

Dr inż. Sławomir BAKIER
Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka

ANALIZA WYKORZYSTANIA PODAJNIKA P-10 DO WYTWARZANIA MIESZANIN MIODU Z PYŁKIEM KWIATOWYM®

Praca dotyczy badania możliwości produkcji mieszanin miodu skryształizowanego z pyłkiem kwiatowym przy użyciu podajnika P-10. Zbadano zapotrzebowanie mocy w trakcie sporządzania mieszaniny, jej jednorodność oraz właściwości reologiczne. Wykazano, że 10% udział masowy pyłku kwiatowego w mieszaninie powoduje około dziesięciokrotne zwiększenie lepkości pozornej, co podwaja moc niezbędną do napędu urządzenia. Uzyskany produkt charakteryzuje się wysoką jednorodnością, którą określono wykorzystując odchylenie standartowe liczby ziaren pyłku kwiatowego identyfikowanych na fotografiach wykonanych w warunkach interferometrii birefrakcyjnej. Wyniki badań jednoznacznie pokazują, że podajnik P-10 jest konstrukcją w pełni przydatną do produkcji mieszanin miodu z pyłkiem kwiatowym.

Słowa kluczowe: miód skryształizowany, pyłek kwiatowy, właściwości reologiczne, mieszanina.

WPROWADZENIE

Pyłek kwiatowy jest pokarmem białkowym pszczoł [12]. Pojedyncze ziarna pyłku występują we wszystkich miodach kwiatowych [13, 14, 16] i są wykorzystywane do określenia ich pochodzenia [2]. W walory odżywcze tego produktu sprawiają, że coraz powszechniej pyłek kwiatowy jest produktem pszczelim wykorzystywanym jako dodatek do żywności [11]. Produkt ten lub też preparaty sporządzone na jego bazie stosowane są powszechnie w medycynie i profilaktyce [12]. Najprostszym sposobem wykorzystania pyłku kwiatowego jest konsumpcja suszonych obnóży pyłkowych [1]. W ich masie znajduje się średnio 32,8 % białka (w tym 11,5% egzogennych aminokwasów), 40,7% cukrów redukujących, 12,8% lipidów (w tym 5,1% niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych), 4% biopierwiastków i aż 0,7% witamin [1, 12]. W literaturze przedmiotu zwraca się uwagę, że wykorzystanie suszonego pyłku kwiatowego przez organizm człowieka jest ograniczone, gdyż proces uwalniania substancji aktywnych z suszonych obnóży jest znacznie dłuższy niż proces trawienia. W takich warunkach wykorzystuje się zaledwie 10-15% potencjalnych możliwości wynikających ze składu chemicznego pyłku kwiatowego [12]. Jednym ze sposobów zwiększenia przyswajalności substancji zgromadzonych w omawianym produkcie jest wytwarzanie mieszanin z miodem. W środowisku kwaśnym i wilgotnym dochodzi do uwolnienia substancji aktywnych z wnętrza ziaren pyłkowych i jednocześnie następuje ich konserwacja. Uzyskuje się w ten sposób produkt o cennym składzie i atrakcyjnych właściwościach organoleptycznych zbliżonych do miodu kremowego [8].

Mieszaniny miodu z pyłkiem uzyskuje się poprzez mieszanie skryształizowanego miodu ze zmielonymi i wysuszonymi obnóżami pyłkowymi [8]. Otrzymywanie takiego produktu jest obecnie kłopotliwe ze względów technicznych. Składa się na to kilka powodów. Miód skryształizowany charakteryzuje się bardzo wysoką lepkością pozorną i silnym efektem tiksotropowym [3]. Po dodaniu do krupca pyłku kwiatowego, który może stanowić od 5 do 20% masy mieszaniny, następuje dodatkowo znaczny przyrost lepkości pozornej i uwydatnienie właściwości pseudoplastycznych medium [8]. Konsekwencją tego jest konieczność znacznego zwiększenia zapotrzebowania mocy do realizacji procesu mieszania oraz tendencja do obniżania częstości obrotowej organów roboczych [4, 6]. Z drugiej strony

