

Jan KRZYSZTOFORSKI<sup>1</sup>, Mieszko BOCZKOWSKI<sup>1</sup>, Janusz ZAŁUSKI<sup>2</sup>, Radosław PŁOTKOWIAK<sup>2</sup>, Marek HENCZKA<sup>1</sup>

e-mail: jan.krzysztoforski@pw.edu.pl

<sup>1</sup> Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej, Politechnika Warszawska, Warszawa

<sup>2</sup> Polski Ogród Sp. z o.o., Warszawa

## System monitorowania składu wieloskładnikowych mrozonek warzywnych i owocowych na linii produkcyjnej

### Wstęp

Wieloskładnikowe mrożonki warzywno-owocowe stanowią grupę produktów spożywczych o bardzo zróżnicowanym składzie. Podstawowym wymaganiem stawianym takiemu produktowi jest zachowanie tzw. łańcucha chłodniczego [Krzysztoforski *in. in.*, 2018] oraz zapewnienie określonej masy oraz składu mieszanek w pojedynczych opakowaniach (torebkach). Kluczowe znaczenie ma możliwość monitorowania tych właściwości mrozonek w celu zapewnienia odpowiednich warunków mieszania poszczególnych składników oraz wysokiej jakości powstającego produktu spożywczego. Zapewnienie w przybliżeniu stałego składu mrozonek w poszczególnych torebkach zawierających gotowy produkt stanowi duże wyzwanie z uwagi na dużą liczbę czynników wpływających na ten skład. Należą do nich m.in. rodzaj mieszanki i proporcje poszczególnych składników, chwilowa wydajność linii, geometria i parametry operacyjne oraz kolejność aparatów tworzących linię produkcyjną, niestacjonarne stany pracy linii produkcyjnej.

W ramach niniejszej pracy zaprojektowano oraz wykonano system monitorowania składu mieszanek mrożonych oraz przebiegu i efektywności ich mieszania w różnych sekcjach linii produkcyjnej. Zasada działania systemu oparta jest na pracy układu kamer cyfrowych oraz algorytmu numerycznego służącego do analizy obrazu.

### Metodyka badawcza

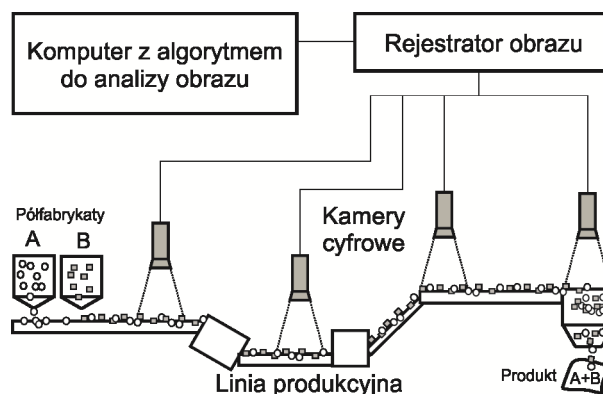
#### Linia produkcyjna

Przedmiotem analizy składu są wieloskładnikowe mrożonki owocowe i warzywno-owocowe przemieszczające się na przemysłowej linii produkcyjnej składającej się z wielu sekcji. Na początku linii produkcyjnej znajdują się zbiorniki buforowe, które są zasilane pojedynczymi składnikami mieszanki (półfabrykatami). Składniki mieszanki są dozowane ze zbiorników buforowych na układ przenośników, które wprowadzają powstałą mieszanekę do bębna mieszającego, a następnie do urządzenia sortującego, które ma za zadanie usunięcie z mieszanki zanieczyszczeń i ciał obcych. Za urządzeniem sortującym znajduje się kolejny układ przenośników (obejmujący przenośnik typu *gęsia szyja*), który prowadzi powstałą mieszanekę do układów ważących. Układy ważące mają za zadanie zapewnienie torebek foliowych odpowiednią ilością mrozonek. Na końcu linii produkcyjnej torebki foliowe z produktem są pakowane do pudełek kartonowych. W celu zapewnienia odpowiedniej jakości produktu, skład mrozonek nie może się zbyt różnić między poszczególnymi torebkami oraz musi być zbliżony do składu nominalnego (zadanego). Skład mrozonek pakowanych do poszczególnych torebek zależy w głównej mierze od sposobu dozowania składników mrozonek ze zbiorników buforowych, a także od zjawisk mieszania towarzyszących transportowi poszczególnych składników mrozonek na linii produkcyjnej. W tych dwóch obszarach należy również upatrywać źródła ewentualnych wahań składu produktu.

