

Dr inż. Przemysław OBORSKI,  
dr inż. Piotr SZULEWSKI (Politechnika Warszawska):

## **INTEGRACJA OPERATORA Z SYSTEMEM NADZORU WYTWARZANIA – KONCEPCJA WDRÓŻENIA W WARUNKACH PRZEMYSŁOWYCH**

### Streszczenie

Integracja przepływu informacji w systemie produkcyjnym staje się coraz bardziej istotna. Jedną z podstawowych trudności jest skuteczna implementacja systemów bieżącego monitorowania procesu wytwarzania. Kluczowe znaczenie w przypadku zaawansowanej obróbki ma również integracja operatorów z systemami obiegu informacji w przedsiębiorstwie. W artykule przedstawiono koncepcję realizacji i wdrożenie w warunkach przemysłowych systemu zaawansowanego monitorowania obejmującego integrację operatorów obrabiarek.

**Słowa kluczowe:** *nadzór i monitorowanie procesów obróbki skrawaniem i obrabiarek, integracja operatorów obrabiarek, systemy informatyczne w wytwarzaniu*

## **INTEGRATION OF MACHINE OPERATOR AND MANUFACTURING SUPERVISION SYSTEM – CONCEPTION OF IMPLEMENTATION IN PRODUCTION ENVIRONMENT**

### Abstract

Integration of information flow in production systems became more and more important. One of the main problems is effective implementation of machining process. Increasing requirements on machining processes effectiveness makes necessary integration of machine tool operators with company IT systems, as well. In the article the conception of the integrated monitoring systems of the machining processes is presented and discussed. It is focused on implementation in production environment.

**Keywords:** *integration of monitoring and supervision process, integration of machine operator, information systems in the manufacturing*

# **INTEGRACJA OPERATORA Z SYSTEMEM NADZORU WYTWARZANIA – KONCEPCJA WDROŻENIA W WARUNKACH PRZEMYSŁOWYCH**

Przemysław OBORSKI<sup>1</sup>, Piotr SZULEWSKI<sup>2</sup>

## **1. WPROWADZENIE**

Istotny wysiłek badawczy w obszarze systemów automatyzacji produkcji jest skupiony na osiągnięciu wysokiej efektywności procesu wytwarzania poprzez zastosowanie zaawansowanych systemów monitorowania i sterowania [1]. Jednocześnie przy realizacji produkcji dyskretniej zatrudnieni są pracownicy pracujący, jako operatorzy maszyn i urządzeń technologicznych [2]. Ważnym celem rozwoju systemów wytwarzania powinno być efektywne włączenie pracowników w zautomatyzowany przepływ informacji oraz ich wykorzystanie jako aktywny element systemu sterowania i nadzoru produkcji [3]. W artykule przedstawiono koncepcję implementacji środowiska informatycznego bazującego na komputerach panelowych wykorzystywanych przez operatorów obrabiarek. System ten ma swoim zamyśle pozwolić operatorom na stałe pozostawanie w kontakcie z zaawansowanymi strukturami informatycznymi zakładu takimi jak ERP (ang. Enterprise Resource Planning), czy MES (ang. Manufacturing Execution System). Jego zadaniem jest zapewnienie stałego, maksymalnie zautomatyzowanego kontaktu operatora z informacjami przetwarzanymi w przedsiębiorstwie. Równie ważne jest bieżące informowanie systemów zarządzania produkcją o działaniach wykonywanych przez danego pracownika oraz wynikach

---

<sup>1</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Produkcji, Instytut Techniki Wytwarzania, 02-524 Warszawa, ul Narbutta 86

<sup>2</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Produkcji, Instytut Techniki Wytwarzania, 02-524 Warszawa, ul Narbutta 86