konieczność uzyskania mieszaniny o wysokiej jednorodności w całej masie wymusza stosowanie wysokich prędkości organów roboczych [5]. Charakterystyczną również cechą krupca miodowego, mającą znaczący wpływ na warunki mieszania, jest podatność na silne napowietrzenie. Użycie zwykłych mieszalników np. miesiarek, nie jest możliwe, gdyż poprzez silne napowietrzenie następuje obniżenie jakości mieszaniny. Zdaniem autora jest to jeden z powodów, dla których produkt ten, pomimo cennych właściwości, nie stał się powszechnie dostępny. Dlatego też podjęto próbę wykorzystania do tego celu urządzenia skonstruowanego w Gdańskich Zakładach Remontowo-Montażowych i oznaczonego symbolem P-10. Szczegóły konstrukcyjne i zasadę pracy podajnika P-10 prezentowano w poprzednim numerze niniejszego czasopisma [7]. Pierwotnym jego przeznaczeniem było uplastycznianie miodu skryształizowanego. Badania przeprowadzone na różnych gatunkach miodu pszczelego wykazały, że jest to konstrukcja sprawdzająca się przy przeróbce krupca, a podstawowym parametrem eksploatacyjnym jest sposób napełnienia komory roboczej. W związku z powyższym postawiono tezę, iż jest również możliwe wykorzystanie urządzenia P-10 do wytwarzania mieszanin pyłku kwiatowego z miodem.

CEL I ZAKRES PRACY

Celem niniejszej pracy było sprawdzenie możliwości wytwarzania mieszanin miodu z pyłkiem kwiatowym za pomocą urządzenia P-10 do uplastyczniania skryształizowanego miodu. Zakres badań obejmuje określenie zapotrzebowania mocy do realizacji procesu w urządzeniu oraz cech wytwarzanej mieszaniny, takich jak właściwości reologiczne i jednorodność.

OPIS MATERIAŁU I METOD BADAWCZYCH

Do sporządzenia mieszaniny wykorzystano skryształizowany miód rzepakowy w ilości 45kg, o zawartości wody 18,6% oraz 5 kg wysuszonych obnóży pyłkowych, co stanowiło 10% udział masowy tego składnika. Produkowane mieszaniny pyłku kwiatowego z miodem na ogół nie przekraczają tej wartości [12]. Obnóża pyłkowe pochodziły ze zbiorów w trakcie kwitnienia rzepaku, przed wymieszaniem zostały rozdrobnione w młynku bijakowym i przesiane przez sito o oczku 0,25mm.

Badania zapotrzebowania mocy realizowano z wykorzystaniem przenośnego urządzenia do pomiaru mocy czynnej KWS-1083 wyprodukowanego przez Ośrodek Badawczo-

Rozwojowy Metrologii Elektrycznej „METROL” w Zielonej Górze. Mierzono pobór mocy w zależności od częstości obrotowej ślimaka. W badaniach wykorzystano falownik firmy ABB umożliwiający bezstopniową zmianę częstości obrotowej silnika w zakresie $0-23,5 \text{ s}^{-1}$, co po uwzględnieniu przełożenia przekładni ślimakowej dawało częstość obrotową ślimaka roboczego podajnika P-10 w zakresie $0-2,5 \text{ s}^{-1}$. Przebieg zmian poboru mocy w trakcie pracy rejestrowano za pomocą rejestratora XY typu Endim. Wyniki pomiarów mocy przy wytwarzaniu mieszaniny miodowo-pyłkowej przedstawiono na tle mocy pobieranej przy mieszaniu czystego skrzystalizowanego miodu.

W celu ograniczenia napowietrzenia mieszanego medium proces prowadzono przy zmiennych kierunkach obrotów ślimaka. Powodowało to zmianę kierunku przetłaczania miodu: raz z komory roboczej do przelewowej, to znów z przelewowej do roboczej. Zmiany kierunku obrotów dokonywano w momencie odsłonięcia roboczych powierzchni ślimaka. Gwarantowało to dużą intensywność mieszania bez napowietrzenia produktu.

