

Piotr SZULEWSKI¹

METODY KOMUNIKACJI UKŁADÓW DIAGNOSTYCZNYCH ZE STEROWNIKAMI MASZYN TECHNOLOGICZNYCH

Pomimo wykorzystywania w obrabiarkach bardzo zaawansowanych sterowników, zwłaszcza numerycznych CNC, możliwe jest wyposażanie maszyn technologicznych w dodatkowe moduły stanowiące układy diagnostyczne. Celem ich stosowania jest precyzyjne monitorowanie wybranych parametrów realizowanego procesu. Układy takie realizują często bardzo skomplikowane algorytmy opracowywane w wyniku szczegółowej analizy sygnałów pochodzących z dodatkowych czujników. Wnioski wynikające z ich działania powinny być dostępne i wykorzystywane przez sterownik maszyny do modyfikacji stanu procesu celem osiągnięcia optymalnych warunków pracy. Koniecznym jest do tego posiadanie efektywnych kanałów wzajemnej komunikacji pomiędzy sterownikiem a układem nadzoru. Nie jest to zadanie proste ani łatwe. Artykuł przedstawia metody współpracy układów diagnostycznych ze sterownikami CNC. Podane zostały przykłady efektywnych implementacji przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych i rozwiązania komercyjne.

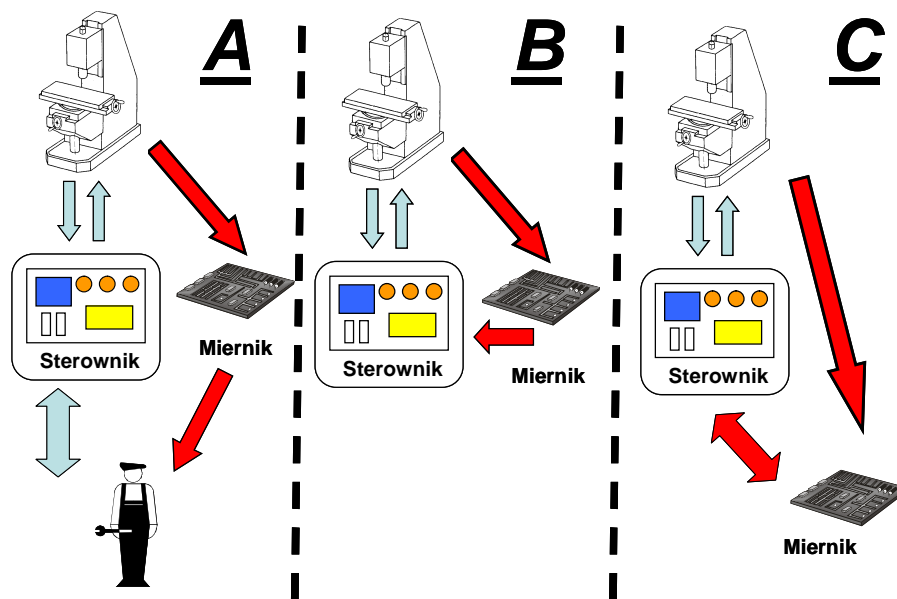
1. WPROWADZENIE

Obserwując wykorzystanie w przemyśle maszyn technologicznych i obrabiarek ze sterowaniem numerycznym, można postawić tezę, że popularność ich znacząco zwiększa się na przestrzeni ostatnich lat. Jedną z przyczyn jest dążenie do zmniejszania kosztów wytwarzania i maksymalne skracanie czasu uzyskania finalnego wyrobu. Spośród wielu korzystnych cech, jakimi obdarzone są tego typu układy często podkreśla się ich łatwość obsługi, w zasadzie nie wymagającą od operatora posiadania głębokiej wiedzy o realizowanym procesie technologicznym – czyli popularne „włącz i zapomnij”. Jednak z drugiej strony, należy zauważyć, że wszystkie istotne parametry obróbki (np. prędkość obrotowa wrzeciona, głębokość warstwy skrawanej, posuw, itp.) są ustalane i zapisywane w programie technologicznym, a praktycznie w pamięci sterownika, przed faktyczną realizacją obróbki. Zazwyczaj dobierane są one pod kątem średnich właściwości stosowanego narzędzia i materiału, z którego wykonany jest przedmiot obrabiany. Wyboru dokonuje programista/technolog w oparciu o ustalone wielkości w wykorzystywanej bazie danych – zwykle katalog/poradnik pochodzący od producenta narzędzia. Należy podkreślić, że w takim tradycyjnym ujęciu - wszystkie dobrane parametry są statyczne. Oznacza to, że

¹ Zakład Automatykacji, Obrabiarek i Obróbki Skrawaniem, Wydział Inżynierii Produkcji Politechniki Warszawskiej

ich dobrane wcześniej wartości nie mogą podlegać procesowi modyfikacji podczas realizowanej obróbki. Przyjąć można, że tak opisany proces jest praktycznie niezmienny. Wobec tego należy dążyć do jak najlepszego doboru parametrów obróbki. Otóż, jak wiadomo, jednym z najistotniejszych kryteriów doboru parametrów jest dbałość o narzędzie – unikanie szybkiego zużycia (koszt), przeciwdziałanie katastroficznemu stopniowi ostrza (awaria), itp. Powodowana czynnikami ekonomicznymi, jak się wydaje przesadna dbałość o narzędzie, jest przyczyną doboru takich warunków pracy, które znacznie odbiegają od granicznych wartości dopuszczalnych. W ujęciu globalnym stwierdzić można, iż obrabiarka nie jest efektywnie wykorzystywana, a realizowany proces znacznie odbiega od wartości optymalnych. Techniczną przyczyną takiego zachowawczego postępowania jest brak wyposażenia standardowych sterowników (również NC i CNC) w systemy lub przyrządy pomiarowe mogące podawać na bieżąco (ang. *on-line*) zmierzone wielkości istotnych parametrów np. siła, drgania, temperatura.

