

Jakub BANAS¹, Maciej MICHALAK², Sławomir ORZECOWSKI³

Opiekun naukowy: Paweł ZIOBRO⁴, Dorota WIĘCEK⁵

POMIARY W OBRABIARKACH STEROWANYCH NUMERYCZNIE I ICH ZASTOSOWANIE W PRZEMYSŁE 4.0

Streszczenie: Przedstawienie systemów pomiarowych zastosowanych w obrabiarkach sterowanych numerycznie oraz rodzajów danych zbieranych przez obrabiarki, w celu poprawy ich efektywności, i wykorzystania pozyskanych danych do osiągnięcia celów ekonomicznych w zintegrowanym systemie przemysłu 4.0.

Słowa kluczowe: Obrabiarki CNC, Przemysł 4.0, pomiary

MEASUREMENTS IN NUMERICALLY CONTROLLED MACHINE TOOLS AND THEIR APPLICATION IN INDUSTRY 4.0

Summary: Presentation of measuring systems used in numerically controlled machine tools. Types of data collected by machine tools in order to improve their efficiency and use the acquired data to achieve economic goals in the integrated system of industry 4.0

Keywords: CNC machine tools, Industry 4.0, measurement

¹ Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Inżyniera Zarządzania Produkcją, banaskuba@interia.pl

² Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Inżyniera Zarządzania Produkcją, maciek9559@gmail.com

³ Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, Inżyniera Zarządzania Produkcją, slawomir.orzechowski.95@gmail.com

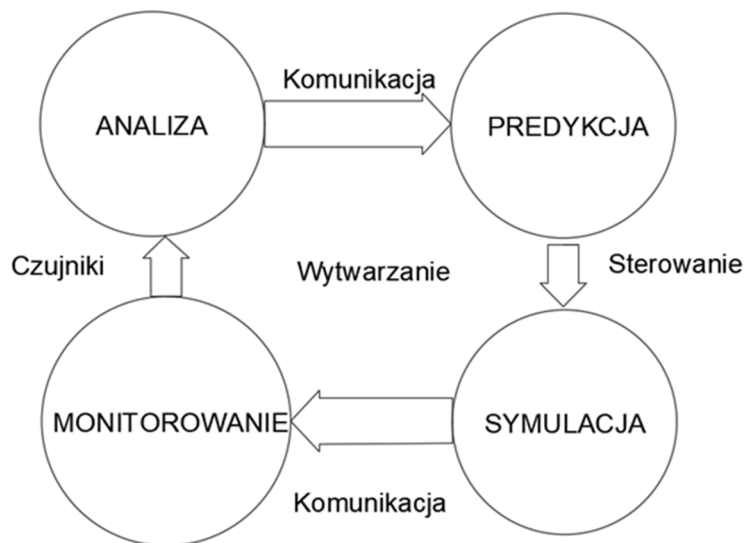
⁴ Właściciel firmy ZTP Paweł Ziobro, pawel.ziobro@zp-team.pl

⁵ dr inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, dwiecek@ath.bielsko.pl

1. Wprowadzenie

W dzisiejszych czasach dostęp do informacji jest powszechny, każde nowe urządzenie dostarcza nam wiele danych o swoich lub zewnętrznych parametrach. Dzienna ilość danych do przetworzenia powoli zaczyna człowieka przerastać. W przypadku maszyn zlokalizowanych w zakładach produkcyjnych w wielu przypadkach do czynienia mamy z zaawansowaną obróbką. Aby produkt końcowy spełniał wymagania norm i klienta musi być wykonany w ściśle określonej technologii i warunkach, ze ściśle określonego materiału i z odpowiednio dobranymi parametrami obróbki (Rys.1).

Nowoczesne maszyny często fabrycznie wyposażone są już przez producenta w różnego rodzaju czujniki, a w przypadku starszych coraz częściej firmy produkcyjne decydują się takie czujniki doinstalować. Wszystko po to, aby móc kontrolować kondycję maszyny i proces obróbczy. W ten sposób przeważnie zaawansowane systemy mogą śledzić mierzone wielkości fizyczne i ostrzegać operatora o np. zużywającym się narzędziu, postępującym niewyważeniu wrzeciona czy też stopniowej degradacji łożysk. Każdy z ciągłych pomiarów gromadzi mnóstwo danych liczbowych, których człowiek nie jest w stanie zinterpretować. Do tego celu konieczne jest wykorzystanie zaawansowanych systemów pozwalających na eksplorację danych i wydobyć z nich niezbędnej wiedzy [1].



