

**Innowacyjny przenośnik rynnowy
do produktów delikatnych w technologii żywności**

mgr inż. Dariusz Kryszak

Promotor:

dr hab. inż. Tomasz P. Olejnik, prof. uczelni

Streszczenie

Satysfakcja klienta stała się podstawą filozofii produkcji w branży przetwórstwa spożywczego. Jakość żywności i oferowanych produktów jest kluczowym kryterium mającym wpływ na decyzje konsumentów, zaś na jakość całkowitą produktu składa się między innymi jego marka, cena oraz opakowanie. Jakość całkowitą produktu stanowią także czynniki, które zapewniają produktom gwarantowane cechy, mierzone poprzez wprowadzanie standardów produkcji oraz konfekcjonowania owoców. Do najważniejszych wytycznych w tym zakresie, z punktu widzenia technologii przetwórstwa owocowo-warzywnego, zaliczyć należy:

- GMP (Dobra Praktyka Produkcyjna),
- GHP (Dobra Praktyka Higieniczna),
- system HACCP (Analiza Zagrożeń i Krytycznych Punktów Kontroli) oraz systemy zarządzania jakością.

W przedsiębiorstwach wdraża się często systemy BRC (British Retail Consortium) oraz ISO - 9001/9004-2000. Systemy HACCP i GMP ukierunkowane są na spełnienie wymogów technologicznych podczas produkcji środków spożywczych, a systemy ISO skupiają się na przestrzeganiu jakości produktu. Wymienione wyżej regulacje mają na celu łączenie wymogów technologicznych z organizacyjnymi, aby zapewnić żywności odpowiednią jakość oraz bezpieczeństwo dla klienta, spełnić wymagania prawne, ograniczyć występowanie wad i zagwarantować dobre wykonanie produktu (Ellen van Kleef, et al., 2005).

W rozdziale 1 przedstawione zostały cele pracy wdrożeniowej, które uwzględniają potrzeby rynku dla transportu produktów delikatnych. Niezależnie od wielkości zakładu i wielkości produkcji, odpowiedni dobór urządzeń transportujących decyduje w dużym stopniu o wydajności i sprawności linii produkcyjnych. Zakłady przemysłu spożywczego mają z reguły duże zdolności przerobowe. Wydajności zakładów spożywczych dochodzą nawet do kilkunastu ton na godzinę (m.in. zakłady przerobu ziemniaka produkujące skrobię ziemniaczaną). Specyfika przemieszczania materiałów różni się w znacznym stopniu w zależności od rodzaju ładunków, w różnych gałęziach przemysłu. Surowce i produkty spożywcze często charakteryzują się podwyższoną kwasowością lub zasadowością. Należą one do materiałów szybko psujących się oraz wymagają szczególnej uwagi podczas przechowywania, operacji technologicznych i czynności transportowych (Błasiński, et al., 2001).

W rozdziale 2, przeanalizowano zagadnienia uszkodzeń produktów delikatnych w technologii żywności. Pojawiające się mikropęknięcia w strukturze surowca zwiększają koszty produkcji, przyspieszając degradację produktu w kolejnych etapach procesu technologicznego, a w konsekwencji wymagają ze strony producenta usunięcia wadliwego produktu z oferty, po zakończonym cyklu produkcyjnym. W technologiach przetwórstwa spożywczego analizuje się procesy jednostkowe wykonywane na surowcu, tak by zoptymalizować produkcję, wybierając odpowiedni sposób dozowania produktów. Analiza operacji jednostkowych prowadzi do skrócenia do niezbędnego minimum czasu operacji, tak by zmniejszyć prawdopodobieństwo wystąpienia mechanicznego uszkodzenia surowca. Prowadzi to do ograniczenia masy odpadu. Jednocześnie wymagania rynkowe, stawiane przez konsumentów, narzucają częste zmiany asortymentu, wymuszają na producentach wykorzystywanie urządzeń transportujących umożliwiających szybkie przebrojenie linii dla nowego rodzaju produktu. Zaprojektowany przenośnik rynnowy spełnia rygorystyczne wymagania związane z transportem produktów delikatnych, ograniczając znacząco liczbę uszkodzeń mechanicznych

Prace wdrożeniowe nad przenośnikiem rynnowym podzielono na kilka etapów.

Pierwszy z nich, przedstawiony w rozdziale 3, polegał na przeprowadzeniu analizy dotychczas stosowanych w przemyśle spożywczym rodzajów transportu wewnątrzzakładowego ze szczególnym uwzględnieniem przenośników wstrząsowo-bezwładnościowych. Zaprojektowany przenośnik należy do grupy przenośników beczęgnowych wstrząsowych, w których materiał sypki przemieszcza się w rynnie w wyniku wykorzystania sił bezwładności. Materiał znajdujący się w rynnie wykonuje nieprzerwanie krótkie ślizgi, pokonując siły tarcia statycznego oraz siły oddziaływania na siebie materiału surowca. Podczas ruchu w rynnie przenośnika następuje wprowadzenie na powierzchnię transportowanego surowca dodatków wynikających z technologii produkcji. Analiza oczekiwań klientów – producentów przetworzonych towarów konsumpcyjnych, wykazała, iż oczekują oni rozwiązań technicznych i wymagań bezpieczeństwa procesowego (żywności), które może spełnić jedynie przenośnik beczęgnowy wstrząsowy, niedostępny w ofercie na rynku polskim.

