

dr inż. JAN TRYBURCY

mgr inż. EWA FLEJTA

Przemysłowy Instytut Automatyki  
i Pomiarów MERA-PIAP

Warszawa

## ANALIZA MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA ROBOTÓW PRZEMYSŁOWYCH DO KONTROLI WYMIARÓW

*W artykule przedstawiono problemy kontroli wymiarów w nowoczesnych systemach produkcyjnych. Porównano tradycyjne metody pomiarowe z nowymi, wykorzystującymi roboty przemysłowe wyposażone w systemy pomiarowe współpracujące z komputerem.*

### 1. Problemy kontroli wymiarów w nowoczesnych systemach produkcyjnych

Rozwój technik wytwarzania stosowanych w przemyśle maszynowym do produkcji części o większych wymiarach następuje w kierunku wzrostu wydajności i zapewnienia elastyczności produkcji. Urządzenia produkcyjne, takie jak obrabiarki i centra obróbkowe sterowane numerycznie, czy zrobotyzowane linie montażu karoserii samochodowych, umożliwiają uzyskanie dużej wydajności produkcji, przy możliwości prostej i szybkiej zmiany wyrobu poprzez zmianę oprogramowania urządzeń sterujących. Tendencji rozwoju technik wytwarzania towarzyszy nierozłącznie wzrost świadomości o konieczności podwyższenia wymagań jakościowych, które z kolei zapewniają ich realizację oraz zmuszają do racjonalizacji metod badań jakości. Jest to motywem zmian metod i urządzeń kontroli jakości. Własności urządzeń produkcyjnych implikują zasadnicze cechy urządzeń pomiarowych — szybkość działania i elastyczność. Tymi cechami charakteryzują się coraz szerzej stosowane wielowspółrzędnościowe urządzenia pomiarowe.

Nowoczesną formą zastosowania wielowspółrzędnościowego urządzenia pomiarowego jest jego zintegrowanie z systemem produkcyjnym. Integracja ta jest uwarunkowana przesłankami ekonomicznymi oraz technicznymi, jak przepływ materiału, przepływ informacji układów sterujących i pomiarowych, wpływ otoczenia na wynik pomiaru. Zastosowanie w produkcji części o większych wymiarach stawia wymagania co do manipulacji nimi względem urządzenia.

Integracja urządzenia pomiarowego z systemem produkcyjnym pozwala realizować dodatkowe funkcje sterujące produkcją dla zapewnienia wzrostu jakości, oraz wpływające na przepływ materiału. Zależnie od wymaganego stopnia kontroli oraz oceny wyników pomiaru części mogą być dzielone na „dobre” „złe” i „przeznaczone do poprawy”. Jeżeli jest znana zależność pomiędzy określonymi wynikami pomiaru i geometrycznymi parametrami czynności technologicznych, to możliwa jest celowa automatyczna korekta obrabiarek, czy nastaw narzędzi dla zapewnienia właściwych wyników obróbki (analogicznie do znanej kontroli czynnej). Możliwe jest również śledzenie tendencji zmian wyników pomiarów w celu wprowadzania korekcy zanim zostaną przekroczone dopuszczalne tolerancje.

Proces ten może być rozbudowany o funkcję samoczynnego określania stopnia kontroli poszczególnych parametrów w zależności od wyników pomiarów i tendencji ich zmian. Oczywiście średni czas dokonywania pomiarów nie powinien być dłuższy od czasu wytwarzania.

Typowe części i zespoły z produkcji części o większych rozmiarach pochodzą z asortymentu związane go z wytwarzaniem środków transportowych, takich jak samochody, pojazdy szynowe, samoloty, okręty, jak również z przemysłem maszyn rolniczych, obrabiarek, maszyn budowlanych i z techniką woj skową. Jakościowo można podzielić je na dwie grupy. Pierwsza, to części i zespoły o mniejszych wy maganiach dokładności wykonania, lecz dużych rozmiarach ( $> 1$  m), często montowane poprzez spa wanie, zgrzewanie punktowe, skręcanie, nitowanie, klejenie (przykładem jest karoseria samochodu, ra ma motocykla, elementy płatuwa, samochodu, obudowa tylnego mostu samochodu ciężarowego). Druga grupa to części i zespoły o wysokich wymaganiach dokładności wykonania, zasadniczo mniej szych rozmiarach, wykonywane poprzez obróbkę mechaniczną zwłaszcza na obrabiarkach NC (blok silnika spalinowego, obudowy przekładni, korpusy maszyn i urządzeń).