Rysunek 1. Sterowanie informacyjne

Wyobraźmy sobie, system produkcji samochodów jaki był stosowany w zakładach Forda, czy Citroena początkiem XX wieku. Obróbka poszczególnych elementów samochodów, była wykonywana ręcznie, co powodowało zwiększenie zużycia materiałów oraz mniejszą wydajność.

Wystarczy wspomnieć, iż przed II wojną światową roczna produkcja samochodów, we wspomnianych zakładach Citroen (Francja w tym czasie przodowała w Europie pod względem produkcji samochodów, poprzez użycie linii produkcyjnych wzorowanych

na zakładach Forda) wynosiła 47.000 sztuk. Obecnie poprzez użycie nowoczesnych systemów związanych z obróbką poszczególnych elementów, produkcja ta wynosi setki sztuk dziennie.

Przytoczony przykład, jest właściwym odzwierciedleniem konieczności wykorzystania systemów pomiarowych w wykorzystaniu „magazynowania” danych, o czym mowa poniżej.

2. Pomiary w obrabiarkach sterowanych numerycznie a ich wpływ na ochronę środowiska

Podstawowym czynnikiem wpływającym na ekologię jest emisja zanieczyszczeń wyemitowanych w trakcie procesów produkcyjnych.

Wraz ze wzrostem automatyzacji i wprowadzaniem systemów pozwalających na monitoring wielu parametrów produkcji, łatwiej jest określić wpływ produkcji na środowisko naturalne, celem wprowadzenia oszczędności materiałów i zmniejszenia ilości zużytej energii.

Z tego względu poszukuje się sposobów na zachęcenie przedsiębiorstw do inwestycji i zainteresowania sprawą klimatu, dziur w warstwie ozonowej i emisji spalin. Jednym z rozwiązań są tak zwane „białe certyfikaty”. Na gruncie praktyki i nauki finansów białe certyfikaty stanowią prawa majątkowe do oszczędności energetycznych i materiałowych uzyskanych w wyniku zastosowania środków poprawy efektywności energetycznej i zintegrowanych systemów sterowania urządzeniami służącymi do obróbki.

Przez oszczędność energii należy rozumieć ilość zaoszczędzonej energii ustaloną przez pomiar lub oszacowanie zużycia przed wdrożeniem i po wdrożeniu jednego lub kilku środków poprawy efektywności energetycznej przy jednoczesnym zapewnieniu normalizacji warunków zewnętrznych wpływających na zużycie energii. Należy zaznaczyć, że na gruncie dyrektywy 2006/32/WE terminem „energia” określa się wszystkie formy dostępnej w obrocie energii, w tym w formie:

- energii elektrycznej,
- gazu (w tym skroplonego gazu ziemnego), gazu płynnego,
- jakiegokolwiek paliwa stosowanego do wytwarzania energii grzewczej i chłodniczej (w tym w miejskich systemach grzewczych i chłodniczych), węgla kamiennego i brunatnego,
- torfu,
- paliw (z wyjątkiem paliw lotniczych i paliw w zbiornikach morskich),
- biomasy.

Prawa majątkowe do uzyskanych oszczędności energetycznych mają charakter zbywalny. Rynek tych praw tworzony jest w sposób wymuszony, w drodze obligatoryjnego obowiązku rozliczania się przez sprzedawców energii – z wyjątkiem małego dystrybutora, małego operatora systemu dystrybucji oraz małego przedsiębiorstwa prowadzącego detaliczną sprzedaż energii – z określonych poziomów poprawy efektywności energetycznych w skali roku. Niewywiązywanie się z tego obowiązku łączy się z koniecznością poniesienia tzw. opłaty zastępczej [2]. Oszczędności te wiążą się bezpośrednio z zastosowaniem nowoczesnych urządzeń produkcyjnych w tym w obrabiarkach sterowanych numerycznie.

Wpływ wprowadzonej opłaty zastępczej oraz poprawa konkurencyjności są czynnikami zachęcającymi do poprawy zużycia energii w przedsiębiorstwach. W przedsiębiorstwach produkcyjnych jednym z możliwych do optymalizacji elementów wpływających na zużycie energii jest pojedynczy cykl obróbczy. Wykorzystanie czujników pomiarowych, oraz ich konwergencja w ramach wprowadzania systemów związanych z integracją przemysłu 4.0 wpływa na zmniejszone zużycie narzędzi oraz pobór energii.

