

Dr inż. Waldemar SZAFERSKI  
Dr inż. Marek OCHOWIAK  
Prof. dr hab. Lubomira BRONIARZ-PRESS  
Wydział Technologii Chemicznej  
Instytut Technologii i Inżynierii Chemicznej  
Politechnika Poznańska

## WYKORZYSTANIE PROGRAMU IMAGE PRO-PLUS DO ANALIZY PROCESU SEDYMENTACJI ZAWIESIN SPOŻYWCZYCH®

*W artykule przedstawiono możliwości zastosowania programu Image Pro-Plus do analizy testów sedymentacyjnych zawiesin spożywczych. Do badań wykorzystano zawiesinę mielonej papryki w wodzie destylowanej. Wykazano, że możliwa jest ocena stężenia zawiesiny w danym przekroju cylindra. Rodzaj zastosowanej techniki oświetlenia badanego układu umożliwi ocenę średnicy badanych cząstek w zawieszynie.*

**Słowa kluczowe:** sedymentacja okresowa, produkty roślinne, Image Pro-Plus.

### WPROWADZENIE

Jednym ze sposobów rozdzielania zawiesin jest stosowanie operacji mechanicznych, które polegają na rozdzielaniu cząsteczek ciała stałego zawieszonych w płynie od płynu. Technika rozdziału oparta jest na różnicach właściwości fizycznych składników układu, takich jak wielkość cząstek, ich kształt oraz gęstość składników układu. Sedymentacja polega na zakłóconym opadaniu cząstek ciała stałego rozproszonych w płynie pod wpływem siły ciężkości. Konieczna jest więc różnica gęstości między ciałem stałym a cieczą [1-5]. Sedymentacja zawiesin znajduje szerokie zastosowanie w technologiach wielu gałęzi przemysłu (cukrownie, przetwórnictwie ziemniaków, zakłady mięsne i drobiarskie) oraz w ochronie środowiska naturalnego.

Jednym ze sposobów eksperymentalnej analizy sedymentacji okresowej jest obserwacja zachowania się zawiesziny umieszczonej w przezroczystym cylindrze. Przyjmujemy, że początkowa wysokość słupa zawiesziny wynosi  $h_0$  oraz początkowe ( $t = 0$ ) stężenie zawiesziny jest jednakowe w każdym miejscu.

Zakładając, że wszystkie cząstki ciała stałego opadają w cieczy, po rozpoczęciu procesu sedymentacji w górnej części cylindra pojawia się granica między cieczą a zawiesziną i równocześnie na dnie naczynia zaczyna narastać osad. Powstają zatem trzy strefy: ciecz czysta, zawieszina i osad. Podczas sedymentacji niektórych zawiesin (gdy niektóre cząstki nie opadają), strefa zawiesziny może składać się z dwóch części: górnej o stałym stężeniu i dolnej o zmiennym stężeniu. W pewnym momencie granica między cieczą a zawiesziną i granica między zawiesziną a osadem zanikają i obserwuje się ostrą granicę między cieczą a osadem. Osad ten ulega dalszemu zagęszczeniu aż do osiągnięcia stężenia  $\varphi_{max}$  [1-2, 6].

**Celem artykułu jest przedstawienie analizy procesu sedymentacji substancji spożywczych z wykorzystaniem metody fotograficznej i programu do komputerowej obróbki obrazów Image Pro-Plus.**

### STANOWISKO I METODYKA BADAŃ

Głównymi elementami stanowiska badawczego były: cylinder miarowy, cyfrowy aparat fotograficzny, lampa błyskowa, układ światła wąskoszczelinowego oraz komputer.

Aparat fotograficzny EOS-1D Mark III firmy Canon wyposażony jest w matrycę CMOS o rozmiarze pełnej klatki, która dzięki rozdzielczości 12 megapikseli oferuje szeroką gamę lub dużą liczbę szczegółów. Aparat umożliwia wykonywanie zdjęć z minimalnym czasem otwarcia migawki 1/8000 sekundy oraz z czułością w skali ISO 6400. Aby uzyskać bardziej subtelne przejścia tonalne, obrazy przetwarzane są z zastosowaniem 14-bitowej głębi kolorów. Dobrą jakość zdjęć uzyskuje się dzięki skutecznej redukcji szumu przy wysokich czułościach, a także dzięki filtrowi dolnoprzepustowemu, który eliminuje przekłamanie kolorów. Umożliwia on fotografowanie seryjne z szybkością 10 klatek na sekundę. Aparat współpracował, poprzez nadajnik zdalnego sterowania lamp błyskowych Canon ST-E2 Speedlite Transmitter, z lampą błyskową Canon Speedlite 580 EX II.

