

Integration of modular production support units with the MES system

Integracja modułowych jednostek wsparcia produkcji z systemem MES

ANNA ZAWADA-TOMKIEWICZ
DARIUSZ TOMKIEWICZ
ŁUKASZ GAŚIEWICZ
JAROSŁAW STRELKE*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2025.02.1>

Automation is a key method for improving efficiency, reducing costs, and enhancing manufacturing quality. D&H Innovations Ltd. developed an innovative system of Production Support Units, enabling flexible configuration of production cells and expansion of their functionality through work cells also production lines standardized module management. The system's software coordinates and controls the modules' operation. By reducing operator tasks, the system significantly lowers the need for supervisory and operational staff. This solution results from analyzing the manufacturing process structure from a business perspective, ensuring full integration with the MES (Manufacturing Execution System) and continuity in production. **Keywords:** production efficiency and quality; modular production support units; integration with the MES system

Automatyzacja jest kluczową metodą poprawy efektywności, redukcji kosztów i jakości procesów wytwórczych. Firma D&H Innovations opracowała innowacyjny system Jednostek Wsparcia Produkcji, który umożliwia elastyczną konfigurację gniazd produkcyjnych i rozszerzenie ich funkcjonalności poprzez standaryzowane zarządzanie modułami. Oprogramowanie systemu koordynuje i steruje pracą modułów. Dzięki redukcji czynności operatorów system znacząco zmniejsza zapotrzebowanie na personel nadzorujący i obsługujący proces. Rozwiązanie to jest efektem analizy struktury procesu wytwórczego z perspektywy procesów biznesowych, zapewniając pełną integrację z systemem MES (Manufacturing Execution System) i ciągłość produkcji.

Słowa kluczowe: wydajność i jakość produkcji; modułowe jednostki wsparcia produkcji; integracja z systemem MES

Postęp w obszarze technologii informacyjnych i komunikacyjnych odgrywa kluczową rolę w rozwoju procesów produkcyjnych. Zmiany te noszą nazwę Przemysł 4.0 [1]. Nowoczesne systemy produkcyjne są wyposażone w komputerowe systemy sterowania numerycznego. Systemy te charakteryzują się wbudowaną architekturą informatyczną i zamkniętym wzorcem funkcjonowania, co zapewnia bezpieczeństwo operacyjne i kontrolę nad pojedynczymi maszynami w ramach jednego systemu zarządzania [2].

Jednakże zamknięta architektura prowadzi do ścisłej zależności użytkowników od dostawców systemów obróbkowych CNC. W praktyce użytkownicy są w znacznym stopniu uzależnieni od producentów w kwestiach instalacji, uruchamiania, konserwacji oraz szkoleń, co dodatkowo utrudnia elastyczność i adaptację systemów do zmieniających się potrzeb produkcyjnych [3]. W rezultacie użytkownicy często wybierają systemy CNC o podobnych lub identycznych funkcjach, co ogranicza ich zdolność do integracji maszyn różnych producentów, usuwania zbędnych funkcji czy optymalizacji zasobów infrastrukturalnych [4].

Integracja gniazd obróbkowych wraz z ich wyposażeniem, w tym z obrabiarkami CNC, jest możliwa dzięki zastosowaniu systemów MES, które obsługują warstwy planowania i sterowania wykonawczego procesu produkcji [5]. Systemy MES odnoszą się do ludzi, sprzętu i procedur produkcyjnych. Dla upoważnionych pracowników systemy MES umożliwiają nadzorowanie planu produkcji z poziomu systemu informatycznego typu ERP [6]. W zakresie wyposażenia produkcji w warstwie sprzętowej aparatura, maszyny, stanowiska robocze, linie produkcyjne wyposażone w programowalne sterowniki PLC zintegrowane są z systemem MES. Umożliwia to realizację i kontrolowanie operacji oraz pomiar i dokumentowanie dowolnych stanów procesu. Dotyczy to stanowisk manualnych i zautomatyzowanych. W zakresie procedur produkcyjnych systemy MES stają się integratorem różnych systemów informatycznych i aplikacji, umożliwiając realizację planów produkcyjnych poprzez szeregowanie i harmonogramowanie procesów produkcji zoptymalizowanych dzięki symulacjom i testowaniu wariantów [7].