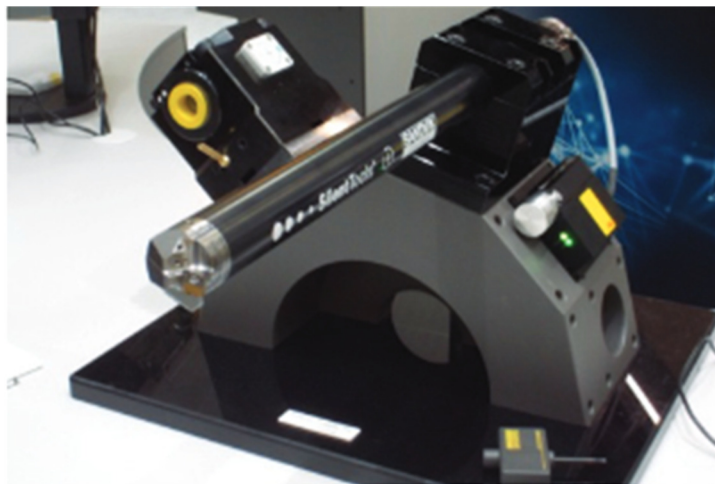
Jak wykazano powyżej, ma to bezpośredni wpływ na ochronę środowiska naturalnego i jest czynnikiem wspierającym ekologiczne podejście do produkcji przemysłowej.

3. Przykładowe systemy pomiarowe w obrabiarkach sterowanych numerycznie wraz ze zbieranymi danymi

Podstawą precyzyjnego monitorowania procesu i stanu obrabiarek są czujniki pozwalające na dokładne pomiary interesujących wielkości i zmiennych. Wielu producentów obrabiarek oferuje różne systemy pozwalające na pomiar i interpretację rozmaitych danych o procesie obróbki. Według zaprezentowanej koncepcji, powszechnym zjawiskiem w przemyśle jest prowadzenie aktywnego monitoringu obrabiarek i maszyn technologicznych. Kolejny krok to wprowadzenie precyzyjnego monitorowania samego procesu skrawania [3]. Najczęstsze pytania, które nurtują technologa to:

- Czy zużycie ostrza/krawędzi skrawającej postępuje w sposób stopniowy i kontrolowany?
- Czy proces skrawania nie jest zbyt szybki ani zbyt wolny?
- Czy nie odbiega od założonych parametrów i wskaźników?

Przykładowe innowacyjne narzędzie przedstawiono na rysunku 2 [6].



Rysunek 2. Przykładowe narzędzie Silent ToolsTM+ (źródło: www.sandvik.coromant.com)

Koncepcja polega na wbudowaniu układów pomiarowych, by umożliwić gromadzenie i przesyłanie danych, które odbywają się w czasie rzeczywistym, bezpośrednio ze strefy skrawania. Mierzonymi wielkościami mogą być drgania, ugięcie trzonka, temperatura modułu tłumiącego. Zmierzone wartości są przekazywane do oprogramowania, gdzie są prezentowane w postaci danych numerycznych oraz wykresów ułatwiających analizę dla użytkowników. Przykładowo: temperatura modułu tłumiącego wyświetlana na panelu kontrolnym pozwala operatorowi na monitorowanie sytuacji i zapobieżenie uszkodzeniom modułu, które mogłyby być spowodowane zbyt wysoką temperaturą. Do transmisji danych poza strefę obróbkową używane jest łącze bezprzewodowe [3].

Na rys.3 przedstawiono przykładową prezentację danych numerycznych i wykresów [6].



