

**Paweł Chwietczuk, Seweryn Lipiński, Zenon Syroka**

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie  
e-mail: seweryn.lipinski@uwm.edu.pl

---

## **SYSTEM STEROWANIA PROCESEM MIESZANIA W PRODUKCJI JOGURTÓW SMAKOWYCH OPARTY NA STEROWNIKU PLC**

---

## **PLC-BASED SYSTEM OF CONTROLLING THE MIXING PROCESS IN THE PRODUCTION OF FLAVORED YOGURT**

---

DOI: 10.15611/nit.2015.1.02

**Streszczenie:** Artykuł opisuje system sterowania produkcją jogurtów smakowych. Cechą charakterystyczną opisanego systemu jest to, że jego sterowanie i kontrola bazują na sterowniku PLC (*Programmable Logic Controller*). Jest on również wykorzystywany przy sterowaniu procesem mycia. Do sterownika podłączony jest dotykowy panel operatorski LCD, na którym wyświetlane są informacje i komunikaty dotyczące procesu produkcji, w tym informacje o błędach oraz sygnalizacja awarii oraz braku wykorzystywanych składników. Za pomocą tego panelu dokonuje się wszelkich wyborów, w tym trybu pracy (produkcji/mycia), jak też zmian ustawień, przykładowo tych dotyczących ilości dostarczanych surowców. Opracowany system sterowania jest rekonfigurowalny i rozszerzalny. Podstawa opisanego rozwiązania chroniona jest zgłoszeniem patentowym; artykuł zawiera opis rozszerzony i uszczegółowiony.

**Słowa kluczowe:** automatyzacja produkcji, sterowniki PLC, produkcja jogurtu.

**Summary:** The paper describes a control system for producing flavored yogurt. A characteristic feature of the described system is that its control and monitoring are based on a PLC (Programmable Logic Controller), which is also used in the cleaning process control. A control panel is connected to the PLC; it displays information and messages relating to the production process, including the failures and lack of ingredients being used. All choices are also made with the use of this panel, including the choice of the operating mode (production/washing), as well as changes of the settings, such as those related to the raw materials quantity. The developed control system is also reconfigurable and expandable. The foundations of the described solution are protected by a patent application; the article describes it in details.

**Keywords:** automation of production, PLC, yogurt production.

## 1. Wstęp

Sterowniki PLC (*Programmable Logic Controller*) mają niezwykle szerokie spektrum zastosowań. Są tanie, więc można je wykorzystywać także do budowy prostych układów, ale ich potencjał (uwzględniając również to, że aktualnie znakomitą większość produkowanych sterowników PLC można rozbudować o dodatkowe moduły) w połączeniu ze względnie prostą (w porównaniu na przykład z programowalnymi układami logicznymi [Monmasson, Cirstea 2007]) metodyką implementacji algorytmów sterowania predestynuje je do sterowania skomplikowanymi procesami [Gerkšič i in. 2006] oraz specjalistycznymi liniami produkcyjnymi [Morris 1999].

Sterowniki PLC znajdują zastosowanie m.in. w przemyśle motoryzacyjnym [Hajarnavis, Young 2008], chemicznym [Alford 2006] czy spożywczym [Ilyukhin, Haley, Singh 2001]. Ostatnia z wymienionych branż jest podmiotem zainteresowania niniejszego artykułu – w prezentowanym rozwiązaniu sterownik PLC jest odpowiedzialny za sterowanie procesem produkcji jogurtu smakowego.

Przeprowadzone studium literaturowe wskazuje, że opracowania dotyczące sterowania procesami przemysłowymi są traktowane najczęściej bardziej ogólnie [Boral, Piotrowski, Nieszporek 2011; Władysiak 2001], często bez odniesienia do konkretnej branży [Hadaś, Cyplik 2007; Zajac, Chwajoł 2011]. W naszej opinii w literaturze powinno się znaleźć miejsce także dla opracowań bliższych naturze *case study*, czyli opisujących rozwiązania konkretnych problemów na podstawie konkretnej techniki sterowania, co w naszym przypadku oznacza sterownik programowalny.

Podstawa prezentowanego rozwiązania chroniona jest zgłoszeniem patentowym [Syroka, Chwietczuk 2012], w artykule zawarto bardziej szczegółowy opis wynalazku.