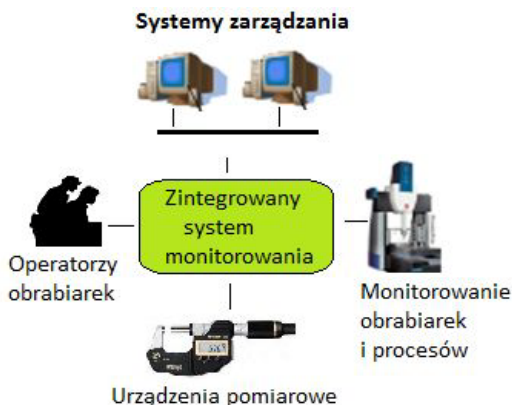
wykonywanych przez niego operacji takich jak na przykład pomiary, czy czynności związane z obsługą lub regulacją, czy konserwacją maszyny. Opracowywane oprogramowanie ma za zadanie integrację systemu urządzeń pomiarowych wyposażonych w interfejsy cyfrowe jak i tradycyjnych z manualnym odczytem. W trakcie wykonywania przez operator pomiarów geometrycznych pomiarów wykonanego przedmiotu wyniki będą automatycznie przesyłane do systemu. Tworzony system pozwoli także na pozyskiwanie informacji oraz danych z innych źródeł, takich jak sterowniki maszyn oraz dodatkowych niezależnych wysoko zaawansowanych układów monitorowania.

## 2. INTEGRACJA PRZEPIYU INFORMACJI W SYSTEMIE WYTWARZANIA

Integracja informacji kompleksowo i całościowo opisujących aktualny stan procesu wytwarzania ma kluczowe znaczenie w odnośeniu efektywności zarządzania realizowaną produkcją. W obecnej sytuacji bardzo silnej i wciąż rosnącej globalnej konkurencji, gdy podstawą działania przedsiębiorstwa jest minimalizowanie zapasów magazynowych, realizacja dostaw prosto na linię produkcyjną (ang. Just in Time), eliminacja przestoju, kluczowego znaczenia nabiera dostęp w czasie rzeczywistym do informacji o przebiegu procesu wytwarzania. Dzięki połączeniom pomiędzy systemowym B2B (ang. Business to Business) mogą one być przekazywane na bieżąco do systemów IT innych przedsiębiorstw współpracujących w ramach łańcucha dostaw [4]. Firma odpowiedzialna za końcowy produkt może szybko otrzymywać informacje o stanie realizacji koniecznych dostaw od podwykonawców. Zazwyczaj wymieniane dane zawierają informacje dotyczące zagadnień zarządzania produkcją. Jednakże bardzo korzystne byłoby posiadanie również informacji pochodzących bezpośrednio z produkcji podzespołów – status operacji obróbkowych, wyniki kontroli jakości, parametry obróbki czy informacje o problemach i nieprawidłowościach tworzące historię produkcji wyrobu, czy jego podzespołu. Systemy wspierania zarządzania klasy ERP/MRP obsługują przed wszystkim przygotowywanie i wystawianie zleceń produkcyjnych. Natomiast informacje zwrotne z linii produkcyjnej o stanie realizacji wytwarzania są zbierane przez operatorów maszyn, brygadzystów, kierowników i inny personel techniczny w formie raportów, wypełnionych kart sprawozdań, itp. – zwykle jako dokumentacja papierowa. Niektóre z tych danych są wprowadzane później do systemu informatycznego zarządzania produkcją. Jednak nie ma praktycznych możliwości wprowadzania takich danych na bieżąco. Konsekwencją takiego stanu jest brak aktualnych informacji o stanie zaawansowania produkcji, co utrudnia proces podejmowania decyzji, zmniejsza efektywność działania i może być przyczyną powstawania strat.

Umożliwienie bezpośredniego dostępu do danych z procesu wytwarzania wymaga dołączenia do zakładowego systemu informatycznego specjalnie zaprojektowanego środowiska do monitorowania stanu zaawansowania procesu, maszyn oraz danych

pochodzących od operatorów. W przypadku produkcji procesowej, w której występują głównie sygnały wolnozmiennne możliwe jest zastosowanie specjalizowanych systemów klasy SCADA [5]. Pozwalają one na odczytywanie informacji ze sterowników maszyn i bezpośrednio z czujników. Jednakże w przypadku procesów obróbkowych, takich jak obróbka skrawaniem najczęściej niezbędne jest zastosowanie znacznie bardziej skomplikowanych i specjalizowanych systemów [6].



