

# Oprogramowanie i systemy czujników fundamentem koncepcji przemysłu 4.0

## Software and sensor system as a foundation of the Industry 4.0 concept

PIOTR SZULEWSKI\*

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.5-6.40>

Omówiono kierunki działań podejmowanych przez producentów systemów automatyki przemysłowej z myślą o osiągnięciu stanu zgodnego z ideą przemysłu 4.0 – cyfrowej, inteligentnej fabryki. Skupiono się na zagadnieniach związanych ze sterownikami CNC, z czujnikami i możliwościami komunikacyjnymi. Przedstawiono zaawansowane rozwiązania techniczne i programowe, służące do monitorowania stanu obrabiarek oraz zarządzania maszynami i liniami produkcyjnymi. Wskazano trendy w rozwoju tych technik wyznaczane przez azjatyckich wytwórców, prezentowane na targach TIMTOS 2019 na Tajwanie.

**SŁOWA KLUCZOWE:** przemysł 4.0, sterowanie CNC, czujniki, komunikacja przemysłowa, monitorowanie i nadzór

*The paper illuminates the directions of activities currently undertaken by manufacturers of industrial automation systems to achieve a state consistent with the idea of Industry 4.0 – a digital, intelligent factory. The focus was on issues related to CNC controllers, sensors and communication capabilities. Advanced technical and software solutions for monitoring the state of machine tools as well as management of machines and production lines are presented. The directions of development of these techniques developed by Far East manufacturers presented at TIMTOS 2019 in Taiwan were indicated.*

**KEYWORDS:** Industry 4.0, CNC, sensors, industrial communication, monitoring and supervision

### Wprowadzenie

Na początku marca w Tajpej (na Tajwanie) odbyły się już 27. targi TIMTOS. Była to trzecia co do wielkości międzynarodowa wystawa obrabiarek w tym roku.

Targi TIMTOS są organizowane przez TAITRA (Taiwan External Trade Development Council – Tajwańską Radę Rozwoju Handlu Zagranicznego) i TAMI (Taiwan Association of Machinery Industry – Tajwańskie Stowarzyszenie Przemysłu Maszynowego). Republika Chińska (Tajwan), której gospodarka jest oparta głównie na eksporcie, zalicza się do nowo uprzemysłowionych gospodarek o wysokiej dynamice wzrostu (w 2018 r. produkcja przemysłowa wzrosła w porównaniu z rokiem 2016 o 8,53%, a PKB – o 2,6%). Tajwan to piąty co do wielkości eksporter obrabiarek oraz ich siódmy producent na świecie. W zeszłym roku wartość eksportu obrabiarek i maszyn technologicznych przekroczyła 3,66 mld USD, co stanowi wzrost o 9,5% wobec roku poprzedniego. O wadze, jaką przywiązują władze kraju do promocji rodzimego przemysłu maszynowego, świadczy udział prezydent Tajwanu pani dr Tsai Ing-wen w ceremonii uroczystego otwarcia targów TIMTOS.

Tajwański rząd przeznacza znaczne fundusze na sektor badań i rozwoju, a przy tym kładzie nacisk na to, by nowe technologie były jak najbardziej przyjazne dla środowiska naturalnego i zgodne ze współczesnym pojmowaniem ekologii. Tegoroczna edycja targów TIMTOS była skoncentrowana wokół dwóch głównych zagadnień: „Przemysłu 4.0” oraz „Inteligentnej Produkcji”. Prezentowano ofertę maszyn, obrabiarek, centrów obróbkowych, komponentów automatyki, sterowników, robotów, systemów pomiarowych i innych związanych z przemysłem maszynowym.

Podczas targów przyznano doroczne nagrody Taiwan Machine Tool Industry Awards za osiągnięcia w zakresie badań i rozwoju w dziedzinie obrabiarek. W kategorii Grand Prix doceniono firmę CHMER (Ching Hung Machinery & Electric Industrial Co.) za hybrydowe centrum frezarskie HD886L z modułem do obróbki elektroerozyjnej. Firma zdobyła też pierwsze miejsce w kategorii „Inna maszyna CNC” za uniwersalną obrabiarkę elektroerozyjną z napędami liniowymi. Najlepszym centrum obróbkowym został wielowrzecionowy, inteligentny system NFX800B firmy YCM (Yeong Chin Machinery Industries Co. Ltd.). Jako doskonałą tokarkę ze sterowaniem CNC wybrano produkt firmy GOODWAY Machine Corp. – wielowrzecionowe centrum tokarskie GTW-1500 z głowicą narzędziową i suportem narzędziowym typu Gang. Zwycięskim komponentem został moduł śruby tocznej – Colling Type III firmy HIWIN Technologies Corp. – z zabudowanym systemem chłodzenia śruby i łożyska, przeznaczony do szybkiego ruchu z dużym obciążeniem dynamicznym, oraz precyzyjnym systemem pozycjonowania.

