

Załącznik nr 10**Koncepcja zakresu badań****Stan obecny:**

Obecnie na poszczególnych etapach przetwarzania strumienia zbóż, od automatyzacji procesów próbobiorczych na bramie, poprzez cyfrową identyfikowalność poszczególnych partii zbóż w komorach Elewatora, zbierane są wrażliwe parametry procesu, wraz z wykorzystaniem śladu cyfrowego w doborze mieszanki zbóż i jej kontroli w trybie przepływu do zasypu komór młyńskich, utrwalenie śladu cyfrowego w partii przygotowanej semoliny, a następnie wykorzystania tej informacji dla uzmiennienia/wartościowania parametrów opisowych/ strumienia X surowców zasilających węzeł mączny makaroniarni, z którego to węzła następuje przygotowanie ciasta i uformowanie kluska na tłoczni. Dalsza dynamika procesu jest wynikiem niestabilności układu:

- zmienność parametrów surowca (X),
- zakłócenia techniczne na tłoczni (Ztt),
- strumień ciasta (C),
- zmienność warunków otoczenia układu – S – środowiskowe,
- zmienność strumienia ciepła technologicznego (H),
- zakłócenia techniczne suszarni (Zts),
- nieadekwatność nastaw obsługi operatorskiej linii do dynamiki układu (N), które skutkują wzmocnieniem/destabilizacją układu.

Zadanie:

Wykonanie prac koncepcyjnych, analitycznych, eksperymentalnych i dokumentacyjnych w projekcie B+R zatytułowanym „Cyfryzacja dostaw zbóż, przechowywania i przemiatu jako elementy niezbędne dla opracowania skutecznych metodyk AI do stabilizacji dynamiki suszenia makaronu wraz z implementacją prototypowej linii realizującej innowację procesową” planowanym do realizacji przez Zamawiającego w ramach Programu Fundusze Europejskie dla Nowoczesnej Gospodarki (FENG) 2021 - 2027, Priorytet 1. Wsparcie dla przedsiębiorców, Nabór FENG.01.01-IP.01-001/23 – Ścieżka SMART.

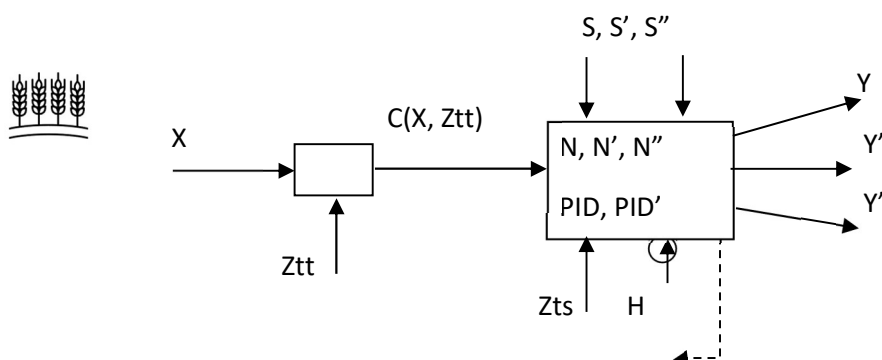
Przedmiotem projektu B+R jest cyfryzacja procesów przetwórstwa zbożowo-młynarskiego, na poszczególnych etapach przetwarzania strumienia zbóż, od automatyzacji procesów próbobiorczych na bramie zakładu Zamawiającego, poprzez cyfrową identyfikowalność poszczególnych partii zbóż w komorach Elewatora, wraz z wykorzystaniem śladu cyfrowego w doborze mieszanki zbóż i jej kontroli w trybie przepływu do zasypu komór młyńskich, utrwalenie śladu cyfrowego w partii przygotowanej semoliny, a następnie wykorzystania tej informacji dla uzmiennienia/wartościowania parametrów opisowych/ strumienia X surowców zasilających węzeł mączny makaroniarni, z którego to węzła następuje przygotowanie ciasta i uformowanie kluska na tłoczni. Cyfrowy opis stanów tłoczni winien odzwierciedlać strumień ciasta C – reprezentujący zależność od strumienia zasilającego X i zakłóceń technicznych Ztt (zdarzeń nieplanowanych na tłoczni, zakłócających ciągłość i gęstość strumienia C). Dalsza reprezentacja cyfrowa obiektu objętego badaniem, ma obejmować dynamikę procesu suszenia i stabilizacji makaronu w linii makaronowej (suszarni), podatnej na następujące niestabilności procesu stabilizacji:

- niestabilny strumień ciasta C (X, Ztt),
- niestabilne warunki środowiskowe otoczenia suszarni (zmienna wilgotność powietrza, zmienna temperatura, praca/faza pracy linii współistniejących na obiekcie i generujących własne cykle/fazy erupcji ciepła/chłodu) – obiekt sterowania nie jest w wyizolowanym środowisku,
- niestabilny strumień ciepła H – wynikający z autonomicznego sterowania węzłem cieplnym obiektu makaroniarni – w projekcie planowane jest opracowanie sprzężenia zwrotnego do sterowania tym węzłem (modulacja pracy węzła, z predykcją zapotrzebowania suszarni),
- niestabilność wynikająca z zakłóceń technicznych Zts na suszarni (awarie, mikroprzestoje – wywołujące nieciągłość i nierównomierną gęstość strumienia ciasta/kluszek/makaronu),
- niestabilności generowane przez zróżnicowanie kompetencji i umiejętności operatorów zmianowych, stosujących odmienne podejście do korygowania nastaw N na poszczególnych sekcjach obiektu suszarni.

Wpływ w/w niestabilności procesu suszenia i stabilizacji makaronu przekłada się na strumień wyjściowy z procesu Y, którego jakoś, rozumiana jako przydatność strumienia makaronu do dalszego przetwarzania (pakowanie), oceniana na wyjściu z układu decyduje o powodzeniu całego procesu (czy uzyskany półprodukt nadaje się do

pakowania w wyrób gotowy, czy też na skutek powstałych i nie opanowanych skutecznie destabilizacji procesu, powstał odpad, co oznacza, że surowiec + zużyta energia + praca = strata). Na poniższym diagramie obiektu badań Y – oznacza strumień o parametrach zgodnych z oczekiwanymi, lub nawet lepszych, Y' o parametrach zakłóconych, ale spełniających jeszcze oczekiwania, Y'' – oznacza strumień makaronu nie spełniający wymaganych parametrów jakościowych.

Obiekt badań



Rysunek 1 Obiekt badań

Legenda:

- X – strumień wejściowy surowca;
- Z_{tt} – zakłócenia techniczne na tłoczni ciasta;
- $C(X, Z_{tt})$ – strumień ciasta zależny do parametrów zasilania i pracy tłoczni;
- S, S', S'' – zmienne środowiskowe (temperatura, wilgotność, ciśnienie) wpływające na warunki pracy suszarni;
- Z_{ts} - zakłócenia techniczne na suszarni;
- H – strumień ciepła technologicznego;
- Y – strumień wyjściowy półproduktu makaronowego do zapakowania;
- Y' – strumień półproduktu o zachwianych parametrach – poddanych pod obserwację (kwarantannę) i warunkowe dopuszczenie do pakowania;
- Y'' – strumień uszkodzonego półproduktu kierowanego na odpad;
- PID – skuteczne sterowanie procesem zmierzające do wytłumienia anomalii;
- PID' - nad reaktywna odpowiedź automatyki powodującą wzmocnienie anomalii na kolejnych etapach przetwarzania;
- N' i N'' - nastawy parametrów pracy suszarni, zlecone przez operatora, które skutkowały wynikowymi wadami strumienia Y', Y'' .

Zamawiający oczekuje od Wykonawcy wykonania następujących prac badawczych i rozwojowych:

1. Opracowanie modelu numerycznego obiektu badań

- wektor X zmiennych wejściowych strumienia surowców do wyrobu ciasta (semoliny z mieszanki zbóż o zróżnicowanych parametrach fizykochemicznych; wody technologicznej);
- wektor Z_{tt} zakłóceń technicznych dla etapu wytwarzania ciasta;

- iii. wektor $C(X, Z_{tt})$ wejściowy strumienia ciasta, o strukturze zależnej od formy makaronu (SKU) do etapu suszenia i stabilizacji;
- iv. wektor nastaw $N_{1-12}(C, Z_{ts}, S)$ komór stabilizacji makaronu dla danego strumienia SKU, przy zadanych stopniach suszenia w kolejnych 12 komorach;
- v. wektor parametrów środowiskowych S otoczenia suszarni (temperatura względna, wilgotność względna) dla poszczególnych 12 komór;
- vi. wektor strumienia cieplnego $H(N_{1-12})$, ze sprzężeniem zwrotnym do węzła cieplnego obiektu makaroniarni;
- vii. wektor zakłóceń technicznych Z_{ts} na urządzeniach suszarni;
- viii. wektor parametrów $Y(N, C, H)$ jakościowych wynikowego makaronu, w raz z jego oceną jakościową (dla poszczególnych SKU).

Rezultat: model numeryczny wraz opisem działania modelu

2. Przeprowadzenie badań analityczno-technologicznych nad poprawnością modelu oraz wykonanie i optymalizacja projektu systemu automatycznego planowania ustawień parametrów suszenia makaronu.