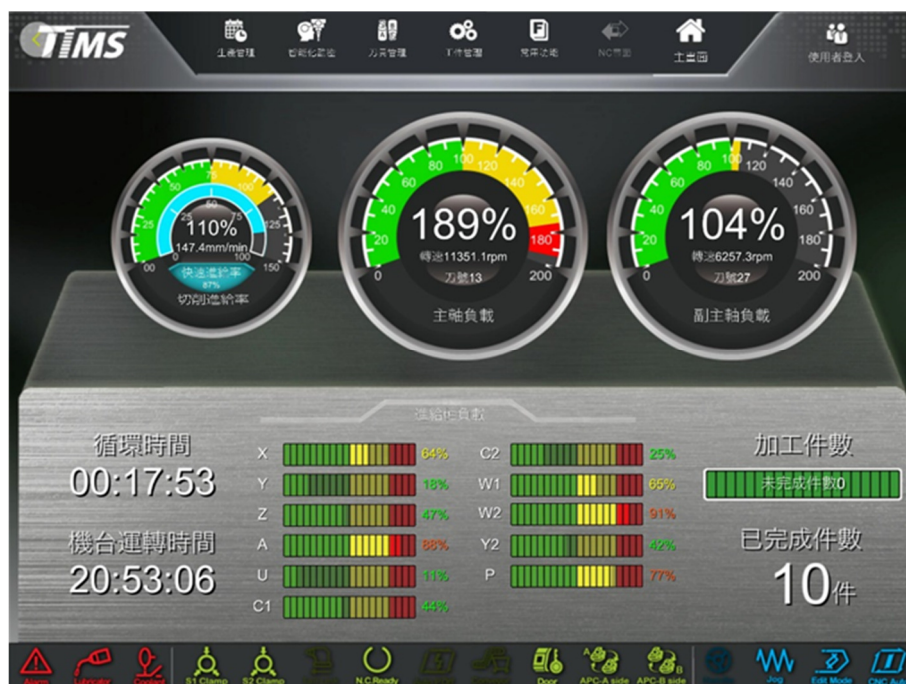
Rysunek 3. Prezentacja danych w przykładowym programie (źródło: www.sandvik.coromant.com)

Producenci zaawansowanych obrabiarek promują własne oprogramowanie współpracujące z wytwarzanymi maszynami, a także z obrabiarkami innych marek wyposażonymi w sterowniki NC. Są to informatyczne systemy wspierające działania związane z zarządzaniem produkcją, zwiększaniem efektywności wykorzystania parku maszynowego, podnoszeniem jakości obróbki itp. W ich skład wchodzi pięć podsystemów:

- zarządzanie produkcją,
- inteligentne monitorowanie maszyn,
- zarządzanie narzędziami,
- zarządzanie produktami,
- zarządzanie serwisem.

W sumie realizowanych 26 indywidualnych funkcji. Wszystkie informacje są na bieżąco (online) pozyskiwane z obrabiarek, przetwarzane i prezentowane w postaci raportów. Przykładowy raport przedstawiono na rys. 4 [7]. W razie awarii na panelu

operatora prezentowany jest przestrzenny rysunek obrabiarki wraz z odpowiednimi instrukcjami i kartami katalogowymi komponentu, który uległ uszkodzeniu oraz zalecaną procedurę usunięcia uszkodzenia [4].



Rysunek 4. Przykładowy system zarządzania obrabiarkami (źródło: www.tongtai.com.tw)

Koncepcją, łączącą maszyny, systemy produkcyjne i interfejsy obsługi klienta w duchu idei Przemysłu 4.0, której celem jest osiągnięcie pełnej interoperacyjności oraz przejrzystości informacji o produkcji, by zdecentralizować proces decyzyjny. Podstawowym działaniem jest jednak uzyskanie możliwie kompletnego opisu aktualnego stanu parku maszynowego.

Proponowane są dwa niezależne rozwiązania sprzętowe:

- stosowany w przypadku starszych maszyn, pochodzących także od innych producentów. Pozwala na pozyskiwanie informacji z czujników temperatury (np. o chłodziwie), a także z pomiaru mocy elektrycznej napędów.
- platformę współpracującą ze sterownikami obrabiarek. Pozwala na dostęp do różnych informacji technicznych i sterujących. Do transferu danych w sieci Ethernet/Internet korzysta z najnowszych bezpiecznych technologii sieciowych i koncepcji przetwarzania „w chmurze”. Głównym modułem programowym jest środowisko przetwarzające i analizujące informacje otrzymane ze sterowników. Wydzielone są cztery główne moduły (ekrany): wykorzystanie maszyn (czas pracy i wyczekiwanie), monitorowanie maszyny (obróbka, ustawienie, zmiany narzędzi, alarmy, wartości posuwów, obrotów wrzeciona, obciążenia wrzeciona, forsowanie parametrów, zużycie energii elektrycznej, konieczne konserwacje), analiza procesu

(obciążenie wrzeciona, wykorzystanie narzędzi) i konserwacje. Wszystkie dane mogą być eksportowane do systemów wspomagania zarządzania zakładem klasy ERP [3]. Dzięki wzrostowi zainteresowania firm i rozwojowi technologii wzrasta użycie technologii informatycznych do monitorowania i poprawy działania procesów produkcyjnych. Skutkuje to poprawą rentowności przedsięwzięć i coraz większym zautomatyzowaniem procesów produkcyjnych, w których ludzie zaczynają pełnić rolę nadzorcy procesów.