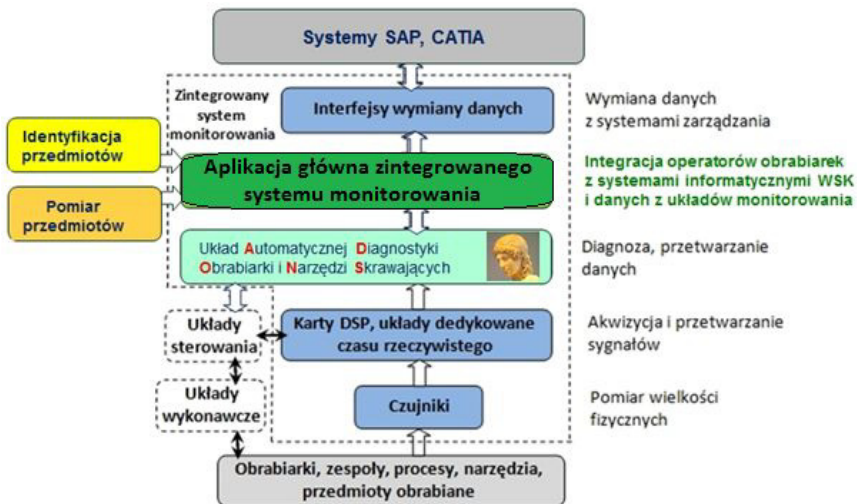
Rys. 1. Koncepcja przepływu informacji i integracji operatorów w systemie wytwarzania.

Kluczowym elementem systemu integracji danych z procesu wytwarzania jest monitorowanie procesów obróbkowych wymagające zastosowania specjalistycznych wysoko zaawansowanych czujników i układów pomiarowych [7]. Wymaga ono aplikacji pracujących z dużą lub bardzo dużą ilością danych przetwarzanych z wysokimi częstotliwościami [8]. Koniecznym jest także zapewnienie ścisłej współpracy systemu monitorowania ze skomplikowanymi sterownikami CNC wykonywanymi zazwyczaj w architekturze zamkniętej. Przetwarzanie danych tego typu musi być realizowane zgodnie z wymaganiami systemów czasu rzeczywistego (ang. Real Time) [9]. Główne założenia koncepcji przepływu informacji i integracji operatorów w systemie wytwarzania zostały przedstawione na rysunku nr 1.

### 3. ZINTEGROWANY SYSTEM MONITOROWANIA PROCESU WYTWARZANIA

System zaprezentowany w artykule jest opracowywany specjalnie dla przemysłu lotniczego. Jego głównym celem jest umożliwienie pełnej integracji przepływu danych pomiędzy obrabiarkami, procesem wytwarzania, operatorami i systemem sterowania produkcją. System jest oparty na wielopoziomowym modelu zintegrowanego

środowiska monitorowania wytwarzania, opracowanym wcześniej na Politechnice Warszawskiej.



Rys. 2. Model zintegrowanego systemu tworzono w ramach projektu.

Model składa się z pięciu warstw. Najniższa opisuje pozyskanie informacji bezpośrednio z maszyn/urządzeń technologicznych. Poziom drugi obejmuje aplikacje odpowiedzialne za przetwarzanie pozyskanych sygnałów, pracujące w środowisku systemu czasu rzeczywistego. W budowanym systemie, na poziomie pierwszym zaimplementowano czujniki siły i emisji akustycznej odpowiedzialne za gromadzenie danych w warunkach i stanie realizowanego procesu obróbkowego. W przyszłości zostaną dodatkowo zainstalowane urządzenia do monitorowania stanu obrabiarki. Na poziomie tym także są zainstalowane narzędzia pomiarowe do wykonywania bieżącej kontroli wymiarowej oraz skanery kodów kreskowych do identyfikacji przedmiotów. Na poziomie drugim pracuje system komputerowy wyposażony w karty do akwizycji danych, działający w środowisku czasu rzeczywistego służący do przetwarzania sygnałów pozyskiwanych na poziomie pierwszym. Trzeci poziom jest odpowiedzialny za zaawansowaną obróbkę danych, ich analizę, wykrywanie stanów niebezpiecznych lub zagrożeń i podejmowanie decyzji. Na tym poziomie przetwarzane są także informacje o zleceniach i wynikach pomiarów wykonywanych przez operatora. Na poziomie czwartym odbywa się integracja wszystkich danych pozyskanych i przetworzonych na poziomach niższych, są one dołączane do informacji o konkretnym zamówieniu pochodzącym z zakładowego systemu ERP/MRP. Na tym