Należy zwrócić uwagę na fakt, że w kontroli wymiarów nie jest istotne uzyskanie wyników w postaci bezwzględnej wartości wymiarów mierzonych. Ważniejsze jest zmierzenie odchyłki rzeczywistego po łożenia określonego punktu od wartości zadanej położenia tego punktu. Wynik ten jest bezpośrednią informacją pozwalającą na ocenę wykonania i może być wykorzystany w celach korekcyjnych.

## 2. Własności wielowspółrzędnościowych urządzeń pomiarowych i możliwości ich integracji w syste mach produkcyjnych

Do celów kontroli wymiarów w interesującej nas klasie przedmiotów wprowadzane są najczęściej trój współrzędnościowe urządzenia pomiarowe. Pracują one w prostokątnym układzie współrzędności o wym przy konstrukcji bramowej lub wysięgnikowej. Głowica pomiarowa może być prowadzona ręcz nie, lub napędzana mechanicznie przy sterowaniu ręcznym lub automatycznym (NC). Należy przewi dzieć mechaniczny napęd głowicy pomiarowej sterowany automatycznie. W przypadku opisanym [8] czas pomiaru przy sterowaniu automatycznym był prawie trzykrotnie krótszy niż przy sterowaniu ręcz nym.

Budowa tradycyjnych urządzeń pomiarowych oparta jest zasadniczo na wymaganiach stawianych urzą dzeniom do jednostkowego sprawdzania zgodności wymiarów elementów, zwłaszcza modelowych lub prototypowych z dokumentacją konstrukcyjną. Dlatego są to raczej aparaty do mierzenia, a nie do spraw dzania czy do kontroli. Dopiero wprowadzenie sterowania numerycznego pozwoliło wprowadzić urzą dzenie pomiarowe bezpośrednio do procesu produkcji.

Niektóre dane techniczne dużych trójwspółrzędnościowych urządzeń pomiarowych są przedstawione w tablicy 1.

Nawet pobieżna analiza powyższych danych pozwala stwierdzić nienajlepszą przydatność przedstawi onych urządzeń pomiarowych do realizacji zadań postawionych w p.1.

Konwencjonalne trójwspółrzędnościowe urządzenia pomiarowe posiadają zbyt małe prędkości pomia ru, aby możliwa była ich praca w linii produkcyjnej z dużym stopniem kontroli. Wymagania tych urzą dzeń, co do stabilności temperatury, braków wibracji i wstrząsów oraz zapylenia i szkodliwej atmosfery uniemożliwiają zintegrowanie konwencjonalnych urządzeń pomiarowych w surowych warunkach warsztatowych. Również konstrukcja bramowa większości urządzeń pomiarowych utrudnia ich wyko rzystanie w liniach produkcyjnych. Konwencjonalne urządzenia pomiarowe są dostosowane do mie rzenia przedmiotów mocowanych do ich stołów. Utrudnione jest więc manipulowanie i transport czę ści w przypadku integracji tych urządzeń w linii produkcyjnej. Wyjątkiem jest tu urządzenie pomiarowe S.r.C.Linea o konstrukcji wysięgowej przeznaczone zwłaszcza do pomiarów dużych elementów jak obudowy przekładni, wytłoczki czy całe karoserie samochodowe [9].

Tablica 1

| Producent     | Typ           | Budowa | Zakres pomiarów (mm) |      |      | Prędkość (m/s) | Dokładność (mm) | Sterowanie |
|---------------|---------------|--------|----------------------|------|------|----------------|-----------------|------------|
|               |               |        | X                    | Y    | Z    |                |                 |            |
| Bendix        | 116B          | Wysięg | 2700                 | 1400 | 1900 | —              | $\pm 0,0125$    | PDP-8/M    |
| Brown & Sharp | Validator 300 | brama  | 1200                 | 1800 | 900  | —              | $\pm 0,038$     | PDP-8      |
| Johansson     | Cordimet 7000 | —      | 700                  | 450  | 300  | —              | $\pm 0,0025$    | ręczne     |
| Mitutoyo      | A 21          | brama  | 700                  | 500  | 400  | 0,3            | $\pm 0,0065$    | NC         |
| Sartorius     | B 221         | brama  | 760                  | 500  | 450  | —              | $\pm 0,009$     | ręczne     |
| Leitz         | WPM 12106     | brama  | 1200                 | 1000 | 600  | —              | $\pm 0,004$     | WANG 2200  |
| Leitz         | PMM 12106     | brama  | 1200                 | 1000 | 600  | 0,05           | $\pm 0,00275$   | WANG 2200  |
| Ferranti      | 760 C         | brama  | 760                  | 505  | 457  | —              | $\pm 0,005$     | ręczne     |
| S.r.C.Lines   |               | wysięg |                      |      |      | —              | $\pm 0,04$      | —          |

