

Jakub TYRTANIA¹, Damian HULAWY²

Opiekun naukowy: Paweł ZIOBRO³, Dorota WIĘCEK⁴

ZASTOSOWANIE OPTYCZNYCH URZĄDZEŃ POMIAROWYCH W SYSTEMACH PRODUKCYJNYCH W MYŚL PRZEMYSŁU 4.0

Streszczenie: Artykuł przedstawia zagadnienia związane z optycznymi przyrządami pomiarowymi oraz ich charakterystyką. Pokazuje zastosowanie w przemyśle szczególnie pod kątem dynamicznie rozwijającego się obecnie trendu – Przemysłu 4.0. Proponuje również rozwiązania dla zwiększenia efektywności systemu produkcyjnego z wykorzystaniem optycznych przyrządów pomiarowych.

Słowa kluczowe: optyczne przyrządy pomiarowe, zamknięta pętla produkcyjna, Przemysł 4.0

APPLICATION OF OPTICAL MEASURING DEVICES IN PRODUCTION SYSTEMS IN INDUSTRY 4.0

Abstract: The article presents issues related to optical measuring devices and their characteristics. It shows the application in the industry gives, especially in view of the dynamically developing trend – Industry 4.0. It also proposes solutions to increase the efficiency of the production system using optical measuring instruments.

Keywords: optical measuring devices, closed loop manufacturing, Industry 4.0

1. Wprowadzenie

W dzisiejszych czasach wielu producentów musi zmierzyć się z wieloma problemami produkcyjnymi, gdzie nadrzędnym celem zapewnienie stabilnego systemu produkcyjnego. Jednak, aby do tego dążyć należy, tak zoptymalizować cały proces produkcyjny, począwszy od materiałów na wejściu aż do powstania gotowego wyrobu do wysyłki, minimalizując wszelkie powstające straty. Tą zasadę kierują się wszyscy

¹ Akademia Techniczno-Humanistyczna, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, specjalność: Zarządzanie Inżynierią Produkcji, email: tyrtaniaj@gmail.com

² Akademia Techniczno-Humanistyczna, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, specjalność: Zarządzanie Inżynierią Produkcji, email: hulawy@gmail.com

³ mgr, ZPT PAWEŁ ZIOBRO

⁴ dr inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, email: dwiecek@ath.bielsko.pl

przedsiębiorcy, jednak obecnie liczy się również oszczędność czasu, surowców czy maksymalna precyzja i dokładność wykonania najmniejszego elementu, przy równoczesnym zachowaniu obowiązujących trendów i ciągle pojawiających się nowości na rynku. W chwili obecnej można zaobserwować odbywającą się na naszych oczach czwartą rewolucję przemysłową, zwaną inaczej Przemysłem 4.0. Nie jest on związany z rozwojem technologii ani nowym modelem biznesowym w przemyśle, lecz jest krokiem w przód w kierunku digitalizacji. Ogromną rolę w digitalizacji odgrywa rozwijająca się niemalże w każdym aspekcie życia cyfryzacja, nowe procesy wytwórcze czy coraz częściej bazowanie w procesach decyzyjnych na wirtualnych symulacjach z przetwarzaniem informacji w czasie rzeczywistym. W poprzedniej generacji następowała wymiana informacji między człowiekiem, a zamontowanym systemem czy też komputerami. Natomiast w obecnym trendzie elementem innowacyjnym jest wbudowana cyfrowa informacja w każdym wytwarzanym wyrobie, dzięki której cały proces produkcyjny może odbywać się bez integracji człowieka, a wymiana informacji następuje pomiędzy tymi samymi produktami oraz otoczeniem. Wygenerowane dane będą wykorzystywane przez inteligentne urządzenia, które będą na tej podstawie „decydować” o przekazaniu produktu do kolejnego etapu procesu, biorąc pod uwagę obecny stan przetworzenia. Następnie informacje zbierane z hali produkcyjnej będą analizowane przez zaawansowane narzędzia Przemysłu 4.0, takie jak Chmura obliczeniowa (ang. Cloud Computing) czy Zbiory danych (ang. BigData Analytics), co pozwoli na wykrycie i sposoby rozwiązywania niedostrzegalnych dotąd gołym okiem problemów, np.: zmęczenie materiału, zużycie narzędzia, maszyny czy optymalizację wykorzystania procesów wytwórczych [3]. Pozytywnym skutkiem tego staje się używanie najnowszych technologii oraz narzędzi i przyrządów, które spowodują zmniejszenie czynnika ludzkiego na rzecz najpełniejszego wykorzystania maszyn, a tym samym zwiększenie efektywności procesu produkcyjnego. Takim przykładami są optyczne sensory i przyrządy do pomiaru nierówności i kształtu, które mogą mieć niezliczone zastosowanie w produkcji, a część z nich zostanie zaprezentowana w artykule.