Autor mógł uczestniczyć w targach dzięki zaproszeniu TAITRA.

### Trendy światowego przemysłu

Przemysł 4.0 staje się swego rodzaju nową filozofią kulturową, dotyczącą stosowania zaawansowanych praktyk technicznych w taki sposób, aby:

- rozszerzać asortyment produkcji,
- personalizować ją,
- zwiększać elastyczność wytwarzania,
- podnosić wydajność,
- redukować koszty.

Te działania mają na celu zdobycie przewagi przez firmę na konkurencyjnym, globalnym rynku [1]. Idea przemysłu 4.0 jest tak innowacyjna i atrakcyjna, że w sposób całkowicie naturalny rozprzestrzenia się praktycznie na cały świat. Nic więc dziwnego, że trend ten jest widoczny u tajwańskich producentów, którzy do precyzji, jakości i solidności wykonania produktu przywiązują szczególną

\* Dr inż. Piotr Szulewski (piotr.szulewski@pw.edu.pl), <https://orcid.org/0000-0002-0821-3946> – Instytut Techniki Wytwarzania Politechniki Warszawskiej, Warszawa, Polska

wagę. Aby osiągnąć taki rezultat, jako warunek *sine qua non* należy uznać przede wszystkim posiadanie szczegółowych i aktualnych danych o realizowanej produkcji [2]. Tylko w takim przypadku można podejmować trafne i wyważone decyzje dotyczące zarządzania produkcją i doprowadzić cały proces do pożądanej perfekcji. Skuteczne i efektywne komunikowanie się urządzeń wytwórczych, baz danych, pracowników, systemów transportu itp. przynosi znaczne korzyści zarówno firmie, jak i jej klientom [3].

Aplikacje sterowania procesami w przemyśle wymagają ścisłego monitorowania wielu zmiennych (napięcia, ciśnienia, temperatury, przepływu, wibracji itp.) [4]. Przyjmuje się, że w warunkach przemysłowych do monitorowania wykorzystuje się ponad 20 czujników wielkości fizycznych. Oczywista jest konieczność udostępniania/przesyłania zmierzonych wartości do systemów monitorowania/nadzoru, gdzie są one przetwarzane w celu wyciągania wniosków i planowania reakcji.

Dobrym pomysłem wydaje się zastosowanie do tych zadań modułów internetu rzeczy lub przemysłowego internetu rzeczy (IoT lub IIoT) [5]. Obserwuje się gwałtowny wzrost zapotrzebowania na czujniki IoT/IIoT. Oczekuje się, że w 2021 r. samo wykorzystanie tych czujników w kontroli przemysłowej wygeneruje przychody na poziomie 4,1 mld USD [6].

Spośród wielu możliwości monitorowania rozmaitych wielkości należy jednak wybrać tylko te istotne, aby nie przetwarzać danych, które nie mają praktycznego znaczenia [7]. Warto podejrzeć rozwiązania stosowane przez innych, by móc je wdrożyć lub zmodyfikować pod kątem własnych potrzeb.

## Diagnostyka

Firma POSA Machinery Co. z Tajwanu jest znaczącym producentem wrzecion. Roczna produkcja dochodzi do 30 tys. sztuk. Ponieważ bardzo istotnym problemem w obróbce jest utrzymanie wysokiej jakości pracy wrzeciona, POSA oferuje nowy, inteligentny system diagnostyczny. Pozwala on na uzyskiwanie szczegółowego obrazu stanu wrzeciona w czasie rzeczywistym. Informacje są przesyłane do serwera w chmurze i po analizie przekazywane producentowi, aby mógł podjąć decyzje dotyczące serwisu. Monitoruje się amplitudę i częstotliwość drgań, a także temperaturę łożyskowania wrzeciona. Zapewnia to uzyskanie bardzo małego bicia promieniowego i wzdłużnego, o wartości mniejszej niż mikrometr.