#### System monitorowania składu

Na rys. 1 przedstawiono schemat systemu monitorowania składu wieloskładnikowych mrozonek warzywnych i owocowych. Podstawą działania systemu jest analiza obrazu, która jest stosowana w innych układach do oceny jakości produktów spożywczych [Guzek *in. in.*, 2011]. System składa się z układu kamer cyfro-

wych, które są umiejscowione w różnych sekcjach linii produkcyjnej. Kamery umożliwiają rejestrowanie obrazu mrozonek przemieszczających się na linii produkcyjnej (osie kamer są skierowane prostopadle do płaszczyzny przemieszczania się składników mrozonek). Kamery cyfrowe są połączone za pośrednictwem sieci *Ethernet* z rejestratorem obrazu, który zapisuje w postaci cyfrowej obrazy zarejestrowane przez poszczególne kamery. Ostatnim elementem systemu monitorowania składu jest komputer PC z algorytmem do analizy obrazu. Algorytm ten służy do oszacowania lokalnego składu mrozonek w czasie na podstawie obrazów zarejestrowanych przez kamery cyfrowe.



Rys. 1. Schemat systemu monitorowania składu wieloskładnikowych mrozonek warzywnych i owocowych

#### Algorytm numeryczny

Algorytm numeryczny oparty jest na analizie barw występujących na zarejestrowanych obrazach z kamer. W etapie wstępnym dokonuje się kalibracji algorytmu, tzn. dla każdego ze składników definiuje się zakresy barw, które identyfikują dany składnik (tzw. kanały barwne). Podczas właściwej analizy składu, obraz wideo zarejestrowany przez daną kamerę jest analizowany klatka po klatkę oraz zapisywane są liczby pikseli obrazu przyporządkowanych do poszczególnych kanałów barwnych. Algorytm numeryczny oparty jest na założeniu, że ilość składnika reprezentowanego przez dany kanał barwny jest proporcjonalna do liczby pikseli przypisanych do danego kanału barwnego. Po wykonaniu analizy całego pliku wideo uzyskane wyniki (tj. liczby pikseli przypisane poszczególnym kanałom barwnym) są przeliczane na ułamki masowe poszczególnych składników przy założeniu, że średni skład mrozonek w czasie jednej godziny odpowiada składowi nominalnemu. Algorytm numeryczny do analizy składu zaimplementowano w języku programowania *Python*, z wykorzystaniem biblioteki numerycznej *OpenCV*.