2. Optyczne przyrządy do pomiaru nierówności i kształtu

W ostatnich czasach optyczne przyrządy pomiarowe stają się coraz bardziej popularne ze względu na swoje zastosowanie oraz posiadane możliwości. Punktem wyjścia do wykonywania pomiarów jest technologia różnicowania ognisk (z ang. Focus-Variation), polegająca na wykorzystaniu ostrości obrazu powierzchni bądź innej właściwości światła odbitego, do oceny nierówności powierzchni badanego detalu. Poprzednikami optycznych sensorów były maszyny współrzędnościowe działające na zasadzie pomiaru kształtu i powierzchni detali za pomocą głowic pomiarowych, dzięki którym uzyskiwały wymiary i tolerancje badanych komponentów. Główną różnicą między optycznymi przyrządami, a ich poprzednikami jest możliwość dokonania pomiaru w dowolnym miejscu na całej powierzchni komponentu i wewnątrz. Natomiast głowice pomiarowe nie wszędzie mają dostęp i możliwość zbadania próbki, głównie powierzchnie zewnętrzne i niektóre dojsca wewnątrz detalu. Optyczne przyrządy pomiarowe mają tę przewagę ze względu na połączenie w sobie funkcjonalności urządzenia do pomiaru współrzędnościowego wraz z systemem do pomiaru struktury i nierówności powierzchni [5].

2.1. InfiniteFocusSL

Wśród optycznych przyrządów do pomiaru chropowatości czy topografii powierzchni wyróżnić można mikroskop InfiniteFocusSL. Cechą charakterystyczną urządzenia jest optyczny 3-osiowy system pomiarowy, który w połączeniu z technologią Focus-Variation daje możliwość pomiaru 3D wraz z zachowaniem koloru, a także wysokiej rozdzielczości pomiarów nierówności powierzchni badanego elementu i jego kształtu. Warto zaznaczyć również, że oprócz kolorowych obrazów z utrzymaniem odpowiedniej ostrości i kontrastu, jest ona prosta w obsłudze dla pracowników. Użytkownicy mogą dokonywać pomiaru chropowatości, a także mierzyć i porównywać formy z wzorcami. W przypadku badania detali może być dokładnie zbadany kształt, forma i wymagana chropowatość. Poprzez przesunięcie w osi Z (do 90 mm) można zebrać informacje o ostrości i uzyskać chmurę punktów do 300 mln, co daje dokładny pogląd na badaną powierzchnię, chropowatość i jej wykonanie. Oprócz niego sensor wyposażony jest również w korpus, co zapewnia stabilność dokonywanych pomiarów. Dzięki stabilnej konstrukcji oraz technologii pozwalającej wykorzystywać mobilne światło, za pomocą wymiennych obiektywów, można uzyskać w niedługim czasie pomiary o wysokiej rozdzielczości, co pozwala na lepszy odczyt zbadanych powierzchni i dokładniejszą analizę. Trzeba się też liczyć z faktem, że im większą rozdzielczość potrzeba uzyskać, tym dłuższy będzie czas skanowania detalu. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż długość ogniskowej (sięgającej aż 33 mm) w kombinacji z obszarem pomiarowym (mającym 50x50 mm) stwarza duże szanse dla użytkowników, przez co zwiększa się możliwości zastosowania mikroskopu dla różnych zakresów pomiarowych. Wykonanie pomiaru jest bardzo elastyczne, ze względu na możliwość ustawienia przedmiotu pod różnym kątem do 87 stopni, daje to duże możliwości, jeśli chodzi o badanie krawędzi detali [1]. Na rys. 1 przedstawiony został model sensora opisanego wyżej, natomiast w tabeli 1 wszystkie charakterystyczne cechy tego przyrządu.