poziomie jest możliwe przeprowadzenie szczegółowej weryfikacji wszystkich etapów wytwarzania danego produktu i zrealizowanej technologii

#### 4. INTEGRACJA OPERATORÓW OBRABIAREK Z SYSTEMEM ZARZĄDZANIA WYTWARZANIEM

Zdecydowana większość obrabiarek CNC jest nadzorowana i obsługiwana przez operatorów. Skuteczna komunikacja z nimi stanowi kluczowy problem w zapewnieniu efektywnego przepływu informacji w systemie wytwarzania. Omawiane, rozwiązanie jest odpowiedzią na zapotrzebowanie zgłaszane przez przedstawicieli przemysłu. Operator ma bardzo znaczący wpływ na wynikową efektywność systemu, zależną od podejmowanych przez niego decyzji [10]. Zaangażowanie operatorów w proces przepływu informacji ma również duże znaczenie socjotechniczne wpływające na ich efektywność i zaangażowanie [11]. Budowany system ma on pełnić przede wszystkim rolę wsparcia dla operatorów co jest niewątpliwie zgodne z wynikami badań innych zespołów [12].



Rys. 3. System CELOS produkowany przez DMG/MORI SEIKI pozwala na integrację sterownika SIEMENS 840D Powerline (lewy) i sterownika Mitsubishi MAPPS V (prawy) [13].

Dane dotyczące realizowanego zamówienia są prezentowane na ekranie wyświetlacza LCD. Szybkie odnajdywanie w systemie informacji dotyczących konkretnego zlecenia i koniecznych do podjęcia działań jest możliwe dzięki czytnikom kodów kreskowych identyfikujących dokumenty produkcyjne oraz części obrabiane. Większość danych jest wprowadzana w sposób automatyczny, nie absorbując uwagi i czasu operatorów. Informacje dotyczące stanu realizacji procesu są przetwarzane na bieżąco i zapisywane w strukturach danych. Wyniki pomiarów przedmiotów realizowanych ręcznie przez operatora są automatycznie przesyłane do systemu i analizowane. W przypadku używania sprawdzianów nie wyposażonych w interfejsy komunikacyjne używany jest głosowy system rozpoznawania komend i wyników. Wykonana analiza rynku pokazuje, że również producenci obrabiarek dostrzegają integracji operatorów [13]. Przykładem implementacji takiej koncepcji jest system CELOS oferowany przez

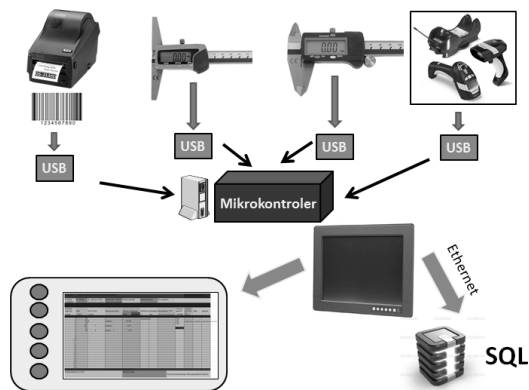
DMG/MORI SEIKI, pozwalający na integrację sterownika CNC i operatora z systemem IT przedsiębiorstwa. Operator ma możliwość dostępu do zleceń produkcyjnych oraz technicznych danych dotyczących wytwarzanej części, może one również przysyłać informacje bezpośrednio do system zarządzania produkcją.

