

Mateusz MARKIEFKA<sup>1</sup>, Artur ZAWADA<sup>2</sup>

Opiekun naukowy: Jacek RYSIŃSKI<sup>3</sup>

## PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA PROFILOMETRU LASEROWEGO W PRODUKCJI SERYJNEJ

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono przykład zastosowania profilometru laserowego, do weryfikacji prostoliniowości płaskowników stalowych po procesie prostowania. Wykorzystano w tym celu, elementarne operacje na macierzach rotacji, zasadę działania profilometrów laserowych oraz przykładową aplikację urządzenia pomiarowego tego typu wykorzystywanego w produkcji seryjnej.

**Słowa kluczowe:** pomiar prostoliniowości, profilometr laserowy, macierz rotacji produkcja seryjna

## EXAMPLE OF USING A LASER PROFILOMETER IN SERIES PRODUCTION

**Summary:** The article presents an example of the use of a laser profilometer to verify the straightness of steel flat bars after the straightening process. The article presents elementary operations on rotation matrices, the principle of operation of laser profilometers and an example application of a measuring device of this type in mass production.

**Keywords:** straightness measurement, laser profilometer, rotation matrix, series production

### 1. Wprowadzenie

Japońska koncepcja zarządzania przedsiębiorstwem Lean Management jest bardzo popularna na całym świecie. Coraz więcej zakładów produkcyjnych realizuje jej założenia i korzysta z narzędzi przez nią oferowanych. Jedną z podstawowych metod stosowanych w tym zakresie jest Just In Time, mająca na celu minimalizację przerw pomiędzy kolejnymi etapami produkcji oraz ograniczenie zapasów magazynowych, czyli produkowanie dokładnie tyle, ile wymaga klient.

---

<sup>1</sup> Uniwersytet Bielsko-Bialski, Interdyscyplinarna Szkoła Doktorska, Inżynieria Mechaniczna: mmarkiefka4@gmail.com

<sup>2</sup> Uniwersytet Bielsko-Bialski, Interdyscyplinarna Szkoła Doktorska, Inżynieria Mechaniczna: Artur.zawada88@gmail.com

<sup>3</sup> Dr inż., Uniwersytet Bielsko-Bialski, jrysiński@ad.ubb.bielsko.pl

Jednocześnie należy to zrobić w jak najkrótszym czasie i przy jak najmniejszych stratach powstałych w trakcie tej produkcji [1, 2].

W dobie powszechnie dostępnych narzędzi i urządzeń, to czas produkcji oraz jakość produktu, są kluczowe przy wyborze dostawcy. W celu zachowania odpowiedniej jakości, wprowadzane są pomiary kontrolne w trakcie produkcji. Wykonywanie tych pomiarów jest dodatkowym obciążeniem dla pracowników produkcyjnych, których głównym celem jest produkcja zgodna z narzuconą normą. Niejednokrotnie konieczność wyprodukowania danej partii w określonym terminie, może spowodować postawienie ilości, ponad jakość. Może się to wiązać np. z karami za niezrealizowanie wysyłki w terminie. Natomiast zlecenie pomiarów do zewnętrznych firm lub utrzymanie własnego laboratorium metrologicznego wiąże się z dodatkowymi kosztami i finalną ceną produktu, co bezpośrednio przekłada się na zysk operacyjny firmy. Dlatego właśnie przedsiębiorstwa starają się zautomatyzować procesy pomiarowe, aby wykrywać niezgodności i wady na jak najwcześniejszym etapie produkcji, minimalizując przy tym koszty. Z uwagi na ilość niezbędnych pomiarów, automatyzacja odciąża także pracowników z tego zadania. [1, 2].

### 1.1. Pomiar prostoliniowości

Tolerancja prostoliniowości, polega na mierzeniu odchylenia zmierzonej linii prostej od geometrycznie idealnej linii prostej. Odchyłką prostoliniowości, nazywamy największą odległość między prostą rzeczywistą, a prostą przylegającą lub największą odległość między płaszczyzną rzeczywistą, a prostą przylegającą do niej w określonym kierunku. Granicę strefy tolerancji tworzą dwie linie równoległe w odległości  $t$ , wynikającej z podania dopuszczalnej wartości tolerancji tej odchyłki. Ilustracja powyższych definicji została przedstawiona na rysunku nr 1. [3,4]



Rysunek 1 Odchyłka liniowości [4]

Tolerancja prostoliniowości dotyczyć może osi przedmiotu oraz jego krawędzi.