Tabela 1. Specyfikacja techniczna InfiniteFocusSL [2]

Cecha systemu:	optyczny 3-osiowy system pomiarowy
Wyniki pomiaru:	chmura punktów
Oświetlenie:	Pierścieniowe
Obiektywy:	x2 - x50
Zakres przesuwu (X/Y/Z):	50x50x25 mm
Dokładność chropowatości:	do 30 nm
Dokładność pomiaru:	do 0,008 mm
Masa mikroskopu:	15kg
Wymiary:	195x316x418 mm
Masa badanego elementu:	ok. 4kg, możliwość mocowania w imadle cięższych elementów
Materiał badany:	Wszystkie, poza przezroczystymi; badanie szkła nie ma sensu
Monitoring systemu:	auto-diagnostyka obejmująca analizę wibracji otoczenia i weryfikację dryftu temperaturowego
Dodatkowe opcje:	możliwość montażu uchwytu obrotowo-uchyłnego



Rysunek 1. Infinite FocusSL [11]

2.2. InfiniteFocusG5

Kolejnym przykładem optycznego urządzenia do pomiaru nierówności i kształtu o uniwersalnym zastosowaniu jest InfiniteFocusG5. Główną różnicą zauważalną gołym okiem jest wyposażenie w 6 obiektywów o różnych dokładnościach pomiaru (x2,5, x5, x10, x20, x50, x100) oraz samo rozbudowanie tego urządzenia. Można dokonywać pomiaru powierzchni obrabianych detali wraz z określeniem ich chropowatości, zaś w przypadku kontroli narzędzi pracy można uzyskać informacje o kształcie, ubytkach czy ogólnym wykorzystaniu narzędzi (m.in.: wiertel, frezów, płytek skrawających), a także porównania go z nowym, nieużywanym w celu ustalenia zużycia narzędzia. Zwykle trzy najmniejsze powiększenia stosuje się do pomiaru narzędzi skrawających, natomiast trzy pozostałe do pomiaru chropowatości. Warto podkreślić, że im większe powiększenie, tym większa rozdzielczość. W przypadku otrzymanych obrazów dużo również zależy od jasności oraz kontrastu. Gdy wszystko jest w normie można zauważyć nawet najmniejsze zarysowanie czy uszczerbek na mierzonym materiale. Nie można pominąć kwestii, że ten przyrząd potrafi pomierzyć przedmioty do wagi w okolicach 30 kg, a także ma możliwość mocowania w uchwycie oraz imadle, co ułatwia w niektórych przypadkach pomiar. Ten zaś z kolei jest dokładny, na co może wskazywać technologia zbierania 1,7 mln punktów pomiarowych na sekundę. Niewątpliwą zaletą tego mikroskopu jest możliwość określenia niepewności pomiaru dla każdego punktu w przestrzeni, a także automatyczny pomiar odchylenia od geometrii nominalnej. Warto podkreślić, że istnieje możliwość zmiany obiektywu bez konieczności kalibracji, co skraca czas pomiaru danego detalu [1]. Model InfiniteFocusG5 został przedstawiony na rys. 2, natomiast parametry przyrządu zaprezentowane są w tabeli 2.



Rysunek 2. InfiniteFocusG5 [5]

Tabela 2. Specyfikacja techniczna InfiniteFocusG5 [2]

Cecha systemu:	optyczny 5-osiowy system pomiarowy
Wyniki pomiaru:	chmura punktów
Oświetlenie:	Przez obiektyw – białe LED kontrolowane z aplikacji
Obiektywy:	x2,5 – x100, zmotoryzowany rewolwer
Zakres przesuwu (X/Y/Z):	100x100x100 mm
Dokładność pomiaru:	do 0,003 mm
Masa mikroskopu:	105 do 120 kg w zależności od konfiguracji
Wymiary:	810x640x700 mm
Masa badanego elementu:	ok. 30kg, możliwość mocowania w imadle cięższych elementów
Materiał badany:	Wszystkie, poza przezroczystymi; badanie szkła nie ma sensu
Monitoring systemu:	auto-diagnostyka obejmująca analizę wibracji otoczenia i weryfikację dryftu temperaturowego
Dodatkowe opcje:	możliwość montażu uchwytu obrotowo-uchyłnego oraz pierścienia oświetleniowego LED