Koniecznym jest, więc posiadanie jakiegokolwiek formy „sprzężenia zwrotnego” umożliwiającego elastyczne modyfikowanie zmiennych, wpływających na różnorakie wskaźniki obróbki [1]. Struktura taka stanowić będzie element adaptacyjny dla tradycyjnego ujęcia parametrów obróbki [2]. Taki jest właśnie cel stosowania dodatkowych (zewnętrznych) układów pomiarowych określanymi mianem diagnostycznych [3]. Ocenia się, że awarie narzędzi są one odpowiedzialne za 10÷20% czasu przestoju współczesnych maszyn ze sterowaniem numerycznym. Stanowi to bardzo ważny argument za rozwojem technik pozwalających na unikanie tego typu niespodzianek [4]. Postęp w sposobach produkcji przejawia się nie tylko w stosowaniu coraz to nowszych i bardziej zaawansowanych maszyn i urządzeń technologicznych, lecz także w doskonalszym, bardziej racjonalnym i skuteczniejszym wykorzystaniu już posiadanych środków produkcji. Taką właśnie formą poszukiwania nowych sposobów jest implementowanie w strukturze obrabiarek różnego rodzaju układów diagnostycznych, pomiarowych i nadzorczych [5].



Rys. 1. Wzajemne relacje układ diagnostyczny – sterownik
Fig. 1. The diagnostic system and controller relationships

Na rysunku 1 zostały obrazowo przedstawione możliwe formy relacji pomiędzy układem diagnostycznym (miernikiem) i sterownikiem obrabiarki. W przypadku (A) układ pomiarowy pracuje całkowicie niezależnie od sterownika. Dokonuje on pomiarów odpowiednich wielkości (np. siła, moc, drgania, itp.) a wyniki obliczeń prezentuje na ekranie (np. wyświetlacz LCD). Podjęcie odpowiednich działań jest związane z konieczną reakcją człowieka/operatora, który podejmuje ostateczną decyzję i ręcznie wydaje polecenia sterownikowi obrabiarki. W sytuacji (B) układ diagnostyczny przekazuje odpowiedni sygnał do sterownika obrabiarki, powodując uzyskanie właściwej reakcji – np. zatrzymanie procesu obróbki. Najkorzystniejszym jest wariant (C) gdzie mamy do czynienia z dwukierunkową komunikacją (interakcją), zachodzącą pomiędzy układem pomiarowym a sterownikiem obrabiarki. Sterownik informując o aktualnych parametrach realizowanej obróbki pozwala na stosowanie rozbudowanych strategii działania układu diagnostycznego.

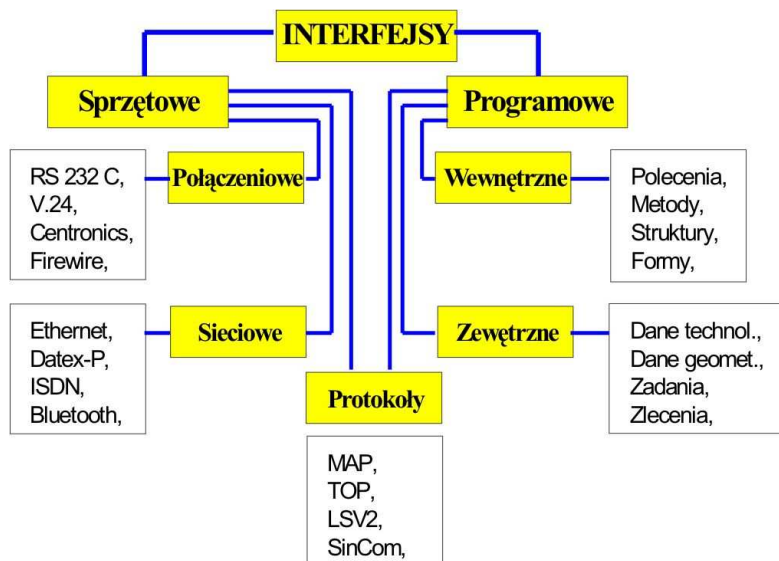
Bezpośrednim celem wprowadzania i stosowania układów diagnostycznych jest osiągnięcie stanu precyzyjnego i wieloparametrowego monitorowania procesu technologicznego, który jest konieczny dla realizacji efektywnego sterowania. Ogólnie można określić, że koncepcja ta składa się z dwóch fundamentalnych zagadnień:

- pozyskiwane w trakcie monitorowania dane powinny jednoznacznie i wyczerpująco charakteryzować sterowany proces, a także być zbierane „na bieżąco”, tak aby nie wprowadzać opóźnień zaburzających założoną precyzję opisu [6],
- wszystkie istotne dane powinny być niezwłocznie przesyłane do tych układów (elementów), które skutecznie mogą oddziaływać na sterowany proces w celu osiągnięcia zamierzonego efektu (stanu) [7].

Prostą implikacją przedstawionej koncepcji jest wniosek o takiej samej istotności (wadze) zarówno samej informacji (sygnału) jak i formie (metodzie) jego dostarczenia do uprawnionego odbiorcy. Podkreślić należy, że monitorowanie uznać można za właściwe i efektywne, jeżeli wynikiem jego prowadzenia będzie uzyskanie informacji o zbliżającym się stanie zagrożenia lub awarii przed jego faktycznym pojawieniem się (predykcja) [8]. Pozwoli to na podjęcie reakcji uprzedzającej przez sterownik obrabiarki, a w rezultacie doprowadzi do uniknięcia błędnego lub niestabilnego działania procesu lub zminimalizuje koszty wystąpienia nieuniknionej awarii.

