

KONFIGUROWALNE SYSTEMY STEROWANIA PRZEPIYWEM PRODUKCJI

Jarosław CHROBOT

Streszczenie: Wdrażanie systemów sterowania przepływem produkcji (ang. flow control systems (FCS)) staje się bardzo istotnym elementem funkcjonowania przedsiębiorstw. Pożądaną cechą takich systemów jest ich konfigurowalność. Koncepcja systemu konfigurowalnego musi być jednak dobrze przemysłna od samego początku. Dysponowanie wydajnym i konfigurowalnym systemem FCS daje wysoką przewagę technologiczną, ponieważ znacznie skraca czas wdrożenia i dołączenia nowego stanowiska produkcyjnego do systemu sterowania przepływem produkcji. W artykule omówiono podstawowe cechy systemów FCS oraz przytoczono dwa przykłady systemów konfigurowalnych wraz z ich analizą oraz oceną.

Słowa kluczowe: sterowanie przepływem produkcji, śledzenie, identyfikowalność, rejestracja danych produkcyjnych, sterownik PLC

1. Wprowadzenie

Wymagania dotyczące jakości oraz pełnej identyfikowalności dostarczanych produktów w niektórych branżach przemysłowych, takich jak np. przemysł spożywczy, farmaceutyczny, motoryzacyjny, gdzie od jakości produktu zależy życie i zdrowie końcowego użytkownika, powodują, że wdrażanie systemów sterowania przepływem produkcji (ang. flow control system (FCS)) staje się bardzo istotnym elementem funkcjonowania przedsiębiorstw. W wielu przypadkach wdrożenie takiego systemu jest warunkiem niezbędnym uzyskania zlecenia produkcyjnego. W przypadku przemysłu spożywczego "identyfikowalność jest nie tylko wymagana przez agencje regulacyjne i standardy audytu stron trzecich, ale jest to kluczowy element zarządzania ryzykiem i kontroli bezpieczeństwa oraz jakości żywności. Solidny, udokumentowany system, zapewniający identyfikowalność, pomagający przedsiębiorstwom w spełnianiu norm regulacyjnych lub certyfikacyjnych dotyczących bezpieczeństwa żywności, wspomaga szybko rozpoznać produkty w przypadku ich skażenia" [5].

Identyfikowalność jest to zbiór kompletnych i chronologicznych informacji na temat unikalnych zidentyfikowanych produktów. Pozwala na rozróżnianie materiałów przy raportowaniu jak i przy analizie całego cyklu życia danego produktu. Oznacza to, że można dokładnie przeanalizować jednostkowy produkt od najwcześniejszych faz jego wytwarzania (możliwość identyfikacji materiałów od dostawców, które posłużyły do wytworzenia produktu), poprzez proces produkcyjny (lokalizacja procesów, etapów, operatorów, którzy brali udział przy wytwarzaniu, historia serwisowa i informacje o ewentualnych awariach lub problemach jakościowych) po fazę końcową, czyli sprzedaż i lokalizację klienta.

Identyfikowalność pozwala na [1]:

- poprawę jakości,

- poprawę produktywności/wydajności,
- precyzyjne planowanie,
- precyzyjną logistykę,
- analizę przyczyn błędów,
- nadzór nad działaniami naprawczymi/korygującymi,
- spełnianie przepisów i standardów bezpieczeństwa.

Identyfikowalność poza tym umożliwia:

- przejrzystość we wszystkich procesach produkcyjnych,
- produkcję niezależną od ludzkiego błędu,
- spełnianie standardów producentów OEM i przepisów, jak również wymogów prawnych,
- odnoszące się jedynie do indywidualnych produktów kampanie wycofujące i tym samym redukcję liczby wycofań,
- zmniejszenie ryzyka odpowiedzialności za produkt,
- dokładne ustalenie przyczyny błędu (obecnie ryzyko wykorzystania w produkcji wadliwego komponentu jest tym większe, im bardziej upowszechnia się zlecenie produkcji na zewnątrz (outsourcing)),
- zapobieganie utracie wizerunku przedsiębiorstwa.

W obrębie zakładu monitorowanie procesów technologicznych i zachodzących w nich operacji pozwala na stałą weryfikację danych produkcyjnych. O wiele szybciej można identyfikować problemy oraz znaleźć ich przyczyny i rozwiązania. Dzięki temu obniżane są koszty, poprawiana jest jakość i budowane jest zaufanie klienta do produktów. Produkty gorsze jakościowo, bądź wadliwe, mogą zostać szybko i skutecznie wstrzymane i odseparowane. Klienci zwracają szczególną uwagę na podejście swoich dostawców do tej problematyki. Zapewnienie identyfikacji materiałów i produktów jest dla nich świadectwem o poważnym i świadomym podejściu producenta do zagadnień jakości, a to przyczynia się jednocześnie do poczucia bezpieczeństwa i promowania wiarygodności firmy. Pierwotnie źródłem powstania tych narzędzi była weryfikacja rozszczeń i zapewnienia nabywców o źródłach materiałów.

