

Dariusz Piotrowski, Maciej Wawrzyniak, Edyta Celińska

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

e-mails: dariusz_piotrowski@sggw.pl; maciej_wawrzyniak@sggw.pl

PROCESY TECHNOLOGICZNE I ICH WIZUALIZACJA NA POTRZEBY ZAUTOMATYZOWANEJ LINII DO WYPIEKU BUŁEK KAJZEREK*

TECHNOLOGICAL PROCESSES AND THEIR VISUALIZATION FOR AUTOMATED KAISER ROLLS BAKING LINE

DOI: 10.15611/nit.2016.3.05

JEL Classification: L66, O33

Streszczenie: Podstawową zaletą automatyzacji jest zmniejszenie nakładów przedsiębiorstwa, w tym kosztów pracy. Istotne zwiększenie wykorzystania surowców, wydajności produkcji i poprawa efektywności energetycznej mogą zostać osiągnięte dzięki zastosowaniu automatycznej regulacji, np. w piekarni. Produkcja bułek kajzerek z dużą wydajnością oraz ograniczanie zawodności maszyn i urządzeń są możliwe dzięki regulacji i sterowaniu. Celem pracy jest analiza praktycznych aspektów dotyczących zastosowanych maszyn, układów automatyki i uwarunkowań eksploatacyjnych oraz rozpatrzenie możliwości wprowadzenia wizualizacji procesów technologicznych zachodzących w wybranej linii do wypieku bułek kajzerek. W tym celu przeprowadzono identyfikację maszyn lub urządzeń oraz ocenę warunków eksploatacji na podstawie zebranej literatury i dokumentacji technicznej udostępnionej przez zakład odniesienia. Pracownicy piekarni, wykorzystując proponowany system SCADA z wizualizacją parametrów procesów i innych danych, zyskaliby nową jakość podstawowej kontroli przebiegu operacji technologicznych zachodzących w automatycznej linii do wypieku bułek kajzerek.

Słowa kluczowe: bułki kajzerki, linia produkcyjna, uwarunkowania eksploatacyjne, automatyzacja, wizualizacja procesów.

Summary: The primary advantage of automation is decreasing the expenses of an enterprise, including costs of the work. A real improvement of the use of raw materials, of productivity and energetic efficiency may be obtained by implementing automatic control e.g. in a bakery. The production of Kaiser Rolls at a high speed and the limitation of the potential failure of machines and devices are enabled by regulation and process control. The aim of the work was to analyze practical aspects concerning applied machines, automatic units and operating

* Autorzy publikacji składają podziękowania zarówno dyrektorowi zakładu piekarskiego, jak i jego pracownikom, w tym zatrudnionym przy linii produkcyjnej, za praktyczną pomoc na etapie gromadzenia wiadomości i analizy układów automatycznej regulacji i sterowania.

conditions as well as the possibility of implementing visualisations for technological processes in the selected line for baking Kaiser Rolls. For this purpose the identification of machines or devices and evaluation of operating conditions on the basis of gathered literature and technical records accessible through the references plant were carried out. Employees of the bakery using proposed SCADA system with visualisation of process parameters and other data would gain new quality for the basic control of the technological operations occurring in the automated Kaiser Rolls baking line.

Keywords: Kaiser Rolls, automated line, operating conditions, process visualization.

1. Wstęp

Branża piekarnicza jest zaliczana do głównych odbiorców rozwiązań proponowanych przez dostawców automatyki. Zakłady produkcyjne korzystają z metod umożliwiających zautomatyzowanie poszczególnych etapów produkcji. Cele używania urządzeń wyposażonych w układy automatyki przez producentów żywności są związane z produkcją wyrobów bezpiecznych, ograniczeniem kosztów produkcyjnych oraz zapewnieniem powtarzalnej jakości wytworzonych produktów [Ambroziak (red.) 1988; Diakun, Sobieraj 2005; Cauvain, Young (eds.) 2007; Borowska, Kowrygo 2013; Okruszek, Skrabka-Błotnicka 2014].

Produkcja bezpiecznego zdrowotnie pieczywa stanowi złożony proces składający się z szeregu etapów technologicznych [Czerwińska, Piotrowski 2009]. Wiele z nich wspomaganych jest aparaturą kontrolno-pomiarową współpracującą z układami automatycznymi. Zainstalowane i walidowane systemy automatyki rozwiązują problem ciągłego pobierania i analizy dużej ilości istotnych danych o zachodzących procesach wytwórczych. Dane te są niezbędne do prawidłowego, optymalnego i ekonomicznego prowadzenia procesu, w tym sterowania pracą urządzeń [Van der Spiegel i in. 2005; Piotrowski 2008; Castro i in. 2017]. Skoordynowanie i zaplanowanie działań na podstawie informacji o operacjach i procesach umożliwia szybką reakcję na występującą zmienność procesu wywołaną różnymi czynnikami zakłócającymi. Efektywność działania systemu kontroli jakości zależy zarówno od pozyskiwania, przetwarzania i oceny danych procesowych zebranych w trakcie cyklu produkcyjnego, jak i dostarczenia precyzyjnej wiadomości do istotnych użytkowników. Udokumentowanie kontroli jakości z zastosowaniem zróżnicowanych metod komputerowego wspomagania jest istotne w odniesieniu do procedur prac zatrudnionych osób [Van der Spiegel i in. 2005; Van der Berg i in. 2013].