Przedstawiony w artykule system umożliwia integrację urządzeń pracujących w gnieździe produkcyjnym i zarządzania nimi z poziomu systemu MES. Podczas projektowania systemu przeanalizowano strukturę procesu wytwarzania z punktu widzenia procesów biznesowych, których celem jest zachowanie ciągłości procesu produkcyjnego.

* Dr hab. inż. Anna Zawada-Tomkiewicz – anna.zawada-tomkiewicz@tu.koszalin.pl, <https://orcid.org/0000-0001-6171-8209> – Politechnika Koszalińska, Polska
Dr hab. inż. Dariusz Tomkiewicz – dariusz.tomkiewicz@tu.koszalin.pl, <https://orcid.org/0000-0002-1536-251X> – Politechnika Koszalińska, Polska
Łukasz Gąsiewicz – D&H Innovations Poland Sp. z o.o., Polska
Jarosław Strelke – D&H Innovations Poland Sp. z o.o., Polska

Model modułowych jednostek wsparcia produkcji

Jednostki wsparcia produkcji zostały opracowane w postaci modułów, co znacząco zmniejsza złożoność ograniczeń proceduralnych. Rozwiązanie w postaci modułów umożliwia skalowalność, uniwersalność i możliwość dostosowania do zmieniających się potrzeb biznesowych [8]. Integratorem modułów zarówno w gnieździe produkcyjnym, jak i dla całego systemu wytwarzania jest urządzenie komunikacyjne rozwiązujące konflikty w ramach sprzętu i oprogramowania. Dla lokalnego systemu informatycznego zarządzania HarrySoftware istniała potrzeba komunikacji z różnego typu urządzeniami (obrabiarki CNC, systemy wizyjne, roboty przemysłowe).

Sieć składa się z jednego urządzenia głównego – urządzenie komunikacyjne rozwiązujące konflikty w ramach sprzętu i oprogramowania – i wielu węzłów. Urządzenie ułatwia komunikację w sieci, śledząc wszystkie aktywne elementy systemu wytwarzania. Każdy węzeł musi zarejestrować się w urządzeniu głównym, aby móc komunikować się z resztą sieci.

Jednostka podstawowa modułu uwzględnia tylko te protokoły przemysłowe, które pracują w sieci Ethernet (m.in. Modbus TCP, Ethernet/IP, Profinet). Sieć jest siecią lokalną, co zapewnia jej bezpieczeństwo. Wszystkie urządzenia posiadają statyczny adres IP. W przypadku działającego systemu MES oprogramowanie rejestruje urządzenie także w systemie istniejącego aktywnie MES.

Wytworzenie oprogramowania ujawniło potrzebę dostosowania modułu do starszych wersji sprzętowo-programowych systemów wytwarzania CNC i uzupełnienia oprogramowania o możliwości włączenia takiego sprzętu do całego systemu.

Do systemu wytwarzania gniazda produkcyjnego możliwe jest zainstalowanie obsługi modułu inteligentnej jednostki dostarczania detali do produkcji, które stanowi opracowanie sprzętowo-programowe autonomicznego obiektu jezdny, systemu wizyjnego oraz systemu pakowania i kontroli. Autonomiczny obiekt jezdny włączany jest programowo poprzez SimplyFleetManager. Jest to oprogramowanie zapewniające zarządzanie flotą pojazdów autonomicznych dla całej hali produkcyjnej. Pojazd pobiera materiał i dostarcza go do gniazda produkcyjnego, będąc nadzorowanym przez SimplyFleetManager. Oprogramowanie SimplyHub zapewnia sprawną komunikację z oprogramowaniem gniazda produkcyjnego, z kolei oprogramowanie SimplyFleetManager zapewnia optymalne wykorzystanie czasu pracy poszczególnych autonomicznych obiektów jezdnych.