W pracy wykonywano zdjęcia z wykorzystaniem techniki fotografii sylwetkowej. Sylwetka w fotografii definiowana jest jako ciemny zarys. Pojawia się on na jasnym tle, powstałym od źródła światła, które powinno być co najmniej o trzy stopnie przysłony jaśniejsze od obiektu znajdującego się przed nim (celowego).

Do analizy procesu sedymentacji zawiesin spożywczych wykorzystano program do analizy obrazów Image-Pro Plus firmy Media Cybernetics Inc., którego najważniejszymi funkcjami są: wydzielanie obiektów w obrazach monochromatycznych i barwnych, zliczanie i pomiary parametrów obiektów, szeroki wybór operacji umożliwiający wykonanie operacji arytmetycznych na obrazach, „prostowanie” obrazów zniekształconych geometrycznie, kalibracja, rozbudowane tryby wprowadzania obrazów z kamery wizyjnej, operowanie sekwencjami obrazów, nieskomplikowane przekazywanie wyników pomiarów do Excela lub innych programów. Umożliwia on automatyzację rutynowych długich procedur analizy, jest efektywny, łatwy w obsłudze, posiada generator raportów w przypadku badań rutynowych

(Report Generator), umożliwia wymianę danych (obrazy, marka, wyniki) poprzez Internet bezpośrednio z programu, uzyskane wyniki są powtarzalne i odtwarzalne, dzięki niemu można przyspieszyć niektóre pracochłonne badania. Przed każdą serią zdjęć procesu należy wykonać zdjęcie miary służącej do przeskalowania każdego zdjęcia w danej serii pomiarowej.

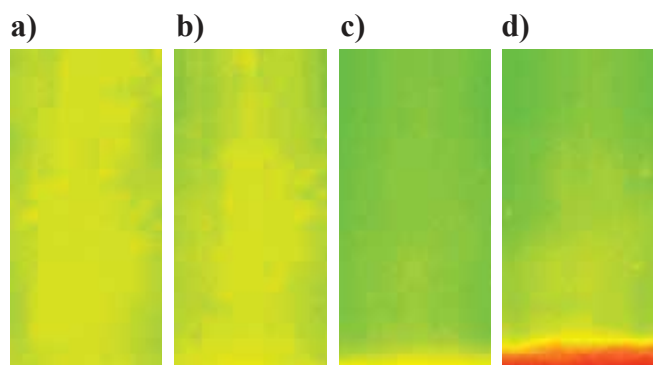
Przed rozpoczęciem badań mieloną paprykę (producent Z.P.H.U. WEGA) rozdzielono na frakcje w laboratoryjnym przesiewaczu wibracyjnym RETSCH AS 200 z odpowiednim zestawem sit. Średnia średnica ziarna dla badanych przesiewów wynosiła  $d_{50} = 530 \mu\text{m}$ . Analizie poddano cząstki o średnicach od 500 do 600, zatrzymane na sicie o rozmiarze oczek  $500 \mu\text{m}$ . Znajomość wielkości cząstek badanego ciała stałego pozwala na prognozowanie jego właściwości oraz ustalenie zakresu dalszych badań. Analizę sitową należy stosować jako badanie podstawowe dla tego typu zawiesin.

W celu przeprowadzenia testów sedymentacyjnych wybranych układów spożywczych na wadze elektronicznej odważono 50 g mielonej papryki czerwonej, którą następnie umieszczono w cylindrze miarowym i uzupełniano wodą destylowaną do objętości 500 ml.

W badaniach wykorzystano również pieprz czarny ziarnisty, który stanowił wyłącznie materiał porównawczy dla badanych zawiesin papryki.