### 1.2. Profilometr laserowy

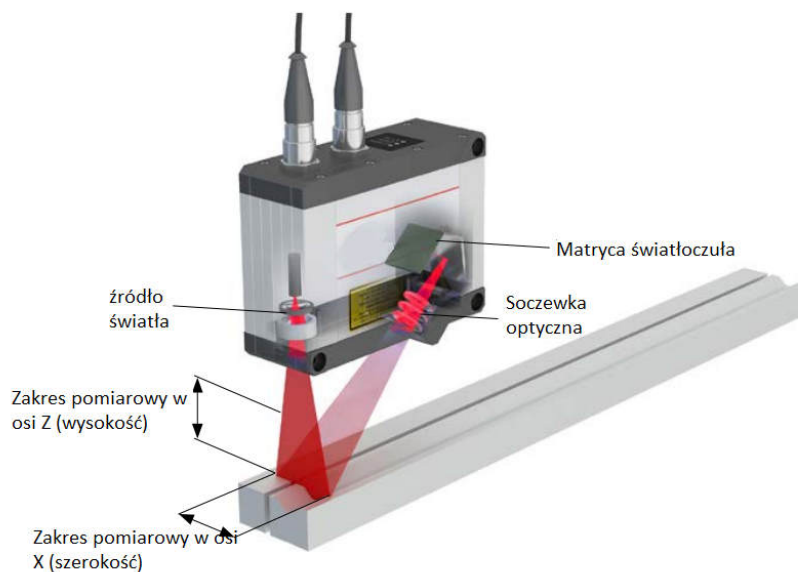
Profilometr laserowy jest urządzeniem pomiarowym, które generuje wiązkę laserową w kształcie linii, której odbite światło jest przechwytywane przez matrycę światłoczułą. Uzyskany odczyt otrzymuje w oparciu o zasadę triangulacji laserowej, czyli obliczenie pozycji i odległości mierzonego kształtu w osi X i Z. Przykładowy profilometr laserowy został przedstawiony na rysunku nr 2. Umożliwia to wykonywanie profilu 2D badanego obiektu, za pomocą którego można wyznaczyć wysokość, szerokość czy kąt, badanego detalu. Schemat działania omówionego systemu został przedstawiony na rysunku nr 3. Zgodnie z dokumentacją techniczną urządzenia jedną z zalet tych czujników jest pomiar prostoliniowości na całej

szerokości wiązki. Zakres pracy czujnika w przypadku urządzenia z serii MSL1x3, został przedstawiony na rysunku nr 3. [5]

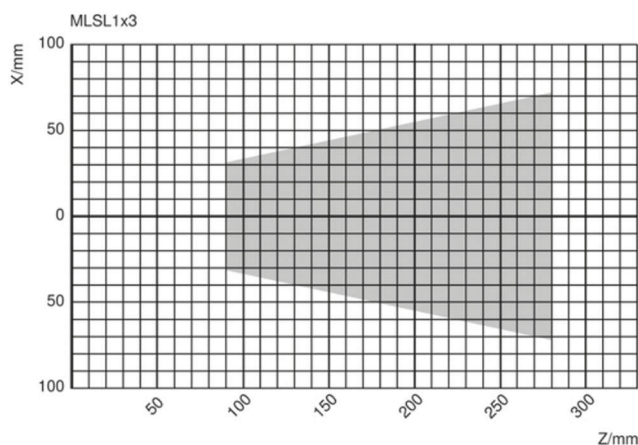
W przedstawionej w następnym podrozdziale aplikacji wykorzystano profilometr laserowy MSL123, firmy Wenglor. Jego główną zaletą jest możliwość pomiaru w dwóch osiach. Charakteryzuje się odchyleniem liniowym  $95 \mu m$  w całym zakresie pomiarowym, który wynosi 190mm dla osi Z oraz 62-145mm dla osi X. [6]



Rysunek 2. Profilometr laserowy 2D/3D MSL123 [5]



Rysunek 3. Schemat zasady działania profilometru laserowego [6]



Rysunek 4. Zakres pomiarowy profilometru laserowego MSL123 [7]