## 5. TECHNICZNE ASPEKTY KOMUNIKACJI W SYSTEMIE

W skład wykonywanego systemu wchodzi wiele podsystemów takich jak moduły nadzoru procesu, monitorowania maszyny, dokumentacji technologicznej i procesowej, przesyłania danych z systemów pomiarowych oraz innych. Każde z wykorzystywanych urządzeń jest wyposażone w dedykowany interfejs komunikacyjny [2]. W systemie zintegrowanego nadzoru komunikacja ta opiera się o standard sieci przemysłowej Profibus-DP. To rozwiązanie pozwala na stabilną komunikację ze zmienną prędkością od 9,6 kbit/s do maksymalnie 12 Mbit/s. Zgodnie z występującymi obecnie na rynku automatyki trendami możliwe jest także zastosowanie połączenia bezprzewodowego. Niestety należy się liczyć w takim przypadku z ograniczeniami związanymi z charakterem wykorzystywanego medium transmisyjnego na przykład: warunkami propagacji, zakłóceniami EMI, itp. [14]. Wymiana danych z systemami ERP/MRP jest realizowana poprzez sieć w standardzie Ethernet z wykorzystaniem protokołu TCP/IP.

## 6. IDENTYFIKACJA I POMIARY PRZEDMIOTU OBRABIANEGO

Ważną funkcją budowanego systemu jest identyfikacja i pomiary kontrolne przedmiotu obrabianego. Dla uzyskania bardzo dokładnych wyników pomiarów zdecydowano się na zastosowanie przyrządów znanego producenta firmy Mitutoyo. Większość produktów tej firmy jest wyposażona w możliwość komunikacji z systemami zewnętrznymi za pomocą protokołu Digimatic. Jest to unikalne i specjalizowane rozwiązanie. Dane pomiarowe muszą być przetłumaczone na powszechnie używany standard cyfrowy przed przesłaniem do programu analizującego. Dlatego też wykonano samodzielnie specjalizowane oprogramowanie do odczytu i przechowywania danych z przyrządów pomiarowych. Zostało ono napisane w ogólnodostępnym języku C++ oraz w środowisku LabView, tak aby umożliwić jak największą swobodę w dostosowywaniu do konkretnych wymagań i możliwości zakładu przemysłowego. Pozwala ono na pracę z wieloma przyrządami pomiarowymi jednocześnie, z których każdy jest dołączony do wirtualnego portu. Również ważną częścią projektowanego systemu jest moduł odpowiedzialny za obsługę czytników optycznych. Jest on wykorzystywany do odczytywania dokumentacji papierowej oraz identyfikacji przedmiotów obrabianych. Ze względu na bardzo trudne warunki przemysłowe (wibracje, zanieczyszczenia, udary mechaniczne, itp.) wybrano bardzo odporny wariant CR6000 wykonany przez doświadczonego amerykańskiego producenta firmę Codacorp.



Rys. 4. Komunikacja z przyrządami pomiarowymi, czytnikiem kodów kreskowych, komputerem panelowym i indywidualnymi panelami operatora.

Specjalny program adoptujący pozwala na traktowanie czytnika jak dodatkowej klawiatury komputerowej co znacznie ułatwia obsługę w tworzonych samodzielnie oprogramowaniach.