2. INTERFEJSY SPRZĘTOWE STEROWNIKÓW

Coraz powszechniejsze stosowanie komputerowych układów sterowania NC powoduje wyraźne "upodabnianie się" układów NC do komputerów klasy IBM PC czyli popularnych "pecetów". Oczywistym jest fakt, iż w układach sterowania stosowane są jedynie rozwiązania w pełni sprawdzone pod względem niezawodności, zapewniające odpowiedni poziom bezpieczeństwa. Oprogramowanie i sprzęt uruchamiane w układzie sterownika obrabiarki musi być zdecydowanie mniej zawodne niż programy wspomagające prace biurowe (edytory, arkusze kalkulacyjne, itp.). Przykłady interfejsów wykorzystywanych w sterownikach maszyn technologicznych zostały zilustrowane na rysunku nr 2.



Rys. 2. Rodzaje interfejsów w sterownikach maszyn NC
 Fig. 2. The NC popular interface types (hardware and software)

Należy podkreślić, że nadal w sterownikach są spotykane i wykorzystywane „leciwe już” interfejsy szeregowo w standardzie RS232C. Dotyczy to także nowych modeli gdzie występuje on jako opcja. Ze względu jednak na techniczne ograniczenia tego interfejsu (niewielka szybkość transmisji, podatność na zakłócenia) oraz sposób połączenia z oprogramowaniem PLC (brak bezpośredniego nadzoru transmisji przez PLC) opcja ta jest wykorzystywana praktycznie jedynie do pobierania i przesyłania plików programów sterujących. Coraz częściej są wykorzystywane współczesne interfejsy szeregowo oparte o szybkie magistrale np. USB. Popularne są także rozwiązania stosujące standardy sieci przemysłowych (Interbus, Modbus, Profibus, CAN, itp.) lub sieci biurowych (Ethernet).

Niektórzy producenci wprowadzają w swoich produktach dedykowane, unikalne rozwiązania sieci lokalnych – np. Artis Sensor Bus [8]. Takie specjalizowane systemy posiadają korzystne cechy (szybkość, format, danych, adresowanie, itp.) predestynujące je do stosowania, aczkolwiek zmuszają one do korzystania z urządzeń pochodzących jedynie od tego producenta, bez możliwości samodzielnej rozbudowy lub współpracy z innymi produktami.

Możliwe jest także skorzystanie ze standardowych sieci (magistral) występujących w obrabiarkach. Przykładem może być firma Siemens i jej rozwiązanie sieci MPI. Jak najbardziej uzasadnionym jest natomiast stwierdzenie, że rodzaj wykorzystywanego interfejsu implikuje rodzaj możliwej do wprowadzenia komunikacji poprzez jednoznaczne określenie przepustowości, szybkości, rozpiętości czy charakteru przesyłanych danych. Należy jednak podkreślić, że samo występowanie interfejsu nie oznacza możliwości skutecznej komunikacji pomiędzy sterownikiem a układem diagnostycznym. Koniecznym jest dopuszczenie takiej możliwości przez sterownik. Efektywne współdziałanie układu diagnostycznego ze sterownikiem obrabiarki jest zagadnieniem cały czas nierozwiązanym. W dalszej części zostaną przytoczone przykłady takich ograniczeń i sposobów ich rozwiązań.

3. UKŁADY DIAGNOSTYCZNE W STRUKTURZE OBRABIARKI

Szeroko rozumiane układy diagnostyczne stanowiące podstawowy element składowy systemów automatycznego nadzoru mają za zadanie zapewnić uzyskiwanie jak najlepszych rezultatów działania systemu obróbkowego [9]. Jednak pomimo tak istotnych zadań rozwój układów diagnostycznych następował znacznie wolniej niż sterowania i realizowany był jako osobna gałąź badawcza. Jedną z przyczyn był niewątpliwie stopień skomplikowania diagnozowania narzędzia, wynikający z wielo-parametrowości procesu skrawania i trudności jego jednoznacznego opisu. Implikowało to złożoność algorytmów monitorowania i konieczność stosowania systemów komputerowych wyposażonych w silne/wydajne mikroprocesory o dużych mocach obliczeniowych. Stąd częste występowanie układów diagnostycznych jako samodzielnych zespołów mogących pracować bez konieczności dołączania ich do sterownika obrabiarki [10].

Za układ diagnostyczny uważa się aparaturę diagnostyczną połączoną w określony sposób, uzależniony od wybranej strategii. Tradycyjny ten podział wydaje się być zdecydowanie niewystarczający we współczesnych warunkach. Za podstawowe kryterium proponuje się przyjąć pochodną głównego celu ich stosowania, czyli sposób współpracy układu diagnostycznego z głównym sterownikiem obrabiarki lub urządzenia technologicznego. W takim przypadku sformułować i wyróżnić można cztery podstawowe grupy relacji układów diagnostycznych do sterowników maszyn technologicznych:

- *Autonomiczny* – oznaczający, iż układ diagnostyczny stanowi oddzielne urządzenie i pracuje całkowicie niezależnie od sterownika maszyny. Może być instalowany zarówno na obrabiarkach w pełni zautomatyzowanych jak i opartych o sterowanie ręczne. Wynikiem działania jest zazwyczaj prosta, kilkustanowa informacja o monitorowanym parametrze. Nie jest on wyposażony w żadne interfejsy do współpracy z urządzeniami zewnętrznymi (poza własnymi czujnikami),
- *Zależny* – oznaczający układ współpracujący ze sterownikiem, z którego pozyskiwane są informacje mogące mieć wpływ na realizowany proces diagnostyczny. Np. parametry technologiczne (prędkość skrawania, posuw, itp.) lub elektryczne (moc, obciążenie, itp.). Podobna sytuacja występuje w przypadku gdy sygnały wychodzące z układu diagnostycznego stanowią parametr dla sterownika – np. zmniejszenie posuwu, stop, itp. W takim przypadku konieczne jest występowanie odpowiednich interfejsów umożliwiających proces komunikacji – mogą one występować pod postacią np. dodatkowych zacisków w sterowniku obrabiarki. Jest to jednak komunikacja jednostronna. Układ może być swobodnie przenoszony pomiędzy różnymi sterownikami. Nie jest wymagana ingerencja programowa w sterownik. Układ diagnostyczny jest wyposażony w indywidualny panel operatora. Funkcje paneli, w tym przypadku, mają zawsze charakter lokalny i odnoszą się jedynie do konkretnej maszyny. Są to, więc urządzenia specjalizowane i przystosowane do spełniania ściśle określonych zadań,
- *Współpracujący* – oznaczający układ współpracujący ze sterownikiem. Współpraca polega na dwukierunkowej wymianie sygnałów. Zazwyczaj jest wymagana wcześniejsza ingerencja w oprogramowanie sterownika (modyfikacja, wgranie