Ocenę jednorodności mieszaniny po mieszaniu przeprowadzono w oparciu o określenie liczby ziaren pyłku identyfikowanych na fotografiach mikrostruktury. Wykonano 50 fotografii, na których zliczono pojedyncze ziarna pyłku i określono średnią ich liczbę oraz odchylenie standardowe od tej wartości, które może być wykorzystane jako wskaźnik jednorodności [5, 6]. Średnią liczbę ziaren pyłku \bar{L} obliczano ze wzoru:

$$\bar{L} = \frac{1}{50} \sum_{i=1}^{50} L_i \quad (1)$$

Odchylenie standardowe opisujące dyspersję liczby identyfikowanych ziaren pyłku kwiatowego mieszaniny, określano na podstawie zależności:

$$\delta = \sqrt{\sigma^2(L)} = \sqrt{\frac{1}{50} \sum_{i=1}^{50} (L_i - \bar{L})^2} \quad (2)$$

- delta

gdzie: L_i – oznacza liczbę ziaren pyłku w danym pomiarze

Próbkę do fotografowania uzyskiwano umieszczając małą kroplę mieszaniny pomiędzy dwoma szkiełkami mikroskopowymi rozdzielonymi przekładką o grubości 0,1mm. Ze względu na właściwości optyczne mieszaniny fotografie wykonywano na mikrointerferometrze Biolar PI przy skręceniu analizatora względem polaryzatora o kąt około 75° [6]. W takich warunkach ziarna pyłku kwiatowego były najbardziej widoczne. Akwizycji obrazu dokonywano przy użyciu cyfrowego rejestratora obrazu Casio QV-2900UX w formacie (jpg) [5].

Właściwości reologiczne określano w temp. 20°C w przepływie reometrycznym Searle'a za pomocą Rheotestu 2. Charakterystykę reologiczną wyznaczano w oparciu o pomiar równowagowych naprężeń ścinających przy skokowo rosnących wartościach szybkości ścinania [14]. Wyniki rejestrowano na rejestratorze XY typu Endim 622. Zastosowana metodyka pomiarowa stanowi typowy element opisu właściwości reologicznych zawiesin krystalicznych [15]. Aproksymacje wyników pomiarów przeprowadzono w programie Excel.

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Urządzenie w trakcie realizacji procesu mieszania pyłku kwiatowego ze skrzystalizowanym miodem przedstawiono na rys.1 i rys.2. Pierwsza fotografia ukazuje pracę podczas pierwszego przetłaczania mieszaniny z komory załadowczej

do przelewowej. Druga wykonana została w trakcie pracy podajnika przy przeciwnym kierunku obrotów, w chwili zassania powietrza przez ślimak. Jest to moment, kiedy dokonywano zmiany kierunku obrotów i przez co uzyskiwano cykliczną zmianę kierunku przetłaczania miodu z jednej komory do drugiej. Taka realizacja procesu gwarantowała dokładne wymieszanie całej masy wsadu przy minimalnym jego napowietrzeniu.



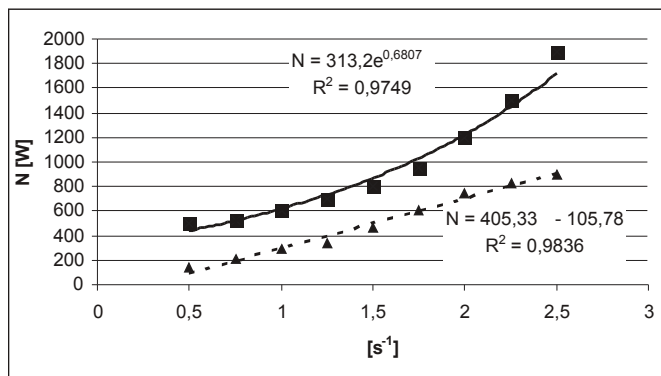
Rys.1. Urządzenie w trakcie pracy podczas pierwszego „przetłaczania” mieszaniny