2.3. Alicona Cobots

Inny przykładem optycznego przyrządu pomiarowego jest Alicona Cobots, który łączy w sobie 6-osiowego współpracującego robota z optycznym czujnikiem pomiarowym 3D (IF-SensorR25), co w rezultacie daje urządzenie o uniwersalnym zastosowaniu oraz możliwość uzyskania pomiarów o wysokiej rozdzielczości. Ogólnie Cobots są przeznaczone do sprawdzania stanu powierzchni i dokładności wymiarowej wykonanych detali w warunkach produkcyjnych. Wykonuje pomiary różnorodnych kształtów o małych promieniach i kątach dla dużych objętości pomiarowych, a przy tym cechuje się wysoką rozdzielczością, powtarzalnością i dokładnością. Warte uwagi jest podkreślenie, że ToolCobot jest nowoczesnym dodatkiem do serii przyrządów pomiarowych Alicona i został zaprojektowany do pomiaru dużych narzędzi, takich jak wiertła, frezy czy narzędzi do przeciągania. Oprócz tego system jest mobilny i elastyczny, przez co może być umieszczany w lokalizacjach, gdzie ma być wykonany pomiar. W przypadku tego sensora, mierzenie konkretnego narzędzia lub komponentu może być uproszczone przez względu na brak konieczności wyciągania i ponownego montażu. ToolCobot

sprawdza je bezpośrednio w obrabiarce, dzięki czemu można na początkowym etapie wykryć rozrastające się defekty oraz ustalić odchyłki tolerancji wykonywanych detali, potwierdzając zgodność z wymaganiami lub zapobiegając produkcji wadliwych produktów [12]. Model Cobota został przedstawiony na rys. 3, a w tabeli 3 specyfikacja techniczna Alicona Cobot.



Rysunek 3. Alicona Cobot [6]

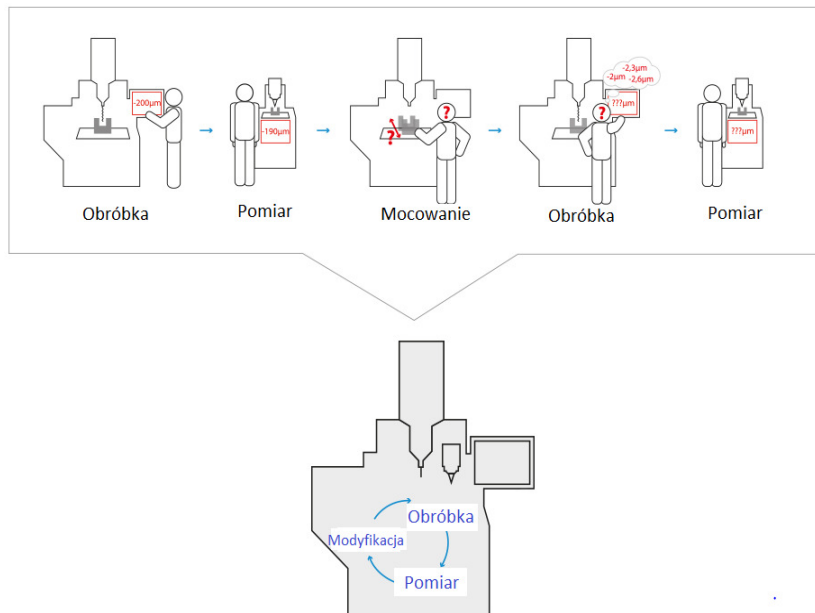
Tabela 3. Specyfikacja techniczna Alicona Cobota.[6]

Zasięg sensora:	promień 1300 mm
Osie:	robot 6-osiowy
Powtarzalność:	+/-0,1 mm
Sensor IF-SensorR25	zakres pomiaru w osi Z: 26 mm
	oświetlenie LED 24 segmenty
	wymiary: 126 x 153 x 202 mm
Masa:	30 kg
Wyświetlacz:	Wbudowany ekran dotykowy do wyświetlania podglądu na żywo oraz widoku 3D wyniku pomiarowego