dotychczasowych modułów, itp.). Do komunikowania się z operatorem wykorzystywany jest HMI obrabiarki. Układ jest przygotowany do współpracy z wyspecyfikowaną grupą sterowników (konkretny model). Nadal jednak występuje jako osobne urządzenie instalowane w strukturze maszyny technologicznej,

- *Zintegrowany* – oznaczający pełną integrację układu diagnostycznego ze sterownikiem obrabiarki. Sam układ stanowi integralną część (moduł, blok, itp.) sterownika. Układ diagnostyki posiada całkowity dostęp do wszelkich parametrów i zmiennych jakimi posługuje się sterownik maszyny. Nie ma możliwości wydzielenia układu diagnostyki ze struktury maszyny. Przykładem jest rozwijana, nowa koncepcja układów sterowania o strukturze otwartej. Komunikacja ze światem zewnętrznym odbywa się wyłącznie przy wykorzystaniu interfejsów (zazwyczaj sieciowych) sterownika obrabiarki. Do tej kategorii zaliczyć należy także programowe układy diagnostyczne posługujące się danymi i informacjami pozyskiwanymi bezpośrednio z układu sterowania obrabiarki (i czujników w jakie został sterownik fabrycznie wyposażony). Nie są wymagane jakiegokolwiek dodatkowe instalacje, ale nie jest też możliwe uzupełnienie lub rozbudowa strategii diagnostycznej o sygnały pochodzące z innych źródeł.

Istotną kwestią jest także zapewnienie możliwości montażu sterownika w strukturze maszyny. Najczęstszym przypadkiem jest wykorzystanie dedykowanego panelu umieszczonego w indywidualnej obudowie, który może być przytwierdzony w dowolnym miejscu – choć najczęściej (ze względów ergonomicznych, konieczność zapewnienia pełnego dostępu przez człowieka operatora) jest on instalowany w pobliżu głównego pulpitu obsługującego sterownik obrabiarki. Możliwe są dwa wykonania – w postaci „wolnostojącej” lub przygotowanej do wbudowania. Całość oprogramowania sterującego pracą układu diagnostycznego jest umieszczona we wnętrzu sterownika, najczęściej w postaci „firmware” umieszczonego w pamięci typu flash, aczkolwiek występują także rozwiązania w postaci pamięci ROM – czyli bez możliwości przeprowadzania samodzielnej wymiany oprogramowania na nowszą wersję. W sytuacji pełnej współpracy układu diagnostycznego z HMI sterownika NC, tak jak podano wcześniej, sposób montażu zależy od przyjętej przez konstruktora formy organizacji osprzętu elektrycznego w obrabiarence. Możliwe jest wykorzystanie szyn montażowych np. DIN lub bezpośrednie przytwierdzenie do szkieletu maszyny.

4. INTERAKCJA I KOMUNIKACJA UKŁADÓW DIAGNOSTYCZNYCH

Koncepcja zdalnego diagnozowania i monitorowania stanu obrabiarki przy pomocy systemów sieciowych (zwłaszcza Web-based) nie jest nowa [11]. Pierwsze pomysły pojawiały się w latach 90-tych ubiegłego wieku [12]. Jedną z pierwszych implementacji opartą jeszcze wtedy o linie ISDN były prezentowane przez Agie Ltd. (USA) rozwiązania StarView i Contact Manager. Interesującą propozycją była próba zastosowania komercyjnego oprogramowania komputerowego opracowanego dla komputerów klasy PC (Norton PCAnywhere) jako formy odległego terminala przez Cincinnati Machine. Już wtedy zauważano, iż ilość danych i parametrów mogących być pozyskanymi z układów NC

jest stosunkowo niewielka i ściśle zależy od struktury sterownika NC – przy czym, im starszy sterownik NC tym ilość danych mniejsza [13]. Można wyróżnić dwa główne cele stosowania diagnostycznych układów pomiarowych:

- zapewnienie ciągłości realizowanego procesu technologicznego – gdzie koncentracja działań skupia się na monitorowaniu stanu narzędzia w celu zapobieżeniu występowania jego uszkodzeń lub katastroficznego stopienia,
- zapewnienie jakości i efektywności realizowanego procesu technologicznego – gdzie w wyniku monitorowania stanu narzędzia możliwe jest adaptacyjne dobieranie parametrów obróbki w funkcji chwilowych zmian wybranych identyfikatorów, co pozwala np. na intensyfikację procesu skrawania bez utraty jakości.

Ze względu na stały rozwój nowoczesnych i precyzyjnych czujników, pojawianie się nowych technik pozyskania sygnałów, ich efektywnego przetwarzania i zobrazowania możliwym staje się wprowadzanie nowych sposobów sterowania, uwzględniających bardziej szczegółowy opis sterowanego procesu [14]. Podejmowane przez badaczy działania zmierzające w tym kierunku spotykają się z dużym zainteresowaniem przemysłu – zwłaszcza lotniczego, gdzie występuje zazwyczaj długi czas obróbki przedmiotu (duży koszt materiału i koszt maszynowy). W takim przypadku koszt wystąpienia braku będzie znaczący w razie np. katastroficznego stopienia ostrza.

