznie żadnego wpływu dławienie na rurze recyrkulacyjnej. Przykładowe fotografie mikrostruktury miodu wielokwiatowego i gryczanego przedstawiono na rys. 2 i rys. 3. Czarne kuliste formy to pęcherzyki powietrza, które dostają się w trakcie procesu obróbki mechanicznej do miodu.

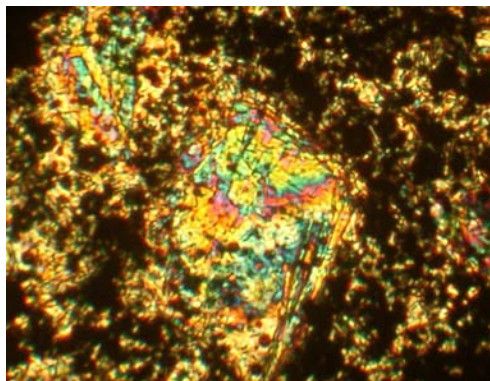
Na rys. 4 przedstawiono wygląd miodu wielokwiatowego w opakowaniu jednostkowym 24 godziny po obróbce, zaś na rys.5 ten sam produkt po pięciu dobach przechowywania w temperaturze 20°C. Badając wpływ częstości obrotowej na wygląd i zachowanie się miodu w opakowaniach jednostkowych w trakcie przechowywania stwierdzono, że dobrej jakości produktu nie daje redukcja częstości obrotowej nawet do 0,5 s⁻¹. Jedyne w przypadku miodu rzepakowego, wykazującego najmniejszą tendencję do napowietrzenia można mówić o zadawalającej jakości produktu w takich warunkach.



Rys. 1. Wnętrze urządzenia P-10 w trakcie obróbki miodu gryczanego
Fig. 1. P-10 device interior in operation



Rys. 2. Mikrostruktura miodu wielokwiatowego po obróbce
Fig. 2. Microstructure of floral honey after treatment



Rys. 3. Mikrostruktura miodu gryczanego po obróbce
Fig. 3. Microstructure of buckwheat honey after treatment



Rys. 4. Wygląd miodu wielokwiatowego w opakowaniu 24 godziny po obróbce
Fig. 4. Bottled floral honey 24 hours after treatment



Rys. 5. Wygląd miodu wielokwiatowego w opakowaniu 120 godzin po obróbce
Fig. 5. Bottled floral honey 120 hours after treatment

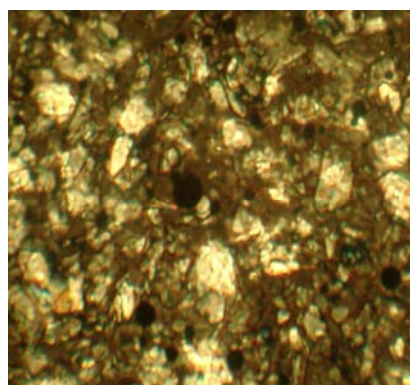
Negatywna ocena przeprowadzonych pomiarów skłoniła do szczegółowej analizy przebiegającego procesu w urządzeniu. Zwrócono uwagę, że napowietrzenie wynika z faktu formowania się wąskiej szczeliny pomiędzy ślimakiem a obracającym się „wałkiem” obrabianego medium. Są to wyjątkowo korzystne warunki do

„przechwytywania” powietrza przez obrabiany mechanicznie miód. Z tego też powodu w celu uniknięcia tego procesu opracowano alternatywny sposób wykorzystania urządzenia. Polegał on na takim napełnieniu komory wsadowej, ażeby ślimak był całkowicie „zalany” miodem i nie miał kontaktu z powietrzem. Napełnienie musi być na tyle duże, ażeby miód mógł się przelewać z komory recyrkulacyjnej do komory wsadowej i nie występowało przy tym odsłanianie roboczych powierzchni obrotowych. Dokładne odizolowanie ślimaka od powietrza możliwe jest po zalaniu go płynnym miodem. Wymaga to wprowadzenia do wsadu, co najmniej 20% płynnego miodu.