## U w a g a

Zgodnie z obecnie obowiązującymi zaleceniami niektórzy producenci określają własności metrologiczne urządzeń jako:

$$V_{95} = (a + \frac{L}{b}) \mu m$$

gdzie:  $V_{95}$  — niepewność pomiaru długości w  $t = 20 \pm 0,5^\circ C$  (przynajmniej 95% wszystkich odchyłek z prawdopodobieństwem 99% jest mniejszych od  $V_{95}$ ),  $a, b$  — współczynniki charakterystyczne dla urządzenia,  $L$  — długość mierzona.

Do celów porównawczych wartość dokładności obliczono z  $V_{95}$  dla  $L$  równego największemu mierzonemu wymiarowi.

Ze względu na powyższe niedoskonałości niektóre firmy rozpoczynają produkcję nowych urządzeń pomiarowych przeznaczonych do wykorzystania bezpośrednio w warunkach produkcyjnych, przy konkurencyjnej prędkości pomiarów. Na wystawie 4 EMO w Hannoverze [10] przedstawiono nową generację tzw. robotów pomiarowych.

Firma DEA Sp.A pokazała robota pomiarowego Bravo AA02CNC o zakresie pomiarowym 2500 x 300 x 300 mm, prędkości pomiarów 0,55 m/s, dokładności  $\pm 0,025$  mm. Ruchy są sterowane mikroprocesorem INTEL 8085, do obróbki danych z pomiarów służy komputer PDP 11/23.

Urządzenie to nadaje się szczególnie do integracji w proces produkcyjny. Przy automatycznej manipulacji i transporcie części dwa takie roboty pomiarowe mogą pracować równolegle jako gniazdo pomiarowe.

Również zbliżone do warunków produkcji jest urządzenie PAG HP334 f—my Imperial Riv S.p.A. Szybkość mierzenia wynosi 0,33 m/s, zakres pomiarowy w kierunku osi X i Y—350 mm, część mierzona może być przesuwana w kierunku Z lub obracana na stole obrotowym. Osobliwością urządzenia jest system automatycznej zmiany czujnika pomiarowego z magazynkiem na 6 czujników. Urządzenie jest osłonięte pokrywą z wymuszoną wentylacją i filtrami powietrza. Dokładność  $\pm 0,003$  mm.

Robot pomiarowy AMT — firmy Seiv przy konstrukcji wysięgnikowej i oddzieleniu stołu od części pomiarowej również nadaje się do zastosowania w liniach produkcyjnych i elastycznych systemach montażowych. Prędkość — 0,33 m/s.

Autor publikacji [10] stwierdził, że sprzężenie pomiędzy gniazdem pomiarowym, a obrabiarką znajduje się nadal w stadium rozwoju. Należy kontynuować prace w zakresie automatycznej zmiany palet, zmiany czujnika i sprzężenia zwrotnego danych korekcyjnych do obrabiarki.

### 3. Zastosowanie robotów przemysłowych jako odmienne podejście do problemu kontroli wymiarów w systemach produkcyjnych

Własności dużych wielowspółrzędnościowych urządzeń pomiarowych, jak opisano w p. 2, stwarzają problemy integracji tych urządzeń w liniach produkcyjnych. Problemy integracji dotyczą zasadniczo części mechanicznej urządzenia pomiarowego. Dotyczą one zarówno warunków środowiskowych hali fabrycznych (zapylenie, temperatura, wióry, chłodziwa), jak i możliwości połączenia z przepływem materiału, które wymaga innej niż tradycyjna konstrukcji urządzenia.

Uwzględnienie powyższych przesłanek wymaga rezygnacji z wysokich parametrów dokładności i powtarzalności, które uzyskiwane były m.in. dzięki stałej temperaturze klimatyzowanego pomieszczenia pracy urządzenia pomiarowego, czy dzięki nadzwyczaj sztywnej konstrukcji.

Obserwując tendencję budowy nowoczesnych robotów pomiarowych (p. 2) można stwierdzić, że robot przemysłowy o parametrach na poziomie aktualnej techniki światowej wyposażony w odpowiedni układ pomiarowy oraz w komputer do sterowania pomiarami i przetwarzania wyników pomiarów stanowi interesującą alternatywę rozwiązania postawionego problemu.