Informacje udostępniane przez systemy FCS mogą być podstawą funkcjonowania zintegrowanych systemów informatycznych. Systemy te mogą przyjmować bardzo rozbudowane formy, dzięki temu możliwe jest uporządkowanie wszystkich procesów zachodzących w przedsiębiorstwie. W konsekwencji systemy mogą służyć wspomaganie w podejmowaniu decyzji gospodarczych. Ciągła automatyzacja oraz rozwój metod zarządzania przyczyniły się do powstania systemów klasy ERP. ERP (ang. Enterprise Resource Planning – Planowanie Zasobów Przedsiębiorstwa) są to systemy informatyczne wykorzystywane przy wspomaganie zarządzania przedsiębiorstwami. Zazwyczaj są to pakiety zintegrowanych ze sobą aplikacji, które mogą być wykorzystywane do gromadzenia i zarządzania danymi, z każdego obszaru organizacji [2].

Systemy sterowania przepływem produkcji FCS to systemy informatyczne, służące generalnie do rejestracji danych produkcyjnych na różnych etapach procesów przemysłowych (w tym zakresie spełniają funkcję systemów śledzenia (ang. traceability)), ale również zapewniają blokowanie błędnie przetworzonych podczas wcześniejszych etapów produkcyjnych, dających się zidentyfikować produktów.

Systemy FCS zapewniają rejestrację ważnych z punktu widzenia klienta informacji (data produkcji, wartości liczbowe różnych parametrów (np. kąt, moment, ciśnienie, temperatura, długość), wynik operacji (pozytywny, negatywny)), które umożliwiają

wychwycenie wadliwych produktów, analizę przyczyn tych wad oraz obronę przed potencjalną reklamacją lub wręcz znaczne obniżenie liczby reklamacji. Systemy sterowania przepływem produkcji przynoszą przedsiębiorstwom wytwórczym korzyści ekonomiczne wyrażone poprzez oszczędności kapitału przeznaczonego na reklamacje, ale przede wszystkim wzrost dochodów poprzez wzrost zaufania klientów i możliwość zdobywania nowych rynków.

W szczególności system FCS może pozwalać na:

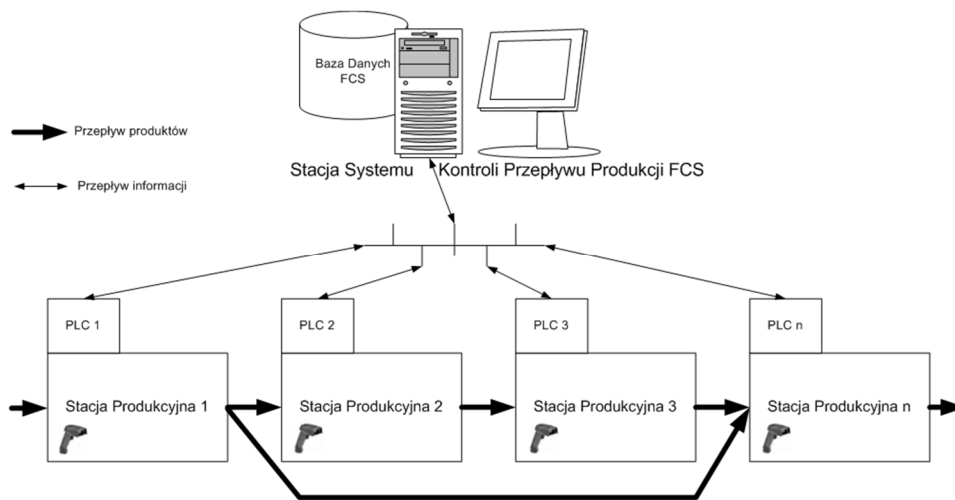
- komunikację z urządzeniami produkcyjnymi,
- wyświetlanie statusu operacji wytwarzania produktów na stanowiskach produkcyjnych,
- zapis do bazy danych informacji o wytwarzanych produktach,
- blokowanie do dalszego montażu produktów w przypadku, gdy wcześniejsze operacje produkcyjne były niepoprawne lub nastąpiło powtórzenie etykiety identyfikującej produkt,
- edycję danych dla typów produktów, które pojawiają się na naklejanych na produkt etykietach,
- wydruk etykiet identyfikujących produkt,
- przyporządkowywanie różnych formatów wydruku etykiet identyfikacyjnych do typu produktu,
- odpytywanie bazy danych, przeglądanie i zapisywanie raportów o wytworzonych produktach w postaci pliku odczytywanego przez arkusz kalkulacyjny,
- obszerne konfigurowanie systemu (w tym porty komunikacyjne, schemat zmian roboczych, dane gniazda produkcyjnego) z możliwością włączania i wyłączania blokowania wadliwych produktów,
- przeglądanie zdarzeń systemowych w dzienniku systemowym,
- rejestrację i usuwanie uprawnionych użytkowników systemu,
- ochronę dostępu do systemu przy pomocy hasła lub sprzętowego klucza dostępu,
- obsługę w trybie dotykowym z wirtualną klawiaturą.

Poprzez realizowaną rejestrację i archiwizację gromadzonych danych firma może zapewnić odbiorców o utrzymywaniu wysokiego poziomu jakości produktów, bezpieczeństwa lub też zgodności z określonymi specyficznymi wymaganiami klienta oraz stanem prawnym.

Różne branże przemysłowe w rozmaity sposób realizują identyfikację produktów oraz ich marszruty. Celem tu jest poprawa jakości oraz zapewnienie bezpieczeństwa produktu i końcowego odbiorcy. Różnorodność realizacji systemów wynika ze specyfikacji produktów, procesów produkcyjnych, rynku oraz wymagań narzucanych przez właściwe normy i dyrektywy Unijne. W niektórych branżach (np. w branży motoryzacyjnej) posiadanie wdrożonego systemu FCS jest warunkiem wejścia na rynek i realizacji usług dla klientów.