## WYNIKI I ANALIZA BADAŃ

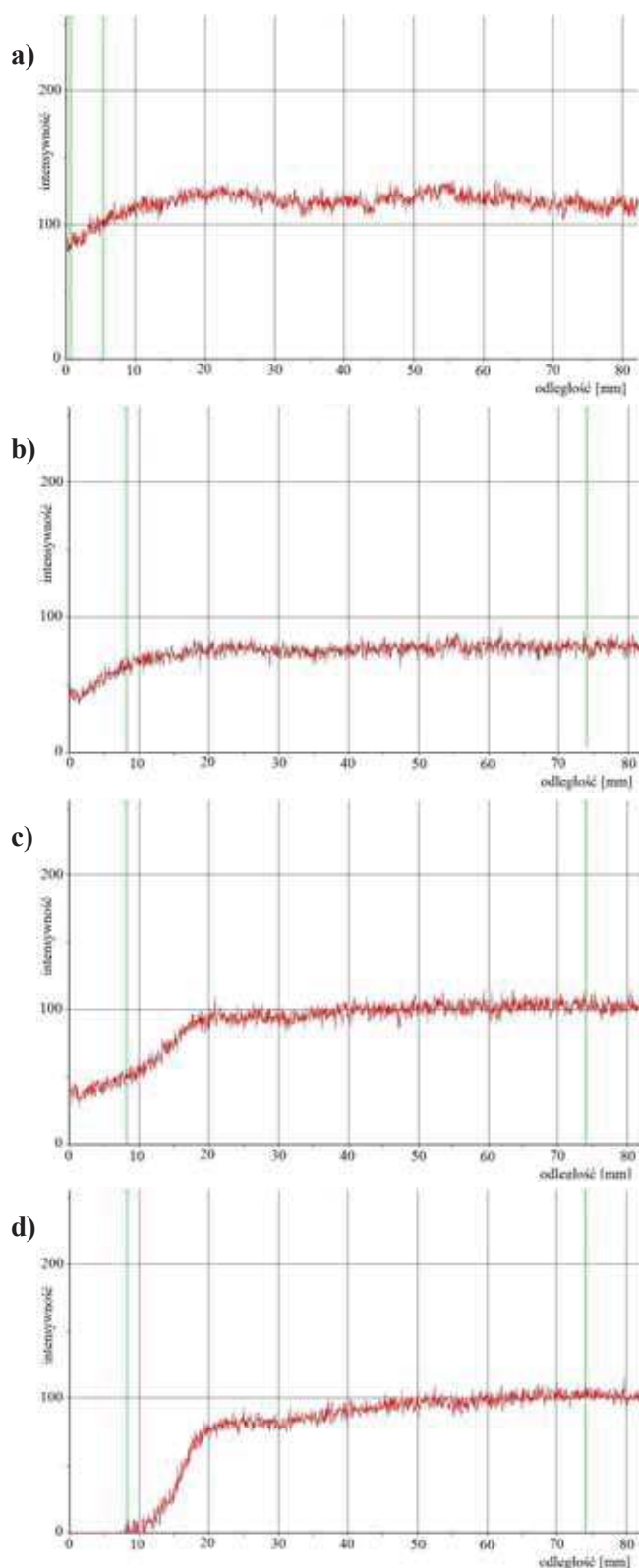
Obróbka zdjęć, wykonana przy pomocy programu komputerowego Image Pro-Plus pozwoliła na wizualizację rozkładu warstw zawiesiny, w której cząstkami ciała stałego były cząstki papryki, podczas procesu sedymentacji. Wyznaczenie rozkładu stężeń zawiesiny przy użyciu wyżej wymienionego programu, można wykonać dwoma sposobami. Pierwsza metoda jest pośrednia, gdyż umożliwia jedynie obserwacje oraz porównanie z wzorcem podziału warstw, do jakiego dochodzi podczas procesu. Nie daje jednak możliwości dokładniejszego wyznaczenia stężenia cząstek ciała stałego w wybranej części tworzącego się osadu. W pracy dokonano zamiany odcieni szarości (0 – kolor czarny, 255 – kolor biały) na odpowiednio dobrane barwy.



**Rys. 1. Analizowane obrazy procesu sedymentacji:**  
a) początek procesu, b) po 5 min, c) po 15 min, d) po 60 min.

**Źródło:** Badania własne

W drugiej metodzie przeprowadzono test sedymentacyjny zawiesiny mielonej papryki w wodzie destylowanej. Na podstawie uzyskanych zdjęć (rys. 1) możliwe jest wykreślenie



**Rys. 2. Zależność intensywności koloru w funkcji odległości od dna cylindra dla odpowiednio obrazu:**  
a) rys. 1a, b) rys 1b, c) rys 1c, d) rys 1d.

**Źródło:** Badania własne

zależności intensywności koloru w funkcji wysokości od dna cylindra miarowego, wyrażonej w milimetrach (rys. 2). Analiza przebiegu takich krzywych pozwala w sposób bezpośredni na przybliżone wyznaczenie stężenia ciała stałego w danej warstwie zawiesiny.

W pierwszym etapie widoczne jest osadzanie się niewielkiej liczby cząstek na dnie cylindra. Rozkład ich w pozostałych warstwach jest równomierny, zbliżony intensywnością do odcienia obserwowanego dla warstwy na dnie (rys. 2a). Następnie, nad osadem powstaje strefa o zmiennym stężeniu, różniącym się nieco od stężenia w powstającym osadzie (rys. 2b). Zagęszczanie wzrastającego osadu jest z czasem coraz większe. Widoczna jest różnica stężenia cząstek w warstwie osadu i powstającej cieczy klarownej, przy czym wysokość warstwy osadu wzrasta (rys. 2c). W końcowym etapie zawiesina podzielona jest na osad i ciecz klarowną. Zagęszczenie cząstek ciała stałego w osadzie jest wysokie w przeciwieństwie do drugiej powstałej strefy, co obrazuje rysunek 2d.