Zapewnienie ciągłości dostaw materiału przez system AMR uzupełniane jest przez automatyczny system rozpoznawania dostarczonego surowca dla systemu manipulacji i ładowania do maszyny CNC oraz system kontroli końcowej i pakowania wyrobów gotowych. W poszczególnych gniazdach dla zapewnienia jakości wyrobów gotowych opracowano inteligentnej, zintegrowanej jednostki zapewniającej automatyczną korektę procesu. Bazuje ona na syste-

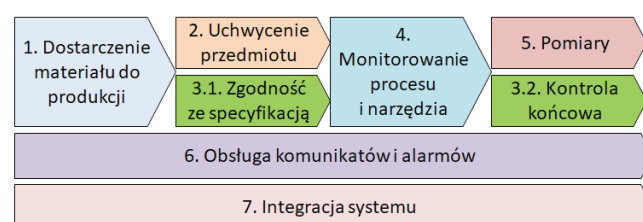
mie pomiarowym oraz posiłkuje się zespołem automatycznego pomiaru i zespołem inteligentnej wymiany narzędzia. Przyjazna pracownikowi jednostka wsparcia metodycznego stanowi informatyczny system zarządzania informacją. Stanowi on zestaw interfejsów i narzędzi programistycznych HMI do zarządzania produkcją i poszczególnymi elementami systemu wytwarzania. Wsparcie metodyczne odnosi się zarówno do mobilnych urządzeń komunikacji systemu wsparcia z pracownikiem, jak i do metodycznego wsparcia pracownika w problemach występujących w obsługiwanym obszarze. Wszystkie wymienione systemy – system wizyjny oraz kontroli końcowej i pakowania, system pomiarowy i wsparcia metodycznego – wpinane są w strukturę aktywnych systemów modułu komunikacyjnego.

Perspektywa procesów biznesowych – zachowanie ciągłości i jakości produkcji

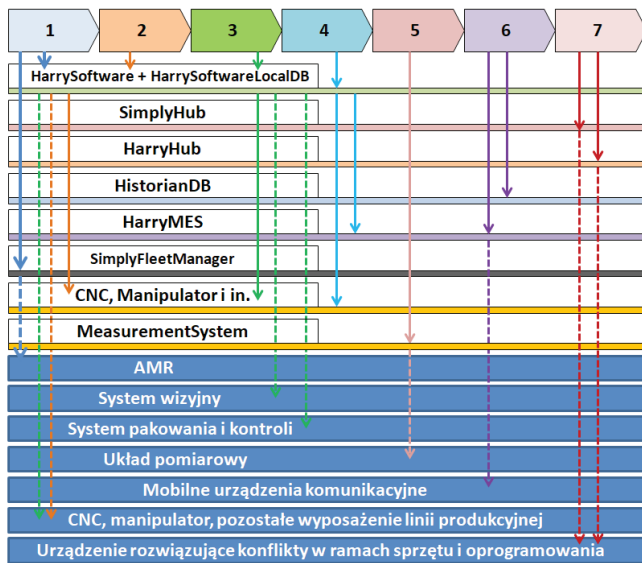
Dla pracujących linii produkcyjnych przeprowadzono badania skutków i przyczyn braku ciągłości w produkcji oraz niezadowolającej jakości wyrobów, które zidentyfikowały zależne procesy biznesowe, stojące u podstaw opracowania zbioru modułów funkcjonalnych. Poszczególne moduły opracowane zostały w formie systemów informatycznych opartych na skalibrowanym sprzęcie.

Cele biznesowe zestawione na rys. 1 umożliwiają zachowanie ciągłości procesu oraz zapewnienie jakości wytwarzanych wyrobów. Przekładają się one na poszczególne modułowe jednostki wsparcia produkcji przedstawione na rys. 2.