Typowy system produkcyjny kontrolowany przez system FCS składa się ze stanowisk wytwórczych zarządzanych przez sterowniki swobodnie programowalne (PLC, ang. Programmable Logic Controller) lub też komputery PC (najczęściej w wersji przemysłowej z monitorem zewnętrznym) – rysunek 1.

System FCS poprzez sieć komputerową i serwer OPC (dostępne na rynku oprogramowanie do komunikacji ze sterownikami PLC), lub własne rozwiązanie komunikacji wewnętrznej, odczytuje informacje zapisane w sterowniku PLC na temat



Rys. 1 Zasada działania systemu FCS z przypadkiem dwóch różnych marszrut produktu
Źródło: [3]

rezultatu wykonanej operacji oraz wartości różnego rodzaju istotnych parametrów (np. kątów i momentów skręceń śrubowych, długości, siły). Dane te zapisywane są w bazie danych (zazwyczaj jest to baza danych SQL) i przyporządkowane są identyfikatorowi odczytanemu z etykiety produktu w postaci kodu kreskowego, kodu dwuwymiarowego, bądź RFID. Przy wejściu produktu na kolejne stanowisko system FCS dodatkowo odpytuje bazę danych, czy poprzednia operacja powiodła się, czy produkt podąża zdefiniowaną marszrutą technologiczną oraz czy jest zgodny z wykonywanym obecnie programem stanowiska ustawionym dla wyznaczonej referencji (typu produktu, np. wersja manualna, wersja elektryczna itp.) W przypadku odpowiedzi negatywnej system FCS wysła sterownikowi PLC, poprzez serwer OPC, komendę zablokowania stanowiska. System FCS może dodatkowo wspierać automatyczne przezbieranie stanowisk, tzn. referencja odczytana na pierwszym stanowisku w ciągu technologicznym i przypisana do produktu jest przekazywana wewnątrz kolejnym stanowiskom z nakazem przezbierania (zmiany programu stanowiska).

Podstawą funkcjonalnego systemu FCS jest zaimplementowanie systemu informatycznego, który zapewni dostęp do wszystkich pożądaných informacji o procesie. Należy to wykonać przez funkcjonalne połączenie urządzeń produkcyjnych z systemem, który wykonywać będzie rzeczywisty nadzór (np. systemy ERP). W tym momencie powstaje swoista luka technologiczna. Producenci urządzeń produkcyjnych, implementują w swoich produktach systemy sterowania i akwizycji danych typu SCADA, CNC, PLC, IPC. Systemy te stosowane są już od lat, a ich głównym zadaniem jest sterowanie pracą maszyn. Powstała luka wynika z problemu komunikacji pomiędzy tymi systemami sterowania, a systemami stanowiącymi o monitorowaniu produkcji. Powstałą lukę można uzupełnić za pomocą systemów, które przy pomocy odpowiednich technologii umożliwiają integrację z automatyką przemysłową [3].

2. Systemy FCS konfigurowalne

Wygodne w zastosowaniu i pożądane w przedsiębiorstwach są systemy FCS konfigurowalne. Rozwiązania takie pozwalają na konfigurację liczby stanowisk produkcyjnych podlegających kontroli oraz ich rodzaju (zarządzane przez PLC, bądź PC) ich adresów sieciowych, a także dozwolonych tam typów produktów, bez zmiany samego oprogramowania. Na rysunku 2 pokazano widok interfejsu użytkownika konfigurowalnego systemu FCS. Górna lista umożliwia poziome przewijanie listy stanowisk produkcyjnych i sprawdzenie, czy komunikacja funkcjonuje poprawnie oraz w jakim trybie stanowisko pracuje (tryb „Nieblokowanie” oznacza, że produkty wykonane z wadą na poprzednim stanowisku w ciągu marszruty mogą być wpuszczone na bieżące stanowisko). Poniżej listy poziomej znajduje się lista pionowa z wierszami, z których każdy oznacza zdarzenie, które nastąpiło (skanowanie produktu, zakończenie operacji). Po zaznaczeniu wybranego wiersza zdarzenia, w polach poniżej listy pionowej można przeglądać szczegóły produktu wraz z zarejestrowanymi wartościami procesowymi.

The screenshot displays the FCS user interface. At the top, there are status indicators: 'Użytkownik: ???', 'Poziom: Operator', 'PLC Status: Błąd', 'DB Status: OK', and 'EKS'. Below this, there are three station controls: 'Stacja 1', 'Stacja 2', and 'Stacja 3', each with a 'Blokowanie' button. The main area is titled 'Telegramy' and contains a table with the following data:

Czas	Stacja	Czas PLC	Linia	Stacja	Operacja	Status	Status DB	Status op.	Operator	Etykieta finalna
2013.11.21 17:31:24.64	Stacja 3	2013.11.21 17:31:24.17	1	3	2	DoneOk	DoneOk	DoneOk	0	849# 5LO 881 045 AA #1#36-74
2013.11.21 17:29:55.64	Stacja 3	2013.11.21 17:29:55.22	1	3	2		ResponseOk		0	
2013.11.21 17:28:28.85	Stacja 3	2013.11.21 17:28:28.36	1	3	2		ResponseOk		0	
2013.11.21 17:24:51.95	Stacja 3	2013.11.21 17:24:51.48	1	3	2		ResponseOk		0	
2013.11.21 17:20:20.57	Stacja 3	2013.11.21 17:20:20.14	1	3	2		ResponseOk		0	
2013.11.21 17:14:36.93	Stacja 3	2013.11.21 17:14:36.44	1	3	2		ResponseOk		0	
2013.11.21 16:49:06.95	Stacja 3	2013.11.21 16:49:06.60	1	3	2		ResponseOk		0	