Zastosowanie tego rozwiązania daje szereg korzyści:

- roboty przemysłowe są dostosowane do pracy w warunkach środowiskowych pomieszczeń produkcyjnych,
- szybkość ruchów robotów jest nawet 10-krotnie większa od prędkości ruchów tradycyjnych urządzeń pomiarowych, a 3–4-krotnie większa od prędkości robotów pomiarowych nowych generacji,
- konstrukcyjna integracja robotów z torami przepływu materiału nie stanowi problemu,
- możliwe jest zastosowanie do celów pomiarowych robotów tego samego typu jak roboty stosowane w technologicznej części systemu produkcyjnego (np. roboty spawalnicze przy produkcji karoserii), co ułatwia utrzymanie ruchu,
- obszar pracy robota jest dostatecznie duży do realizacji większości możliwych zadań,
- robot przemysłowy jest urządzeniem o wysokim stopniu elastyczności, dostosowanie urządzenia do kontroli wymiarów różnych urządzeń jest proste i szybkie.

Zastosowanie robota przemysłowego do celów kontroli wymiarów w systemie produkcyjnym posiada również wady w porównaniu z tradycyjnymi wielowspółrzędnościowymi urządzeniami pomiarowymi:

- parametry związane z dokładnością pozycjonowania są gorsze i należy wprowadzić pewne dodatkowe ograniczenia sposobu pracy robota, aby je poprawić,
- obciążenie robota powinno być możliwie małe,
- robot powinien pracować w warunkach równowagi termicznej, co jest możliwe do osiągnięcia po wielu godzinach działania robota.

Według podanej literatury można osiągnąć dokładność  $\pm 0,13$  mm dla robota Cincinnati Milacion, czy mniej niż 0,1 mm dla robotów ASEA.

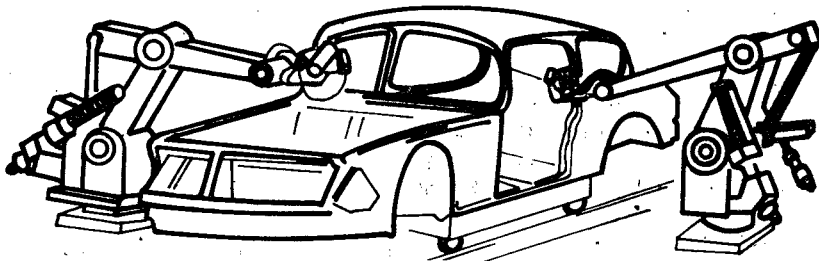
Pionierskim zastosowaniem robotów przemysłowych do kontroli wymiarów jest linia czterech robotów użytych przez amerykańskiego producenta (Ford Motor Company, Wixan/MI., U.S.A) do pomiaru karoserii samochodów osobowych w roku 1979 [1]. Czujnik pomiarowy jest prowadzony przez chwytak robota, a elektryczny przetwornik przemieszczenia jest połączony ze wzmacniaczem pomiarowym. Robot jest sterowany swoim układem sterowania, maszyna cyfrowa (Hewlett-Packard) z drukarką służy do obróbki wyników pomiarów. Dostosowanie do zmiany typu mierzonej karoserii polega wyłącznie na wywołaniu innego programu.

Nominalna powtarzalność robota wynosi 1,3 mm. Ponieważ czujnik pomiarowy jest lekki w porównaniu z nominalnym obciążeniem, robot dostosowany do celów pomiarowych osiąga powtarzalność

$\pm 0,13$  mm. Możliwe jest to po całkowitym uspokojeniu układu kinematycznego robota. Dla uzyskania dużej powtarzalności pozycjonowania, konieczne jest uzyskanie przez system stabilnej temperatury pracy, co następuje po 8 do 9 godzinach po uruchomieniu robota. Dla zachowania stabilności temperatury roboty są w ruchu przez cały tydzień roboczy.

Roboty mierzą odchyłki otworów drzwi, szyby przedniej, szyby tylnej, pokryw silnika, pokryw bagażnika i innych istotnych otworów karoserii. Proces pomiaru trwa 5 minut. Upřednio stosowanymi metodami dwóch pracowników mogło zmierzyć dwie do trzech karoserii podczas zmiany. Przy produkcji setek karoserii na zmianę była możliwa jedynie kontrola wyrwykowa. W tej sytuacji wiele karoserii mogło być wykonanych zanim stwierdzono przekroczenia dopuszczalnych tolerancji. Znacznie częstsze próbkowanie przy zautomatyzowanej kontroli pozwala na oddziaływanie na urządzenia produkcyjne już wtedy, gdy wystąpi skłonność do zmiany wartości wymiaru w kierunku granicy tolerancji.