Informacja procesowa jest ważnym zasobem w zarządzaniu polityką jakościową przedsiębiorstwa, a wykorzystanie technologii informacyjnej (*information communication technology* – ICT) i elektronicznej wymiany danych (*electronic data interchange* – EDI) umożliwia operowanie tym zasobem [Piotrowski, Jakubczyk 2002; Bailey 2003].

Połączone elementy automatyki stanowią układ, w którym wyróżnia się pojedynczy lub wieloskładnikowy sygnał wejściowy i wyjściowy [Skup 2012]. Sygna-

łem jest dowolna wielkość fizyczna zmienna w czasie, np. zmiana wartości temperatury, przepływu, ciśnienia, prędkości czy napięcia prądu [Łuczycka 2012]. Wykorzystanie wielkości wejściowych bądź wymuszeń, wyjściowych lub odpowiedzi oraz sygnałów zakłócających w modelach procesów jest przedmiotem prac badawczych mających na celu m.in. poprawę regulatorów i sterowników [Kondakci, Zhou 2017].

Większość układów automatyki realizuje zadania wynikające z zaprogramowanych pętli regulacji. Przykładowo, algorytmy proporcjonalno-całkująco-różniczkujące (*proportional-integral-derivative* – PID) z powodzeniem stosowane są do procesów o powolnej dynamice [Ambroziak (red.) 1988; Łuczycka 2012; Tatjewski 2016; Kondakci, Zhou 2017]. Do regulacji i sterowania procesami w przemyśle spożywczym, a w szczególności w przemyśle piekarskim, rozpatruje się wykorzystanie wielu zaawansowanych strategii, w tym wykorzystujących algorytmy modeli regulacji predykcyjnej (*model predictive control* – MPC), logiki rozmytej (*fuzzy logic control*), komputerowej mechaniki płynów (*computational fluid dynamics* – CFD), sztucznych sieci neuronowych i systemów ekspertowych (*artificial neural networks* – ANNs i *expert systems*) [Piotrowski, Jakubczyk 2002; Tatjewski 2016; Kondakci, Zhou 2017].

Celem pracy była analiza praktycznych aspektów dotyczących zastosowanych maszyn, układów automatyki i uwarunkowań eksploatacyjnych oraz rozpatrzenie możliwości wprowadzenia wizualizacji procesów technologicznych zachodzących w wybranej linii do wypieku bułek kajzerek. W pracy przeprowadzono identyfikację maszyn i urządzeń tworzących linię produkcyjną (linia Werner & Pfleiderer do wypieku bułek drobnych o wydajności $16\,500$ [szt. \times h⁻¹]), podzespołów, układów automatycznej regulacji i sterowania wraz z pulpitemi operatorskimi zainstalowanymi do obsługi i monitorowania poszczególnych etapów i czynności produkcyjnych. Na obecnym etapie zainicjowane prace służyły wstępnej wizualizacji procesów dla rozpatrywanych elementów linii. Dzięki zautomatyzowaniu linii produkcyjnych kajzerek lub bułek hamburgerowych [Cichocka 2015] można zrealizować dużo szybciej najbardziej uciążliwe operacje produkcyjne, w tym etapy dozowania surowców, miesienia i mieszania, dzielenia, formowania, rozrostu i wypieku, schładzania oraz pakowania.

2. Metodyka

Po uzgodnieniach z dyrekcją zakładu oraz pionem działu technicznego, stosując metodę obserwacji i wykonując analizy dokumentacji techniczno-ruchowej, przeprowadzono identyfikację zautomatyzowanej linii. Na podstawie zebranych informacji techniczno-technologicznych o maszynach, urządzeniach, podzespołach, układach automatycznej regulacji i sterowania oraz paneli sterowania w linii oceniono uwarunkowania eksploatacyjne. Dokumentacja została stworzona przez producenta linii – firmę Werner & Pfleiderer Industrielle Backtechnik GmbH [Werner & Pfleiderer

2001]. Wykonano niezbędne fotografie kamerą cyfrową w czasie cyklu produkcyjnego bez prawa zamieszczania w opracowaniu. Stanowiły one źródło informacji i służyły do wstępnej identyfikacji elementów linii produkcyjnej.

Po analizie linii zaproponowano warianty zmodyfikowanego sposobu wizualizacji zadań prowadzonych w linii przemysłowej. Do wyznaczonych celów wykorzystano program narzędziowy typu SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), w którym wykonano i zobrazowano efekty działania układów automatycznych. Do przygotowania elementów wizualizacyjnych wykorzystano komputer stacjonarny pracujący pod systemem operacyjnym WINDOWS 7 (Microsoft Corporation 2009), z zainstalowanym pakietem oprogramowania obiektowego Proficy HMI/SCADA iFIX 5.5. PL, 2011 GE INTELLIGENT PLATFORM, INC. Oprogramowanie obiektowe udostępnione przez firmę VIX Automation (Katowice, Polska) w wersji czasowej pozwalało na 120 minut nieprzerwanej pracy na stanowisku indywidualnym bez obsługi sieci. We wskazanym środowisku systemu SCADA wykonano wstępne prace nad aktywnymi ekranami wizualizacji.