Below the table, there are sections for 'Zakończenie operacji' (Operation completion) and 'Wartości procesowe' (Process values). The 'Zakończenie operacji' section shows details for the selected row, including 'Czas: 2013.11.21 17:31:24.64', 'Czas PLC: 2013.11.21 17:31:24.17', 'Stacja: Stacja 3', 'Ni linii: 1', 'Nr stacji: 3', 'Operacja: 2', 'Operator: 0', 'Status montażu: DoneOk', 'Status operacji: DoneOk', 'Status FlowControl: DoneOk', and 'Etykieta finalna: 849# 5LO 881 045 AA #1#36-74#05111345#849#B31L0KCNQU' = Etykieta NFP: 12490881331610391671000C7E81'. The 'Wartości procesowe' section shows a table with the following data:

Indeks	Nazwa	Wartość	Status
1	Moment...	7	DoneOk
2	Kat sr1	0	DoneOk
3	Moment...	7	DoneOk
4	Kat sr2	0	DoneOk

At the bottom, there is a toolbar with icons for 'Status F1', 'Dziennik F2', 'Raporty F3', 'Konfiguracja F4', 'Etykiety F5', 'Technologia F6', 'Użytkownicy F7', 'Wyloguj F9', 'O programie F10', 'Minimalizacja F11', and 'Zamknij F12'.

Rys. 2 Widok interfejsu użytkownika przykładowego konfigurowalnego systemu FCS

Zaletą rozwiązań konfigurowalnych jest szybkość dołączania kolejnych stanowisk produkcyjnych, natomiast wadą mogą być dłuższe trwające zapytania do bazy danych oraz dłuższe trwająca wymiana informacji ze sterownikami PLC. Według [3] w odróżnieniu systemy niekonfigurowalne, czyli rozwiązania dedykowane (dla konkretnej linii produkcyjnej) w zasadzie opracowuje się zawsze od nowa, biorąc pod uwagę specyfikę

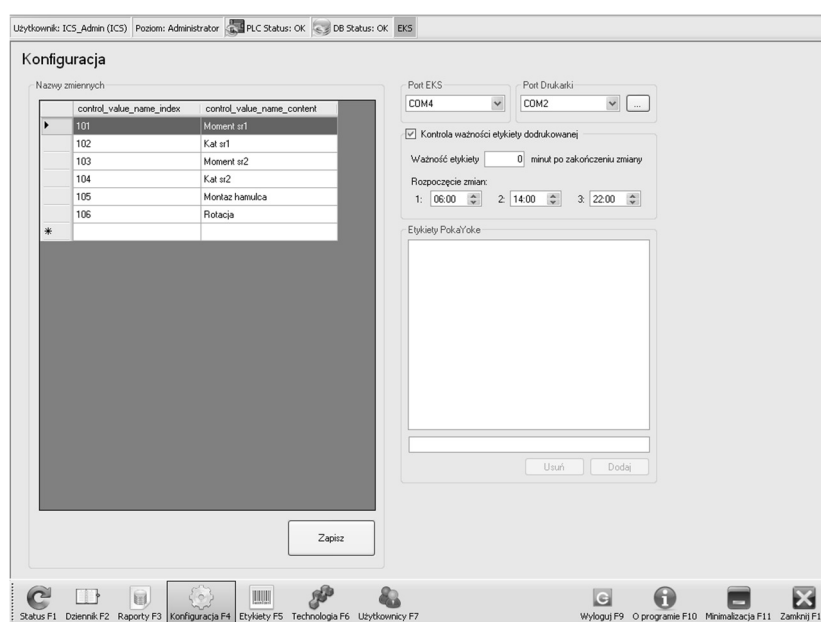
przepływu produktów. Graficzny interfejs użytkownika składa się z obiektów pokazujących status każdej ze stacji produkcyjnych wraz z rejestrowanymi kluczowymi wartościami. Baza danych składa się z tabel, w których liczba oraz typ pól danych dokładnie odpowiada aktualnym potrzebom rejestracji danych produkcyjnych. W skład bazy danych wchodzi również funkcje i procedury, które wywołane z aplikacji komputerowej wykonywane są wewnątrz systemu bazy danych. Dołożenie do linii produkcyjnej kolejnej stacji powoduje konieczność modyfikacji interfejsu użytkownika poprzez dołożenie nowych obiektów dla potrzeb wizualizacji statusu nowej stacji. Również niezbędne są modyfikacje bazy danych poprzez dołożenie nowych tabel lub pól, a także nowych funkcji dla potrzeb rejestracji dodatkowych informacji, które są typowe dla nowo dodanej stacji. Wówczas dopasowywana jest (rozbudowywana) również struktura danych w sterowniku PLC oraz zapytań do samej bazy danych. Dedykowane systemy mają taką zaletę, że ich działanie jest szybkie, natomiast wadą jest dłuższy czas uruchamiania i modyfikacji, czy też rozszerzania funkcjonalności. Systemy takie posiadają ograniczoną możliwość konfiguracji w ramach włączonych już w system stanowisk.