W roku 1981 General Motors Corp. w Lordstown (OH. USA) włączył roboty pomiarowe do linii produkcyjnej [2]. Przy wydajności 50 karoserii na godzinę karoseria może być unieruchomiona na 30 sek. podczas których dwa roboty IRb-60 (ASEA) dokonują pomiarów z obu stron karoserii (rys. 1).



Rys. 1. Kontrola wymiarów karoserii samochodu osobowego za pomocą dwóch robotów IRb-60

Pozostałe 42 sekundy są niezbędne do umieszczenia karoserii na stanowisku pomiarowym i włączenia w linię produkcyjną. Po każdej stronie jest sprawdzane przeciętnie po 20 punktów pomiarowych, przemieszczenie w otworach okien i pokrywach. Każdy robot posługuje się dwiema optoelektrycznymi głowicami pomiarowymi (szczegółowy opis w p.4) dla zebrania możliwie wielu wyników pomiarów w niewielkich przesunięciach. Dokładność urządzeń pomiarowych jest większa od powtarzalności robota, która, podobnie jak w przypadku opisanym poprzednio, jest znacznie lepsza od nominalnej, ponieważ obciążenie robota wynosi tylko 4 kg.

Centralny komputer PDP 11/44 porównuje wartości mierzone z czterech głowic z wartościami zadanymi, komputer generuje podprogram sterujący ruchami robota, sprawdza również zgodność typu karoserii oraz prawidłowość pozycjonowania. Zapewnia także bezkolizyjność ruchów obu robotów. Roboty są synchronizowane za pomocą umieszczonych na podłodze punktów odniesienia.

System ROBI (ROBOT – Inspection) uzupełnia linię produkcji karoserii złożoną z 36 robotów spawalniczych. System ten ma być wkrótce uruchomiony w zakładach Southgate (CA USA). W [3] opisano zastosowanie robota przemysłowego do badania trójwymiarowych elementów płatu wykonanych z laminatu. W tym przypadku badanie nie jest kontrolą wymiarów, lecz ma na celu wykrycie węgla i rozwarstwień metodą defektoskopii ultradźwiękowej. Jest to przykładem rozszerzenia idei wykorzystania robotów przemysłowych do pomiarów. Robot przemysłowy (Cincinnati Milacron) przemieszcza sondę ultradźwiękową nad badanym elementem w sekwencji ruchów, utrzymywana jest w sposób ciągły prostopadłość osi sondy do powierzchni części badanej. W podobny sposób można sprawdzać np. grubość powłoki lakierniczej czy powłok antykorozyjnych karoserii samochodowej. Również opisane w [4]

zastosowanie robota do badania szczelności karoserii samochodu osobowego stanowi ciekawą odmianę opisanej zasady. Dotychczas hermetyczność samochodu była sprawdzana przez opryskiwanie wybranych egzemplarzy wodą i oględziny wnętrza. Nie mogło to wyeliminować nieszczelnych samochodów i nie sygnalizowało konieczności wprowadzenia korekty w montażu. Obecnie do kontroli stosowane są dwa roboty Trallfa z czujnikami helu. Do wnętrza karoserii wprowadzone zostaje powietrze z pewną ilością helu. Po zsynchronizowaniu roboty przemieszczają się jednocześnie z karoserią na przenośniku, czujniki są przesuwane wokół okien, drzwi, połączeń i uszczelnień. Podczas 60 m ruchu przenośnika, czujniki znajdują się w odległości 25 mm od powierzchni karoserii. W tym czasie zbiera się 400 informacji o miejscach nieszczelności i intensywności wypływu. Podłoga nie jest sprawdzana, wymagałoby to wprowadzenia trzeciego robota do kanału pod przenośnikiem. Przewiduje się analizę trendu procesu pojawiania się defektów w celu jednoczesnego jego kompensowania.