3. Wyniki

3.1. Proces produkcji bułek pszennych

Mieszanie składników

Ciasto na bułki pszenne prowadzone jest metodą jednofazową przez wprowadzenie wszystkich surowców w odpowiednich proporcjach: składniki podstawowe (mąka pszenna, woda, drożdże) oraz inne składniki przewidziane recepturą (cukier, tłuszcz). W wyniku przyłożenia siły w trakcie ugniatania następuje tworzenie struktury glutenu oraz wprowadzenie do ciasta pęcherzyków powietrza. Etap przygotowania ciasta jest wspomagany przez wagi pneumatyczne, którymi doprowadza się mąkę z silosów magazynowych do odpowiednich miesiarek spiralnych z dzieżą wyjezdną. Przygotowywanie ciast według odpowiednich receptur produkcyjnych jest łatwiejsze dzięki zainstalowanemu modułom wagowym.

Dzielenie i formowanie

W następnym etapie dzieża prowadzona jest przez pracownika do wywrotnicy (podnośnika), która pozwala na wprowadzenie ciasta do leja spustowego pełno-automatycznej dzielarko-zaokrąglarki typu Multimat o wydajności do 1800 [szt. × h⁻¹] z możliwością regulowania prędkości pracy przez zainstalowaną przetwornicę częstotliwości napięcia [Werner & Pfeleiderer 2001]. Zastosowana dzielarko-zaokrąglarka składa się z układu dzielącego ciasto na kęsy oraz układu kształtującego, zaokrąglającego kęsy ciasta. Musi ona spełniać wymagania z zakresu bezpieczeństwa i higieny [PN-EN 12042:2014]. Mechanizm pracy urządzenia zakłada zassanie ciasta z leja spustowego przez tłok podający i przekazanie do komory dzielarki. Z zało-

zenia pojemność komory miarowej odpowiada nastawionej wadze kęsów ciasta. Odpowiedniej wielkości kęsy ciasta są odcinane po wychyleniu suwaka obrotowego (noża odcinającego kęsy) o około 105° . Następnie tłok miarowy wyrzuca je, a wał zrzutowy przemieszcza do zaokrąglarki bębnowej. Przygotowane w ten sposób kęsy są podawane na dolną część urządzenia – taśmę wyprowadzającą kęsy na 8-rzędowy transporter, który przekazuje je do ruchomych kołysek komory wstępnej fermentacji. Mechanizm krzywkowy głowicy dzielącej, noża odcinającego i tłoczków jest natłuszczany olejem parafinowym w celu zapobiegania przyklejaniu się ciasta do mechanizmów urządzenia. Dokładna analiza pracy dzielarko-zaokrąglarki typu Multimat została przedstawiona w opracowaniu [Maśliński 2007]. Urządzenie jest sterowane i regulowane z użyciem przycisków funkcyjnych wbudowanych w szafę wyłączników, która zawiera m.in.: przełączniki dla napędu głównego i napędu zaokrąglarki oraz funkcje zmiany wagi kęsów ciasta.

Fermentacja ciasta

Proces fermentacji jest podzielony na dwa kolejno następujące po sobie etapy: fermentację wstępną oraz fermentację właściwą – przedzielone etapem znakowania, tzw. stemplowania, typowym dla bułek kajzerek. Garownia wstępna jest konstrukcją ramową z obudową. Garownia składa się z części dolnej i górnej. W części dolnej znajduje się napęd zasilany silnikiem elektrycznym z przekładnią zębatą czołową. Regulacja prędkości obrotu silnika odbywa się dzięki ustawieniu falownika. Regulacja szybkości przesuwu taśm następuje automatycznie w zależności od parametryzacji temperatury i wilgotności w komorze rozrostu. Kęsy opadają do tzw. kołysek, które są zawieszane na dwóch łańcuchach rozpiętych na kołach łańcuchowych. Opróżnianie następuje przez ich obrót. Ogrzewanie jest zapewniane przez szereg grzałek elektrycznych, pomiędzy którymi wentylator przedmuchiwa powietrze. Zainstalowane układy automatyki umożliwiają regulację temperatury przez termostat, a wilgotności – przez hydrostat. Kęsy po opuszczeniu komory garowania wstępnego są podawane do gniazd pod stemple znakownicy. Po ostemplowaniu są automatycznie transportowane przenośnikiem podającym, który stanowią taśmy wykonane z poliestru. Przenośnik podający zakończony jest przesłonami dwóch fotokomórek służącymi do regulowania opadania kęsów na przenośnik nakładający, który przekazuje kęsy do komory rozrostu końcowego. Podczas przekazywania kęsów ciasta na taśmę stopniową rolka dociskająca, zasilana silnikiem elektrycznym, zapobiega jego toczeniu się oraz lekko spłaszcza kawałki ciasta. Prędkość taśmy transportującej kawałki ciasta do szczęk pobierających może być dostosowywana do każdej wskazanej wydajności instalacji. Ruch pobierania uruchamiany jest przez czujnik optyczny, dzięki któremu następuje synchronizacja opadania kolejnych rzędów kęsów ciasta. Ruch zdejmowania kończy nastawny wyłącznik krańcowy. Korytkowa komora do fermentowania garowni właściwej ma zbliżoną konstrukcję do komory garowni wstępnej. W sytuacji, gdy fotokomórka nie zarejestruje żadnych kawałków ciasta, szafa fermentacyjna przełącza się automatycznie w tryb kończący. W garowni wła-

ściwej zainstalowane są lampy UV załączane czasowo, służące dezynfekcji. Dostęp do funkcji regulacji garowni wstępnej i właściwej znajduje się na głównej szafie sterowniczej [Werner & Pfeleiderer 2001].