Proces produkcji został podzielony na podprocesy opisane na rys. 1. Część z procesów przebiega szeregowo, a część jest realizowanych równolegle w czasie. Poszczególne elementy podprocesu są realizowane poprzez urządzenia będące wyposażeniem gniazda lub linii produkcyjnej, takie jak obrabiarka CNC lub robot, oraz opracowane jednostki wsparcia produkcji ograniczające potrzebę zaangażowania operatora w proces produkcji. Jednostkami tymi są: autonomiczny wózek widłowy (AMR), system wizyjny, układ pakowania i kontroli, układ pomiarowy, mobilne urządzenie komunikacyjne, urządzenie rozwiązujące konflikty w ramach sprzętu i oprogramowania. Za koordynację pracy i sterowanie linią produkcyjną odpowiada podzielone na moduły oprogramowanie, którego zadaniem jest przetwarzanie danych w poszczególnych etapach procesu. Rys. 2 opisuje mapowanie procesów biznesowych na moduły i urządzenia wykonawcze ze wskazaniem na moduły



Rys. 1. Zachowanie jakości i ciągłości produkcji
Fig. 1. Maintaining quality and continuity of production



Rys. 2. Mapowanie procesów biznesowych poprzez moduły oprogramowania na moduły jednostki wsparcia produkcji
Fig. 2. Mapping business processes through software modules to modular production support units

oprogramowania sterujące, przetwarzające i składujące dane zaangażowane w poszczególnych etapach procesu.

Dostarczenie przedmiotów do produkcji

Zastosowanie autonomicznego układu jezdny AMR w postaci autonomicznego wózka widłowego o nośności do 400 kg umożliwiło poprawę niezawodności dostaw oraz ograniczenie liczby operatorów koniecznych do realizacji procesu produkcyjnego. Dostarczenie detali do produkcji za pomocą autonomicznego układu jezdny AMR obejmuje zadania: przejazd pomiędzy zadanymi punktami w przestrzeni produkcyjnej, zapewnienie bezpieczeństwa, załadunek i wyładunek, ładowanie baterii. Aby możliwe było realizowanie tych zadań, autonomiczny układ jezdny AMR komunikuje się z modułem programistycznym SimplyFleetManager i na bieżąco dostosowuje realizowane zadania do aktualnych potrzeb produkcyjnych.

Poprawne uchwycenie manipulatorem przedmiotu typu wałek i typu odlew

Moduł system wizyjny we współpracy z robotem umożliwia pobieranie surowca bezpośrednio ze skrzyni stosowanej do transportu bez potrzeby układania elementów w podajniku. W zależności od typu przedmiotu system wizyjny jest w stanie zidentyfikować przedmiot w układzie 2D (prostszy system dla przedmiotów typu cięty na długości pręt) lub w układzie 3D (bardziej zaawansowana kamera i oprogramowanie dla przedmiotów niesymetrycznych, luźno ułożonych na palecie). Zastosowanie systemu wizyjnego umożliwia identyfikację przedmiotu oraz jego położenie i orientację, co z kolei umożliwia poprawny uchwyt przez manipulator. Zadania realizowane przez moduł obejmują identyfikację obiektu, wskazanie przedmiotu do uchwycenia, określenie położenia i orientacji

przedmiotu, zliczanie obiektów przedmiotów pozostających o obszarze roboczym. Zastosowanie systemów wizyjnych na wejściu procesu umożliwia potwierdzenie wymiaru i kształtu przedmiotu.

System pakowania i kontroli

Zadania na wyjściu procesu odnoszą się do kontroli końcowej potwierdzonej pomiarem, zautomatyzowanym układem konserwacji wyrobu zabezpieczającej przed pakowaniem, pakowania oraz odłożenia na paletę wyrobów gotowych.

Układ pomiarowy

Umożliwia zautomatyzowaną realizację pomiarów dla przedmiotów typu wałek i typu odlew. Układy pomiarowe w procesie produkcji umożliwiają monitorowanie obróbki i bieżącą korektę parametrów z zastosowaniem statystycznego sterowania jakością. Redukują liczbę wyrobów niezgodnych i potwierdzają zgodność produktów z wymaganiami. Pomiary obejmują długość, kąty, średnice, kontury oraz strukturę powierzchni. System można rozbudować o dodatkowe czujniki, uzyskując więcej danych o stanie procesu i redukcję stanu zakłóceń [9].