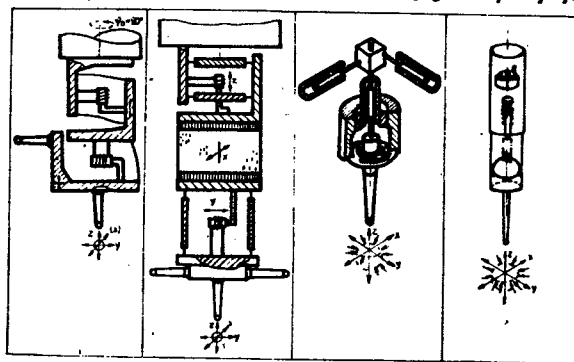
#### 4. Układy pomiarowe

W zależności od stawianych wymagań mogą być stosowane rozmaite układy pomiarowe. Można je podzielić na układy z elementem pomiarowym bezdotykowym i z elementem pomiarowym dotykowym na układy z dyskretnie działającym czujnikiem położenia i z przetwornikiem położenia o pewnym zakresie pomiarowym.

Najprostsza wersja to zastosowanie dyskretnych czujników położenia dotykowych — mikrowyłączników o małej strefie przełączania. Po osiągnięciu przez robot przemysłowy zadanego położenia stan czujnika określi obecność w tym położeniu odpowiedniego fragmentu części mierzonej lub jej brak. Sposób taki nadaje się najlepiej do sprawdzania wykonania niewielkich otworów w częściach wykrawanych z blachy, odlewach ciśnieniowych i elementach obrabianych na urządzeniach NC. Podobny stopień skomplikowania i zakres zastosowań mają bezdotkowe czujniki zbliżeniowe np. optoelektroniczne, indukcyjne itp. Zaletą jest tu zabezpieczenie przed uszkodzeniem, wadą — niewielka dokładność.

Układy z dyskretnymi czujnikami położenia nie pozwalają na rozwinięcie form zastosowania robotów przemysłowych do pomiarów, ponieważ niemożliwe jest obserwowanie tendencji zmian wymiarów. Dlatego też układy pomiarowe z przetwornikami pomiarowymi uwypuklają korzyści wynikające ze stosowania systemów robotowych do kontroli wymiarów.

Układy pomiarowe z dotykowym przetwornikiem położenia — mogą być tu zastosowane przetworniki używane w wielowspółrzędnościowych urządzeniach pomiarowych. Przetworniki takie umożliwiają pomiar w trzech współrzędnych. Typowe przykłady konstrukcji głowicy trójwymiarowej przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Konstrukcja głowicy trójwymiarowej

Prowadzenie trzpienia pomiarowego zapewnia układ równoległoboków zbudowanych ze sprężyn płaskich, lub sprężyna membranowa. Składowe ruchów w trzech współrzędnych są zamieniane na odpowiednie sygnały w przetwornikach indukcyjnych. Głowice mogą być wyposażone w wiele trzpieni pomiarowych, co upraszcza ruchy urządzenia napędzającego. -

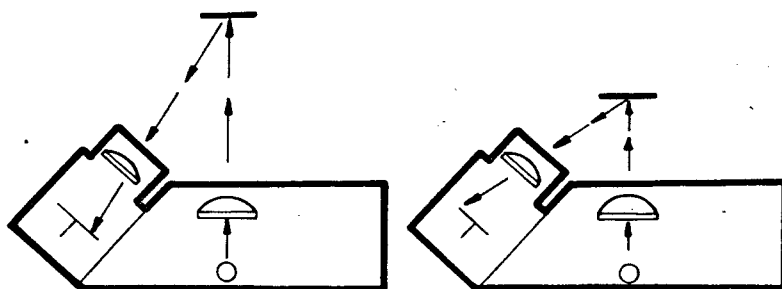
Układy pomiarowe z bezdotykowym przetwornikiem położenia — najbardziej złożone i uniwersalne w zastosowaniu układy zostaną opisane na przykładzie optoelektronicznego systemu Optocator f—my SELCOM Selective Electronic [5, 6] i indukcyjnego systemu szeregów KD f—my KAMAN Sciences Corporation [7]. System Optocator jest przeznaczony do bezdotkowego pomiaru grubości, odległości, płaskości lub innych błędów kształtu. Ważnym obszarem zastosowań jest metalurgia — pomiary wyrobów, pomiar poziomu płynnej stali itp.

System pomiarowy złożony jest z trzech elementów: źródła światła, odbiornika i procesora. Źródłem światła jest modulowana dioda LED lub dioda laserowa, pracujące z częstotliwością modulacji 16 kHz w świetle podczerwonym. Skupiona wiązka jest skierowana na obiekt pomiaru i odbija się od niego. Część wiązki odbitej dociera do odbiornika. Zmiana położenia mierzonej powierzchni powoduje zmianę położenia zogniskowanego obrazu na detektorze — linijce fotodiod. W ten sposób Optocator określa położenie punktu odbijającego światło, a więc odległość do powierzchni kontrolowanej. Źródło światła jest regulowane w celu utrzymania stałego natężenia na powierzchni detektora. Pozwala to na szerokie zmiany współczynnika odbicia powierzchni — faktury i koloru, bez wpływu na wyniki pomiaru. System jest nieczuły na wpływy światła z otoczenia.