## 7. PODSUMOWANIE

Integracja przepływu informacji w systemie produkcyjnym staje się zagadnieniem coraz bardziej istotnym. Zintegrowane systemy zarządzania umożliwiają łatwe i skuteczne wymienianie się informacjami w ramach przedsiębiorstwa lub nawet grupy zakładów powiązanych w ramach łańcucha dostaw. Jakkolwiek należy zauważyć, że nadal podstawową trudnością jest skuteczna implementacja systemów bieżącego monitorowania wytwarzania oraz tworzenie za jego pomocą precyzyjnego obrazu historycznych danych dokumentujących realizowaną produkcję. Niestety, zazwyczaj tego typu dane są gromadzone i przechowywane w tradycyjnej formie raportów papierowych tworzonych przez operatorów maszyn, kontrolerów lub osoby na średnich stanowiskach kierowniczych. Taka sytuacja ma bardzo negatywny wpływ na efektywność całego przedsiębiorstwa a także realizowaną w nim produkcję. Personel techniczny powinien skupiać się przede wszystkim na poprawnym realizowaniu czynności produkcyjnych a nie dokumentowaniu swoich działań. Należy też zauważyć, że ów tradycyjny model dokumentowania za pomocą papierowych raportów całkowicie wyklucza możliwość działań on-line. Jediną formą poprawnego rozwiązania tego problemu jest implementacja systemów informatycznych. Zaprezentowane w artykule propozycje mogą stanowić przykład/demonstrator koncepcji współczesnej integracji przepływu strumieni informacyjnych w środowisku wytwórczym o zróżnicowanej automatyzacji. Funkcjonalność tej propozycji jest skupiona przede wszystkim na sku-



tecznej wymianie danych pomiędzy operatorami maszyn i systemem informatycznym. Proponowane rozwiązanie pozwala na transfer informacji także z oprogramowaniem klasy ERP/MRP. Oferuje także rzeczywistą integrację informacji pomiędzy poziomami maszyn, operatorów, gniazd produkcyjnych oraz zarządzania. Planowana implementacja systemów rozpoznawania głosu otwiera nowe możliwości wspierania form komunikowania się operatorów z systemem informatycznym zakładu.

#### LITERATURA

- [1] OBORSKI P. *Developments in integration of advanced monitoring systems*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 75, Issue 9-12, (2014), pp 1613-1632.
- [2] SZULEWSKI P., *Metody komunikacji układów diagnostycznych ze sterownikami maszyn technologicznych*, IM Inżynieria Maszyn, Polski, 2013, ISSN 1426-708X, pp. 74-83
- [3] OBORSKI P., *Przemiany zachodzące w przedsiębiorstwach produkcyjnych*, Inżynieria Maszyn, R. 17, z. 1, 2012, Strona 7-16, ISSN 1426-708X.
- [4] MOURTZIS D., Internet based collaboration in the manufacturing supply chain, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 4 (2011), p.296-304.
- [5] KARNOUSKOS S., COLOMBO A.W., *Architecting the next generation of service-based SCADA/DCS system of systems*, Proc. of the 37th IEEE Annual Conf. on Industrial Electronics (IECON'11), Melbourne, Australia, 2011.
- [6] TETI R., JEMIELNIAK K., O'DONNELL G., DORNFELD D., *Advanced monitoring of machining operations*, CIRP Annals - Manufacturing Technology 59 (2010) 717-739.
- [7] VELLEKOOP J.M., JAKOBY B., CHABICOVSKY R., *Development trends in the field of sensors*, e&i Elektrotechnik und Informationstechnik Volume: 120, Issue: 11, November 2003, pp. 388 - 394.
- [8] JEMIELNIAK K., *Commercial Tool Condition Monitoring Systems*, Int J Adv Manuf Technol (1999) 15, p.711-721.
- [9] LAPLANTE P.A., *Real-Time Systems Design and Analysis*, John Wiley & Sons, 2004.
- [10] OBORSKI P., *Man-machine interactions in advanced manufacturing systems*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 23, 2004, p. 227-232.
- [11] OBORSKI P., *Social-technical aspects in modern manufacturing*, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 22, Nr 11&12, 2003, p. 848-854.
- [12] MORI M., FUJISHIMA M., *Remote monitoring and maintenance system for CNC machine tools*, 8th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering, Procedia CIRP 12, 2013, pp.7 - 12.
- [13] HONCZARENKO J., SZULEWSKI P., *EMO 2013 – innowacje programowo-techniczne w obrabiarkach*, Mechanik nr 1/2014, str. 14-20.
- [14] SZULEWSKI P. *Możliwości komunikacji układu diagnostycznego ze sterownikiem obrabiarki CNC*, Mechanik, Nr. 8-9/2013, s.427-438/714.

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz Narodowe Centrum Badań i Rozwoju – Nr umowy Innolot/I/10/NCBR/2014 - INNOGEAR