Rys.2. Urządzenie w trakcie pracy przy „przeciwnym” kierunku prędkości obrotowej w momencie zassania powietrza przez ślimak

Pierwszym etapem przeprowadzonych badań było określenie mocy niezbędnej do napędu urządzenia przy wytwarzaniu mieszaniny z 10% masowym udziałem suchego pyłku kwiatowego. Wyniki pomiarów mocy silnika napędowego w zależności od częstości obrotowej ślimaka mieszającego przedstawiono na rys.3. Linia ciągła i punkty pomiarowe w postaci kwadratów pokazują pobór mocy przy mieszaniu pyłku z miodem, zaś linia przerywana i trójkątne punkty pomiarowe oznaczają zapotrzebowanie mocy przy mieszaniu czystego miodu skrzystalizowanego.

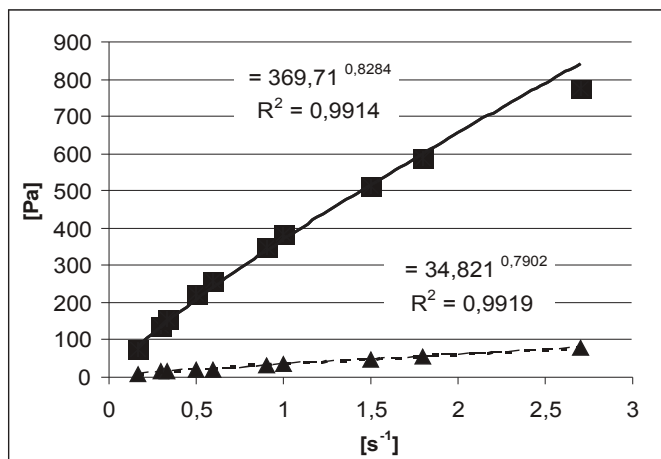
Charakterystycznym efektem stwierdzonym przy wytwarzaniu mieszaniny jest wykładnicze zapotrzebowanie mocy wraz ze wzrostem częstości obrotowej, w porównaniu do liniowego wzrostu przy pracy „na czystym” miodzie skrzystalizowanym. Moc ta jest w trakcie mieszania pyłku z miodem, w większości punktów pomiarowych, ponad dwukrotnie większa. Przy częstości $\approx 2,25 \text{ s}^{-1}$ uzyskuje wartość



Rys. 1. Zależność zapotrzebowania mocy w trakcie mieszania pyłku kwiatowego z miodem od częstości obrotowej

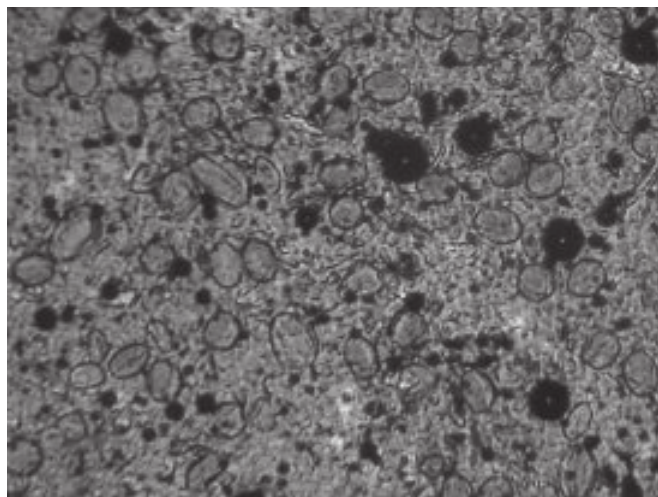
równą mocy znamionowej silnika napędowego, a mieszanie z częstością $\omega = 2,5s^{-1}$ powoduje już ponad 20% przeciążenie silnika i z tego powodu nie może być realizowane w sposób ciągły. Znacznie wyższe zapotrzebowanie mocy przy mieszaniu pyłku z miodem w stosunku do uplastyczniania czystego miodu wynika z właściwości reologicznych tworzącej się mieszaniny. Dodatek suchego pyłku kwiatowego powoduje pokaźny wzrost udziału fazy stałej w zawiesinie a tym samym wzrost jej lepkości pozornej. Wywołuje to wzrost oporów mieszania i przetłaczania mieszaniny przez układ roboczy urządzenia, co szczególnie uwydatnia się przy wyższych częstościach obrotowych urządzenia.