3. Przypadek systemu FCS konfigurowalnego – konfiguracja za pomocą graficznego interfejsu użytkownika

Omawiany przypadek dotyczy systemu FCS zastosowanego w przemyśle motoryzacyjnym do kontroli procesu montażu produktów. Sterowane gniazdo montażowe składa się z kilku stanowisk, pomiędzy którymi przemieszczane są produkty, do których na kolejnych etapach domontowywane są kluczowe komponenty. Przy rozpoczęciu montażu na pierwszym stanowisku w ciągu technologicznym skanowana jest etykieta produktu zawierająca identyfikator oraz skanowany jest kod referencji (typu produktu). Numer referencji przezbraja stanowisko (sterownik PLC) na właściwy program (sekwencję ruchów). Skanowanie to wyzwala zapytanie do bazy danych systemu FCS, czy produkt był już zarejestrowany w bazie danych oraz czy podążą zadaną marszrutą technologiczną. Gdy produktu nie ma w bazie danych, tworzony jest dla niego nowy rekord. Operator na stanowisku wykonuje sekwencje operacji nadzorowanych przez sterownik PLC zgodnie z programem dla skanowanego kodu referencji. Po zakończeniu operacji system FCS zostaje poinformowany, że wyniki operacji są gotowe do odczytu. Następuje odczyt informacji ze struktury danych sterownika PLC, a następnie zapis tych informacji do bazy danych w wierszu utworzonym dla produktu. Produkt wędruje na kolejne stanowisko. Na tym kolejnym stanowisku skanowanie etykiety produktu wyzwala zapytanie do bazy danych systemu FCS. System sprawdza w bazie danych, czy taki produkt już istnieje, czy na poprzednim stanowisku operacja powiodła się oraz czy aktualne stanowisko jest zgodne ze zdefiniowaną marszrutą technologiczną. Jeżeli tak, to stanowisko zostaje automatycznie przezbrojone zgodnie z referencją zeskanowaną na pierwszym stanowisku.

Możliwość podstawowej konfiguracji, oprócz możliwości wpisania podstawowych informacji, takich porty komunikacyjne urządzeń peryferyjnych, daje sposobność definiowania nazwy wartości parametrów, które zapisywane są w takiej formie w bazie danych, co pozwala użytkownikowi na lepsze rozpoznanie z jakim parametrem ma do czynienia w przypadku wygenerowania raportu produkcyjnego (rys. 3). Dodatkowo można zdefiniować, które kody etykiet są uprzywilejowane („Etykiety PokaYoke”). Produkty z takimi etykietami służą do testowania funkcjonalności stacji produkcyjnej. Gdy system FCS rozpozna ten produkt, dane produkcyjne nie są zapisywane do bazy danych i system nie blokuje takiej testowej produkcji.

Inny przykład konfiguracji realizowanej z wykorzystaniem graficznego interfejsu użytkownika (w przypadku dołączenia nowej wersji produktu (referencji), to konfiguracja, gdzie należy zdefiniować dla referencji (typu) produktu marszrutę technologiczną składającą się z ciągu technologii (rys. 3), oraz dodatkowo z wykorzystaniem specjalnego pomocniczego pliku konfiguracyjnego, który uzupełnia się nowymi wpisami w przypadku dołożenia nowego stanowiska produkcyjnego lub nowych warunków decydujących o tym, czy produkt ma być wpuszczony na stację. Sama baza danych jest tak zaprojektowana, że nie wymaga dodatkowych modyfikacji w przypadku dołożenia nowego stanowiska produkcyjnego.



Rys. 3. Okno konfiguracyjne systemu uniwersalnego – konfiguracja podstawowa

W przypadku dołączenia nowego stanowiska produkcyjnego, które ma być kontrolowane przez system FCS, użytkownik musi najpierw dodać sterownik PLC do listy sterowników obsługiwanych przez serwer OPC, nadając mu unikalny identyfikator wewnętrzny oraz sieciowy adres IP (rys. 7), a później poczynić następujące kroki (rys. 4):

- zdefiniować nowe stanowisko o unikalnym oznaczeniu w tabeli stanowisk,
- wybrać oznaczenie technologii dla nowego stanowiska (np. skręcanie) – w kolumnie „Technologia 1”,
- zdefiniować, które technologie może dodatkowo realizować nowe stanowisko (w kolumnie „Technologia 2”).

Marszruta		Stanowiska	
Linia:Stanowisko	Technologia 1	Technologia 2	
1:1	rotacja		
1:2	montaz hamulca		
1:3	skrecanie		

Rys. 4. Tabela konfiguracji stanowisk

W przypadku dołączenia nowej wersji produktu (referencji), należy zdefiniować dla niej marszrutę technologiczną składającą się z ciągu technologii (rys. 5).