- i. Analiza poprawności modelu dla zmienności strumienia $X \rightarrow Y$ w pełnych cyklach produkcyjnych dla kolejnych 18 m-cy, i pełnego koszyka SKU realizowanych serii produkcyjnych na linii makaronowej – objętej badaniem: liczba badanych SKU (25), liczba wykonanych serii (280 prób, 13440 charakterystyk dynamiki obiektu dla minimum 30 min strumieni przepływu);
- ii. Wykonanie i optymalizacja projektu systemu automatycznego planowania ustawień parametrów suszenia makaronu w interakcji z otoczeniem i dynamiczną rekonstrukcją planu suszenia makaronu z uwzględnieniem różnych metod automatycznego planowania.

Rezultat: raport z badań analityczno-technologicznych, zoptymalizowany model numeryczny wraz opisem działania modelu, projektu systemu automatycznego planowania ustawień parametrów

3. Opracowanie środowiska badań, umożliwiającego wykonanie wielu cykli uczenia algorytmu, dla zmieniających się parametrów niestabilności układu oraz zmiennych (niestosowanych wcześniej) mieszanek zbóż.

- i. Metodologii oraz całkowitego cyklu przygotowania analitycznego próbek danych cyfrowych obiektu badań (m.in. procedury ETL, z repozytorium wystawionego przez Zamawiającego) w stosunku do wszystkich analiz.
- ii. Wykonanie projektu hurtowni danych dla danych z suszarni makaronu.
- iii. Implementacja hurtowni danych dla danych z suszarni makaronu wraz ze wstępnymi testami hurtowni.
- iv. Wypełnianie hurtowni bieżącymi danymi z suszarni makaronu.
- v. Implementacja oraz optymalizacja systemu automatycznego planowania suszenia makaronu w interakcji z otoczeniem z dynamiczną rekonstrukcją planu suszenia.
- vi. Testy na rzeczywistych danych pochodzących z suszarni makaronu otrzymanych z mieszania zboża z różnych źródeł wraz z wykonaniem uzasadnienia statystycznego jakości działania systemu.
- vii. Badanie wpływu mieszania zboża na jakość działania systemu automatycznego planowania suszenia makaronu oraz zaprojektowanie zmian w konstruowaniu i wykorzystywaniu systemu automatycznego planowania suszenia dla przypadku suszenia makaronu nie pochodzącego z mieszania zboża z różnych źródeł.
- viii. Optymalizacja implementacji systemu automatycznego planowania suszenia makaronu dla przypadku suszenia makaronu nie pochodzącego z mieszania zboża z różnych źródeł.
- ix. Testy na rzeczywistych danych pochodzących z suszarni makaronu na danych bez mieszania zboża z różnych źródeł wraz z wykonaniem uzasadnienia statystycznego jakości działania systemu.

Rezultat: środowisko badań w tym metodologia cyklu ETL, projekt hurtowni danych, zaimplementowana hurtownia danych, zoptymalizowany i zaimplementowany system automatycznego planowania ustawień parametrów, raport z testów.

4. Opracowanie strategii migracji środowiska testowego, do produkcyjnego i uruchomienia prototypu działającego systemu sterowania na obiekcie pilotażowym nowej suszarni.

- i. Współpraca z Zamawiającym w odtworzeniu środowiska testowego w produkcyjnym systemie ICT.
- ii. Przystosowanie systemu automatycznego planowania suszenia makaronu do danych z nowej suszarni.
- iii. Przygotowanie systemu automatycznego planowania suszenia makaronu do wdrożenia w środowisku firmy Lubella.

Rezultat: strategia migracji środowiska testowego, przystosowanie systemu automatycznego planowania ustawień parametrów

5. Podsumowanie projektu - Ocena statystyczna, merytoryczna i opis wyników w formie raportów, sprawozdań, w tym współpraca z Zamawiającym w zakresie opracowania publikacji naukowych

Rezultat: sprawozdania roczne z realizacji zadań określonych w § 1 ust. 1 lit. 1 - 5 umowy warunkowej o współpracy i końcowe sprawozdanie z badań, współautorstwo treści publikacji naukowych.

Z uwagi na dynamiczny charakter obiektu badań, jak oczekiwaną ciągłą adaptację wytworzonego w ramach projektu systemu kontroli niestabilności układu i predykcji oczekiwanych nastaw obiektu suszarni w prototypowej linii makaronowej, wymagane jest przeprowadzenie badań empirycznych z wykorzystaniem metodyk sztucznej inteligencji (AI), której zadaniem będzie wsparcie operatora zmianowego w doborze właściwych nastaw N , dla stabilizacji punktu pracy suszarni z obsłużeniem wymienionych zmienności strumienia wejściowego X do układu, jak i rejestrowanych cyfrowo stanów niestabilności wektorów opisujących układ.