Na rys.4 przedstawiono charakterystykę reologiczną mieszaniny miodu z pyłkiem uzyskanej po jednej godzinie mieszania z częstością $\omega = 2,25s^{-1}$. Wyniki pokazano w sposób analogiczny jak w przypadku mocy ukazując krzywą płynięcia mieszaniny miodu z pyłkiem kwiatowym (punkty pomiarowe w kształcie kwadratów) na tle krzywej płynięcia czystego miodu skryształizowanego po uplastycznieniu w tych samych warunkach (trójkątne punkty pomiarowe). Równanie regresji uzyskane po aproksymacji wyników doświadczenia dla mieszaniny miodu z pyłkiem przyjmuje postać krzywej potęgowej w postaci równania: $\tau = 369,7 \cdot \dot{\gamma}^{0,83}$ przy wartości współczynnika $R^2 = 0,9914$, która potwierdza, że przyjęty model potęgowej Ostwalda-de Waele jest właściwy [10]. Niemniej z praktycznego punktu widzenia bardziej istotna jest wartość lepkości pozornej. Zależy ona, od szybkości ścinania i w przeprowadzonym doświadczeniu dla $(0,1667; 2,7) s^{-1}$, mieści się w przedziale τ (436; 287) Pas. Wyższa wartość lepkości pozornej występuje przy niższej szybkości ścinania,

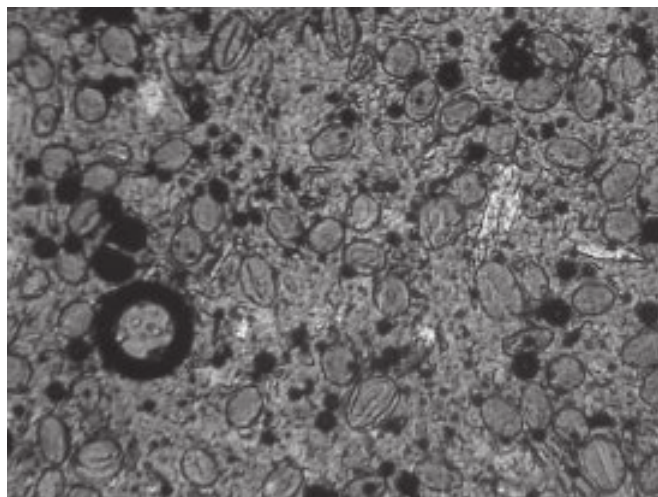


Rys. 4. Właściwości reologiczne mieszaniny miodowo-pyłkowej bezpośrednio po procesie mieszania

co oznacza, że jest to ciecz rozrzedzana ścinaniem [10]. W porównaniu ze skryształizowanym miodem jest to wartość, około dziesięciokrotnie wyższa [7]. Można wyciągnąć więc wniosek, że dziesięciokrotny wzrost lepkości pozornej obrabianego medium w urządzeniu powoduje dwukrotny wzrost mocy pobieranej przez silnik. Taka korelacja pomiędzy właściwościami reologicznymi i zapotrzebowaniem mocy wynika z konstrukcji urządzenia oraz wykazywania przez medium efektu pseudoplastyczności. Wpływa na to ukształtowanie geometryczne organów roboczych ślimaka, wewnętrznych kanałów przepływowych oraz kinetykę wywołanych przepływów wokół ślimaka jak i rusze recyrkulacyjnej.