Dyskutowany przypadek daje możliwość konfiguracji w sytuacji, gdy znana jest referencja produktu oraz gdy ustalono, które stanowisko jest pierwsze w ciągu technologicznym. Pierwsze stanowisko zachowuje się odmiennie niż kolejne stanowiska, ponieważ zadaje referencję do przezbrownienia kolejnych stanowisk oraz powoduje dodanie nowego wiersza do bazy danych. Stanowiska kolejne przezbrajane są zgodnie z przekazanym kodem referencji oraz po zakończeniu operacji powodują uzupełnienie danych w bazodanowym wierszu produktu. Ustawienie funkcjonalności pierwszego stanowiska wymaga modyfikacji algorytmu sterownika PLC. Kolejnym problemem jest włączenie w system stanowisk, w przypadku których referencja nie jest jeszcze znana, np. stanowisk spawalniczych, na których produkowane są produkty bazowe do rozwinięcia w różne referencje. Wówczas znajdują się one poza marszrutą referencyjną i bez zastosowania specjalnego rozwiązania w PLC nie można sprawdzić, czy kolejność tych stanowisk jest poprawna.

Marszruta		Stanowiska		
Referencja	Krok 1	Krok 2	Krok 3	
1291066	rotacja	montaz hamu...	skrecanie	
1291351	rotacja	montaz hamu...	skrecanie	
1291352	rotacja	montaz hamu...	skrecanie	
1291353	rotacja	montaz hamu...	skrecanie	
1291354	rotacja	montaz hamu...	skrecanie	
1291358	rotacja	montaz hamu...	skrecanie	
1291362	rotacja	montaz hamu...	skrecanie	
1291435	rotacja	montaz hamu...	skrecanie	
1291437	rotacja	montaz hamu...	skrecanie	
1291441	rotacja	montaz hamu...	skrecanie	
1291443	rotacja	montaz hamu...	skrecanie	

Rys. 5. Tabela konfiguracji marszrut technologicznych

Sytuacja komplikuje się jeszcze bardziej, gdy system produkcyjny rozrasta się o nowe linie produkcyjne, których stanowiska mogą dublować istniejące już maszyny. Wówczas istnieje potrzeba realizacji tych samych typów produktów (referencji) jednocześnie korzystając z różnych konfiguracji urządzeń, a co za tym idzie różnych kolejności technologii (różnych marszrut technologicznych jednocześnie). Jediną radą na odpowiednią konfigurację istniejącego systemu sterowania przepływem produkcji FCS bez modyfikacji jego oprogramowania jest wówczas pozwolenie wskazanym stanowiskom na

wykonywanie również innych technologii (co powoduje ryzyko niewykrucia przez FCS, że inny produkt podąża złą marszrutą technologiczną – czyli zmniejsza się przez to poziom zabezpieczenia i odporności na błędy) i, w zależności od potrzeby, ustawianie opcji na panelu PLC wskazującej, czy stanowisko ma zachowywać się jak stanowisko pierwsze w ciągu technologicznym (czyli ma inicjować przebranie kolejnych stanowisk w ciągu technologicznym na produkowaną referencję). Do tego potrzebna jest dodatkowa modyfikacja istniejącego oprogramowania PLC w celu dołożenia takiej opcji.

Jednak najlepszym rozwiązaniem problemu mogłaby być dodatkowa funkcjonalność w postaci listy, w której w kolejnych wierszach wiąże się numer referencji ze stanowiskiem przebrającym. W ten sposób można by dla tej samej referencji stosować różne marszruty. Jedynie należałoby pamiętać o tym, aby po produkcji rozłączyć to powiązanie, gdyż stanowisko, które było stanowiskiem przebrającym, może w innej sytuacji być stanowiskiem przebranym. W tym przypadku nie jest potrzebna żadna modyfikacja w sterowniku PLC, lecz jedynie modyfikacja oprogramowania systemu FCS.

Często przyczyną takich właśnie problemów jest brak przewidzenia tego typu przypadków we wczesnej fazie projektowania oprogramowania systemu FCS. Późniejsze dobudowywanie nowych przypadków wiąże się z tworzeniem wyjątków od reguły, co komplikuje system i utrudnia jego przyszłą analizę i dalszą modyfikację. Dysponowanie wydajnym i konfigurowalnym systemem FCS daje wysoką przewagę technologiczną, ponieważ znacznie skraca czas wdrożenia i dołączenia nowego stanowiska do systemu sterowania przepływem produkcji.

4. Przypadek systemu FCS konfigurowalnego – konfiguracja przy pomocy pliku

Omawiany przypadek dotyczy systemu zastosowanego również w przemyśle motoryzacyjnym do kontrolowania procesu montażu produktów. Sterowane gniazdo montażowe składa się z tzw. linii montażowej transferowej, gdzie produkty główne montowane są na paletach transportowanych przy pomocy automatycznego systemu transportowego pomiędzy stanowiskami roboczymi linii, oraz stacji zewnętrznych, na których powstają komponenty, które na odpowiednich etapach linii transferowej domontowywane są do produktu głównego na linii transferowej. Przy rozpoczęciu montażu zarówno na pierwszym stanowisku linii transferowej, jak i na stanowisku produkcji komponentu, skanowana jest etykieta produktu zawierająca identyfikator oraz skanowany jest kod referencji (typu produktu). System sprawdza, czy stosowany typ produktu (odczytany z etykiety produktu) odpowiada skanowanej referencji oraz czy produkt podąża zadaną marszrutą technologiczną dla skanowanej referencji. Skanowanie to wyzwało zapytanie do bazy danych systemu FCS. Gdy produktu nie ma w bazie danych, tworzony jest dla niego nowy rekord. Operator na stanowisku wykonuje sekwencje operacji nadzorowanych przez sterownik PLC zgodnie z programem dla skanowanego kodu referencji. Po zakończeniu operacji system FCS zostaje poinformowany, że wyniki operacji są gotowe do odczytu. Następuje odczyt danych ze struktury danych sterownika PLC, a następnie zapis do bazy danych w wierszu utworzonym dla produktu. Produkt wędruje na kolejne stanowisko. Skanowanie etykiety produktu wyzwało zapytanie do bazy danych systemu FCS. System sprawdza w bazie danych, czy taki produkt już istnieje, czy na poprzednim stanowisku operacja powiodła się, a także czy aktualne stanowisko jest zgodne ze zdefiniowaną marszrutą technologiczną dla referencji.