### Wyniki i dyskusja

#### Badany proces produkcyjny

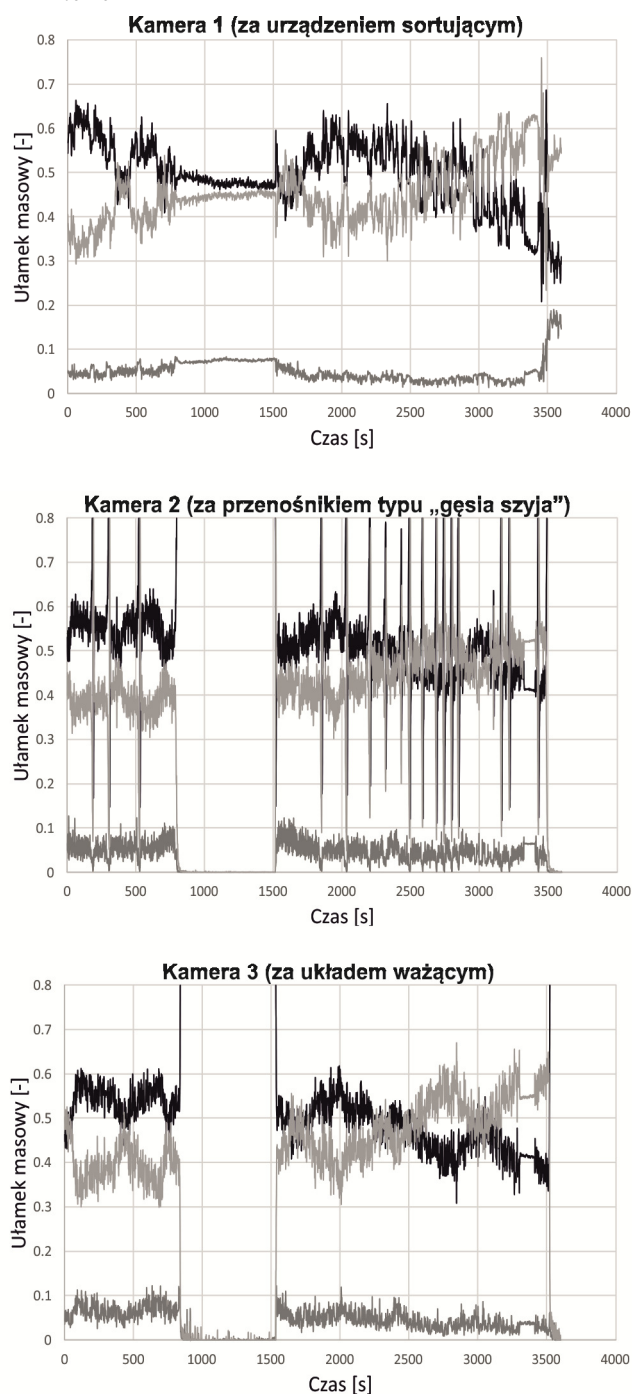
Przedmiotem przykładowej analizy składu była produkcja testowa czteroskładnikowej mrozonek o nazwie *włoszczyzna* (Tab. 1). Ponieważ pietruszka i seler są niemożliwe do odróżnienia pod względem barwy i kształtu, przypisano im wspólny kanał barwny, podczas gdy marchew i por posiadają indywidualne kanały barwne.

Tab. 1. Składniki mrożonki włoszczyzna oraz przypisane im kanały barwne

Składnik	Zawartość [kg/kg]	Kanał barwny	Zawartość [kg/kg]
Pietruszka paski	0,25	Biały	0,50
Seler paski	0,25		
Marchew paski	0,45	Pomarańczowy	0,45
Por	0,05	Zielony	0,05

### Analiza składu

Na rys. 2 przedstawiono zmienność w czasie ułamka masowego poszczególnych składników mrożonki, podzielonych na trzy kanały barwne: biały, pomarańczowy oraz zielony. Wyniki przedstawiono dla trzech kamer zlokalizowanych w różnych miejscach na linii produkcyjnej.



Kanały barwne: biały pomarańczowy zielony

Rys. 2. Zmienność w czasie składu mrożonki o nazwie włoszczyzna

Na podstawie wyników analizy składu można scharakteryzować przebieg procesu produkcji mrożonki wieloskładnikowej pod kątem zmian jej składu w czasie. W przypadku wszystkich trzech kamer można zaobserwować dosyć długi czas przestoju instalacji między  $t = 800$  s oraz  $t = 1500$  s. Na przedstawionych wykresach można również zaobserwować charakterystyczne wahania udziałów masowych poszczególnych składników. Wahania te co kilka lub kilkanaście minut zmieniają swój trend z malejącego na rosnący i na odwrót. W przypadku składnika białego (pietruszka i seler) oraz pomarańczowego (marchew) amplituda wahań zawartości sięga nawet kilkunastu procent masowych, podczas gdy składnik zielony (por) wykazuje znacznie mniejsze wahania składu. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że pewnym ograniczeniem prezentowanej metody analizy składu jest niemożność rozróżnienia składników o podobnej barwie i kształcie (w tym przypadku pietruszki i selera).