Instytut badawczy PMC (Precision Machinery Research) z Taichung na Tajwanie jest twórcą innego zaawansowanego systemu monitorowania wrzeciona – Intelligent spindle. Stan wrzeciona określa się na podstawie analizy



Rys. 1. Kontrola czujników wbudowanych we wrzeciono [8]

wybranych miar (parametrów) trzech sygnałów: temperatury, przemieszczenia i wibracji (przyspieszenia). Wszystkie dane mogą być w czasie rzeczywistym przekazywane do chmury obliczeniowej lub podawane operatorowi – jako komunikaty definiujące status (dobry, nieprawidłowy, poważne zużycie itp.) oraz ostrzeżenia. Na podstawie analizy tych samych sygnałów (innych miar) monitorowany jest także stan użytkowanego narzędzia. Wykrywane są uszkodzenia (np. katastroficzne zużycie lub stępienie ostrza), co pozwala unikać obróbki niesprawnym narzędziem i zmniejsza liczbę niepotrzebnych wymian narzędzi. Złożenie różnych analiz, także z wykorzystaniem sztucznej inteligencji, służy do określenia współczynnika stabilności procesu. Wizualizacje ułatwiają operatorowi śledzenie jakości obróbki i wspierają podejmowanie decyzji o wprowadzeniu zmian w parametrach procesu, co skutkuje utrzymaniem wysokiej jakości produktów.

Inteligentny czujnik drgań SVI-1000, produkowany przez tajwańską firmę LNC Technology Co., Ltd., jest przeznaczony do zastosowań maszynowych. Pomiar odbywa się równocześnie w trzech prostopadłych osiach. Dzięki zapewnieniu stopnia ochrony IP67 oraz dopuszczalnej temperaturze pracy (od  $-10$  do  $+75^{\circ}\text{C}$ ) można go instalować również w przestrzeni roboczej obrabiarki (rys. 2).



Rys. 2. Trójosiowy czujnik drgań SVI-1000 firmy LNC [9]

Przyspieszenia są mierzone w zakresie  $\pm 16g$ , przy częstotliwości próbkowania 1660 Hz, w paśmie 830÷3300 Hz (stały, niski SNR). Rozdzielczość pomiaru wynosi 16 bitów, co rozszerza zakres aplikacji maszynowych [10]. Kompaktowe wymiary ułatwiają instalację także w miejscach trudno dostępnych. Za pośrednictwem interfejsu ETS czujnik może być dołączony bezpośrednio do magistrali EtherCAT. Oferowane jest kompletne środowisko programistyczne (dla języków C++/C#) wraz z przykładami FFT, filtrów cyfrowych, co ułatwia szybkie przygotowanie modułu pomiarowego, np. monitorowanie stanu wrzeciona.

## Sterowanie CNC

Interesującym pomysłem jest sprzętowa rozbudowa możliwości zamontowanego w obrabiarkę sterownika CNC. Zazwyczaj takie działania, prowadzone według firmowych procedur producenta sterownika NC, są bardzo kłopotliwe, kosztowne i nie zawsze możliwe. Tajwańska firma Advantech-LNC Technology Co., Ltd. proponuje unikalne rozwiązanie – sterownik wspomagający (*assisted controller*), określaną jako kontroler przemysłu 4.0. Inna nazwa handlowa to SMB (Smart Machine Box). Jest to urządzenie IFC6900, zaprojektowane do współpracy ze sterownikami firmy Fanuc. Kontroler IFC6900 pozwala na bezpośrednie podłączenie dodatkowych czujników, mierzonych takich wielkości fizycznych, jak: drgania, temperatura i napięcia (rys. 3).



Rys. 3. Sterownik wspomagający – kontroler przemysłu 4.0 firmy LNC [11]

Współpraca kontrolera z oryginalnym sterownikiem CNC jest realizowana za pomocą magistrali EtherCAT. Pozyskane dane są przetwarzane w czasie rzeczywistym, a wypracowane wnioski stanowią podstawę do wprowadzenia odpowiednich kompensacji przez sterownik CNC, by zachować wymaganą jakość obróbki. Możliwe jest też sterowanie dodatkowymi osiami (np. manipulator/robot lub podsystem transportowy) z wykorzystaniem złożonej interpolacji (kołowej/liniowej). Wraz z kontrolerem dostarczane są biblioteki i funkcje wspomagające, które pozwalają na samodzielne tworzenie strategii działania (np. monitorowania wrzeciona – analizy w funkcji czasu lub częstotliwości, zmiany obserwowanego parametru w czasie, aktywnego zarządzania energią). Zaawansowane API (*application programming interface*) wspiera samodzielne tworzenie graficznego interfejsu przez użytkownika. Odpowiednio skonfigurowany sterownik staje się źródłem informacji dla zakładowego systemu MES oraz ERP.

Można także zaobserwować działania związane z rozbudowywaniem tradycyjnej funkcjonalności sterowników NC. Poza podstawowymi zadaniami, obejmującymi generowanie toru ruchu narzędzia (interpolację) i obsługę podzespołów obrabiarki, pojawiają się dodatkowe funkcje: diagnostyczne, interaktywnego wspierania operatora w sytuacjach awaryjnych, inteligentnej optymalizacji obróbki, wymiarów danych z systemami ERP, kontroli wymiarowej obrabianych przedmiotów i narzędzi, aktywnego monitoringu procesu (drgań, odkształceń termicznych) itp.