5. PRZYKŁADY PRAC BADAWCZYCH

Jedną z możliwości organizacji wymiany danych pomiędzy zewnętrznym układem pomiarowym (nadzoru) jest wykorzystanie danych sterownika logicznego PLC. Sterownik taki stanowi element składowy każdego układu NC i CNC. Może być wykonywany jako struktura sprzętowa lub programowa, co z punktu widzenia wymiany danych jest zagadnieniem praktycznie nieistotnym. Odczyt i zapis (uaktualnianie) odpowiednich obszarów pamięci odbywa się podczas każdorazowego wykonania pętli PLC - zazwyczaj w okresach kilku milisekundowych. Korzystną cechą jest pełna dostępność danych dla NC związana w bardzo ścisłą integracją tych dwóch struktur. Przykład takiej koncepcji jest zwarty w pracy [15]. Jednak dla realizacji takiej formy wymiany danych koniecznym jest ingerencja w strukturę programu PLC, co nie zawsze jest możliwe.

Konieczność posiadania odpowiedniego interfejsu umożliwiającego swobodny i łatwy dostęp do układu sterującego (CNC) jest podkreślana przez wielu badaczy, którzy upatrują w niej możliwość efektywnego oddziaływania na sterownik [16],[17],[18]. Dodatkowe dane pochodzące z układów pomiarowych lub czujników mogą być bardzo użyteczne w przypadku realizacji różnego rodzaju strategii (pomiar, obróbka, itp.), pozwalając swobodnie kształtować np. ruchy sondy [19]. Pożądaną cechą takiego interfejsu jest kompatybilność ze współczesnymi standardami wymiany informacji. Przykłady znajdują się w pracach [20],[21].

Przykład rozwiązania opartego o stworzenie całkowicie nowego sterownika NC jest podany w pracy [22], gdzie jako sterownik wykorzystany został komputer klasy PC wyposażony w specjalistyczne karty interfejsowe (napędy, akwizycja danych, itp.),

pracujący pod kontrolą systemu operacyjnego Win XP. Specjalizowany program sterujący został samodzielnie napisany z uwzględnieniem zagadnień położenia ostrza narzędzia (ang. *Cutter Location Data*), wynikających z analizy danych z programu CAM realizowanej na bieżąco w sterowniku NC [23]. Podobne rozwiązanie wykorzystujące samodzielnie zaprojektowany sterownik NC pozwalający na programowe zmiany strategii sterowania (sterowanie adaptacyjne) jest szczegółowo podany w obszernej pracy [24].

Bardzo interesującym przykładem możliwości współpracy zewnętrznego układu pomiarowego ze sterownikiem NC o otwartej architekturze jest propozycja wykorzystania sieci standardu Ethernet. W modelowym rozwiązaniu zastosowano sterownik Sinumerik 810D z modułem HMI typu MMC102 i interfejsem sieciowym Ethernet. Oprogramowanie monitorujące [25] zostało umieszczone na zewnętrznym komputerze (interfejs sieciowy) i napisane w środowisku LabView – również wymagania sprzętowe są minimalne. Na komputerze tym uruchomiony jest także serwer WWW pozwalający na udostępnianie danych w sieci Internet dla upoważnionych, to jest zalogowanych użytkowników. Dwustronna komunikacja z układem NC odbywa się za pomocą protokołu NetDDE (ang. *Network Dynamic Data Exchange*) gdzie w sterowniku zaimplementowany jest serwer NC-DDE. Możliwe jest także przesyłanie komunikatów na monitor HMI. Rozwiązanie to wymaga posiadania licencji od producenta sterownika pozwalającej na interpretację odpowiednich pól danych z pamięci lub programu sterującego NC. Pierwsze koncepcje takiego właśnie zorganizowania transmisji danych były przedstawiane w znacznie wcześniejszych pracach [26],[27], jednak ze względów na ograniczenia techniczne nie mogły być ówczas zrealizowane.

Wielu autorów badań związanych z prowadzeniem pomiarów przy wykorzystaniu dodatkowych czujników lub mierników (optycznych, akustycznych, mechanicznych, itp.) wyraża zdecydowany pogląd, że uzyskane podczas pomiarów dane (po przetworzeniu i opracowaniu) powinny być w postaci wniosków przekazywane do sterowników obrabiarek lub maszyn technologicznych [28],[29],[30-36]. Taka formuła pozwoli na prowadzenie przez sterowniki skutecznej adaptacji sterowanego procesu w kierunku jego optymalizacji zgodnej z wymaganymi kryteriami [37],[38],[39]. Niestety bardzo rzadko publikowane są wyniki dokumentujące przeprowadzenie (zakończoną sukcesem) takiej operacji – wykorzystania danych pomiarowych. Przyczyną są trudności wynikające bezpośrednio z konstrukcji stosowanych układów sterowania. Producenci w trosce o niezawodną i stabilną pracę swoich wyrobów zazwyczaj nie udostępniają możliwości późniejszego dołączania jakichkolwiek systemów pomiarowych. Dodatkowo należy zauważyć, że jakkolwiek istnieje potrzeba stworzenia elastycznego systemu monitorowania to jednak dotychczasowe, konwencjonalne metody i działania szły w kierunku analizowania wybranej wielkości charakteryzującej proces jako jedyne kryterium podejmowania decyzji [35]. Jak się wydaje nie jest to postępowanie słuszne, aczkolwiek ułatwiało ono budowanie torów pomiarowych i przetwarzanie otrzymywanych danych.

Na stan procesu nie wpływa jedna cecha lub wielkość np. stan narzędzia, ale także warunki skrawania, drgania, itp. Oznacza to konieczność kompleksowego podejścia do problemu monitorowania i prowadzenie agregacji różnorodnych danych i parametrów, z czego wynika potrzeba opracowania bardziej wydajnych i uniwersalnych interfejsów pomiarowych [40],[41].