3. Zastosowanie rozwiązań w przemyśle

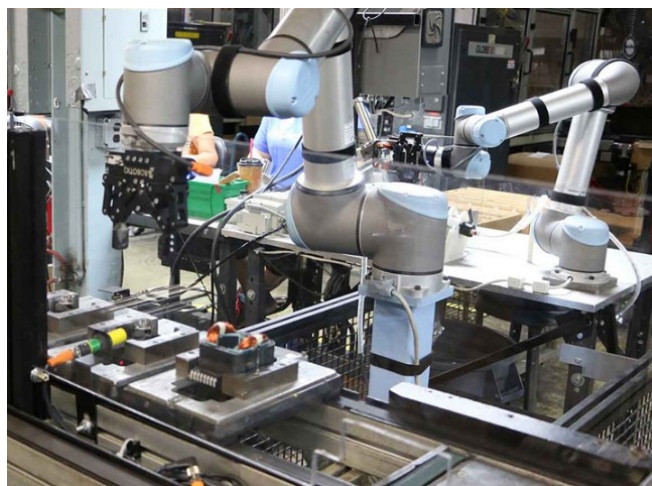
Zastosowanie optycznych przyrządów pomiarowych w przemyśle jest niezliczone. Mogą być one używane zarówno w laboratoriach, jak i na produkcji. Odczyt parametrów powierzchni i kształtu badanych obiektów ma znaczny udział w kalibracji obrabiarek czy analizie przyczyn powstałych w procesie wad. Badaniu mogą być poddane odpowiednie parametry chropowatości wytworzonych w procesie produkcyjnym detali. Ich kontrola wraz z upływem kolejnych lat zmienia się i jest modernizowana poprzez wprowadzanie nowoczesnych przyrządów. Celem zmian jest niewątpliwie uproszczenie produkcji, wprowadzaniem cyfryzacji i najnowszych trendów technologicznych. Obecnie dąży się do tworzenia zamkniętych systemów produkcyjnych, w których maszyny i urządzenia będą się komunikowały za pomocą czujników, eliminując udział czynnika ludzkiego w procesie. Kiedyś sensor pomiarowy mógł znajdować się obok linii produkcyjnej, gdzie operator maszyny w celu sprawdzenia konkretnych parametrów komponentów, wybierał kolejne sztuki z linii produkcyjnej i dokładnie sprawdzał za pomocą różnych sprawdzianów lub