W skład odbiornika wchodzi wzmacniacz elektroniczny wytwarzający sygnał cyfrowy w postaci szeregowej.

Procesor stanowiący wyposażenie systemu Optocator odbiera sygnał z odbiornika i przetwarza go na sygnał mierzony w postaci analogowej (0–5VDC) i cyfrowy TTL kompatybilny (16-bitowy, równoległy). Procesor umożliwia wyświetlanie wyników pomiarów w postaci cyfrowej w jednostkach metrycznych lub angielskich. Jeżeli konieczne jest monitorowanie przekroczenia tolerancji, wewnętrzny mikroprocesor w sposób ciągły porównuje mierzone zmienne z zadanymi granicami. Ponadto możliwe jest „wczesne ostrzeganie” — sygnalizowanie, że mierzone zmienne przekraczają zadaną wartość części tolerancji. Nominalna wartość zadana, minimalna i maksymalna granica tolerancji i zadana część tolerancji wczesnego ostrzegania jest nastawiana za pomocą przełączników na obudowie procesora.

Zasada działania systemu Optocator jest przedstawiona na rys. 3. Systemy Optocator są stosowane jako wyposażenie robotów IRb—ASEA wykorzystywanych do kontroli wymiarów.



Rys. 3. Zasada działania systemu pomiarowego OPTOCATOR

System KD jest przeznaczony do bezdotykowego pomiaru przemieszczenia (zbliżenia), grubości, odchylenia lub ustawienia przedmiotów metalowych lub grubości materiałów nieprzewodzących (np. gumy tworzyw sztucznych, ceramiki) na podstawie metalowej.

System indukcyjny działa w następujący sposób: układ mostkowy jest aktywowany drganiami wysokiej częstotliwości generowanymi przez oscylator. Linie strumienia magnetycznego z cewki wytwarzają prądy wirowe w przedmiocie, którego położenie jest mierzone. Wartość prądów wirowych zależy od odległości między cewką a przedmiotem i jest wykrywana przez układ mostkowy. Sygnał wyjściowy mostka jest normalizowany i przetwarzany na sygnał analogowy wprost proporcjonalny do przemieszczenia przedmiotu. Zasadniczo gładkość powierzchni nie ma wpływu na warunki pomiaru podobnie jak olej, smar i zanieczyszczenia. Nierównoległość przedmiotu i przetwornika nie wywiera znaczącego wpływu jeżeli kąt nachylenia powierzchni nie przekracza  $15^\circ$ .

Procesor systemów KD umożliwia odczyt wyniku pomiaru, ma wyjście analogowe i cyfrowe BCD, możliwość nastawiania dwóch progów — granic obszaru tolerancji, wyjścia sygnałów przekroczeń. Porównanie podstawowych danych technicznych opisanych systemów przedstawia następujące zestawienie:

|                                              | System Optocator              | System KD                   |
|----------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Zakresy pomiarowe (mm)                       | 8; 16; 32; 64; 128; 256       | 0,25; 1; 2; 3; 4; 6; 15; 30 |
| Liniowość (%/zakr.pom)                       | 0,1                           | 0,5                         |
| Rozdzielczość (% zakr. pom.)                 | 0,025 (0,002 mm w zakr. 8 mm) | 0,01                        |
| Częstotliwość kHz                            | do 2                          | do 50 (−3 dB) — analogowo   |
| Sygnał wyjściowy analogowy (VDC)             | 0 ÷ 5                         | 0 ÷ 1,6                     |
| Sygnał wyjściowy cyfrowy                     | 16 bitów—TTL—komp.            | BCD                         |
| Kalibracja                                   | automatyczna                  | konieczność kalibracji      |
| Dryft temperatury ( $\pm$ mm/°C)             | brak                          | 0,0004 ÷ 0,012              |
| Niestabilność w czasie (% zakr.pom./miesiąc) | brak                          | 0,2                         |
| Zasilanie: napięcie (V AC)                   | 100/115/230                   | 100/120/220/240             |
| częstotliwość (Hz)                           | 50/60                         | 50/60                       |
| Gabaryty przetwornika (mm)                   | 450 x 80 x 180                | od 4,8 x 20,6 do 76,2 x 38  |

Na podstawie powyższych danych można określić cechy obu systemów.