Rys. 5. Struktura mikroskopowa mieszaniny miodowo-pyłkowej



Rys. 6. Struktura mikroskopowa mieszaniny miodowo-pyłkowej

Na rys.5 i rys.6 przedstawiono przykładowe fotografie mikrostruktury uzyskanej mieszaniny miodu z pyłkiem, bezpośrednio po procesie mieszania. Na tych fotografiach wyraźnie widoczne są pojedyncze ziarna pyłku kwiatowego przyjmujące okrągłe lub lekko owalne kształty. Z tego też powodu wykorzystano odchylenie standardowe tej wartości do określenia jednorodności medium. W wyniku zliczania ziaren na poszczególnych fotografiach ustalono, że $\bar{L} = 65$ a $\sigma = 5,85$. Te dwa wyróżniki pokazują, że uzyskana zawiesina wykazuje bardzo dobrą jednorodność w całej swojej masie. Na fotografiach tych są również widoczne w postaci czarnych kół i okręgów pęcherze powietrza. Jednak ich ilość jest niewielka, w związku z czym nie powodują zmian jakościowych w produkcie. W trakcie przechowywania może dochodzić jedynie do powstania cienkiej błonki o białej barwie na powierzchni produktu.

WNIOSKI

1. Wyniki przeprowadzonych doświadczeń jednoznacznie pokazują, że podajnik P-10 umożliwia uzyskanie mieszaniny miodu z pyłkiem kwiatowym o bardzo dobrej jakości. Uzyskany produkt charakteryzuje się wysoką jednorodnością oraz minimalnym napowietrzeniem. Wynika to z cech konstrukcyjnych urządzenia oraz warunków pracy. Ślimak mieszający w trakcie mieszania i przetłaczania medium jest całkowicie zatopiony w miodzie i nie kontaktuje się z powietrzem. W trakcie pracy rozciera mieszaninę i jednocześnie przetłacza przez rurę recyrkulacyjną, co pozwala bardzo dokładnie rozprowadzić ziarna pyłku kwiatowego w całej masie miodu.
2. Wyniki pomiarów mocy wskazują na konieczność zwiększenia mocy silnika napędowego. Umożliwiłoby to zwiększenie częstości obrotowej oraz wytwarzanie mieszanin z większym udziałem pyłku kwiatowego. Wskazana byłaby również zmiana konstrukcji układu napędowego. Obecny wykorzystujący przekładnię ślimakową umożliwia pracę tylko przy jednej wartości częstości obrotowej. Wydaje się celowe zastosowanie napędu w postaci silnika asynchronicznego połączonego bezpośrednio z wałem ślimaka i zasilanego poprzez falownik. Takie rozwiązanie konstrukcyjne wymusza zastosowanie dodatkowego łożyskowania wału ślimaka od strony napędowej. Daje jednak możliwość bezstopniowej zmiany częstości obrotowej, zmiany kierunku obrotów, automatycznego zabezpieczenia przed przeciążeniem oraz możliwości programowania pracy. Ten ostatni argument jest szczególnie istotny przy cyklicznym powtarzaniu procesu mieszania.
3. Obsługa urządzenia P-10 jest prosta i nie wymaga specjalnego przygotowania. W związku z powyższym doskonale nadaje się do potrzeb indywidualnych gospodarstw pszczelarskich. Produkcja mieszaniny miodu z pyłkiem kwiatowym daje tym podmiotom gospodarczym możliwość poszerzenia oferty handlowej o cenny produkt. Walory odżywcze mieszaniny miodu z pyłkiem kwiatowym jednoznacznie wskazują na potrzebę zwiększenia dostępności tego produktu dla szerokiego grona odbiorców.
4. Celowe wydaje się kontynuowanie badań nad możliwością produkcji mieszaniny o wyższym stopniu koncentracji pyłku kwiatowego oraz aspektami technologicznymi związanymi z jakością uzyskiwanego produktu.