Porównując ze sobą trzy wykresy uzyskane na podstawie obrazów z trzech kamer ustawionych w szeregu wzdłuż linii produkcyjnej, można zauważyć, że trendy zmian składu mrożonki, obserwowane na obrazie z pierwszej kamery znajdują – z pewnym przesunięciem w czasie – swoje odzwierciedlenie na kolejnych wykresach. Oznacza to, że transport poszczególnych elementów mrożonki wzdłuż linii produkcyjnej ma w przybliżeniu charakter tłokowy, tzn. nie występuje efekt mieszania wzdłużnego. Skutkuje to tym, że wahania składu mrożonki, które pojawiają się na początku linii produkcyjnej i spowodowane są nierównomierną pracą układów dozujących przy poszczególnych zbiornikach buforowych, są przemieszczane wzdłuż linii produkcyjnej i nie zostają wyrównane przez efekt mieszania.

### Podsumowanie i wnioski

W ramach przedstawionej pracy zaprojektowano, skonstruowano, uruchomiono oraz przetestowano system monitorowania składu do analizy składu wieloskładnikowych mrożonek owocowych i warzywnych, poruszających się na linii produkcyjnej. Opracowany system monitorowania składu umożliwia analizę charakteru zmian w czasie składu mrożonek, a w szczególności pozwala na identyfikację tych obszarów, w których występuje duża niejednorodność składu produktu w czasie.

System stanowi narzędzie ułatwiające identyfikację miejsc i przyczyn występowania niedopuszczalnie dużych wahań składu produktu na linii produkcyjnej oraz służy do optymalizacji procesu produkcyjnego i tym samym zapewnienia wysokiej jakości produktu. Umożliwia również analizę wpływu modyfikacji linii pilotażowej (w tym sposobu jej pracy) na jednorodność składu mrożonki. Możliwość rozwoju systemu monitorowania składu obejmują między innymi przystosowanie systemu do analizy składu *na żywo*, tj. analizy obrazu rejestrowanego przez kamery na bieżąco, a także ulepszenie algorytmu analizy obrazu w celu rozróżniania składników o podobnej barwie, ale o innym rozmiarze i/lub kształcie poszczególnych elementów.

Praktycznym wnioskiem płynącym z tej analizy jest to, że główną przyczyną pojawiania się niejednorodnego składu mrożonki w czasie leży w nierównomiernej pracy układów dozujących i tam należy upatrywać możliwości optymalizacji pracy linii produkcyjnej pod kątem uzyskania bardziej jednorodnego składu mrożonki w czasie.

### LITERATURA

- Guzek D., Wierzbicka A., Głowska D., (2011). Potencjał i zastosowanie komputerowej analizy i przetwarzania obrazu w przemyśle rolnospożywczym. *Inż. Roln.*, 4(129), 67-72
- Krzysztoforski J., Załuski J., Plotkowiak R., Henczka M., (2018). Modelowanie zjawisk wymiany ciepła w procesie produkcji wieloskładnikowych mrożonek warzywnych i owocowych. *Inż. Ap. Chem.*, 57(5), 138-139
- OpenCV, 2018. *Open Source Computer Vision Library* (09.2018): <https://opencv.org/>

Praca finansowana z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego „Inteligentny Rozwój 2014-2020”, działanie 1.1, poddziałanie 1.1.1.