Zalety systemu Optocator:

- duży zakres pomiarowy,
- automatyczna kalibracja,
- brak dryftu temperaturowego,
- stabilność w czasie.

Zalety systemu KD:

- wysoka rozdzielczość,
- małe gabaryty przetwornika.

Stanowiąc to może przesłanki wyboru zasad działania układów pomiarowych w zależności od stawianych wymagań.

## 5. Wspomaganie komputerowe

Tradycyjne wielowspółrzędnościowe urządzenia pomiarowe są wyposażone w kalkulatory umożliwiające wykonywanie następujących obliczeń i przekształceń [11]:

- określenie środków otworów i wałców metodą wielopunktową,
- określenie średnic otworów i wałców metodą wielopunktową
- określenie odległości między otworami,
- określenie współosiowości otworów i wałków stopniowanych,
- określenie położenia krawędzi, prostych płaszczyzn,
- określenie kątów,
- określenie profili krzywoliniowych,
- przekształcenia układu współrzędnych do rzeczywistego położenia przedmiotu mierzonego.

Systemy są rozbudowane przez zapewnienie współpracy z komputerem, który zapewni:

- sterowanie numeryczne urządzenia, przy programowaniu zewnętrznym lub na drodze uczenia,
- automatyczny wybór programu na drodze sprawdzania cech przedmiotu mierzonego,
- automatyczny start programu po sprawdzeniu pozycjonowania przedmiotu mierzonego,
- wydruk protokołu kontroli,
- analizy statystyczne wyników: określenie wielkości próbki, przewidywanie trendu itp.,
- sygnał korekcyjny do urządzeń produkcyjnych,
- sterowanie zmianą końcówki pomiarowej (przy pomiarze dotykowym)
- jeżeli znany jest algorytm przetwarzania błędów systematycznych, komputer może również automatycznie wprowadzić ich korekcję.

## 6. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że problem zintegrowanej z linią produkcyjną kontroli wymiarów dużych części i zespołów można rozwiązać stosując roboty przemysłowe wyposażone w układy pomiarowe z odpowiednim wyposażeniem komputerowym. Systemy takie zapewniają dokładność kontroli, odznaczają się wysokim stopniem elastyczności, są szybsze i łatwiejsze w obsłudze od wielowspółrzędnościowych urządzeń pomiarowych.

Właściwości robotów IRb-6 i IRb-60 oraz znane zastosowania tych robotów do celów kontroli wymiarów sprawiają, że są one dobrą bazą do budowy systemów kontroli wymiarów dla wielu zastosowań. O wartości systemu decydować będzie również układ pomiarowy oraz system przetwarzania danych. Urządzenia te powinny być opracowane głównie w oparciu o wymagania użytkownika.

## Literatura

- [1] Handhabegerät als Messgerät. Werkstatt u.Betrieb 113/1980
- [2] Industrieroboter messen karosserien im Fertigungsfluss. Werkstatt u.Betrieb 114/1981/10
- [3] Werkstoffprüfung mit Industrieroboter. Werkstatt u.Betrieb 115/1981
- [4] Langdon R.: Robots have a nose for quality. Metalworking Production 1982, 126 nr 9

- [5] Berührungsloser Längenmesser, Werkstatt u.Betrieb 114/1981/9
- [6] Materialy firmowe f-my SELSOM Selective Electronic
- [7] Materialy firmowe f-my KAMAN Sciences Corp.
- [8] Hahn M.: Wirtschaftlichkeit von Mehrkoordinaten – Messgeräten mit unterschiedlicher Automation. Feinwerktechnik u.Messtechnik 90/1982/8
- [9] Dreikoordinaten – Mess – und Anreissgerät, Werkstatt u.Betrieb 113/1980/4
- [10] Breyer K-H: Koordinaten – Messgeräte und Werkzeugmaschinen kommen sich näher. Werkstatt u.Betrieb 114/1981/12
- [11] Däubler H-G: Anforderungen an eine anwendungsorientierte, werkstattgerechte Rechnerunterstützung für Dreikoordinaten – Messgeräte, Werkstatt u.Betrieb 114/1981/11
- [12] Kungler O.: Einsatz von Mehrkoordinaten – Messgeräten in der Grossteilefertigung. Werkstatt u.Betrieb 114/1981/3.