### 1.3. Przykładowa aplikacja profilometru laserowego w warunkach produkcji seryjnej

Maszyna, która wykorzystuje profilometr laserowy, służy do prostowania profili stalowych. Działanie maszyny, polega na oddzieleniu jednego profilu (płaskownika) z partii założonej na łańcuchach transportowych, jego spozycjonowaniu oraz poddaniu procesowi prostowania. Zakres wymiarowy płaskowników. Możliwy do realizacji na stanowisku to 3000-6000 mm długości, 40-250 mm szerokości, 4-30 mm grubości. Następnie przeniesieniu wyprostowanego płaskownika do punktu pomiarowego, pomiarze prostoliniowości w dwóch osiach na całej długości płaskownika i transporcie płaskownika do strefy rozładunku. Elementy maszyny odpowiedzialne za pomiar prostoliniowości zostały przedstawione na rysunkach 5, 6. Przed instalacją systemu pomiarowego na maszynie, prostoliniowość profili po procesie prostowania, była sprawdzana ręcznie przez pracownika firmy, na dedykowanym do tego celu stole.



Rysunek 5. Zdjęcie fragmentu maszyny pozycjonującego płaskownik do pomiaru prostoliniowości



Rysunek 6. Jednostka pomiarowa oraz fragment profilu w trakcie pomiaru

W trakcie pomiaru profil transportowany jest na specjalnie przygotowane pryzmy, które pozycjonują go na całej długości. Następnie poprzez jednoczesny obrót pryzm, płaskownik ustawiany jest pod zadany kąt, aby poprzez otwory pomiarowe wiązka lasera mogła zmierzyć go w dwóch osiach. Obrót płaskownika ma również pozytywny wpływ na dokładność pomiaru co zostało opisane w kolejnych rozdziałach.

## 2. Podstawowe wiadomości dotyczące macierzy transformacji

Automatyzacja procesu pomiaru wymaga opracowania równań związanych z przeliczeniem wartości uzyskanych za pomocą profilometru na odchyłki w poszczególnych płaszczyznach. W przypadku wykonywania obliczeń na sterowniku PLC zalecane jest dobranie równań pozwalających na uzyskanie jak najkrótszego czasu obliczeń. Istnieje kilka metod, które można by zastosować. Jedną z nich jest zastosowanie macierzy transformacji (1-3) [8].

$$Rot(x, \alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Trans(x, a) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$Rot(y, \beta) = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Trans(y, b) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$Rot(z, \gamma) = \begin{bmatrix} \cos \gamma & -\sin \gamma & 0 & 0 \\ \sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Trans(z, c) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

W tej metodzie zarówno obrót jak i przesunięcie obiektu w układzie kartezjańskim można przedstawić za pomocą dedykowanej macierzy. Sumę poszczególnych rotacji jak i translacji wykonuje się poprzez mnożenie tych macierzy.

$$\begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Gdzie:

$$x = \cos \beta \cdot a + 0 \cdot b + (-\sin \beta) \cdot c = a \cdot \cos \beta - c \cdot \sin \beta \quad (5)$$

$$y = 0 \cdot a + 1 \cdot b + 0 \cdot c = b \quad (6)$$

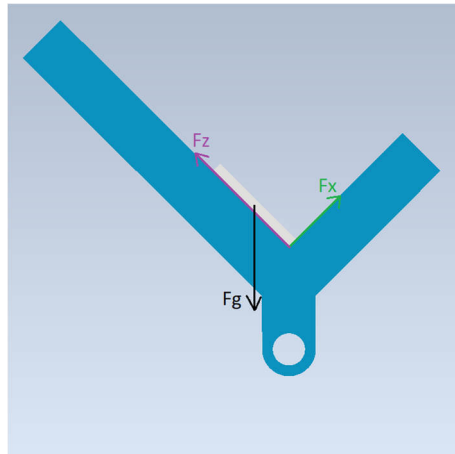
$$z = \sin \beta \cdot a + 0 \cdot b + \cos \beta \cdot c = a \cdot \sin \beta + c \cdot \cos \beta \quad (7)$$