Przykładem komunikacji układu nadzoru ze sterownikiem CNC jest zaprezentowane w pracy [42] interesujące, aczkolwiek nietypowe rozwiązanie. Dla sterownika Fanuc0M (centrum frezarskie Daewoo AL40) opracowano układ modyfikacji prędkości posuwu. W oparciu o procesor sygnałowy DSP (TMS320C31) i dostępne kanały przetworników D/A wykonano połączenia (równoległe) z istniejącym na pulpicie operatora manualnym regulatorem (nastawnikiem) prędkości posuwu. Zmiana wartości generowanego przez przetwornik napięcia powodowała odpowiednią reakcję sterownika NC obrabiarki. Jest to typowy przykład uzyskania możliwości wpływu na parametry pracy bez ingerowania w wewnętrzną strukturę układu sterowania. To znaczy bez konieczności zmiany struktury lub oprogramowania sterownika maszyny.

W pracy [43] zaprezentowano ciekawy przykład monitorowania stanu narzędzia przy pomocy sieci neuronowej. Dane poddawane analizie (pobór prądu napędu wrzeciona, szybkość obrotowa, siła skrawania, itp.) są bezpośrednio doprowadzone i przetworzone w zewnętrznym komputerze klasy IBM PC. Komunikacja pomiędzy komputerem a sterownikiem NC-PLC jest realizowana poprzez tradycyjne złącze szeregowe RS232C z dość dużą przepustowością 119 kbit/s. W pracy nie jest wyjaśniony jednak charakter tej transmisji. Nie podano stosowanego protokołu ani bardziej szczegółowego opisu realizowanej komunikacji. Jak się wydaje obecnie głównym problemem związanym z automatycznym nadzorem nad stanem narzędzia nie jest wbrew pozorom pozyskanie dokładnych danych o jego stanie (sygnały, miary i algorytmy) lecz efektywne wykorzystanie pozyskanej w ten sposób wiedzy związane z oddziaływaniem na obrabiarkę, na której narzędzie pracuje [44],[45].

6. ROZWIĄZANIA KOMERCYJNE

Pomimo istnienia na rynku rozwiązań komercyjnych układów diagnostycznych nie są one dokładnie opisane ani udokumentowane. Na przykład firma Brankampusa posiada w ofercie produkty monitorujące stan narzędzi, przeznaczone do szerokiej gamy maszyn i urządzeń technologicznych (obrabiarki skrawające, wycinarki, itp.). Nie są jednak stosowane żadne zaawansowane formy komunikowania się układów nadzoru z układem sterowania maszyny. Występuje jedynie proste „zbocznikowanie” przycisku „stop awaryjny” [47]. Firma Montronix używa swoich własnych, unikalnych rozwiązań sprzętowych i programowych. Obiecując jedynie pełną integrację ze stosowanym w obrabiarce sterownikiem. Nie została jednak opublikowana specyfikacja techniczna ani nawet nie wyszczególniono rodzaju wykorzystywanych interfejsów lub protokołów [48]. Inny znany producent układów nadzoru, firma Nordmann, podaje w swoich materiałach informacyjnych, że do komunikacji wykorzystywane są standardy RS232C, USB, Ethernet oraz Profibus. W układzie interfejsu operatora jest instalowana aplikacja „Sin-Term” która pozwala na publikację danych pomiarowych uzyskanych z elementów pomiarowych – jest to modyfikacja ekranów MMC (ang. *Man Machine Computer*). Przy zastosowaniu sieci Profibus-DP przesyłane są komunikaty pomiędzy układem nadzoru a sterownikiem NC. Aby możliwa była taka współpraca w układzie NC musi być zainstalowane dedykowane oprogramowanie, którym wspierane są jedynie sterowniki NC firmy Siemens [49]. Podobne rozwiązanie jest w ofercie firmy Artis, opracowane dla sterowników Fanuc [50].

Oryginalne i dość nietypowe rozwiązanie proponuje firma Prometec. Nie stosuje ona żadnych dodatkowych elementów sprzętowych do monitorowania stanu narzędzia. Nadzór odbywa się wyłącznie programowo z wykorzystaniem funkcji zaimplementowanych bezpośrednio w sterowniku NC firmy Siemens (monitorowanie parametrów zasilania danego napędu) [51]. Inne rozwiązanie tej firmy polega na zastosowaniu dedykowanego układu nadzoru (sprzętowego), który może się komunikować ze sterownikiem PLC/NC za pomocą standardów sieciowych ProfiBus, DeviceNet, Ethernet, Interbus lub równoległego w standardzie BAPSI (*Brankamp Artis Prometec Standard Interface*). Nie są znane jednak szczegóły takiej komunikacji.

Kompleksowe rozwiązanie proponuje japońska firma Omative. Produkowany przez nią system nadzoru nad narzędziem pozwala na prowadzenie bieżącego nadzoru i adaptacyjnej optymalizacji parametrów skrawania. Jest on przygotowany do współpracy ze wszystkimi produkowanymi obecnie układami sterowania NC. Do komunikacji z panelem operatora wykorzystywany jest interfejs szeregowy RS232C, natomiast dwukierunkowe przesyłanie komunikatów do NC realizowane jest poprzez dedykowane przyłącza lub stosowany jest interfejs wewnętrznej magistrali sterownika. W każdym przypadku konieczna jest głęboka ingerencja w sterownik, a zwłaszcza w uruchomione oprogramowanie [52]. Nie jest sprecyzowana niestety metodyka tej komunikacji.

7. PODSUMOWANIE

Zagadnienie współpracy układów sterowania numerycznego z urządzeniami zewnętrznymi (układy diagnostyki) uznać należy za skomplikowane i niejednoznaczne. Brak jest ustaleń i norm regulujących formy i sposób takiej współpracy, jak również uniwersalnych rozwiązań. Jedną z przyczyn jest preferowana przez producentów CNC dość zamknięta forma struktury informatycznej sterownika - dotyczy to zwłaszcza starszych modeli, nie wyposażonych w interfejsy sieci przemysłowych lub sieci biurowych [46]. Pomimo bardzo wielu ukazujących się publikacji brak jest w dostępnej literaturze szczegółowych informacji o udanych implementacjach zewnętrznych układów pomiarowych w struktury sterowania już istniejących maszyn i obrabiarek. Jak się wydaje skuteczne działania implementacyjne możliwe są jedynie w przypadku tworzenia nowego sterownika – najczęściej w postaci układu o strukturze otwartej.