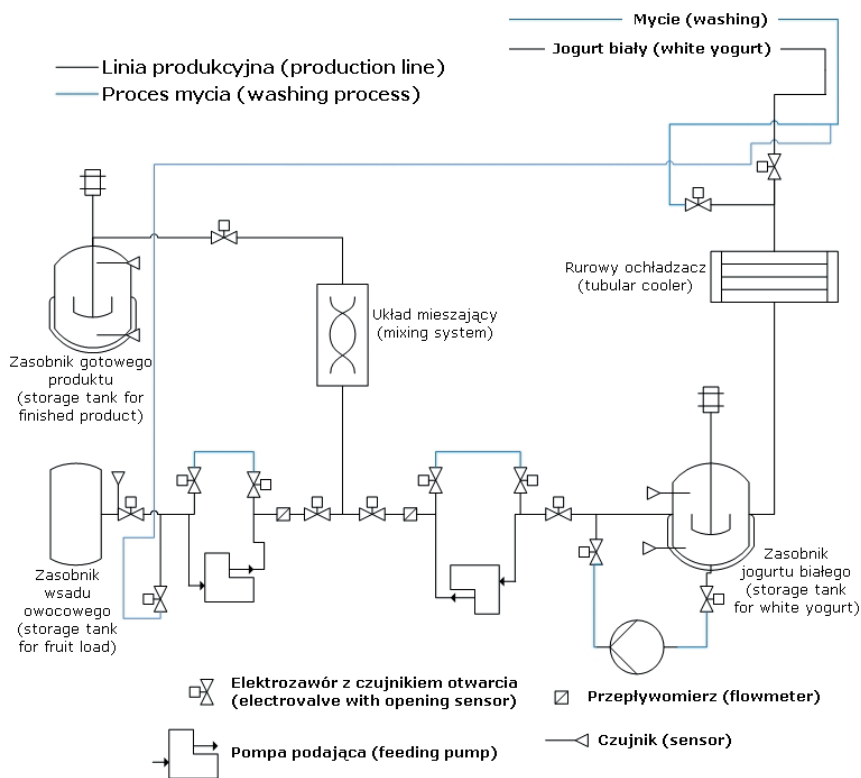
## 2. System sterowania

Na rysunku 1 pokazano schemat ogólny linii produkcyjnej przeznaczonej do produkcji jogurtu smakowego. Jest to układ mogący być przykładem klasycznej linii produkcyjnej stosowanej w przetwórstwie mleczarskim.

Na rysunku tym, poza podstawowymi elementami układu linii (zasobniki, rowy ochładzacz, pompa i układ mieszający), wskazano też elementy automatyki przemysłowej umożliwiające zautomatyzowanie całego procesu produkcyjnego. Są nimi układy wejścia w postaci czujników i przepływomierzy oraz wyjścia (elementy wykonawcze) w postaci zaworów elektromagnetycznych (tzw. elektrozworów).

Na rysunku 1 warto też zwrócić uwagę na schematyczne zaznaczenie procesów produkcji (linie czarne) i mycia (linie niebieskie). W literaturze znaleźć można artykuły [Chojnowski, Nowak, Baranowska 2013] podkreślające wagę stosowania nowoczesnych rozwiązań poprawiających higienę w zakładach mleczarskich. Automatyzacja procesu mycia, sterowana tym samym układem (w tym przypadku sterownikiem programowalnym), które steruje procesem produkcji, jest kolejnym

elementem wyróżniającym projektowany system i pozwalającym uniknąć konfliktów mogących się pojawić przy zastosowaniu dwóch niezależnych układów sterujących.



**Rys. 1.** Uproszczony schemat systemu

**Fig. 1.** Simplified diagram of the system

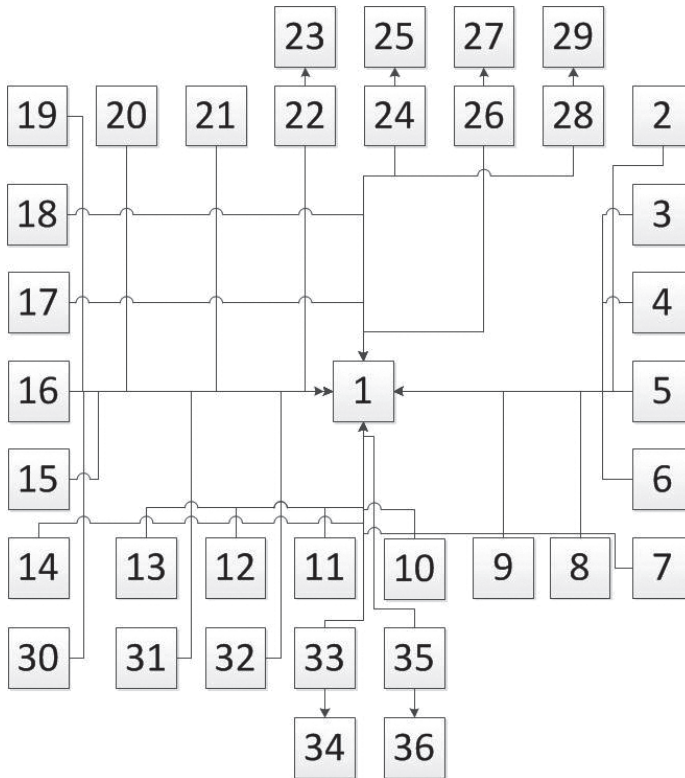
Źródło: opracowanie własne.