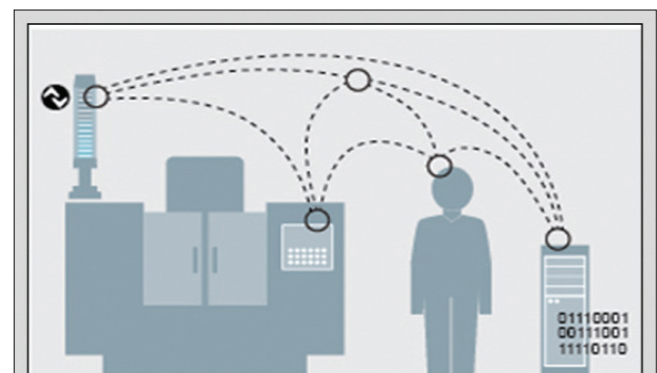
Rys. 4. Panel główny sterownika A/LINC [12]

Przykładem tego może być opracowany przez producenta centrów frezarskich – firmę AWEA Mechatronic Co. Ltd. z Tajwanu – system inteligentnego sterownika CNC o nazwie *i-Console* oraz jego wersja rozwojowa (będzie dostępna od 2020 r.) A/LINC – określana jako inteligentny system sterowania (*intelligent information control system*) – rys. 4. System ten ma umożliwiać analizę odkształceń termicznych struktury obrabiarki, wykorzystującą sztuczną inteligencję, oraz być wyposażony w funkcje adaptacyjne obróbki realizowane przez algorytmy sieci neuronowych. Przewidywane jest prowadzenie pełnej diagnostyki: wrzeciona (kompensacji termicznej), systemów serwonapędowych, magazynu narzędzi (obciążenia/zużycia narzędzia), zasilacza hydraulicznego i pneumatycznego, systemu chłodzenia i smarowania.

Prace nad rozwojem nowych sterowników NC prowadzi się także w instytucjach naukowo-badawczych. Przykładowo: w tajwańskim Instytucie Badawczym Technologii Przemysłowych – ITRI (Industrial Technology Research Institute) opracowano układ (M100), który ma łączyć przyjazną dla użytkownika strukturę (interfejs, intuicyjną obsługę), wysoką efektywność sterowania, otwartą architekturę gwarantującą dalszy rozwój, pełną cyfryzację wymiany danych i uniwersalność zastosowania w dowolnych maszynach technologicznych (frezarkach, tokarkach, robotach, szlifierkach, drukarkach 3D itp.). Do jego podstawowych funkcjonalności należą: konwersacyjne generowanie programu NC POT, parametryzowanie interpolatorów, bezpośrednie przekształcanie modeli 3D (STL) w program NC, zarządzanie zużyciem narzędzi, swobodna rekonfiguracja programowych paneli operatora, ustawianie parametrów pracy serwonapędów, kompensacja błędów geometrii maszyny, prezentacja obciążenia i czasów pracy maszyny, instalacja i uruchamianie zewnętrznych programów, wsparcie struktur równoległych, kompensacja ścieżki i powierzchni roboczej narzędzia, analiza błędów i wsparcie narzędzi pomiarowych. Symptomatyczne, że wyniki prac badawczych instytutu są od razu komercjalizowane w postaci gotowych do sprzedaży produktów.

## Systemy komunikacyjne

Należy zauważyć, że koncepcja przemysłowego internetu rzeczy jest coraz powszechniej wdrażana w konstrukcjach różnorodnych podzespołów lub urządzeń, które



### Przemysłowy internet rzeczy IIoT

Łączy urządzenia  
 Łączy obrabiarki  
 Łączy operatorów  
 Analityka i dane  
 Konserwacja predykcyjna

Rys. 5. Koncepcja zastosowania IIoT w wytwarzaniu

we współczesnych obrabiarkach stanowią samodzielne systemy (rys. 5). Polega ona wykorzystaniu zdolności komunikacyjnych układów IIoT do wymiany informacji pomiędzy urządzeniami, podzespołami, pracownikami a systemem informatycznym zakładu. W ten sposób powstaje synergia mocy, umiejętności i wiedzy.

o nazwie *i-Cube* (*smart sensor box*) wspierany przez tajwańskiego producenta obrabiarek firmę YCM. Jest to mikrokontrolerowa platforma, do której można dołączyć czujniki przeznaczone do zabudowy w korpusie lub istotnych podzespołach dowolnej obrabiarki ze sterowaniem ręcznym lub CNC (rys. 6). Mogą to być czujniki: przyspieszeń, temperatury, prądu zasilającego, kwasowości/zasadowości płynów (np. chłodziwa), wilgotności (przecieków), emisji akustycznej, wydajności chłodzenia (przepływomierz), ciśnienia atmosferycznego (barometr), ciśnienia płynu (oleju, chłodziwa). Pozyskiwane dane (magistrale cyfrowe lub analogowe) są udostępniane w trybie online do systemów nadzoru nad wytwarzaniem (np. MES) i dostarczają informacji o stanie poszczególnych części warsztatu. Wszystko w celu umożliwienia inteligentnego wytwarzania.