Badania realizowane w ramach projektu celowego 6 ZR8 2009 C/07200 „Opracowanie i wdrożenie systemu projektowania technologii obróbki ubytkowej komponentów silników turbinowych z zastosowaniem wspomagania komputerowego” zrealizowanego wraz z Wytwórnią Sprzętu Komunikacyjnego „PZL-Rzeszów”

LITERATURA

- [1] ULSOY G. A., 2006, *Monitoring and Control of Machining*, Springer London, <http://www.springerlink.com/content/qk607245738r6kj2/>.
- [2] LANDERS R. G., ULSOY A. G., 2004, *A comparison of model-based machining force control approaches*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 44/7-8, 733-748.

- [3] DANAI K., 2002, *Machine Tool Monitoring and Control*, Mechanical Systems Design Handbook, CRC Press, Boca Rotan, FL, 75–84.
- [4] AL-SULAIMAN F. A., BASEER M. A., SHEIKH A. K., 2005, *Use of electrical power for online monitoring of tool condition*, Journal of Materials Processing Technology, 166/3, 364-371.
- [5] SZULEWSKI P., 2004, *System przesyłania informacji w zespole stanowisk wytwórczych o zróżnicowanej automatyzacji*, rozprawa doktorska, Wydział Inżynierii Produkcji PW, promotor prof. dr inż. Maciej Szafarczyk.
- [6] KOSMOL J., 2000, *Automatyzacja obrabiarek i obróbki skrawaniem*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, ISDN 83-204-2453-4, 419.
- [7] NAWROCKI W., 2006, *Rozproszone systemy pomiarowe*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, ISBN 83-206-1600-X, 306.
- [8] ARTIS, *Data sheet - Product description CTM V4*, www.artis.de.
- [9] SZAFARCZYK M., 2000, *Automatyczny nadzór i diagnostyka w systemach obróbkowych*, ITM PW, praca nie publikowana, 12.
- [10] WROTONY L.T., 1991, *Rozwój elastycznie zautomatyzowanego wytwarzania w obróbce skrawaniem – od obrabiarek NC do komputerowo zintegrowanej produkcji CIM*, Mechanik, 10, 333-338.
- [11] NEUMANN P., 2006, *Communication in industrial automation—What is going on?*, Institut f. Automation und Kommunikation, Magdeburg, 1-10.
- [12] LEE J., 1998, *Teleservice engineering in manufacturing: challenges and opportunities*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Pergamon, 38, 901-910.
- [13] WAURZYNIAK P., 2009, *Precision Machining - With recent improvements that elevate CNC accuracy, manufacturers can increase metalcutting productivity*, Manufacturing Engineering, 142/1, <http://www.sme.org/cgi-bin/find-rticles.pl?&ME09ART1&ME&20090101&&SME&#article>.
- [14] DONGFENG S., NABIL N. G., 2007, *Industrial Applications of Online Machining Process Monitoring System*, IEEE/ASME Transactions on mechatronics, 12/5, 561-564.
- [15] ZAEHL M. F., POERNBACHER C., 2005, *A Model-Based Method to Develop PLC Software for Machine Tools*, CIRP Annals – Manufacturing, Technology, 54/1, 371-374.
- [16] MALEKIANA M., PARKA S. S., JUN M. B. G., 2009, *Tool wear monitoring of micro-milling operations*, Journal of Materials Processing Technology, <http://doi:10.1016/j.jmatprotec.2009.01.013>.
- [17] CARPANZANO F. J., 2007, *Advanced Automation Solutions for Future Adaptive Factories*, Annals of the CIRP, 56/1, 435-438.
- [18] SUSANU M., DUMUR D., 2006, *Hierarchical Predictive Control within an Open Architecture Virtual Machine Tool*, CIRP Annals - Manufacturing Technology Volume 55, Issue 1, pages 389-392.
- [19] MORIVAKI T., 2008, *Multi-functional machine tool*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 57, 736–749.
- [20] LEITAO P., 2008, *Agent-based distributed manufacturing control: A state-of-the-art survey*, Engineering Applications of Artificial Intelligence, <http://doi:10.1016/j.engappai.2008.09.005>.
- [21] GOCH G., 2003, *Gear Metrology*, CIRP Annals - Manufacturing Technology Volume 52/ 2, 659-695.
- [22] FUSAOMI N., TETSUO H., HAGA Z., OMOTO M., WATANABE K., 2009, *A desktop NC machine tool with a position/force controller using a fine-velocity pulse converter*, www.elsevier.com/locate/mechatronicsdoi:10.1016/j.mechatronics.2009.02.004.
- [23] LEEL J. G., CHO2 Y. H., YANG S. J., PARK J. W., 2008, *Near Net-shape Five-axis CL Data Generation by Considering Tool Swept Surface in Face Milling of Sculptured Surface*, Computer-Aided Design and Applications CAD Solutions, LLC, 442-451, http://www.cadanda.com/CAD_5_1-4__442-451.pdf.
- [24] ASILTU L., ALI U., 2009, *Intelligent adaptive control and monitoring of band sawing using a neural-fuzzy system*, Journal of Materials Processing Technology, 209/5, 2302-2313.
- [25] FERRAZ F., COELHO R. T., 2005, *Data acquisition and monitoring in machine tools with CNC of open architecture using internet*, Adv Manuf Technol 26: 90–97, <http://doi 10.1007/s00170-003-1977-3>.
- [26] CHENG T., 2003, *Intelligent machine tools in a distributed network manufacturing mode environment*, Int Adv Manuf Technol 17/3, 221-232.
- [27] PRITSCHOW G., ALTINTAS Y., JOVANE F., KOREN Y., MITSUISHI M., TAKATA S., VAN BRUSSEL H., WECK M., YAMAZAKI Y., 2001, *Open controller architecture - Past, present and future*, CIRP Annals-Manuf. Techn, 50/2, 463–470.
- [28] KEFERSTEIN C. P., HONEGGER D., THURNHER H., GSCHWEND B., 2008, *Process monitoring in non-circular grinding with optical sensor*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 57, 533–536.
- [29] MONOSTORIL M., KADARL B., PFEIFER A., KARNOK D., 2007, *Solution Approaches to Real-time Control of Customized Mass Production*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 56/1, 431-434.
- [30] BYRNE G., O'DONNELL G. E., 2007, *An integrated force sensor solution for process monitoring of drilling operations*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 56/1, 89-92.