Mobilne urządzenie komunikacyjne

Zadaniem tego urządzenia jest informowanie operatora o sytuacjach wymagających jego interwencji w określonym miejscu procesu produkcyjnego. Ze względu na rozbudowany stopień autonomii pracy poszczególnych gniazd produkcyjnych interwencja personelu jest minimalna. W związku z tym konieczne jest posiadanie urządzenia mobilnego, aby umożliwić operatorowi poruszanie się pomiędzy kilkoma gniazdami produkcyjnymi.

Urządzenie rozwiązujące konflikty w ramach sprzętu i oprogramowania

Zadaniem tego układu jest zapewnienie połączenia pomiędzy poszczególnymi modułami i urządzeniami wchodzącymi w skład linii produkcyjnej oraz integracja tych urządzeń z systemem informatycznym zbudowanym z modułów realizujących zadania związane ze sterowaniem, przetwarzaniem i archiwizacją danych. Urządzenia w gnieździe produkcyjnym różnych producentów wyposażone są w różne interfejsy i oprogramowanie. Stwarzało to konieczność użycia i konfigurowania wielu typów sieci i protokołów, w każdym kolejnym przypadku użycia. Moduł rozwiązywania konfliktów opracowano przy założeniu, że przejmuje on odpowiedzialność za konwersję protokołów. Moduł działa jako jedno urządzenie sprzętowo-programowe odpowiedzialne za połączenia w systemie wytwarzania, gdzie zmiana typu urządzenia lub połączenia wprowadza zmiany tylko w tym jednym urządzeniu/module. Urządzenie cechuje się dużą uniwersalnością o rozbudowanej bazie bibliotek i obsługiwanych protokołów. Sprzętowo-pro-

gramowy moduł jest takim rodzajem urządzenia, które wdrażane jest dla wielu gniazd produkcyjnych na hali produkcyjnej, w skład których wchodzi maszyny różnych producentów. Cechuje go możliwość rozdzielania informacji. Moduł komunikacyjny zapobiega konfliktom sprzętowym i programowym, stwarzając przyjazne środowisko dla współistnienia i działania informatycznych systemów zarządzania produkcją.

Modułowy system informatyczny zarządzania procesem produkcyjnym

W celu realizacji zadań sterowania, przetwarzania i archiwizacji danych opracowano system informatycznego zarządzania produkcją MES HarrySoftware + HarrySoftwareLocalDB. System ten umożliwia komunikację i zarządzanie aktywnymi elementami systemu wytwarzania oraz bieżące śledzenie parametrów procesu, wprowadzenie korekt położenia narzędzia i parametrów skrawania. Funkcje realizowane są w ramach zespołu automatycznej korekty procesu i zespołu inteligentnej wymiany narzędzia.

Obsługa komunikatów i alarmów

Systemy informatyczne zarządzania MES HarrySoftware + HarrySoftwareLocalDB poszczególnych gniazd produkcyjnych integrowane są ze sobą i z systemem zarządzania dostawami surowca SimplyFleet-Manager oraz innymi systemami poprzez oprogramowanie HarryMES wraz z bazą danych HistorianDB. Na poziomie lokalnym HarrySoftware zbierane są komunikaty i alarmy, które następnie są zapisywane w HarrySoftwareLocalDB oraz rozsyłane na dedykowane urządzenia końcowe. Dane z lokalnych systemów wytwarzania są następnie przesyłane do HarryMES i rejestrowane w HistorianDB. Na tym poziomie następuje rozsyłanie różnego typu wiadomości na urządzenia mobilne w zależności od przyznanych priorytetów i uprawnień.