Wypiek

Wypiek bułek odbywa się w automatycznym piecu przelotowym Ecotherm wyposażonym w nośną taśmę siatkową dla produktów wypiekanych. Piec wykonany jest ze stali. Posiada on cyklotermiczny system grzejny, generujący ciepło przez promieniowanie. Czujnik z termoelementem kontroluje temperaturę w poszczególnych sekcjach wypieku. Jeżeli temperatura komory wypieku przekroczy temperaturę nastawioną na regulatorze w szafie sterowniczej lub obniży się w stosunku do tej temperatury, palnik wyłącza lub załącza się w sposób automatyczny. Temperatura wyłączenia palnika powinna być nastawiona o około 10-20°C powyżej wymaganej temperatury sekcji wypieku, co związane jest z tzw. bezwładnością cieplną. Wentylator w każdej strefie podgrzewania zaopatrzony jest w regulator liczby obrotów. Jeżeli gaz grzejny osiągnie temperaturę 150°C, następuje automatycznie przełączenie na maksymalną liczbę obrotów. W kanale wypieku taśma biegnie bezpośrednio na trzonie dolnego kanału grzewczego. Przed komorą wypieku znajduje się strefa zaparowania z rurami rozdzielacza i zaworami regulacji przeznaczonymi do dozowania pary służącej zaparowaniu w komorze pieca. Zespół transportowy pieca składa się z taśmy siatkowej, wału napędowego z przekładnią, podpory taśmy, a także wału zwrotnego na wlocie. Czas wypieku regulowany jest przez bezstopniowe nastawienie liczby obrotów napędu. Rozpatrywany czas nastawia się na szafie sterowniczej, a odczytuje z dialogowego panelu alfanumerycznego. Przy alarmach bądź występujących meldunkach zakłóceń włącza się sygnalizacja w postaci syreny i lampy okrężnej [Werner & Pfeleiderer 2001]. Na szafie sterującej umieszczone są włączniki krańcowe: palnika, wentylatora cyrkulacyjnego, urządzenia rozpylającego lub układu czyszczenia taśmy. Dodatkowo w obszarze szafy sterowniczej występują lampki sygnalizacyjne i przyciski funkcyjne służące przełączeniom odpowiednich stanów dla pieca, w tym m.in.: wartości prędkości obrotów silnika napędu, mocy i pracy palnika, nadwyżki temperatury w komorze wypieku. Wykorzystanie komputerowej analizy obrazu w odniesieniu do ustalenia warunków termicznych wypieku pieczywa (oddziaływanie termiczne na układ pomiarowy w trybie *on-line*) jest bardzo atrakcyjną alternatywą rozpatrywaną w literaturze [Paquet-Durand i in. 2012; Castro i in. 2017].

Schładzanie bułek

Etap obejmuje przemieszczanie bułek na transporterze wykonanym z siatki w czasie 8 minut. W sekcji wyjścia z pieca bułki są natryskiwane zimną wodą w celu wstępnego schłodzenia oraz nadania połysku powierzchni skórki. Schładzanie bułek zapobiega powstawaniu wad poprodukcyjnych podczas transportu takich jak zgniecenie, zniekształcenie oraz zaparowanie bułek.

Pakowanie bułek w opakowania zbiorcze

Wypieczone bułki są pakowane do pojemników z tworzywa sztucznego, w liczbie zadanej przez operatora (np. 50 sztuk), na liczarce wyposażonej w panel sterowniczy. Po ustawieniu pustego pojemnika załącza się blokada przesuwu taśmy. Zapelnione pojemniki transportowane są przenośnikiem rolkowym do urządzenia wykrywającego metal.

Kontrola jakości

Etap ten przeprowadza się w celu odrzucenia bułek, które nie odpowiadają ustalonym wzorom jakościowym, różnym dla znanych typów bułek [Cichocka 2015]. Kontrola dotyczy badania kajzerek pod kątem obecności zanieczyszczeń. W przypadku stwierdzenia ich obecności sporządzany jest protokół, następnie bułki kierowane są do utylizacji. Bułki w skrzynkach przenoszone są przenośnikiem taśmowym do urządzenia wykrywającego obiekty metalowe. W przypadku wystąpienia niepożądanego stanu na wyświetlaczu urządzenia pojawia się informacja oraz włącza się sygnał ostrzegawczy, a linia jest zatrzymywana aż do czasu potwierdzenia przez operatora usunięcia obiektu. Dodatkowo w sekcji wyjścia z pieca operator ręcznie odrzuca nieakceptowalne wyroby. Wyrywkowo z każdej partii produkcyjnej przeprowadza się dodatkowe oceny zgodności w laboratorium zakładowym. Zapewnienie bezpieczeństwa mikrobiologicznego przy produkcji bułek kajzerek w zakładzie piekarskim osiągnięto przez: zastosowanie lamp dezynfekujących w garowni, zachowanie odpowiedniego poziomu temperatury i wilgotności w komorach garowania wstępnego i właściwego, cykliczne czyszczenie maszyn i urządzeń oraz odpowiednie zaprogramowanie temperatury podczas wypieku.