W przypadku dołączenia nowego stanowiska produkcyjnego, które ma być kontrolowane przez system FCS, użytkownik musi najpierw dodać sterownik PLC do listy

sterowników obsługiwanych przez serwer OPC, nadając mu unikalny numer oraz sieciowy adres IP (rys. 7), a później poczynić następujące kroki (rys. 6):

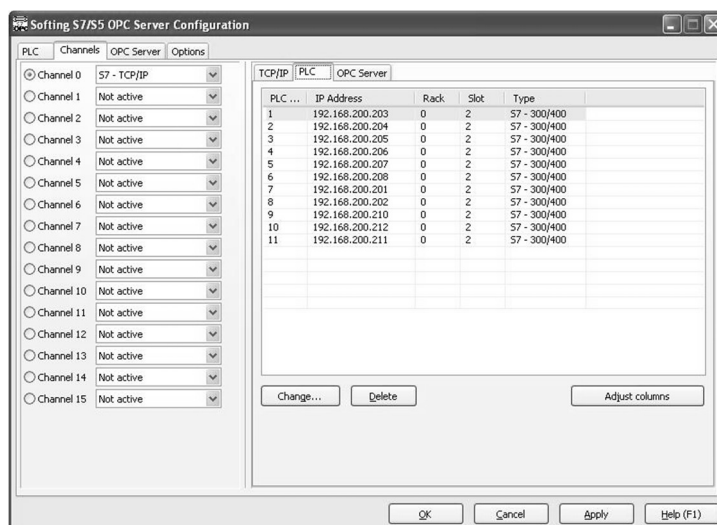
- zdefiniować nowe stanowisko o unikalnym oznaczeniu w pliku konfiguracyjnym xml (nazwa, nr PLC, obszar struktury danych w PLC, itp.),
- w ramach stanowiska w tym samym pliku xml podać jakie pary typ-referencja są dopuszczalne,
- podać jak umiejscowione w marszrucie technologicznej jest to stanowisko (oczekiwany nr kroku, kolejny nr kroku w marszrucie, np. 0, 30 (0 oznacza, że stanowisko jest pierwsze w ciągu technologicznym)),
- podać jaka funkcja bazy danych będzie wykorzystywana do sprawdzania statusu produktu w bazie danych (w tym przypadku funkcja ma nazwę „MAIN”).

```
<Station xsi:type="OPCStation">
  <Name>Stacja nr 1</Name>
  <OPC_Channel>0</OPC_Channel>
  <OPC_CPU>7</OPC_CPU>
  <DB_Number>120</DB_Number>
  <UnblockEnabled>true</UnblockEnabled>
  <RepairEnabled>false</RepairEnabled>
  <NumLabels>1</NumLabels>
  <NumValues>0</NumValues>
  <MaxReworks>0</MaxReworks>
  <ExtAttr></ExtAttr>
  <Rules>
    <BarcodeRule>
      <RuleLabel>^8765432.*</RuleLabel>
      <RuleReference>^9865432.*</RuleReference>
      <FunctionName>MAIN</FunctionName>
      <FunctionParam>0,30</FunctionParam>
    </BarcodeRule>
    <BarcodeRule>
      <RuleLabel>^9543764.*</RuleLabel>
      <RuleReference>^4387126.*</RuleReference>
      <FunctionName>MAIN</FunctionName>
      <FunctionParam>0,30</FunctionParam>
    </BarcodeRule>
  </Rules>
</Station>
```

Rys. 6. Fragment pliku konfiguracyjnego dla stanowiska

W przypadku dołączenia nowej wersji produktu (referencji), należy uzupełnić konfigurację serwera OPC oraz uzupełnić plik konfiguracyjny xml dla stanowisk, przez które dana referencja ma przechodzić.

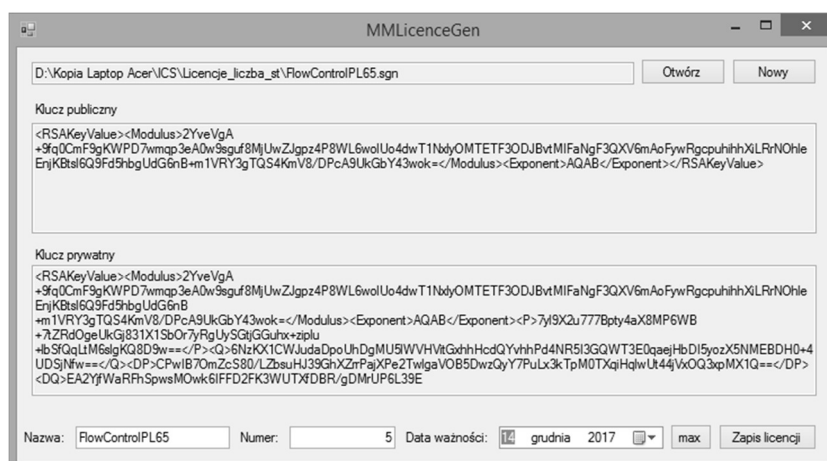
Dyskutowany przypadek daje możliwość konfiguracji w zasadzie bez ograniczeń. Wadą jest, że marszruta technologiczna definiowana jest w taki sposób, że trzeba numerować kolejne kroki, co w przypadku dużej liczby stanowisk oraz dużej liczby referencji może prowadzić do pomyłek i zagubienia się osoby konfigurującej system. Dodatkową trudnością jest już sama konieczność stosowania pliku konfiguracyjnego, który może osiągać pokaźne rozmiary i tym samym być trudnym do interpretacji.