Source: own study.

Na rysunku 2 pokazano blokowy schemat systemu sterowania produkcją jogurtu. W prezentowanym zastosowaniu to sterownik PLC odpowiedzialny jest całościowo za sterowanie procesem produkcji jogurtów smakowych. Najważniejszą zaletą opisanego systemu jest to, że całość systemu jest sterowana za pomocą jednego układu. Poprzez dostęp do ustawień na panelu dotykowym LCD operator decyduje m.in. o tym, jaki produkt wyjściowy chce uzyskać, czy też o procentowej ilości wsadu owocowego. Dzięki sterowaniu poprzez sterownik programowalny eliminowana jest możliwość popełnienia przez osobę obsługującą wielu pomyłek (najprostszym przykładem jest tu możliwość implementacji granicznych wartości dla wielkości zadawanych przez operatora).

Z kolei dzięki temu, że w systemie na bieżąco sprawdzane są przepływy i stan zbiorników produkcyjnych, wszelkie problemy są natychmiast sygnalizowane, gdy

są one potencjalnie niebezpieczne dla elementów układu lub jego obsługi, istnieje możliwość automatycznego zatrzymania wszystkich procesów.



**Rys. 2.** Blokowy schemat systemu sterowania  
**Fig. 2.** Block diagram of the control system

Źródło: opracowanie własne.  
 Source: own study.

Jak wynika z rys. 2, fundamentem systemu jest sterownik PLC 1, odpowiedzialny za kontrolę i sterowanie procesem produkcji jogurtów smakowych.

Do sterownika podłączone są: panel operatorski 2, elektrozawory z czujnikami 3-16, czujnik pustostanu wsadu owocowego 17, czujniki 18 i 19 maksymalnego i minimalnego poziomu w zbiorniku z jogurtem naturalnym, czujniki 20 i 21 poziomu minimalnego i maksymalnego w zbiorniku z jogurtem smakowym, falownik 22 z pompą 23, falownik 24 z silnikiem 25, falownik 26 z pompą 27, falownik 28 z pompą 29, przepływomierze 30 i 31, lampka pustostanu 32, stycznik 33 z chłodziarką 34 i stycznik 35 z pompą 36.

W kolejnym podpunkcie opisano działanie systemu sterowania produkcją jogurtu w sposób uszczegółowiony.

## 2.1. Szczegółowy opis działania systemu

Jak wspomniano wcześniej, kluczowym elementem systemu jest sterownik programowalny 1. Do sterownika PLC podłączony jest dotykowy panel operatorski LCD 2. Za jego pomocą operator może wybrać tryb produkcji (w tym procentową zawartość wsadu owocowego w produkcie końcowym) lub mycia, jak też zakończyć produkcję. Na nim widoczne są także komunikaty o stanie systemu, przede wszystkim informacje o awariach i braku wsadu owocowego. Zarządzanie urządzeniem odbywa się na podstawie odczytów z czujników: pustostanu 17, poziomu cieczy 18, 19, 20 i 21 i otwarcia bądź zamknięcia elektrozaworów 3-16. Przepływ jogurtu naturalnego oraz wsadu kontrolowany jest poprzez przepływomierze elektromagnetyczne 30 i 31 w zależności od nastaw produkcyjnych (wynikających, oczywiście, z wyboru operatora). Sterownik PLC automatycznie dobiera odpowiednie parametry pracy pomp 27 i 29 i kontroluje je za pomocą falowników 26 i 28. Jeżeli czujnik pustostanu 17 wskaże brak wsadu owocowego w zasobniku, zatrzymywany jest cały proces produkcyjny i zapalana jest lampka sygnalizacyjna 32, której zadaniem jest poinformowanie o zaistnieniu sytuacji braku wsadu i wstrzymaniu produkcji.