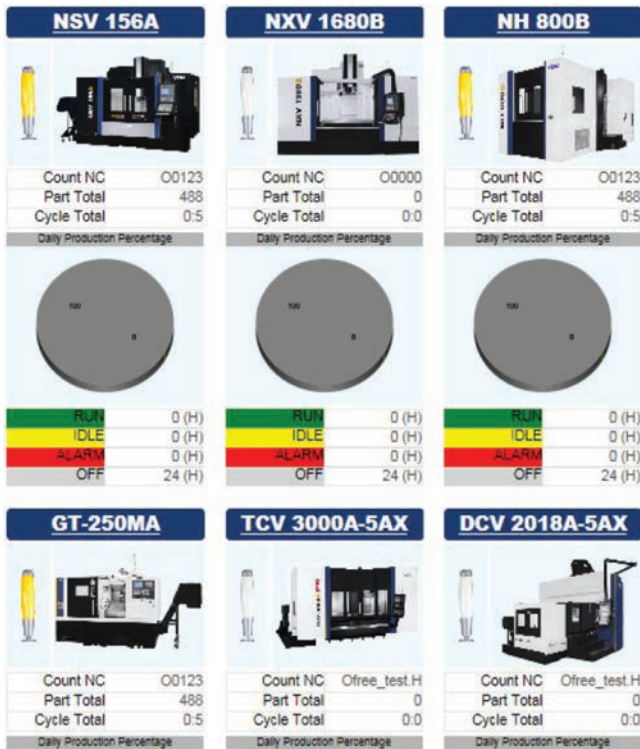


Rys. 6. System komunikacyjny *i-Cube* firmy YCM

Instytut PMC proponuje urządzenie o nazwie AI Prediction and Diagnosis Box, stanowiące zautomatyzowane centrum diagnostyki obrabiarki i procesu. Sygnały pomiarowe temperatury, prądu, wibracji i przemieszczenia trafiają do rozbudowanego mikrokontrolera, gdzie są przetwarzane na bazie sztucznej inteligencji. Jest to zaawansowana diagnostyka wrzeciona, napędów osi, narzędzia, łożysk i mechanizmów obrotowych (śrub tocznych, przekładni itp.).

Firma YCM oferuje także platformę *i-Direct* (*smart machine box*), stanowiącą uniwersalny interfejs zdolny do połączenia sterownika CNC obrabiarki, dodatkowych czujników i układów wykonawczych (także ręcznych), sterowników linii montażowych, maszyn pomiarowych, paneli operatora, systemów paletowych, czytników RFID itp. (rys. 7).

Środowisko *i-Direct* umożliwia analizę danych w czasie rzeczywistym, pozwalającą na: śledzenie postępów produkcji, obliczanie wskaźnika wykorzystania zasobów OEE (*overall equipment effectiveness*), raportowanie stanu maszyn i urządzeń technologicznych wykorzystywanych w warsztacie produkcyjnym, aktywne zarządzanie parkiem maszynowym, realizowanie statystycznej kontroli produkcji, nadzór nad procesami wsadowymi oraz prowadzenie analiz związanych z predykcyjnym i bieżącym serwisowaniem. Wspierane są także protokoły MQTT oraz AMQP. Dzięki wbudowanym algorytmom (współpraca z aplikacjami w chmurze) możliwe jest wykrywanie wąskich gardeł w produkcji, zwiększanie produktywności oraz szybkie reagowanie na problemy.