Rys. 7 Okno z listą sterowników w konfiguracji serwera OPC

5. Licencjonowanie oprogramowania

W ramach konfiguracji systemu FCS stosowane jest również licencjonowanie na liczbę stanowisk, które obejmuje kontrola przepływu oraz okres trwania licencji. Na rysunku 8 widać przykładowe okno generatora licencji, w którym definiuje się liczbę stanowisk (pole „Numer”) oraz termin wygaśnięcia licencji (pole „Data ważności”). Wynikiem działania generatora licencji jest plik licencji, który umieszcza się w odpowiednim katalogu. Nie wchodząc w szczegóły funkcjonowania licencji (w oparciu o klucz publiczny i klucz prywatny), od konfiguracji liczby stanowisk zależy, ile stanowisk będzie mogło wymieniać dane z systemem FCS oraz kiedy zostanie zablokowany dostęp do niektórych funkcji systemu. Brak pliku licencji powoduje brak kontroli żadnego ze stanowisk produkcyjnych, a co za tym idzie, również brak rejestracji danych produkcyjnych.



Rys. 8. Okno generatora licencji

6. Zakończenie

Obecnie producenci borykają się z coraz to większą konkurencją, oraz z rosnącymi wymaganiami klientów. Wdrażanie systemów sterowania przepływem produkcji FCS staje się więc bardzo istotnym elementem funkcjonowania firm, zwłaszcza dużych organizacji, lub tych działających w specjalistycznych sektorach rynku, które funkcjonują pod dużą presją regulacji prawnych. „Śledzenie pochodzenia” jest nie tylko terminem używanym w branży spożywczej; również w przemyśle elektronicznym identyfikowalność (traceability) ma duże znaczenie w aspekcie minimalizacji kosztów akcji naprawczych. Pod pojęciem „identyfikowalności” rozumiana jest identyfikacja i śledzenie pochodzenia wyprodukowanych wyrobów. Za pomocą jednoznacznego oznaczenia można śledzić pochodzenie wyrobu końcowego wzdłuż całego łańcucha dostaw, aż do pojedynczych podzespołów. Jednoznaczna identyfikacja umożliwia w przypadku wady wyrobu końcowego szybkie wyodrębnienie źródła wad i uruchomienie precyzyjnej akcji naprawczej. W ten sposób można znacznie zredukować koszty i straty finansowe związane z takimi akcjami” [4]. Pożądaną cechą systemów FCS jest ich konfigurowalność, co skraca czas wdrażania śledzenia nowych stanowisk/produktów. Koncepcja systemu konfigurowalnego musi być jednak dobrze przemyślana od samego początku i wzięte pod uwagę muszą być różne przypadki konfiguracji przepływu materiału. Źle przemyślana koncepcja w razie wystąpienia nowych wymagań/przypadków może powodować konieczność głębokich zmian w strukturze danych i samym kodzie aplikacji, a z tym mogą wiązać się niebagatelne nieprzewidziane wcześniej koszty.

Literatura

1. Chrobot J., Mrzygłód M., Skura K., Koncepcja lokalnego systemu traceability dla przemysłu motoryzacyjnego, *Pomiary Automatyka Robotyka*, Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów, Wrzesień 2010, s.73-77,
2. Banaszak Z., Kłós S., Młeczko J., *Zintegrowane systemy zarządzania*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2011.
3. Chrobot J., Systemy śledzenia produkcji/kontroli przepływu - uniwersalne rozwiązania wobec dedykowanych aplikacji. *Zarządzanie Przedsiębiorstwem*. 2016, R. 19, nr 3, s. 2-11.
4. http://www.refa.pl/pliki/baza_wiedzy_refa/artykuly/produkcja/sledzenie_przeplywu_materialow.pdf, 2018-01-09 godz. 10:54
5. https://www.nsf.org/newsroom_pdf/NewFood_Traceability_Oct2015.pdf, 2018-01-09 godz. 10:54
6. La Roy W. Tymes, Routing and Flow Control in TYMNET, *IEEE Transactions on Communications*, Vol. Com-29, No.4, April 1981, pp. 392-98.
7. Yoram Koren, Moshe Shpitalni, Design of reconfigurable manufacturing systems *Journal of Manufacturing Systems*, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 29, Issue 4, Oct. 2010, pp. 130–141.
8. http://www.gs1.org/docs/traceability/Global_Traceability_Standard.pdf, 2018-02-01 godz. 09:00

Dr inż. Jarosław CHROBOT
Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny
Katedra Technologii Laserowych, Automatykacji I Organizacji Produkcji (W10/K3)
50-371 Wrocław, ul. Ignacego Łukasiewicza 5
tel. +48 320 20 66
email: jaroslaw.chrobot@pwr.edu.pl