W innych badaniach Czerwińska i Piotrowski [2009], na podstawie analizy źródeł zanieczyszczeń mikrobiologicznych wykrytych w surowcu i w pieczywie innej piekarni, przyjęli, że punkty krytyczne można zlokalizować na etapie magazynowania surowców, sporządzenia ciasta, wypieku pieczywa i pakowania.

Ekspedycja

Przygotowanie pieczywa do dostawy sieciom handlowym może obejmować mechanizację poszczególnych operacji, w tym m.in. paletyzację, czyli układanie pojemników w stosy. Dalsze etapy konfekcjonowania i ekspedycji bułek nie podlegały ocenie.

3.2. Wizualizacje

W tabeli 1 zestawiono wykaz pulpitów sterujących dostarczonych przez producenta automatycznej linii do wypieku bułek kajzerek. Zestawienie informacji o występujących pulpitych operatorskich urządzeń tworzących automatyczną linię do produkcji bułek kajzerek służyło wstępnej koncepcji projektowej budowy nowych ekranów

SCADA. Ich opracowanie ma podnieść jakość kontroli przebiegu operacji technologicznych realizowanych przez operatorów procesu.

W ocenianej linii występuje pulpit centralny, z którego możliwy jest podstawowy podgląd na poszczególne maszyny i urządzenia w niej występujące. Jednakże większość procedur załączania bądź dedykowanych przycisków funkcyjnych obsługujących maszyny jest zlokalizowanych w poszczególnych szafach sterowniczych

Tabela 1. Etapy produkcji bułek kajzerek wraz z identyfikacją urządzeń pracujących w poszczególnych fazach produkcji

Table 1. Kaiser Rolls production stages with devices identification working at various production phases

Nr/ No.	Proces/ Process	Urządzenie/ Equipment	Pulpit sterujący/ Control panel
1	Wytworzenie ciasta/ Production of dough	Etap nie był rozpatrywany pod kątem identyfikacji urządzeń/ Stage was not considered for the identification of devices	Tak/Wiele Yes/Many
2	Dzielenie i zaokrąglanie/ Dividing and rounding	Pełnoautomatyczna dzielarko-zaokrąglarka ciasta/ Full automatic dough divider and rounder	Tak/ Yes
3	Fermentacja wstępna ciasta/ Pre-fermenting dough	Konstrukcja ramowa z obudową z wózkami do ruchu w pionie/ The frame construction of housing with strollers in vertical movement	Tak/ Yes
4	Znakowanie/ Marking	Sztanca formująca do nacinania ciasta wzorem krzyżowym/ Forming stamp for dough cutting with cross pattern	Tak/ Yes
5	Fermentacja właściwa/ Fermentation of dough	Konstrukcja ramowa z obudową z wózkami do ruchu w pionie/ The frame construction of housing with strollers in vertical movement	Tak/ Yes
6	Wypiek/ Baking	Automatyczny piec przelotowy z cyklotermicznym systemem grzejnym/ Automatic continuous furnace, with cyclothermic heating system	Tak/Wiele Yes/Many
7	Liczenie bułek/ Counting rolls	Zainstalowany układ fotooptyczny/ Installed photo-optical system	Tak/ Yes
8	Detektor metalu/ The metal detector	Zapełnione skrzynki transportowane są przenośnikiem rolkowym do urządzenia wykrywającego metal/ The filled boxes are transported by a roller conveyor to a metal detection device	Tak/ Yes
9	Ekspedycja/ Expedition	Nie podlegały ocenie/ Not subjected to evaluation	--

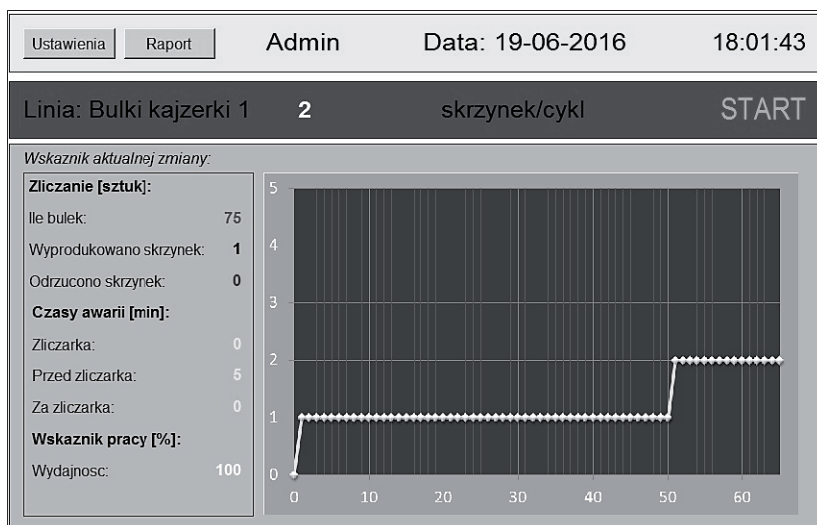
Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.

przy danym urządzeniu. Tak realizowany nadzór nad maszynami wymusza stałą obecność co najmniej jednego pracownika obsługującego linię. Dodatkowo potrzebny jest kolejny pracownik (ciastowy) sporządzający ciasto oraz osoba do odbierania pojemników z bułkami z liczarki.