Rys. 7. Przykładowe informacje z platformy i-Direct [13]

Uczeni z National Formosa University opracowali wszechstronny program do cyfrowego zarządzania produkcją – Smart Machine Engine. Wykorzystuje on technologie transmisji i pozyskania danych przemysłowych oraz dodatkowe czujniki do stworzenia fabryki charakteryzującej się szybką integracją, wysoką inteligencją i wydajnością – także zasobów ludzkich. Bazę techniczną stanowią internet rzeczy i urządzeń mobilnych oraz powszechnie dostępny przemysłowy protokół komunikacyjny OPC UA do łączenia głównych elementów systemu. Opracowano interfejsy programowe pozwalające na współpracę ze sterownikami CNC (obrabiarek, robotów) większości wiodących producentów (takich jak: Fanuc, Heidenhain, Siemens, Mitsubishi, Syntec, Mazak, LNC, ITRI, Toshiba, Delta, Omron i Keyence), a także sterownikami PLC. Środowisko (rys. 8) umożliwia: prowadzenie online monitoringu maszyn, zdalne uruchamianie i zatrzymywanie na nich programów, integrację zewnętrznych czujników (np. temperatury, wibracji i wilgotności), wpływanie na parametry kompensacji ruchów napędów, nadzór nad narzędziami, ustawianie parametrów zmiennych, obliczanie współczynników wykorzystania maszyn oraz



Rys. 8. Ekran nadzoru nad narzędziami i zarządzania programami obróbki technologicznej [14]



Rys. 9. Smart Machine Box (Narodowy Uniwersytet Formosa) [14]

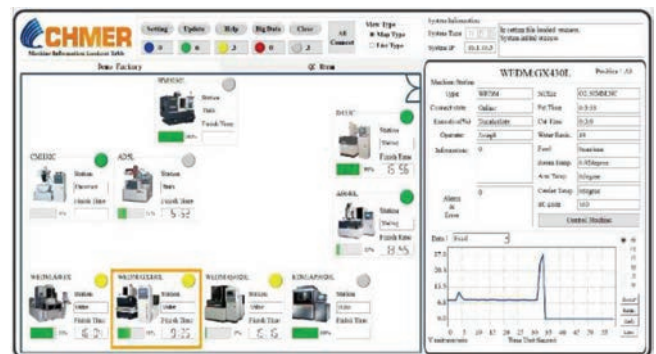
planowanie za pomocą genetycznych algorytmów. W pełni współpracuje ze środowiskami klasy SCADA, aplikacjami chmurowymi i ERP.

Z myślą o maszynach niewyposażonych w zintegrowane interfejsy sieciowe stworzono urządzenie Smart Machine Box (rys. 9). Stanowi ono inteligentny łącznik między układami IoT a systemem informatycznym zakładu.

Bardzo podobną koncepcję przedstawiła tajwańska firma CHMER – producent urządzeń do obróbki EDM (*electrical discharge machining*). System i-Connected składa się z trzech współpracujących ze sobą komponentów:

- oprogramowania uruchamianego w chmurze,
- oprogramowania i sprzętu instalowanych po stronie klienta (użytkownika/zakładu),
- oprogramowania i sprzętu instalowanych po stronie maszyny (obrabiarki).

W rezultacie możliwe są m.in.: monitorowanie obrabiarek online, przeglądanie danych archiwalnych, tworzenie pełnych statystyk, wymiana danych z zakładowymi systemami ERP, ustawianie parametrów maszynowych, obserwacja zużycia energii elektrycznej, aktualnej pozycji głowicy, prędkości napędów i zużycia narzędzia oraz zarządzanie pracami serwisowymi. Wszystkie dane mogą być przesyłane za pomocą tradycyjnych magistrali komunikacyjnych, a także udostępniane bezprzewodowo na urządzeniach przenośnych (rys. 10).



Rys. 10. Raportowanie stanu maszyn w systemie i-Connected firmy CHMER [15]

Podobne rozwiązanie proponuje firma Excetek Technologies Co. Ltd. z Tajwanu, także specjalizująca się w budowie maszyn do obróbki elektroerozyjnej (EDM). Na bazie standardu wymiany danych OPC UA przygotowano oprogramowanie e-Direct Server (rys. 11). Jest to dedykowane środowisko informatyczne uruchamiane na komputerze zewnętrznym, służące do zdalnego monitorowania i nadzorowania wielu obrabiarek. Pozwala na zdalne ustawianie parametrów pracy sterownika,



Rys. 11. Konceptcja działania systemu e-Direct Server firmy Excetek [16]

przesyłanie gotowych programów NC, graficzne prezentowanie stanu zaawansowania zadania obróbkowego, wyliczanie współczynników wykorzystania, kontrolowanie okresowych przeglądów serwisowych itp. Dane i wyniki analiz mogą być udostępniane także na urządzeniach mobilnych (tabletach, smartfonach itp.). Oryginalnym pomysłem jest wbudowanie aktywnych interfejsów do programów wspomagających prace inżynierskie typu CAD/CAM. Pozwala to na znaczne skrócenie czynności przygotowawczych. Czas rozpoczęcia obróbki od zakończenia fazy projektowania (rysowania) został zredukowany aż o 50%, co przyczynia się do znacznego zwiększenia produktywności środowiska wytwórczego.