Elektrozawory z czujnikami otwarcia 3-16 są otwierane i zamykane w zależności od poziomu produktów (w tym ich braku), wybranego przez operatora trybu pracy (produkcja/mycie) i w razie awarii.

Czujnik pustostanu wsadu owocowego 17 zostaje załączony w momencie stwierdzenia braku tego wsadu w zasobniku. Proces produkcyjny zostaje wstrzymany do wznowienia etapu produkcyjnego z poziomu panelu operatorskiego (oczywiście, niemożliwe jest jego wznowienie bez uzupełnienia zasobnika). W czasie wstrzymania etapu produkcyjnego zamykane są wszystkie elektrozawory, wyłączane są pompy i rurowy ochładzacz. Działają jednak mieszadła w zbiornikach z produktami (pod warunkiem że czujniki nie wskazują w nich stanów minimalnych).

Czujnik maksymalnego poziomu w zbiorniku z gotowym jogurtem naturalnym 18 ma za zadanie niedopuszczenie do przekroczenia dozwolonej ilości jogurtu białego (naturalnego). Czujnik minimalnego poziomu 19 odpowiada za uruchamianie produkcji oraz jej zakończenie w momencie, gdy ilość jogurtu naturalnego spadnie poniżej poziomu minimum.

Czujnik poziomu maksymalnego 20 ma za zadanie zatrzymanie produkcji w momencie przekroczenia maksimum dopuszczalnej ilości gotowego produktu, natomiast czujnik poziomu minimalnego 21 ma znaczenie przy uruchamianiu procesu mycia – może on być uruchomiony dopiero wtedy, gdy zostanie osiągnięty poziom minimum.

Falownik 22, sterujący obrotami silnika 23, odpowiedzialny jest za mieszanie jogurtu naturalnego. Sterownik PLC steruje falownikiem, przekazując do niego impulsy sterujące prędkością obracania mieszadła w zasobniku z jogurtem; mieszanie ma na celu utrzymanie jego właściwej (jednakowej) konsystencji.

Analogicznie falownik 24, sterujący obrotami silnika 25, odpowiedzialny jest za mieszanie gotowego produktu. Sterownik PLC steruje falownikiem, przekazując do



Falownik 26, sterujący obrotami pompy 27, odpowiada za podawanie wsadu owocowego. Sterowanie ponownie odbywa się poprzez przekazanie impulsów do falownika ze sterownika PLC, przy czym tym razem w ten sposób decyduje się o prędkości podawania wsadu owocowego.

Falownik 28 działa i jest sterowany analogicznie do falownika 26, ale tym razem, sterując obrotami pompy 29, odpowiada za prędkość podawania jogurtu naturalnego.

Połączone ze sterownikiem PLC przepływomierze elektromagnetyczne 30 i 31 kontrolują proporcje mieszania jogurtu naturalnego z wsadem owocowym. Dzięki przepływomierzom sterownik może zadawać odpowiednie prędkości podawania składników.

Poprzez stycznik 33 załączana jest chłodziarka 34. Chłodziarka odpowiada za przepływowe schładzanie jogurtu naturalnego, nim trafi on do produkcji, jest ona uruchamiana na początku produkcji i schładza jogurt do zakończenia produkcji lub osiągnięcia poziomu maksimum w zasobniku z jogurtem naturalnym.

Z kolei stycznik 35 załącza pompę 36, służącą do mycia układu. Pompa ta jest uruchamiana tylko na czas mycia i zawiera środek myjący, który jest podawany na dół zasobnika na jogurt naturalny oraz do pompy 29, w trybie produkcji odpowiedzialnej za podawanie jogurtu naturalnego.

Na rysunku 3 pokazano rozszerzony schemat systemu, wizualizujący powyższy opis szczegółowy. Schemat ten jest rozszerzoną (przede wszystkim o sterownik PLC oraz połączenia i urządzenia elektryczne, tj. styczniki i falowniki) wersją schematu z rys. 1, uzupełnioną o sterowanie zgodne z blokowym schematem z rys. 2. Wskazany tu układ Siemens S7-300 jest jednym z najczęściej stosowanych w automatyce przemysłowej sterowników PLC o możliwościach w zupełności spełniających wymagania opisywanego systemu.