Zainstalowany pulpit centralny umożliwia konfigurację i podgląd dzielarko-zakręglarki, garowni wstępnej lub właściwej itd. Pulpit sterowniczy pozwala na przechodzenie pomiędzy poszczególnymi ekranami roboczymi maszyn i urządzeń produkcyjnych. Na pulpicie centralnym w trybie konfiguracji istnieje możliwość zadania odpowiednich wartości pracy. Nastawienie systemu w oparciu o zaprogramowane receptury umożliwia dostosowanie pracy maszyn i urządzeń w zależności od wagi ciasta wpływającej na wydajności dzielenia. Dodatkowo w trybie pracy istnieje możliwość załączania i wyłączania odpowiednich napędów przez zdefiniowane przyciski funkcji specjalnych. Dla wygody operatora linii są przygotowane podstawowe ekrany, na których jest podgląd na najważniejsze meldunki dotyczące aktualnej wydajności pracy, licznika godzin pracy bądź innych stanów alarmowych wymagających interwencji czy konserwacji.

Systemy informatyczne wspomagające procesy produkcyjne składają się z człowieka i maszyny, generujących lub wykorzystujących obustronną komunikację, przez co stwarzają wspólny związek. Użytkownik odczytuje, łączy, zapisuje



Rys. 1. Widok przykładowego okna wizualizacji dla automatycznej linii do wypieku bułek – podgląd liczarki do bułek

Fig. 1. Visualization window example view of baking rolls automated lines – view of counting machine for rolls

Źródło: opracowanie własne.

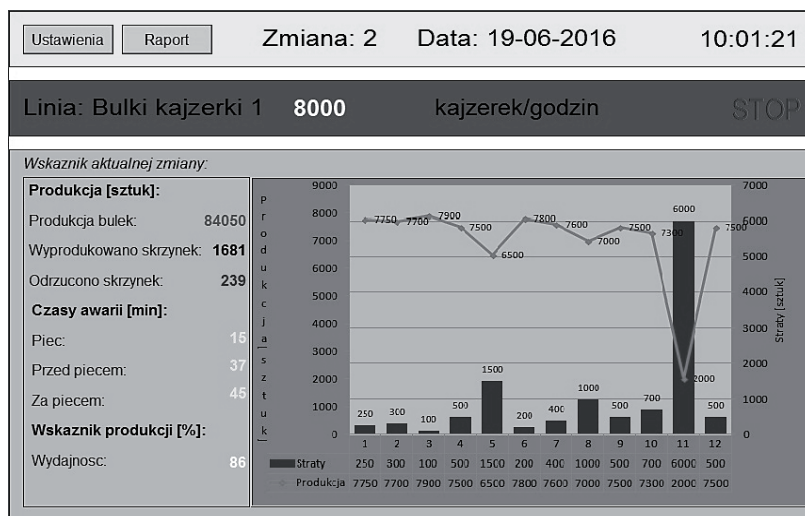
Source: own elaboration.

i usuwa dane, natomiast maszyny stwarzają warunki do pozyskania, wprowadzenia, przygotowania i przewodzenia dla przyporządkowanych danych.

Zaprezentowane praktyczne przykłady aktywnych ekranów wizualizacji (rys. 1 i 2) stanowią część warstwy reprezentacyjnej systemu SCADA.

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe okna wizualizacji automatycznej licznarki do bułek. W części centralnej ekranu znajduje się podgląd na wykres liniowy. W programie obiektowym dodano blok programowalny ze zmienną narastającą odpowiadającą pracy czujnika optycznego zliczającego kolejne bułki wpadające do skrzynki zbiorczej. Zaproponowano prostą funkcję piszącą =ZAOKR.W.GÓRĘ((A1/\$C\$2); 1), wykonaną w arkuszu kalkulacyjnym np. MS EXCEL i sprzęgniętą z oprogramowaniem obiektowym. Funkcja zwraca wartość liczby, zaokrąglając ją w górę, do najbliższej wielokrotności cyfry znaczącej. W składni funkcji ZAOKR.W.GÓRĘ występują następujące argumenty: liczba (A1) wartość do zaokrąglenia i cyfra znacząca (1) wielokrotność, do której ma zostać wykonane zaokrąglenie. Komórka C2 odpowiada liczbie bułek w pojedynczej skrzynce równej 50 (rys. 1).

Na rysunku 2 zaprezentowano przykładowy ekran zbiorczy charakteryzujący 12 kolejnych dni produkcji. Na zaproponowanym wykresie kolumnowym zamieszczono serie danych obejmujące dzienną liczbę wypiekanych bułek oraz bułek odrzuco-



Rys. 2. Widok przykładowego okna wizualizacji dla automatycznej linii do wypieku bułek – ekran raportu z dziennej produkcji

Fig. 2. Visualization window example view of baking rolls automated lines – screen report of daily production

Źródło: opracowanie własne.

Source: own elaboration.

nych ze względu na wady jakościowe. Na ekranie znajdują się również podstawowe informacje dotyczące przestojów produkcyjnych związanych z przezbrajaniem urządzeń w trakcie aktualnej zmiany. Wyznaczenie indeksu procesu, wyznaczenie odchyleń, określenie trendów krótko- i długoterminowych należy zaliczyć do praktyk wspomagających zachowanie jakości wytwarzania. Wskazane działania są możliwe przez ciągłe pomiary i agregacje danych produkcyjnych. Opiswany ekran (rys. 2) uwzględnia prosty wskaźnik wydajności produkcji [%] dla danego okresu rozliczeniowego wyznaczony na podstawie zebranych danych:

$$\text{Wskaźnik wydajności produkcji} = \frac{W_{skrz} - O_{skrz}}{W_{skrz}} \times 100\%,$$

gdzie: W_{skrz} – liczba skrzynek z wyprodukowanymi bułkami; O_{skrz} – liczba skrzynek z odrzuconymi bułkami.