Również firma Victor Taichung Machinery Works Co. Ltd. – producent obrabiarek skrawających CNC z Tajwanu – proponuje własne rozwiązanie modułu pomiarowo-komunikacyjnego pod nazwą SmartBOX (rys. 12).

Rys. 12. Samodzielny moduł komunikacyjny SmartBOX firmy Victor



Innym przykładem efektywnego wdrażania koncepcji przemysłowego internetu rzeczy w obrabiarkach jest podzespół odbioru i transportu wiórów powstających podczas obróbki skrawaniem, oferowany przez firmę Keyarrow Taiwan Co. (rys. 13). Stosunkowo nieskomplikowane urządzenie mechaniczne wyposażono w czujniki monitorujące wibracje elementów napędowych (silnika, przekładni),



Rys. 13. Inteligentny system transportu wiórów firmy Keyarrow

temperaturę (silnika, chłodziwa), energię (prąd silnika). Wszystkie te parametry są na bieżąco analizowane na miejscu przez moduł zarządzający, określający aktualny stan pracy podzespołu. Prezentacja wyników może być przekazywana operatorowi przez specjalny panel albo za pośrednictwem sieci przesyłana bezpośrednio do sterownika CNC lub dowolnego innego systemu nadzoru.

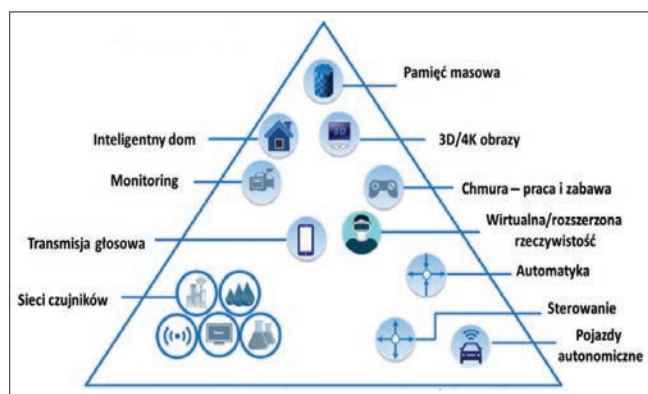
### Technologie bezprzewodowe

Technologia bezprzewodowa znalazła zastosowanie w przekazywaniu energii w obróbce ultradźwiękowej. Firma POSA zaproponowała takie rozwiązanie w nowych oprawkach do tego typu narzędzi. Pozwala ono na uniknięcie dotychczasowych ograniczeń transmisji przewodowej; problem nagrzewania się ostrza narzędzia został zredukowany, zwiększono prędkość obrotową narzędzia z 8000 do 24000 obr/min, wzrosła wydajność obróbki (o 46%) i jakość obrabianej powierzchni.

W najbliższych latach przewidywany jest wzrost zainteresowania tą technologią obróbki, co wynika z popularizacji technik transmisji 5G. Ze względu na charakter propagacji sygnałów radiowych w tym paśmie częstotliwości konieczna staje się rezygnacja ze stosowania metalu w obudowach urządzeń transmisyjnych. Trwają intensywne poszukiwania nowych materiałów mogących stanowić substytut metalu (takich jak szafir i ceramika). Będą to materiały twarde i kruche, a więc szczególnie trudne w tradycyjnej obróbce. W związku z tym doskonałym sposobem kształtowania geometrii przedmiotów wykonanych z tego typu materiałów wydaje się obróbka ultradźwiękowa – zwłaszcza z zachowaniem odpowiedniej precyzji i znacznej żywotności narzędzi.

Technologia 5G zdecydowanie zaczyna wkraczać do produkcji przemysłowej. Firmy FFG (Fair Friend Group Co., Ltd.) oraz ADLink Technology Inc. z Tajwanu zaprezentowały koncepcję Converged 5G, polegającą na integracji sieci bezprzewodowej 5G z platformą ROS2 (Robot Operating System). Celem jest opracowanie dla inteligentnych środowisk wytwarzania, zgodnych z przemysłem 4.0, całkowicie nowej architektury, zapewniającej kontrolę w czasie rzeczywistym i niezawodną komunikację pomiędzy robotami klasy AMR (*autonomous mobile robots*) i robotami współpracującymi klasy cobot (*collaborative robots*). Przemysłowa komunikacja bezprzewodowa (5G) jest zdolna do skutecznej obsługi wymiany danych między ludźmi, maszynami i czujnikami, zapewnia wysoką niezawodność, małe opóźnienia i duży obszarowo zasięg transmisji (rys. 14).