Istnieją także systemy pozwalające na monitorowanie zużycia energii w trakcie pojedynczego cyklu. System WattPilote na podstawie danych na temat zużycia energii pozwala na analizowanie nie tylko stanu narzędzi i powstania kolizji, ale także na zapobieganie ich powstaniu. Ze względu na dokładność pomiaru, osiągniętą dzięki unikalnym algorytmom sterowania Digital Way, WattPilote może monitorować wszystkie narzędzia, nawet te najmniejsze: możliwe jest kontrolowanie cyklu obróbki 0,07 sekundy za pomocą wiertła 1 mm na wrzecionie 20kW. Elastyczny moduł komunikacyjny zintegrowany z WattPilote obsługuje szeroki zakres opcji Fieldbus i pozwala na instalację na dowolnej maszynie. Po wykryciu zużycia lub wykruszenia narzędzia maszyna zatrzymuje się, zmienia narzędzie, a następnie ponownie rozpoczyna obróbkę. Operator może wyświetlać cykle obróbki, stan zużycia narzędzia i krzywe alarmowe. Potrafi modyfikować tolerancje sterowania oraz potwierdzać błędy i zmiany narzędzi. WattPilote jest przeznaczony do monitorowania obróbki w czasie rzeczywistym. Może jednak także okresowo monitorować cykle maszyny do konserwacji predykcijnej, aby rejestrować pracę wrzeciona dla poszczególnych wartości obrotów i wykrywać usterki mechaniczne: zużycie łożyska kulkowego, problemy ze smarowaniem. Pozwala także na ustalenie efektywności pracy z danym narzędziem. Wykorzystując uniwersalną informację, jaką jest zużycie energii, jesteśmy w stanie określić np. jak różne rodzaje chłodzenia wpływają na jakość obróbki i zużycie energii w pojedynczym cyklu. Dzięki możliwości zbierania danych w postaci wykresów energii jesteśmy w stanie przewidzieć niektóre zależności i samemu dostosować krzywe ostrzegania tak, aby nagle skoki pozwalały na reakcję przed wystąpieniem niepożądanych zjawisk. Z kolei dzięki możliwości zestawiania wykresów można ustalić optymalną strategię obróbki, aby zaoszczędzić nie tylko na energii, ale i na ilości zużytych narzędzi, co spowoduje zmniejszenie ilości powstałych braków produkcyjnych.

4. Wpływ cyfryzacji na czynniki ekonomiczne

Idea Przemysłu 4.0 otwiera nowe, szerokie horyzonty rozwoju gospodarki i funkcjonowania społeczeństw. Automatyzacja jest znana od ostatnich dwóch dekad XX wieku, a jej rozpowszechnienie nie przyniesie znaczącego przełomu. Tworzenie sieci prowadzi do fundamentalnych zmian, które są możliwe dzięki cyfryzacji różnych dziedzin działalności gospodarczej i pozagospodarczej. Zwiększona wydajność ma kluczowe znaczenie dla rozwoju gospodarczego. Dzięki podłączeniu do sieci „wszystkiego” przełamywane są bariery występujące w tradycyjnym procesie wytwarzania, w którym każdy podmiot gospodarczy dąży do racjonalizacji wykorzystania swoich zasobów. Wprowadzenie i monitorowanie systemów pozwalających kontrolować zużycie energii i narzędzi w trakcie cyklu zmniejszy koszty

produkcji, a uzyskanie białego certyfikatu pozwoli uniknąć dodatkowych opłat za energię.