Ekran operatorski służy interakcji z użytkownikiem. Na ekranach roboczych zlokalizowane są obiekty funkcyjne: informacyjne, diagnostyczne i wykonawcze, które asystują, podpowiadają i kierują operatorem zorientowanego na cel, wykorzystując przygotowane kody warstwy logicznej. Polecenia wykonywane są przez program komputerowy za pomocą zdefiniowanych procedur, zaplanowanych relacji i znaczeń [Ware 2004]. Program obiektowy jest środowiskiem wizualizacji. Działa w trybie konfiguracji (*configure mode*) i w trybie wykonywania (*run mode*). Warstwa logiczna programu opiera się na procesowej bazie danych, gdzie następuje programowanie bloków funkcyjnych, które są podstawową jednostką instrukcji wykonawczych programu. Za pomocą bloków można zasymulować stało- lub zmiennowartościowe sygnały odpowiadające statycznym i dynamicznym właściwościom obiektu sterowania, uniezależniając aplikację od części sprzętowych, takich jak PLC.

Projektując wirtualne modele wizualizacji, trzeba jednoznacznie ustalić granice systemu, zdefiniować liczbę zmiennie oddziaływających dynamicznych elementów w środowisku wizualizacji, ich atrybutów i relacji. Ograniczony dobór elementów zapewnia odpowiedni poziom szczegółowości umożliwiający niezakłóconą pracę i zapewniający wygodę nawigacji. Zbyt duża liczba elementów graficznych na pojedynczym ekranie może powodować nieprzejrzystość rysunku lub błędy krytyczne w obsłudze. Użycie odpowiednich symboli i kolorystyki tworzy zwarty obraz. Odpowiednia szata graficzna pozwala się łatwiej skoncentrować na celu i zwiększa efektywność akcji. Użyte kolory i czcionki wykonanych obrazów umożliwiają zwiększenie postrzegania [Bransby, Noyes (eds.) 2001; Boucher, Yalcin 2006; Ward i in. 2010].

Wirtualny model wizualizacji procesów zrealizowany w oprogramowaniu narzędziowym klasy HMI/SCADA umożliwia wczesne prace koncepcyjne i projektowe służące przedstawieniu i planowaniu zadań realizowanych w liniach technologicznych. Wykorzystanie interaktywnych animacji odnoszących się do procesów

reprezentowania danych, informacji i wiedzy w formie wizualnej wspomaga procesy eksploracji, potwierdzenia, prezentacji, jak i zrozumienia kompleksowych mechanizmów zachodzących operacji. Zadaniem inżyniera technologa żywności podczas przygotowywania projektu komputerowego wizualizacji i obsługi procesów systemu SCADA są: określenie celu sterowania, sygnałów wejściowych/wyjściowych, wskazanie metod sterowania i struktury systemu, dyskusja nad budową algorytmu działania, określenie wskaźników jakości sterowania, wskazanie założeń do opracowywania modelu uwzględniającego nowatorskie rozwiązania dla długodystansowej redukcji kosztów stosowania występujących zakłóceń. Współpraca inżynierów (automatyka, technologa żywności) i operatorów pracujących na produkcji jest nader zalecana podczas budowania funkcjonującej aplikacji przemysłowej na danym poziomie zautomatyzowania obiektu. Osoba pracująca z użyciem zintegrowanego systemu komputerowego powinna być stopniowo wdrażana w funkcjonalność programistyczną środowiska z wykorzystaniem spójnej dokumentacji, m.in. systemowej [Piotrowski, Jakubczyk 2002; Zhang i in. (eds.) 2007; Ward i in. 2010; Tatjewski 2016].

Zautomatyzowane linie produkcyjne ograniczają możliwość wystąpienia strat produkcyjnych wynikających z niedokładności pracy ręcznej (błędne naważki, zbyt duże odchyłki od zadanych parametrów procesu – np. temperatury, wilgotności) [Paquet-Durand i in. 2012; Okruszek, Skrabka-Błotnicka 2014; Castro i in. 2017]. Prawidłowa regulacja wybranych maszyn w linii zakłada regulację mechaniczną, niewykorzystującą układów automatycznej regulacji. Nadzór pracy linii prowadzony przez operatorów przyczynia się do płynnego przebiegu procesu technologicznego m.in. przez wykrywanie odpowiednio wcześniej problemów eksploatacyjnych w pracy maszyn i urządzeń. Układy automatyki umożliwiają sygnalizację zakłóceń powstałych podczas procesów produkcyjnych przez meldunki na wyświetlaczu tekstowym panelu operatorskiego lub przez lampy sygnalizacyjne i sygnał dźwiękowy. Wpływ na wzrost liczby wadliwych produktów, np. bułek [Cichocka 2015], mają awarie, mikroprzestoje, przebrojenia maszyn.

4. Wnioski

1. Zautomatyzowanie procesów produkcyjnych wpływa na organizację, powtarzalność i ekonomikę produkcji, a tym samym gwarantuje wzrost wydajności umożliwiający produkcję na skalę przemysłową, co zyskuje szczególnie na znaczeniu w wypadku rozbudowanej sieci odbiorców.