Takie jednolite środowisko wymiany danych przeznaczone dla zakładów przemysłowych opiera się na modelu



Rys. 14. Mobilna technologia 5G [17]

DDS (*data distribution service*), integrującym transmisję informacji zarówno w obszarze pionowym, jak i pomiędzy poszczególnymi poziomami produkcji. Szacuje się, że zastosowanie tej koncepcji zwiększy efektywność produkcji o 20% i jednocześnie ograniczy koszty pracy o 30%. Przewidywane jest szerokie zastosowanie rzeczywistości rozszerzonej (*augmented reality*) poprzez używanie okularów i systemów projekcyjnych w celu wsparcia serwisowego oraz wizualizacji stanu wytwarzania w czasie rzeczywistym.

### Podsumowanie

Jak wynika z przedstawionych przykładów, zagadnienia pozyskiwania szczegółowych danych o stanie maszyny technologicznej i wykonywanym przez nią procesie są uznawane za ważne z punktu widzenia zapewnienia właściwej jakości sterowania. Spośród wielu czynników mających wpływ na precyzję obróbki za najistotniejsze należy uznać odkształcenia geometrii obrabiarki, będące efektem naprężeń termicznych, oraz wszelkiego typu wibracje wynikające z uwalniania energii podczas procesu skrawania. Problem ten jest zauważany przez producentów układów sterowania i podzespołów pomiarowych. Praktycznie każda oferowana na TIMTOS 2019 maszyna była wyposażona w sterowniki i oprogramowanie pozwalające na aktywne monitorowanie tych niekorzystnych zjawisk.

W targach uczestniczyło ponad 1200 wystawców (z Tajwanu, Chin, Japonii, Indii, Europy, USA), którzy zaprezentowali swoje produkty na ponad 7000 stoisk (o 23% więcej niż podczas poprzedniej edycji). TIMTOS 2019 odwiedziło ponad 53 000 gości, przy czym 11% pochodziło spoza Azji (z Europy i USA). Kolejne targi (28. edycja) są planowane na marzec 2021 r.

### LITERATURA

- [1] Szulewski P. „Efektywne łączenie systemów podstawą inteligentnej produkcji”. *Mechanik*. 1 (2018): 7–11. DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2018.1.1>
- [2] Chao L., Xun X. “Cyber-physical machine tool – The Era of Machine Tool 4.0”. *Procedia CIRP*. 63 (2017): 70–75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.078>.
- [3] Uhlmann E., Hohwieler E., Geisert C. “Intelligent production systems in the era of Industrie 4.0 – Changing mindsets and business models”. *Journal of Machine Engineering*. 17, 2 (2017): 5–24.
- [4] Szulewski P. „Urządzenia automatyki przemysłowej w środowisku Industry 4.0”. *Mechanik*. 8–9 (2016): 926–933. DOI: <http://dx.doi.org/10.17814/mechanik.2016.8-9.329>.
- [5] Wan J., Tang S. et al. “Software-defined industrial Internet of Things in the context of Industry 4.0”. *IEEE Sensors Journal*. 16, 20 (2016): 7373–7380. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2016.2565621>.
- [6] “*Int'l Metalworking News for Asia*”, <http://www.industrysourcing.com/metalworking>.
- [7] Goezler P., Cato P., Amberg M. “Data processing requirements of Industry 4.0 – Use cases for big data applications”. ECIS 2015. Research-in-Progress Papers. Paper 61. ISBN 978-3-00-050284-2.
- [8] <http://www.posa-spindle.com/en/index>.
- [9] [https://www.lnc.com.tw/en-us/products/e609f3c1-ddc5-430b-8e19-c9fc3eaedd04/svi-1000/mod\\_04092bbe-cc68-4cfb-981e-35d9445ec517](https://www.lnc.com.tw/en-us/products/e609f3c1-ddc5-430b-8e19-c9fc3eaedd04/svi-1000/mod_04092bbe-cc68-4cfb-981e-35d9445ec517).
- [10] Śniegulska-Grądzka D., Szulewski P. „Systemy automatycznego monitorowania drgań w obrabiarkach”. *Mechanik*. 3 (2017): 170–175. DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.3.37>.
- [11] <https://www.lnc.com.tw/en-us/mediacenter/news/5ac92dcf-3409-45aa-ba03-b68056a070d5>.
- [12] [http://www.awea.com/awea\\_en/iconsole/index.htm](http://www.awea.com/awea_en/iconsole/index.htm).
- [13] <https://www.ycmnc.com/en/news>.
- [14] <https://www.nfu.edu.tw/en>.
- [15] <http://www.chmer.com/uploads/product/download/2018111991399717.pdf>.
- [16] <http://www.excetek.com/V650G-Plus.html>.
- [17] ITU Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s), <https://www.itu.int/md/R15-SG05-C-0040/en>.