- [31] CASTEJO M., ALEGREA E. BARREIROA J., HERNANDEZ L. K., 2007, *On-line tool wear monitoring using geometric descriptors from digital images*, Intern. Jour. of Machine Tools & Manufacture, 47,1847–1853.
- [32] BUTALAL P., SLUGA A., PEKLENIU J., 2007, *Self-organization in a distributed manufacturing system based on constraint logic programming*, [http://dx.doi.org/10.1016/S0007-8506\(07\)62131-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0007-8506(07)62131-3).
- [33] JEMIELNIAK K., BOMBIŃSKI S., 2005, *Ocena przydatności miar sygnałów w diagnostyce zużycia ostrza*, Komisja Budowy Maszyn PAN - oddział w Poznaniu, 25/2, Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji.
- [34] WEINERT K., INASAKI I., SUTHERLAND J. W., WAKABAYASHI T., 2004, *Dry machining and minimum quantity lubrication*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 53/2, 511-537.
- [35] LIANG S., HECKER R. L., LANDERS R. G., 2004, *Machining process monitoring and control: The State-of-the-Art*, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 126/2, 297-310.
- [36] DIMLA E., 2000, *Sensor signals for tool-wear monitoring in metal cutting operations—a review of methods*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 40, 1073–1098.
- [37] MATHEW M. T. SRINIVASA P., ROCHA L. A., 2008, *An effective sensor for tool wear monitoring in face milling: Acoustic emission*, Sadhana, 33/3, 227–233.
- [38] GEORGOULIAS K., PAPA KOSTAS N., MAKRIS S., CHRYSSOLOURIS G., 2007, *A toolbox approach for flexibility measurements in diverse environments*, CIRP Annals - Manufacturing Technology, 56/1, 423-426.
- [39] ZETU D., DELINSCHI I. M., CARATA E., 2010, *Using artificial neural networks in monitoring and diagnosis of tool wear in flexible manufacturing systems (FMS)*, <http://www.musif.tuiasi.ro/icms/icms2k3/papers/2k3010>.
- [40] MEKIDA S., PRUSCHEK P., HERNANDEZ J., 2009, *Beyond intelligent manufacturing: A new generation of flexible intelligent NC machines*, Mechanism and Machine Theory, 44/2, 466-476.
- [41] OBIKAWA T., SHINOZUKA J., 2004, *Monitoring of flank wear of coated tools in high speed machining with a neural network ART2*, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 44, 1311–1318.
- [42] YANG M. Y., LEE T. M., 2002, *Hybrid adaptive control based on the characteristics of CNC end milling*, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 42, 489–499.
- [43] HABER R. E., ALIQUÉ A., 2003, *Intelligent process supervision for predicting tool wear in machining processes*, Mechatronics, 13/8-9, 825-849.
- [44] SIRKKA L. JAMSA J., 2007, *Future trends in process automation*, Annual Reviews in Control, 31,211–220.
- [45] SCHUYLER, C. K., JERARD, R. B., FUSSEL B. K., 2006, *Experimental evaluation of a smart machining system for feedrate selection and tool condition monitoring*, Transactions of the North American Manufacturing Research, Institution/SME, 34, NAMRC 34, Marquette University.
- [46] OBORSKI P., SZULEWSKI P., 2003, *Integration of information flow in a Basic Manufacturing Unit, BMU*, Proceedings of the International Conference: Computer Integrated Manufacturing, CIM'03, 230-238.
- [47] BRANKAMP, 2009, http://www.brankampusa.com/journal_e_200705.pdf.
- [48] MONTRONIX, 2011, http://www.montronix.com/en/faq/en_faqs.asp.
- [49] NORDMANN, 2011, <http://www.nordmann.org/usa/pdf/Nordmann-Praesentation.pdf>.
- [50] ARTIS, 2010, *Tool monitoring. Software-only solution for GE Fanuc control systems*, www.artis.de.
- [51] PROMETEC, 2011, *Machine condition monitoring including process optimization*, <http://www.prometec.com/english/pages/framesets/support.html>.
- [52] OMATIVE, 2011, *Technical specification adaptive control & monitoring systems for CNC metal cutting optimization*, www.omative.com/download.asp?fileid=1690&filename=TechSpec-ACM-General-120308.pdf.

COMMUNICATION METHODS FOR DATA INTERCHANGE BETWEEN MACHINE TOOL CONTROL SYSTEM AND MONITORING EQUIPMENT

The precise monitoring of realized technological process is possible and really desirable. This is the practical key for expanding of effectiveness and accuracy of applied workshop. We can use a various statistical methods or very complicated and powerful algorithms for recognizing the best strategy for tools, machine, ect.. All data coming from acquisition or monitoring equipment should be ready for direct transfer to the machine tools control system. But in fact, the simple, useful communication method for on-line data interchange between control system and monitoring equipment is continually wanted. The paper presents some ideas and practical implementation of such a communication channel.