zanosił je do laboratorium, gdzie dokonywane były szczegółowe pomiary w celu otrzymania parametrów niewidocznych nieuzbrojonym okiem. Biorąc pod uwagę wszelkie okoliczności, wyniki pomiarów nie były uzyskiwane bezpośrednio i w natychmiastowym tempie. Wpływało to znacząco na cały system produkcyjny, gdzie badana była próbka w oparciu o statystyczną kontrolę procesu z całej partii, a tym samym uzyskiwano wyniki przykładowo co piętnastego badanego detalu, a nie większości. Tym samym obniżała się efektywność produkcji, co zazwyczaj znajdowało odzwierciedlenie się w czasie wykonywania zleceń oraz kosztach produkcyjnych. W nowoczesnych przedsiębiorstwach, których celem jest podążanie za najnowszymi trendami, rola operatora została sprowadzona jedynie do ogólnej kontroli nad zautomatyzowanym procesem czy wymianą narzędzi. Jak przystało na Przemysł 4.0 system produkcyjny opiera się w całości na zautomatyzowanym procesie, który przypomina zamkniętą pętlę produkcyjną. Jednak jest to pojęcie znacznie szersze, ponieważ procesy pomiarowe mające do tej pory miejsce w pomieszczeniu pomiarowym, są integrowane w bieżące systemy planowania i sterowania produkcją, w tym systemy ERP. Wszystkie zaangażowane systemy oddziałują w zamkniętej pętli produkcyjnej, przez co każdy z nich może w dowolnym momencie produkcji interweniować. Warto zauważyć, że również informacje i parametry pomiarowe produkcji przekazywane w łańcuchu produkcyjnym pozwalają na elastyczne planowanie i zarządzanie produkcją, dążąc do efektywnego zarządzania przedsiębiorstwem [4]. Stosując tę metodę można zapewnić wydajność procesu bazując na integracji wiedzy eksperckiej, obróbki skrawaniem oraz metrologii wykonanych detali. Zastosowanie technologii pomiarowej bazuje na zoptymalizowanej komunikacji i sieci interfejsów, zamkniętych w pętli produkcyjnej. Zintegrowana metoda pomiarowa ma możliwość weryfikacji tolerancji wymiarowych czy jakości powierzchni na początkowym fragmencie procesu produkcyjnego. W momencie wykrycia uszkodzonego komponentu, informacja jest dostarczana do obwodu produkcyjnego, a tam zmiany dokonywane są automatycznie. Warunkiem koniecznym jest zintegrowanie czujników pomiarowych z automatyczną linią produkcyjną. W praktyce oznacza ona rewolucyjną technologię produkcji polegającą na scaleniu w jednym narzędziu wszystkich niezbędnych kroków, jakie operator musiałby wykonać, aby proces był kompletnie zrealizowany [6]. Rys. 4 ilustruje schemat przedstawiający działanie wycinka zamkniętej pętli produkcyjnej. Warto zwrócić uwagę, że przy pomiarach optycznych badane komponenty są stale mierzone i sprawdzane podczas produkcji. Realistycznie mogłoby to wyglądać w następujący sposób. Wytworzone wyroby przemieszczają się po transporterze, gdzie w kluczowym miejscu jest zamontowany optyczny przyrząd pomiarowy. Mógłby to być przykładowo IF-SensorR25, które zwykle jest zintegrowany z automatyczną linią produkcyjną, będąc równocześnie gwarancją wysokiej rozdzielczości, powtarzalności oraz identyfikowalności uzyskanych wyników w zakresie mikrometrów. W połączeniu z współpracującym 6-osiowym robotem, sensor działa na zasadzie systemu, którego zadaniem jest zapewnienie kontroli jakości i pomiaru niewidocznych powierzchni dużych elementów. Sensor pomiarowy automatycznie zbiera informacje i umieszcza je w mikroprocesorze, w jaki każdy detal jest wyposażony. Rejestruje każde odchylenie od wartości docelowych, które wpływa na parametry obróbki równocześnie przesyłając dane bezpośrednio do maszyny, która wprowadza automatycznie zmiany, modyfikując parametry obróbki.



Rysunek 4. Schemat fragmentu zamkniętej pętli produkcyjnej [6]

Komponenty przemieszczają się wzdłuż zautomatyzowanej linii do momentu, gdzie zamocowany jest czujnik kontrolny, który odczytuje zapisaną wcześniej informację, nadaną przez przyrząd pomiarowy. Jeżeli detal jest zgodny z wymaganiami zostaje na transporterze i przemieszcza się zgodnie z kierunkiem przepływu zgodnych komponentów. Natomiast w chwili odczytu informacji o niezgodności, ramię robota umieszcza wadliwy detal w pojemniku na braki [8]. Na rys. 5 zaprezentowane zostało fragment zautomatyzowanej linii produkcyjnej, na której dokonywany jest pomiar optycznym przyrządem pomiarowym.



Rysunek 5. Fragment linii produkcyjnej z zastosowanym sensorem pomiarowym [7]

Integracja czujnika 3D o wysokiej rozdzielczości, umożliwia maszynie zwiększenie dokładności czterokrotnie zawdzięczając to niezależnemu sterowaniu i optymalizacji. Zamknięta pętla produkcyjna nie jest wyłącznie przeznaczona do automatyzacji zapewnienia jakości, ale poprzez wprowadzenie zwiększonej dokładności obróbki podwyższa efektywność funkcjonowania systemu produkcyjnego [4].