2. W linii do produkcji bułek kajerek zapewnienie bezpieczeństwa mikrobiologicznego osiągnięto m.in. przez: zastosowanie lamp dezynfekujących, zaprogramowanie w układach automatycznej regulacji temperatury na odpowiednich poziomach w garowni i piecu przelotowym, cykliczne czyszczenie maszyn i urządzeń.

3. Pracownicy piekarni, wykorzystując proponowany system SCADA z wizualizacją parametrów procesów, zyskaliby nową jakość podstawowej kontroli przebiegu operacji technologicznych zachodzących w automatycznej linii do wypieku bułek.

Literatura

- Ambroziak Z. (red.), 1988, *Piekarstwo i ciastkarstwo*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, s. 355-362.
- Bailey D., 2003, *Practical SCADA for Industry*, Elsevier, Burlington, s. 1-75.
- Borowska A., Kowrygo B., 2013, *Innowacyjność produktów na przykładzie sektora piekarskiego*, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Boucher T., Yalcin A., 2006, *Design of Industrial Information Systems*, Academic Press, Burlington, s. 163-178.
- Bransby M., Noyes M.J. (eds.), 2001, *People in Control: Human Factors in Control Room Design*, Institution of Electrical Engineers, London, s. 207-222.
- Castro W., Oblitas J., Chuquizuta T., Avila-George H., 2017, *Application of image analysis to optimization of the bread-making process based on the acceptability of the crust color*, Journal of Cereal Science, vol. 74, s. 194-199.
- Cauvain S.P., Young L.S. (eds.), 2007, *Technology of Breadmaking*, Springer Science Business Media, New York, s. 21-47.
- Cichocka K., 2015, *Automatyczna linia produkcyjna do wytwarzania bułki hamburgerowej*, praca inżynierska, WNoŻiK, SGGW, Warszawa, s. 1-63.
- Czerwińska E., Piotrowski W., 2009, *Technologiczne aspekty wypieku pieczywa z określeniem punktów krytycznych zanieczyszczeń mikrobiologicznych (surowiec, urządzenie, produkt)*, Ochrona Środowiska, t. 11, s. 449-464.
- Diakun J., Sobieraj I., 2005, *Systemy i warunki eksploatacji urządzeń w zakładach piekarskich*, Inżynieria Rolnicza, nr 9, s. 51-57.
- Kondakci T., Zhou W., 2017, *Recent applications of advanced control techniques in food industry*, Food and Bioprocess Technology, vol. 10, no. 3, s. 522-542.
- Łuczycza D., 2012, *Automatyzacja i robotyzacja procesów produkcyjnych*, Oficyna Wydawnicza ATUT – Wrocławskie Wydawnictwo Oświatowe, Wrocław.
- Maśliński K., 2007, *Użytkowanie maszyn i urządzeń do wytwarzania i obróbki produktów piekarskich*, Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom <http://biblioteka.cyfrowaszkola.waw.pl/biblioteka/piekarz/pdf/5.pdf> (dostęp 4.04.2017).
- Okruszek A., Skrabka-Błotnicka T., 2014, *Automatyczne linie uboju bydła i trzody chlewnej*, Nauki Inżynierskie i Technologie, nr 4(15), s. 84-99.
- Paquet-Durand O., Solle D., Schirmer M., Becker T., Hitzmann B., 2012, *Monitoring baking processes of bread rolls by digital image analysis*, Journal of Food Engineering, vol. 111, no. 2, 425-431.
- Piotrowski D., 2008, *Optymalizacja a stosowanie oprogramowania komputerowego*, Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny, t. 52, nr 11, 26, s. 28-29.
- Piotrowski D., Jakubczyk E., 2002, *Komputerowe sterowanie w przemyśle spożywczym*, Przemysł Spożywczy, t. 56, nr 9, s. 36-39.
- PN-EN 12042:2014, *Maszyny dla przemysłu spożywczego – Automatyczne dzielarki ciasta – Wymagania z zakresu bezpieczeństwa i higieny*, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- Skup Z., 2012, *Podstawy automatyki i sterowania*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Tatjewski P., 2016, *Sterowanie zaawansowane obiektów przemysłowych. Struktury i algorytmy*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT Andrzej Lang, Warszawa.
- Van der Berg F., Lyndgaard C.B., Sorensen K.M., Engelsen S.B., 2013, *Process Analytical Technology in the food industry*, Trends in Food Science & Technology, vol. 31, no. 1, s. 27-35.

- Van der Spiegel M., Luning P.A., De Boer W.J., Ziggers G.W., Jongen W.M., 2005, *How to improve food quality management in the bakery sector*, NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences, vol. 2, no. 53, s. 131-150.
- Ward M., Grinstein G.G., Keim D., 2010, *Interactive Data Visualization: Foundations, Techniques, and Applications*, A.K. Peters, Ltd. Natick, MA, USA.
- Ware C., 2004, *Information Visualization: Perception for Design*, Morgan Kaufmann, San Francisco, s. 1-27.
- Werner & Pfeleiderer, 2001, *Dokumentacja produkcyjna linii do wypieku bułek*, Warszawa.
- Zhang M., Nelson B.J., Felder R. (eds.), 2007, *Life Science Automation Fundamentals and Applications*, Artech House, Norwood, s. 153-196.