Zmiana sposobu załadowania urządzenia ma daleko idące konsekwencje na technologię jego przetwarzania. Należy zwrócić uwagę, że z jednej strony wydłuża to czas mieszania – konieczność dokładnego ujednorodnienia zawiesiny. Wymusza również powtórzenie mieszania po 24 a nawet 48 godzinach. Wynika to z faktu, że w trakcie heterogenicznej krystalizacji wprowadzonego, płynnego miodu powstające kryształy mogą formować przestrzenne aglomeraty, usztywniając strukturę. Urządzenie podczas pracy w nowych warunkach przedstawiono na rys. 6. Analizując jakość produktu uzyskanego w takich warunkach okazało się, że jego napowietrzenie jest minimalne, co ukazano na rys. 7.



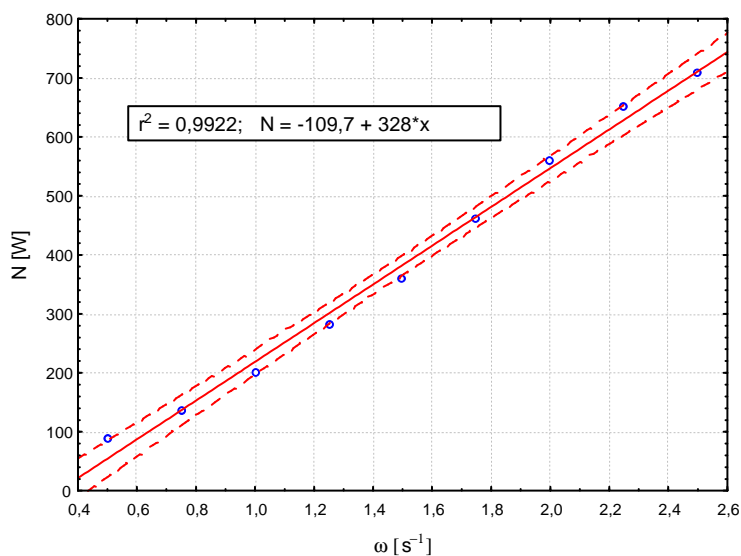
Rys. 6. *Urządzenie podczas pracy przy wypełnionych obu komorach*
Fig. 6. *Device In operation with both chambers filled up*



Rys. 7. *Mikrostruktura miodu wielokwiatowego po obróbce w urządzeniu w warunkach „zalanego ślimaka”*
Fig. 7. *Microstructure of floral honey after treatment In the device with the worm mixer at „bottom” position*

Najbardziej zaskakującym efektem obróbki miodu w urządzeniu alternatywną metodą był fakt, iż napowietrzenie produktu nie zależało od częstości obrotowej ślimaka. Było przy tym nieporównywalne do obróbki krupca pierwszym sposobem. Wynika to jednoznacznie już z pobieżnego porównania rys. 7 z wcześniejszymi obrazami – rys. 2 i rys. 3. Jednocześnie uzyskano stosunkowo jednorodny produkt w całej masie niezależnie od tego, czy był to miód rzepakowy, wielokwiatowy czy gryczany. Badając stabilność tak uzyskanego produktu stwierdzono, że jego konsystencja jest trwała i nie dochodzi do jakichkolwiek zmian w opakowaniu w trakcie przechowywania.

Na rys. 8 przedstawiono charakterystykę mocy podajnika P-10 w nowych warunkach pracy. Pomiary wykazały występowanie liniowej zależności pobieranej mocy od częstości obrotowej. Ponadto stwierdzono, że praca urządzenia w warunkach, kiedy ślimak całkowicie jest „zalany” miodem jest cicha i nie występują oscylacje pobieranej mocy przez silnik.



Rys. 8. Charakterystyka mocy podajnika P-10 przy uplastycznianiu miodu przy „zalanym ślimaku”

Fig. 8. Power characteristics of P-10 feeder with the worm mixer at “bottom” position

Przy wypracowanym alternatywnym sposobie wykorzystania urządzenia wykazano, że bardzo dobrej jakości produkt można uzyskać w przypadku każdego gatunku miodu. Otrzymywany miód kremowy wykazywał właściwości płynu Bingham'a, np. krzywa płynięcia skryształizowanego miodu wielokwiatowego po obróbce opisuje równanie w postaci: $\tau = 20 + 19 \cdot \dot{\gamma}$. Uzyskany produkt wykazuje, więc stan półpłynny i daje się łatwo rozsmarowywać po pieczywie. Zmiana właściwości reologicznych jest wynikiem zniszczenia przestrzennej struktury krystalicznej miodu o charakterze dendrytycznym i powstania zawiesiny w postaci małych, płaskich cząstek krystalicznej glukozy zawieszonych w otaczającym roztworze, co przedstawia fotografia zamieszczona na rys. 7. Podobne właściwości reologiczne uzyskano dla preparowanych zawiesin glukozy o stężeniu fazy krystalicznej wynoszącym 32% [Bakier 2004]. Przeprowadzone pomiary potwierdziły, że układ roboczy urządzenia P-10 bardzo efektywnie niszczy strukturę dendrytyczną miodu skryształizowanego.

Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań wykazano, że podstawowym parametrem eksploatacyjnym urządzenia P-10 wywierającym główny wpływ na jakość produktu końcowego jest sposób załadowania komory roboczej. Wynika to z faktu, że warunkiem powodzenia procesu jest odizolowanie ruchomych organów roboczych urządzenia od otaczającego powietrza. Zastosowanie płynnego miodu korzystnie wpływa na jakość końcową produktu, lecz z drugiej strony wydłuża czas obróbki. Bardzo ważnym efektem związanym z zastosowaniem urządzenia z „zatopionym poziomym ślimakiem i dwiema komorami roboczymi” jest możliwość obróbki wszystkich gatunków miodu. Dodatkowym wnioskiem, z przeprowadzonych badań jest również unaocznienie, że zastosowanie falownika poprzez programowanie umożliwia bezobsługową organizację cyklu pracy urządzenia, co jest bardzo wygodne, gdy proces prowadzony jest cyklicznie przez dłuższy okres czasu.

Przeprowadzone pomiary dowiodły, że zastosowane urządzenie umożliwia bardzo dobre ujednorodnienie stosunkowo trudno mieszających się mediów bez ich napowietrzenia. Na takie problemy zwrócono uwagę wcześniej prowadząc mieszanie płynnego miodu ze szczepem za pomocą mieszadła łapowego [Bakier 2002; Bakier 2002]. Wydaje się również, że urządzenie P-10 umożliwia kremowanie miodu metodą tradycyjną. Prace badawcze w tym zakresie są aktualnie prowadzone.

Bibliografia

Bakier S. 2000. Właściwości reologiczne miodu pszczelego w postaci skryształizowanej. *Inżynieria Rolnicza* 5 (16) Warszawa, str. 23-30.

Bakier S. 2002. Charakterystyki mocy przy mieszaniu krupca miodowego mieszadłem łapowym. *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Budowa i Eksploatacja Maszyn Zeszyt 9*. Białystok str. 19-28.

Bakier S. 2004. Badanie wpływu mikrostruktury na konsystencję zawiesin krystalicznej glukozy. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 14/25 Nr 2, Warszawa, str. 30-33.

Bakier S. 2004. Badanie kinetyki mieszania szczepu krystalicznego z cieczą newtonowską o dużej lepkości, *Inż. I Apar. Chem.* nr 3, str. 9-10.

Bakier S., Pękala L. 2005. Praktyczny sposób zmiany konsystencji miodu skryształizowanego bez utraty właściwości odżywczych. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*. 15/26 Nr 1, Warszawa, str. 10-13.

Crone E. 1975. *Honey a comprehensive survey*. Heinemann London, str. 275-284.

Lazaridou A., Biliaderis C.G., Bacandritsos N., Sabatini A.G. 2004. Composition, thermal and rheological behaviour of selected Greek honeys. *Journal of Food Engineering* 64, str. 9-21.

Pękala L., Tabaka H., Grochalski J. 2004. Podajnik do miodu skryształizowanego. *Zgłoszenie Patentowe W115031*.

Tosi E., Ciappini M., Re´ E., Lucero H. 2002. Honey thermal treatment effects on hydroxymethylfurfural content. *Food Chemistry*, 77, str. 71-74.

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE
OF THE OPERATING PARAMETERS ON THE SOFTENING
OF HONEY CRYSTALLIZED IN P-10 DEVICE**

Summary

The paper presents research results on the plasticization of honey crystallized in an innovative P-10 device. The analysis included the effect of such operating parameters as rotational frequency, the way of filling the working chamber and the choking in the flow pipe on the quality of the product. In the research crystallized floral and buckwheat honey was used. It was shown that the way of filling the working chamber played a predominant role in the process. An optimal technique of using the creaming device was described.

Key words: honey cream, worm mixer, crystalline suspension