### 3. Podsumowanie

W artykule opisano system sterowania produkcją jogurtów smakowych zbudowany na bazie sterownika programowalnego. Sterowanie za pomocą jednego automatu tak procesu produkcji, jak i mycia jest jego podstawową zaletą. Kolejną jest prosta komunikacja z systemem za pomocą operatorskiego panelu dotykowego, pozwalająca zarówno sterować procesami, jak i pozyskiwać o nich informacje, włącznie z komunikatami o błędach i sygnalizacją awarii.

Do zalet opracowanego systemu sterowania możemy z pewnością również zaliczyć fakt, iż ze względu na rekonfigurowalność sterowników PLC w dowolnym momencie, wykorzystując jedynie komputer klasy PC, można zmienić/rozbudować oprogramowanie decydujące o jego działaniu po to, by mógł on wykonywać dodatkowe, nieprzewidziane wcześniej funkcje. W razie potrzeby sterownik można też rozszerzyć o dodatkowe moduły, dzięki temu uzyskując na przykład większą liczbę wejść/wyjść różnego typu. Cechy te (tzn. rekonfigurowalność i rozszerzalność) są

jednymi z najważniejszych w nowoczesnych systemach produkcji [Mehrabi, Ulsoy, Koren 2000].

## Literatura

- Alford J.S., 2006, *Bioprocess control: Advances and challenges*, "Computers & Chemical Engineering", vol. 30, no. 10, s. 1464-1475.
- Boral P., Piotrowski A., Nieszporek T., 2011, *Wykorzystanie sterowników PLC w automatyzacji produkcji*, Lubelskie Towarzystwo Naukowe, Lublin.
- Bylund G., 2003, *Dairy processing handbook*, Tetra Pak Processing Systems AB, Lund.
- Chojnowski W., Nowak H., Baranowska M., 2013, *Nowoczesne rozwiązania poprawiające higienę w zakładach mleczarskich. Część 1. Mycie oraz monitoring higieny*, „Nauki Inżynierskie i Technologie”, vol. 8, no. 1, s. 9-16.
- Gerkšič S., Dolanc G., Vrančić D., Kocijan J., Strmčnik S., Blažič S., Škrjanc I., Marinšek Z., Božiček M., Stathakie A., Kinge R., Hadjiskif M., Boshnakov K., 2006, *Advanced control algorithms embedded in a programmable logic controller*, "Control Engineering Practice", vol. 14, no. 8, s. 935-948.
- Hadaś Ł., Cyplik P., 2007, *Środowisko produkcyjne a wybór systemów planowania i sterowania produkcją*, „Logistyka”, vol. 6, s. 16-19.
- Hajarnavis V., Young K., 2008, *An investigation into programmable logic controller software design techniques in the automotive industry*, "Assembly Automation", vol. 28, no. 1, s. 43-54.
- Ilyukhin S.V., Haley T.A., Singh R.K., 2001, *A survey of automation practices in the food industry*, "Food Control", vol. 12, no. 5, s. 285-296.
- Mehrabi M.G., Ulsoy A.G., Koren Y., 2000, *Reconfigurable manufacturing systems: Key to future manufacturing*, "Journal of Intelligent Manufacturing", vol. 11, no. 4, s. 403-419.
- Monmasson E., Cirstea M.N., 2007, *FPGA design methodology for industrial control systems – A review*, "IEEE Transactions on Industrial Electronics", vol. 54, no. 4, s. 1824-1842.
- Morriss S.B., 1999, *Programmable Logic Controllers*, Prentice Hall, New Jersey.
- Syroka Z., Chwietczuk P., 2012, *System sterowania urządzeniem do produkcji jogurtów smakowych*, zgłoszenie patentowe nr 393409, Biuletyn Urzędu Patentowego, vol. 40. no. 14, s. 3.
- Walstra P., Wouters J.T.M., Geurts T.J., 2006, *Dairy Science and Technology*, CRC Press, Boca Raton.
- Władysiak R., 2001, *System planowania i sterowania produkcją dla przedsiębiorstwa odlewniczego*, „Archiwum Odlewnictwa”, vol. 1, no. 1, s. 303-314.
- Zajac J. Chwajoł G., 2011, *Koncepcja integracji rozproszonego systemu sterowania produkcją AIM z podsystemem transportu międzyoperacyjnego zbudowanym z autonomicznych robotów mobilnych*, „Pomiary. Automatyka. Robotyka”, vol. 15, no. 2, s. 392-401.