Metoda macierzowa znalazła swoje zastosowanie w między innymi w robotyce do obliczenia pozycji manipulatora (notacja Denavita-Hartenberga). Można ją zastosować również w mniej skomplikowanych układach np. do obrotu współrzędnych detalu w przestrzeni, znacznie ją upraszczając. Dla przykładu rotacja współrzędnych  $a$ ,  $b$ ,  $c$  względem osi  $Y$  przedstawiona została w zależności (4). W przypadku gdy rotacji poddawany jest punkt w przestrzeni obliczenia sprowadzają się do równań (5), (6) i (7) (dla osi  $Y$ ). [7]

### 3. Interpretacja wyników pomiaru

Podczas przejazdu wzdłuż krawędzi płaskownika profilometr jest przysłonięty przez łańcuchy transportowe rozmieszczone co 0,9m oraz przez pryzmy pomiarowe odpowiadające za orientację detalu. Elementy te znacząco wpływają na ułożenie detalu. Odształcenie plastyczne które wpływa na prostoliniowość płaskownika zmienia się wraz z obrotem detalu. Najmniejsze odształcenie jest, gdy dłuższa ściana płaskownika jest prostopadła do podłoża. Jednak w takim przypadku bez odpowiedniego podtrzymania detal mógłby się przewrócić. Taki sam efekt może się pojawić, gdy dynamika ruchu pochylni odpowiadającej za obrót detalu była by zbyt wysoka. Reasumując przy pozycji idealnej do pomiaru automatyzacja procesu jest trudna do wykonania. Z drugiej strony przy normalnym ułożeniu płaskownika (dłuższa ściana równoległa do podłoża) odształcenia plastyczne spowodowane grawitacją mogą zakłócić pomiar. To samo stanie się, jeżeli detal będzie miał zbyt dużo podpór przy obracaniu. Zmniejszenie ilości podpór ponownie może sprawić, że detal podda się pod własnym ciężarem. Analizując powyższe warunki oraz bazując na przeprowadzonych wstępnie testach kąt  $60^\circ$  okazał się optymalną wartością. Oczywiście nie jest możliwe wyeliminowanie wpływu grawitacji oraz tarcia podpór

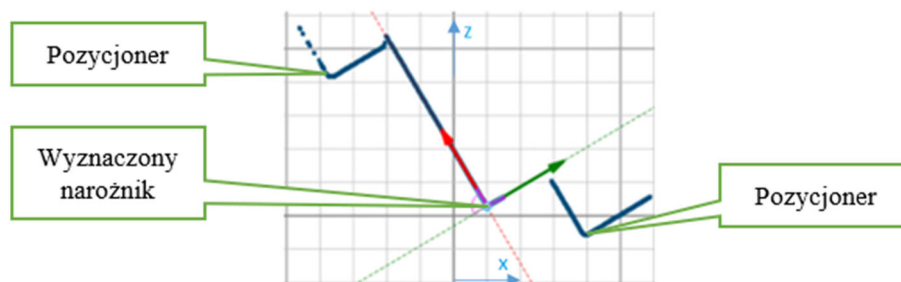
które mogą wpłynąć na rezultaty. Jednak kąt ten jest wystarczający, aby umożliwić automatyzację procesu. W kolejnych rozdziałach przedstawiona została metodyka postępowania przy obróbce uzyskanych pomiarów oraz przy wyznaczaniu prostoliniowości. Na rysunku nr 7 przedstawiono spozycjonowany płaskownik oraz oddziałujące na niego siły. Siły oznaczone  $F_z$  oraz  $F_x$ , to odkształcenie plastyczne materiału w danej osi. Natomiast wektor  $F_g$ , oznacza siłę grawitacji.



Rysunek 7. Siły oddziałujące na płaskownik w trakcie pomiaru

### 3.1. Obróbka danych z pomiaru

Na rysunku 8 przedstawiona została wizualizacja pomiaru w oprogramowaniu Wenglor UniVision2 na którym widoczne są elementy pozycjonujące detal oraz wyznaczony narożnik. Badany płaskownik znajduje się pod kątem względem układu współrzędnych urządzenia pomiarowego przez co przesunięcie krawędzi na tej płaszczyźnie jest sumą nierówności obu ścian płaskownika (szerokości i grubości).