LITERATURA

- [1] Almeida-Muradian L.B., Pamplona L.C., Coimbra S., Barth O.M.: Chemical composition and botanical evaluation of dried bee pollen pellets. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2005, nr 18, 1051-11.
- [2] Anklam E.: A review of the analytical methods to determine the geographical and botanical origin of honey. *Food Chemistry*, 1998, Vol.63, nr 4, 549-562.
- [3] Bakier S.: Właściwości reologiczne miodu pszczelego w postaci skrzystalizowanej. *Inżynieria Rolnicza*, 2005, nr 16, Warszawa, 23-30.
- [4] Bakier S.: Charakterystyki mocy przy mieszaniu krupca miodowego mieszałem łapowym. *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Budowa i Eksploatacja Maszyn*, 2002, Zeszyt 9, Białystok, 19-28.

- [5] Bakier S. Badanie kinetyki mieszania szczepu krystalicznego z cieczą newtonowską o dużej lepkości. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* 2004, nr 3, Gliwice, 9-10.
- [6] Bakier S.: Wpływ konstrukcji mieszadła łapowego na rozprowadzanie szczepu krystalicznego w cieczy newtonowskiej o dużej lepkości. *Inżynieria Rolnicza*, 2004, nr 5, Kraków, 15-22.
- [7] Bakier S. Praktyczny sposób zmiany konsystencji miodu skrzystalizowanego bez utraty właściwości odżywczych. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 2005, nr 1, Warszawa, 10-13.
- [8] Bakier S., Pękala L.: Wytwarzanie mieszanin miodowo-pyłkowych. *Materiały Konferencyjne, Sądecki Bartnik*, 2005, Stróże, 52-59.
- [9] Crone E.: *Honey a comprehensive survey*. Heinemann, 1975, London, 275-284.
- [10] Ferguson J., Kembłowski Z.: *Reologia stosowana płynów*. MARCUS, Łódź 1995.
- [11] Kroyer G., Hegedus N.: Evaluation of bioactive properties of pollen extracts as functional dietary food supplement. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2001, nr 2, 171-174.
- [12] Kędzia B., Hołderna-Kędzia E.: *Produkty pszczół w medycynie*. Apis, 1996, Lublin, 45-61.
- [13] Lazaridou A., Biliaderis C.G., Bacandritsos N., Sabatini A.G.: Composition, thermal and rheological behaviour of selected Greek honeys. *Journal of Food Engineering*, 2004, nr 64, 921.
- [14] Perez-Arquillue C., Conchello P., Arino A., Juan T., Herrera A.: Physicochemical attributes and pollen spectrum of some unifloral Spanish honeys. *Food Chemistry*, 1995, nr 54, 167-172.
- [15] Suery M., Martin C.L., Salvo L.: Overview of the rheological behaviour of globular and dendritic slurries. *Proceedings of the 4th International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites*, 1996, Sheffield, 21-29.
- [16] Thrasyvoulou A., Manikis J.: Some physicochemical and microscopic characteristics of Greek unifloral honeys. *Apidologie*, 1995, 26, 441-452.
- [17] White, J. W.: *Honey*. *Advances in Food Research*, 1978, 28:354.

ANALYSIS OF P-10 FEEDER TO PRODUCE MIXTURES OF HONEY AND BEE POLLEN

SUMMARY

The paper studies possibilities of producing mixtures of crystallized honey and bee pollen with the help of P-10 feeder. In the research both the homogeneity and rheological properties of the mixture as well as power demand for its production were investigated. It was found that the addition of 10% of pollen mass into the mixture caused a tenfold increase of its horizontal viscosity, which doubles the power demand for the device. The obtained product possesses high homogeneity that was determined by making use of standard deviation in the number of bee pollen grains identified on the photographs taken in the conditions of shearing interferometry. The results of the investigations clearly show that the P-10 feeder is extremely useful for the production of honey and bee pollen mixtures.

Key words: *crystallized honey, bee pollen, rheological properties, mixture*