Drugi etap obejmował wykonanie symulacji i badań na zbudowanym stanowisku badawczym, w skład którego wchodził przenośnik beczęgnowy wstrząsowy. Stanowisko badawcze umożliwiło wykonanie analizy wpływu parametrów procesowych oraz wybranych cech przenośnika na wydajność oraz jakość transportowanego surowca. Program badań wynikający z wprowadzanych zmian konstrukcji na etapie prototypu jak również badania jakości surowca obejmował między innymi:

- analizę wpływu tekstury materiału/surowca na wytyczne konstrukcyjne rynny przenośnika;
- zachowania się surowca uwzględniające wpływ ślizgu (siły tarcia) na rynnie;
- oddziaływanie urządzenia na otoczenie (drgania, zapylenie, aspekty energetyczne procesu).

Dostępne metody numeryczne pozwalające na zbadanie zachowania się cząstek i umożliwiają konstruktorom maszyn wykonanie obliczeń sił działających na transportowany materiał. W pracy zastosowano metodę elementów dyskretnych DEM (Discrete Element Method) umożliwiającą na prowadzenie symulacji ruchu dowolnego kształtu cząstki w urządzeniu transportującym. W rozdziale 4 przedstawiono zalety modelowania DEM oraz wykonany został przegląd literatury z dotychczas wykonanymi symulacjami DEM w rolnictwie i przemyśle spożywczym. Metoda DEM wykorzystuje założenia modelu obliczeniowego Lagrange'a, w którym każda cząstka w domenie śledzona jest indywidualnie. Umożliwia to dokładne zbadanie zachowania się całego złoża materiału sypkiego składającego się ze zbioru elementów posiadających charakterystyczne właściwości fizykochemiczne. Złoże nie było zatem rozpatrywane według uśrednionych i stałych wielkości np. wytrzymałościowych, ale jako zbiór elementów, które można opisać indywidualnie. Najistotniejszymi są siły normalne oraz siły styczne wynikające z kolizji cząstek ze ścianami urządzeń transportowych. Wpływają one głównie na jakość transportowanego surowca.

Symulacje oddziaływań mechanicznych podczas transportu wykonano z wykorzystaniem oprogramowania RockyDEM[®] firmy Engineering Simulation and Scientific Software Ltda. Oprogramowanie wykorzystuje metodę elementów dyskretnych DEM (Discrete Element Method). Rozdział 5 zawiera opis programu RockyDEM[®], który daje możliwości przeprowadzenia symulacji ruchu dowolnego zbioru cząstek o dowolnym kształcie, przemieszczających się w urządzeniu transportującym. W rozdziale 6 zostały opisane modele matematyczne wykorzystywane do obliczeń symulacyjnych, które pozwoliły na przedstawienie ruchu złoża transportowanego surowca odpowiadające rzeczywistym warunkom procesowym. Natomiast w rozdziale 7 przedstawione zostały modele matematyczne analizowanych sił normalnych oraz stycznych wynikających z oddziaływań na powierzchni cząstki,

W rozdziale 8, przedstawiono wyniki symulacji transportu borówki, z zastosowaniem metody elementów dyskretnych (DEM). Modelowano wpływ rodzaju urządzenia transportującego na wartości sił normalnych oraz stycznych występujących pomiędzy owocami borówki, a elementami

konstrukcyjnymi urządzenia transportującego oraz oddziaływania pomiędzy owocami. Dodatkowo, wykonano analizę spektrum energetycznego kolizji cząstek, pozwalającą określić prawdopodobieństwo uszkodzenia owoców w transporcie oraz identyfikację zjawisk temu sprzyjających, bazując na ilości energii pochłoniętej przez każdy owoc na skutek zderzeń.

W rozdziale 9, przedstawiono etap badań na zbudowanym stanowisku badawczym, który obejmował analizę wpływu powierzchni rynny projektowanego przenośnika rynnowego na wartości wydatku masowego transportowanych surowców/produktów. Dodatkowo wyznaczone zostały optymalne ustawienia parametrów przenośnika rynnowego z uwzględnieniem cech transportowanego produktu. Badanym produktem transportowanym na projektowanym przenośniku rynnowym były owoce borówki amerykańskiej. Podczas prac badawczych zwrócono również uwagę na zachowanie się transportowanego produktu oraz jakość produktu w zależności od długości rynny transportującej oraz od wysokości warstwy produktu na rynnie.

Analiza wyników symulacji i badań z opracowanymi wnioskami końcowymi zostały przedstawione w rozdziale 10. Badania zakończyły się określeniem dla urządzenia zoptymalizowanych parametrów mechanicznych uwzględniających sprawność procesu z uwzględnieniem cech fizykochemicznych oraz morfologicznych transportowanego surowca. Na etapie projektowania przenośnika rynnowego uwzględnione zostały również początkowe założenia projektowe takie jak: wydajność urządzenia transportowego, kierunek przemieszczania się surowca, estetykę wykonania oraz łatwość utrzymania w czystości urządzenia

Wykonane urządzenie prototypowe zostało zaprezentowane podczas targów branżowych m.in. Targi SyMas w Krakowie, WARSAW FOOD TECH w Nadarzynie oraz POWTECH w Norymberdze.

Trzecim etapem, przedstawionym w rozdziale 11, kończącym prace wdrożeniowe było opracowanie dokumentacji wykonawczej, dokumentacji techniczno-ruchowej, analizy ryzyka oraz karty produktu innowacyjnego przenośnika rynnowego z uwzględnieniem wyników otrzymanych podczas prac badawczych. Dodatkowo w trzecim etapie rozpoczęta została akcja marketingowa informująca o możliwości zakupu innowacyjnego przenośnika rynnowego o nazwie handlowej KRYS (Mysak Group, 2021)