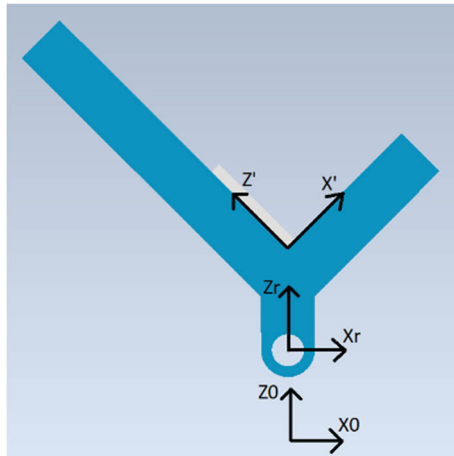


Rysunek 8. Wizualizacja pomiaru w oprogramowaniu Wenglor UniVision2

Problem ten można rozwiązać za pomocą opisanych wcześniej macierzy transformacji. W tym celu na rysunku 9 wprowadzone zostały trzy układy współrzędnych i są to kolejno:

- X0Z0 – układ urządzenia pomiarowego,
- XrZr – układ rotacji płaskownika,
- X'Z' – układ płaskownika

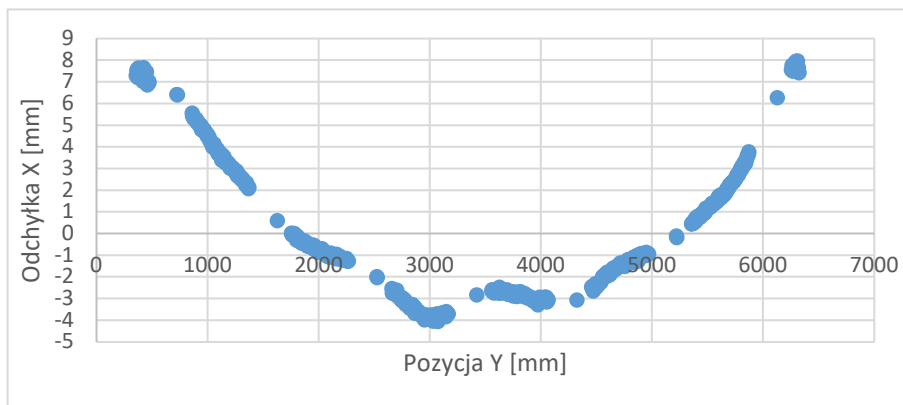
Układ rotacji  $X_r Z_r$  jest przesunięty względem układu pomiarowego, co należy uwzględnić w pierwszej kolejności za pomocą macierzy translacji. Kolejnym krokiem jest uwzględnienie rotacji układu pomiarowego. W ten sposób powstanie równanie (4) z którego możliwe jest wyznaczenie równań (5) i (6) które określają rzeczywistą pozycję badanego punktu narożnika w płaszczyźnie XZ.



Rysunek 9. Wyznaczone układy w trakcie pomiaru prostoliniowości

### 3.2. Weryfikacja prostoliniowości odcinkowej

Urządzenie pomiarowe pozwala na odczyt aktualnych wartości punktów na płaszczyźnie XZ. W przypadku badanego płaskownika po uwzględnieniu równań (5) i (6) punkty te określają położenie krawędzi natomiast oś Y odpowiada za absolutną pozycję układu pomiarowego. Na rysunku 10 przedstawiony został wynik pomiaru w płaszczyźnie XY po uwzględnieniu orientacji płaskownika.