5. Kierunki rozwoju inteligentnych funkcji obrabiarek

Wykorzystanie mechatroniki daje obecnie najbardziej widoczny postęp w rozwoju obrabiarek. Rozwój technologiczny w poszczególnych obszarach, takich jak podstawowe konstrukcje, mechanika, materiały, układy czujnik-aktuator, systemy przetwarzania danych, będzie charakteryzować przyszły rozwój „inteligentnych” obrabiarek. Przewiduje się, że w najbliższych latach nastąpi znaczący wzrost wykorzystania układów samooptymalizujących, podzespołów częściowo adaptronicznych i znacząco wydajniejszych systemów sterowania wykorzystywanych do wspieranej modelami kompensacji błędów maszynowych i sterowania procesami. Należy tu nadmienić, że adaptronika stanowi innowacyjną i multidyscyplinarną dziedzinę mechatroniki gromadzącą i integrującą nową wiedzę z zakresu:

- konstrukcji układów pomiarowych,
- architektury aktuatorów i czujników,
- inżynierii materiałowej,
- technologii automatycznego sterowania,
- generatywnej integroniki,
- inżynierii oprogramowania.

Głównymi wyznacznikami rozwoju inteligentnych obrabiarek są:

- możliwości modelowania holistycznego,
- symulacji numerycznej,
- wirtualizacji zachowań termicznych i dynamicznych obrabiarek w warunkach ich pracy,
- osiągalność czasu rzeczywistego.

Rozwój inteligentnych obrabiarek jest determinowany głównie przez możliwości adaptacyjnego generowania ścieżki pracy narzędzia na podstawie tworzonych w czasie rzeczywistym, dokładnych, cyfrowych modeli zjawisk termicznych i dynamicznych zachodzących w trakcie pracy obrabiarki, a charakteryzującego się jak najmniejszą inercją. Szczególnie w przypadku obrabiarek o dużej dynamice, rozwój systemów umożliwiających adaptacyjne sterowanie, stanowi krytyczny obszar, na którym powinny się skupić badania w dziedzinie mechatroniki obrabiarek. [5].

6. Podsumowanie

Jak wynika z powyższych rozważań, pomiary w obrabiarkach sterowanych numerycznie, mają niebagatelne znaczenie, a to ze względu na:

- ochronę środowiska naturalnego, poprzez chociażby oszczędności materiałów, czasu pracy oraz energii,
- umożliwiają automatyzację procesów i zmniejszenie niezbędnej do prawidłowego funkcjonowania procesu liczby operatorów,
- dzięki gromadzeniu danych, przy odpowiednim planowaniu, możliwe jest zapobieganie wszelkim przestojom związanym z brakami narzędzi bądź surowców.

Na podstawie przeprowadzonej analizy zawartej w punktach 3 i 4, można wyciągnąć wnioski, iż pomiary w obrabiarkach pozwalają na:

- obiektywną ocenę stosowanych w obrabiarkach narzędzi,
- możliwość wczesnego reagowania na zużycie narzędzia, a co za tym idzie unikanie produkowania elementów brakowych,
- weryfikację rentowności wprowadzanych innowacji,
- podniesienie wydajności,
- rejestrowanie parametrów obrabiarki przy produkcji detali wymagających pełnych informacji o przebiegu produkcji,
- wykrycie nieprawidłowości w działaniu obrabiarki.

Zawarte w pracy badania porównawcze, na podstawie literatury źródłowej, pozwalają na krótkie stwierdzenie; bez zastosowania pomiarów w obrabiarkach sterowanych numerycznie, obecny przemysł światowy, wytraciłby możliwości rozwoju, a jego destrukcyjny wpływ na środowisko naturalne, byłby znacznie większy przez utrzymanie niezmiennych poziomów emisji zanieczyszczeń i strat w surowcach.

LITERATURA

1. PIECUCH G.: Uniwersalne narzędzie diagnostyczne do detekcji niewyważenia wrzeciona CNC. Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce, Nauki techniczne i inżynierskie, Część III, str. 126.
2. BORYS G.: Białe certyfikaty jako instrument podnoszenia efektywności końcowego wykorzystania energii w unii europejskiej. Prace naukowe akademii ekonomicznej we Wrocławiu gospodarka a środowisko9 Nr.22 2008r.
3. SZULEWSKI P.: Efektywne łączenie systemów podstawą inteligentnej produkcji. Mechanik 1/2018.
4. SZULEWSKI P.: Koncepcje i elementy inteligentnej fabryki przyszłości. Mechanik 2/2017.
5. SKOCZYŃSKI W., STEMBALSKI M.: Sensory we współczesnych obrabiarkach sterowanych numerycznie. Mechanik 11/2016.
6. Serwis internetowy: https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/products/silent_tools_turning/Pages/silent-tools-plus.aspx, 25.10.2019

7. Serwis internetowy:<http://www.tongtai.com.tw/en/techpage.php?id=3>,
25.10.2019