Integracja systemu

System informatyczno-sprzętowy HarryHub umożliwia sprawne i bezkonfliktowe przesyłanie danych między aktywnymi elementami lokalnego systemu gniazda lub linii wytwarzania. Komunikację i przesyłanie danych na wyższym poziomie zarządzania zapewnia SimplyHub. SimplyHub umożliwia także komunikację i przesyłanie danych w ramach systemu zarządzania dostawami oraz systemu MES.

Podsumowanie

Modułowe jednostki wsparcia produkcji wpływają bezpośrednio na usprawnienie procesu produkcji i przyczyniają się do wzrostu wydajności. Możliwe jest to ze względu na unikalne cechy poszczególnych modułów. Na poziomie zarządzania zasobami przedsiębiorstwa urządzenie rozwiązujące konflikty w ramach sprzętu i oprogramowania SimplyHub

realizuje funkcjonalności związane z rozdzielaniem informacji, zapewniając m.in. zasilanie dla systemów SCADA, MES czy ERP na różnych poziomach zarządzania zasobami. Moduł wspomaga też komunikację w ramach zarządzania flotą pojazdów AMR.

Na poziomie zarządzania komunikacją i zasobami gniazda produkcyjnego realizowane są te funkcje przez HarryHub. Moduł zapobiega konfliktom lokalnym, wspomagając HarrySoftware + HarrySoftware-LocalDB w zarządzaniu gniazdem produkcyjnym oraz zapewniając łączność z wyższymi poziomami zarządzania poprzez SimplyHub.

Autorzy pragną podziękować pracownikom firmy D&H Innovations Sp. z o.o. za pomoc w realizacji badań oraz Narodowemu Centrum Badań i Rozwoju za wsparcie w ramach projektu POIR.01.01.01-00-1409/20 pt. „Realizacja prac B+R celem opracowania rozwiązań przyczyniających się do automatyzacji procesów przemysłowych z wykorzystaniem maszyn CNC”.

LITERATURA

- [1] Jaskó S., Skrop A., Holczinger T., Chován T., Abonyi J. (2020). Development of manufacturing execution systems in accordance with Industry 4.0 requirements: A review of standard – and ontology-based methodologies and tools. *Computers in Industry*, 103300.
- [2] Abdel-Aty, T.A., Negri, E. (2024). Conceptualizing the digital thread for smart manufacturing: A systematic literature review. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 35, 3629–3653.
- [3] Zwolińska, B., Tubis, A.A., Chamier-Gliszczyński, N., Kostrzewski, M. (2020). Personalization of the MES System to the Needs of Highly Variable Production. *Sensors*, 20, 6484.
- [4] Paul, M., Kerkhoff, F., Ballenberger, T., Reinbold, N., Reinhart, G. (2025). Remanufacturing implementation on the shop floor – Insights from an industrial perspective. *Sustainable Production and Consumption*, 54, 215–226.
- [5] Mantravadi, S., Møller, C. (2019). An Overview of Next-generation Manufacturing Execution Systems: How important is MES for Industry 4.0? *Procedia Manufacturing*, 30, 588–595.
- [6] Rame, R., Purwanto, P., Sudarno, S. (2024). Industry 5.0 and sustainability: An overview of emerging trends and challenges for a green future. *Innovation and Green Development*, 3(4), 100173.
- [7] Mohamed, M.M., Alraddadi, A.S. (2024). Agile Factor Flexible Industry 4.0 with MES Manufacturing Execution System Along with ERP Back-End Integration: Ready-Made Garments as a Case Study. *American Journal of Operations Research*, 14, 137–150.
- [8] Peng, Q., Shi, H., Cong, W. (2024). Artificial Intelligence Manufacturing Execution System (MES) Unit Control in Automation Application Fusion Industry and Education Platform Design Innovation Exploration. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 9(1), 1–14.
- [9] Zawada-Tomkiewicz, A., Tomkiewicz, D., Pela, M. (2022). Identification of a Workpiece Temperature Compensation Model for Automatic Correction of the Cutting Process. *Materials*, 15, 8372. ■