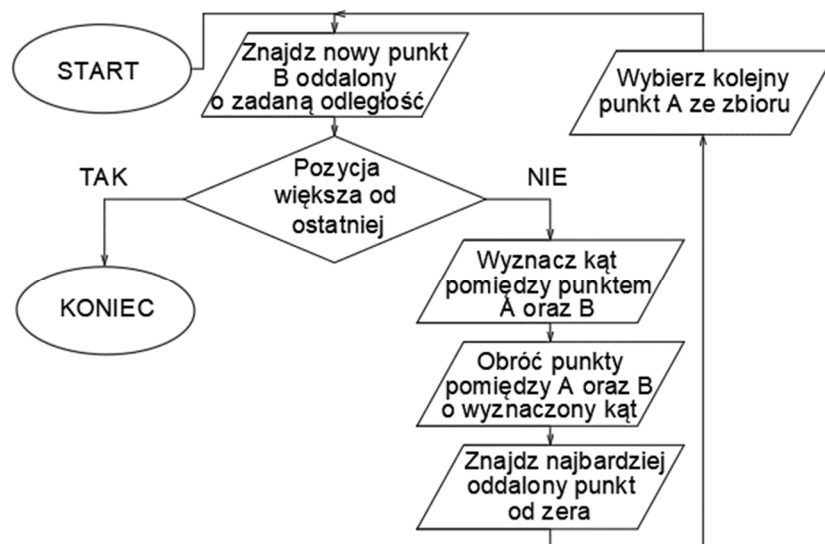


Rysunek 10. Uzyskane pozycje krawędzi w płaszczyźnie XY

Analizując rysunek 9 można zauważyć widoczne są przerwy w pomiarach. Wynikają z wspomnianej wcześniej konieczności podparcia płaskownika oraz z przysłaniających detal łańcuchów transportowych. Kolejnym aspektem jest

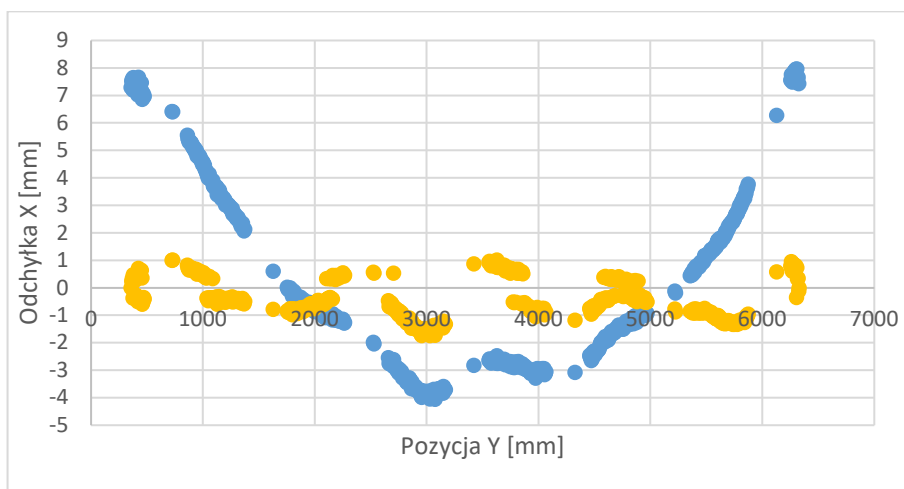


paraboliczny kształt wykresu, który mógłby świadczyć o braku prostoliniowości elementu. W przypadku, gdy rezultat pomiaru odnosi się do absolutnych wartości całego płaskownika to odchyłka wynosi niespełna 12mm (-4,04 – 7,65mm). Inaczej należy postąpić, gdy prostoliniowość jest badana na danym odcinku. Dla przykładu na odcinku 2600 – 3600mm (rysunek 10) odchyłka wyniosła 1,4 mm, natomiast dla odcinka 400 – 1400mm aż 5mm (2,05 – 7,22mm). Wartości te przedstawiają pozycje narożnika na płaszczyźnie XY. Prostoliniowość określa sposób w jaki poszczególne punkty rozmieszczone są na danym odcinku. Reasumując przy weryfikacji prostoliniowości odcinkowej konieczna jest kolejna operacja polegająca na tym, że dla każdego punktu pomiarowego (pkt A) wyznaczany jest kolejny punkt oddalony o zadaną wartość (pkt B), a maksymalna odchyłka jest określana poprzez odległość punktów od prostej łączącej punkt A i B. Wykorzystując diagram przedstawiony na rysunku 10 do przykładu z rysunku 9 punktem A będzie pozycja 400mm ( $X = 2,05\text{mm}$ ) natomiast punktem B 1400mm ( $X = 7,22\text{mm}$ ). Linia łącząca te dwa punkty odpowiada odchyłce wynoszącej 0mm. Wykonując jedną iterację algorytmu z rysunku 11 dla podanych wartości A i B uzyskamy maksymalną odchyłkę wynoszącą 0,88mm na pozycji 728mm.