4. Podsumowanie

Optyczne przyrządy pomiarowe mają ogromne znaczenie dla systemu produkcyjnego ze względu na dające możliwości oraz mogące przynieść korzyści. Główną zaletą stosowania optycznych przyrządów pomiarowych jest zwiększenie produkcji, poprzez obniżenie czasu kontroli i jej kosztów, ponieważ wykonywanie wszystkich pomiarów zajmuje kilka sekund. Badaniu mogą być poddane, np.: powierzchnie, krawędzie, kąty, wszystkich materiałów z wyjątkiem przezroczystych, co daje duży zakres pomiarowy. Kolejną plusem jest wyższa efektywność dla mniejszych serii wyrobów, gdzie przyrząd bada wątpliwe elementy od jednej części do następnej, pozwalając tym samym na szybkie naprawy maszyn. Niewątpliwą korzyścią jest również zmniejszanie się ilości wadliwych części i przestojów maszyn, z tego względu, że pomaga obsłudze w fazie zmiany narzędzi oraz produkcji. Ilość braków jest regulowana za pomocą sensorów, które w fragmencie pętli produkcyjnej, po dokonaniu pomiaru przesyłają dane do maszyny, a ona automatycznie dokonuje kalibracji parametrów, aby wymiary detali znajdowały się w odpowiednich tolerancjach minimalizując ilość niezgodnych wyrobów. Bezspornie są one zaprojektowane do systemów produkcyjnych, a ich obsługa jest prosta (np.: w zamocowaniu elementów) oraz nie wymaga po właściwym ustawieniu ingerencji operatora [10]. Systemy zamontowane w optycznych przyrządach pomiarowych cechują się niebywałą jakością przetwarzania informacji, przez możliwość automatycznego zapisu wyników pomiaru do protokołów, statystyk i certyfikatów, co umożliwia zaplanowanie produkcji, a tym samym uzyskiwanie stabilnego procesu produkcyjnego. Wszystkie te zalety sprawiają, że produkcja zmierza do całkowitego sterowania komputerowo systemem produkcyjnym, który sam ze sobą komunikuje się za pomocą interfejsów, jest w pełni zautomatyzowany i ma na celu wytwarzanie produktów o najwyższej jakości w zamkniętej pętli produkcyjnej. Przedsiębiorstwo tym samym zmierza niewielkimi krokami do tworzenia Inteligentnej Produkcji (z ang. Smart Manufacturing), która jest zawarta w ramach Przemysłu 4.0 będącego gwarancją najwyższego poziomu rozwoju przedsiębiorstwa i wykorzystania najnowszych technologii w systemie produkcyjnym.

LITERATURA

1. PRANTL M., SCHERER S., Measuring systems technical specifications, Alicona, edition 8 (2018), str.104-107.
2. ITA, Optyczne przyrządy do pomiaru nierówności i kształtu, Katalog Produktów i Usług, edycja 5 (2018), str. 27.
3. Serwis internetowy CSI, <https://www.csi.pl/aktualnosci/222-trzy-rzeczy-ktore-musisz-wiedziec-o-przemysle-4-0>, 17.07.2018r.

4. Serwis internetowy AZO materials,
<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=13890>, 19.07.2018r.
5. Serwis internetowy Metoptix, <https://www.metoptix.com.au/products/form-and-roughness-measurement/form-and-roughness-measurement/>, 17.07.2018r.
6. Serwis internetowy Alicona Manufacturing:
<http://www.aliconamanufacturing.com/home/closed-loop-manufacturing.html>,
19.07.2018r.
7. Serwis internetowy Universal robots, <https://www.universal-robots.com>,
19.07.2018r.
8. Serwis internetowy Alicona, <https://www.alicon.com/products/if-sensorr25/>,
19.07.2018r.
9. Serwis internetowy ITA Polska,: https://www.ita-polska.com.pl/produkt/413/przenosne_optyczne_urzadzenie_do_pomiaru_nierownosci_powierzchni_2d_i_3d_if_portablerl/1/systemy_pomiarowe/9/chropowatosc_i_kontur/245/optyczne_pomiary_nierownosci_i_ksztaltu.html,19.07.2018r.
10. Serwis internetowy ITA Polska,: https://www.ita-polska.com.pl/produkty/1/systemy_pomiarowe/14/optyczne_maszyzny_pomiarowe.html, 19.07.2018r.
11. Serwis internetowy ITA Polska, https://www.ita-polska.com.pl/produkt/289/optyczne_urzadzenie_do_pomiaru_chropowatosci_i_topografii_powierzchni_infinitefocussl/1/systemy_pomiarowe/9/chropowatosc_i_kontur/245/optyczne_pomiary_nierownosci_i_ksztaltu.html, 17.07.2018r.
12. Serwis internetowy ITA Polska,
https://www.itapolska.com.pl/produkt/412/zrobotyzowane_stanowisko_pomiarowe_alicona_cobot/1/systemy_pomiarowe/9/chropowatosc_i_kontur/245/optyczne_pomiary_nierownosci_i_ksztaltu.html, 18.07.2018r.