Odchylenia widoczne na wykresie prawdopodobnie spowodowane są zabarwianiem cieczy przez cząsteczki papryki oraz nierównomiernym rozproszeniem światła w zawieszynie. W przypadku zawiesin spożywczych w postaci mieszanin przypraw jest to nie do uniknięcia, nawet po przeprowadzeniu bardzo szczegółowej analizy sitowej (eliminacja najdrobniejszych cząstek).

W pracy analizowano rozmiar cząstek, o stosunkowo dużej średnicy, w zawieszynie o małym stężeniu. W tym celu wykorzystano ziarna czarnego pieprzu o średniej średnicy 3,45 mm uzyskane na podstawie dokonanej analizy sitowej. Uzyskane metodą cyfrową wyniki były porównywalne. Można zatem wykorzystać tę metodę pomiarową do zawiesin o niewielkim stężeniu ciała stałego i stosunkowo dużych średnicach cząstek. W przypadku mielonej papryki czerwonej oraz mielonego czarnego pieprzu wyniki obciążone były dużym błędem. Mogło to być spowodowane zabarwieniem roztworu przez przyprawy. Dla porównania wyników i wyznaczenia ewentualnego błędu należy wykonać analizę sitową fazy rozproszonej, polegającą na rozdziale ciała stałego na różne frakcje, na laboratoryjnym przesiewaczu wibracyjnym (w którego skład wchodzi odpowiedni zestaw sit). Zastępczą średnicę cząstek  $d_{50}$  wyznaczano za pomocą rachunku prawdopodobieństwa zgodnie z metodą wyznaczania wielkości cząstek przedstawioną w pracy [5]. Średnica  $d_{50}$  jest wielkością ziarna odpowiadającą połowie masy danego zbioru cząstek.

W badaniach doświadczalnych wykorzystano metodę fotografii sylwetkowej oraz technikę światła wąskoszczelinowego. Ważnym elementem wchodzącym w skład stanowiska badawczego jest komputer wyposażony w oprogramowanie Corel Photo Paint 11 i Image Pro-Plus.

## WNIOSKI

1. Metoda fotografii sylwetkowej daje obrazy o jednolitym rozkładzie światła, dzięki czemu możliwa jest ocena stężenia zawiesiny w danym przekroju, nie pozwala jednak na precyzyjne określanie rozmiarów cząstek.
2. Pomiary średnic ziaren umożliwia technika światła wąskoszczelinowego. Średnica cząstek może być wyznaczona jedynie w zawieszynie o małym stężeniu, przy większym niosłoby to za sobą zbyt duże błędy. Niestety technika ta posiada wadę, którą jest nierównomierne oświetlenie fotografowanego cylindra pomiarowego.
3. Z przeprowadzonych badań wynika, że problemem analitycznym może być fakt zabarwiania cieczy przez ciała stałe (zawieszenie bardzo drobnych cząstek ciała stałego w cieczy).

## LITERATURA

- [1] **BANDROWSKI J., MERTA H., ZIOŁO J. 1995.** Sedymentacja zawiesin. Zasady i projektowanie. Gliwice, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- [2] **BŁASIŃSKI H., MŁODZIŃSKI B. 1971.** Aparatura przemysłu chemicznego. Warszawa, WNT.
- [3] **TILLER F. M. 1981.** *Revision of Kynch sedimentation theory.* AIChE Journal, 27, nr 5, 823.
- [4] **ORZECZOWSKI Z. 1990.** Przepływy dwufazowe, Warszawa, PWN.
- [5] **KOCH R., NOWORYTA A. 1995.** Procesy mechaniczne w inżynierii chemicznej. Warszawa, WNT.
- [6] **BRONIARZ-PRESS L., SZAFERSKI W. 2008.** Analiza sedymentacji zawiesin produktów roślinnych, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 47 (39), nr 6, 15-16.

## USE OF THE IMAGE PRO PLUS SOFTWARE IN ANALYSIS OF FOOD FLUIDS SUSPENSIONS SEDIMENTATION

### SUMMARY

*The paper presents the capabilities of Image Pro-Plus software to the sedimentation test analysis of food suspensions. In this study, a suspension of powdered paprika in distilled water was used. It was shown that it is possible to evaluate the concentration of the suspension in a specific cross-sections of the test cylinder. The type of used lighting technique allowed the assessment of the particles diameter in suspension.*