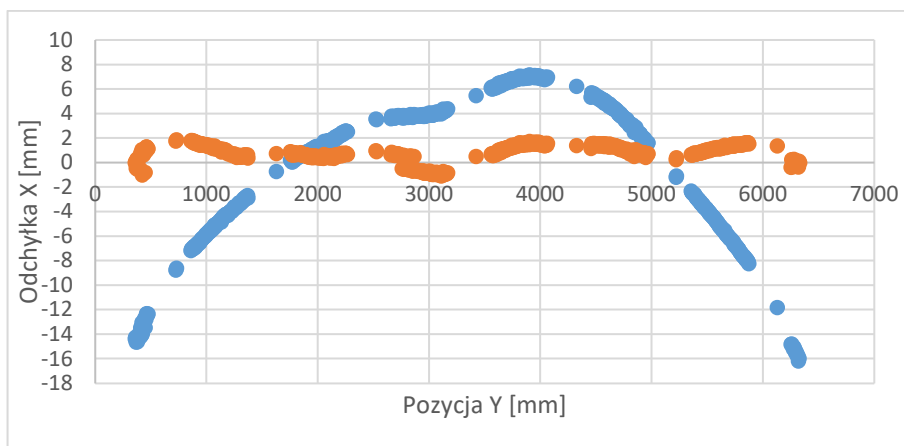
Rysunek 11. Diagram postępowania przy wyznaczaniu kolejnych odchyłek

Metodyka postępowania przedstawiona na rysunku 10 pozwala na wyznaczenie maksymalnej odchyłki dla kolejnych punktów. Efekt takiego algorytmu został przedstawiony na rysunku 12 gdzie pokazano rzeczywiste odchylenie w stosunku do uzyskanego pomiaru. Jak można zauważyć odchyłka dla wartości 728mm wyniosła ostatecznie 1,01 mm, ponieważ punkt ten był bardziej oddalony dla odcinka 371 – 1370mm.



Rysunek 12. Uzyskane pozycje krawędzi w płaszczyźnie XY z uwzględnieniem rzeczywistego odchylenia

W celu uzyskania pełnej automatyzacji pomiaru konieczne jest naniesienie linii tolerancji  $\pm 1\text{mm}/1\text{m}$  (dla tolerancji  $\pm 2\text{mm}/1\text{m}$  detal uzyskałby status OK, mimo że na początku ze względu na swój kształt wykazywał odchyłkę na poziomie  $\pm 8\text{mm}$ ). Analogiczną procedurę wykonano dla płaszczyzny YZ, co zostało przedstawione na rysunku 13.



Rysunek 13. Uzyskane pozycja narożnika w płaszczyźnie YZ z uwzględnieniem rzeczywistego odchylenia

Największe odchylenie dla przedstawionego płaskownika wyniosło kolejno:

- $-1,73\text{mm}$  dla pozycji  $3028\text{mm}$  względem punktów  $2520\text{--}2620\text{mm}$  na płaszczyźnie XY,
- $1,87\text{mm}$  dla pozycji  $728\text{mm}$  względem punktów  $376\text{--}1376\text{mm}$  na płaszczyźnie YZ.

### 3.3. Powtarzalności pomiaru

Przedstawiony przykład odnosił się do jednego detalu, na którym różnica pomiędzy danymi uwzględniającymi orientację płaskownika w stosunku do urządzenia pomiarowego była najwyraźniejsza. Wynikało to bezpośrednio z kształtu detalu. Różnicę tę można było również zaobserwować na całym płaskowniku, gdzie przy tolerancji  $\pm 1\text{mm}/1\text{m}$  dla detalu o długości 6m całkowita krzywizna może wynosić 6mm, gdy na każdym jednowymiarowym odcinku odkształcenie jest w tym samym kierunku. W celu weryfikacji powtarzalności pomiaru wykonano dwudziestokrotnie pomiar tego samego płaskownika, gdzie czterokrotnie ponownie był on umieszczany na pryzmie pomiarowej, a dla każdego ułożenia pomiar został wykonany pięciokrotnie. Analogicznie próby te zostały wykonane dla dziesięciu różnych detali co zostało przedstawione w tabeli 1.

Tabela 1. Rezultaty próby seryjnej

Nr płaskownika	Powtarzalność dla prostoliniowości [ mm/m ]			
	Ułożenie 1	Ułożenie 2	Ułożenie 3	Ułożenie 4
1	-1,73 $\pm$ 0,02	-1,74 $\pm$ 0,03	-1,72 $\pm$ 0,04	-1,73 $\pm$ 0,03
2	1,63 $\pm$ 0,03	1,66 $\pm$ 0,02	1,67 $\pm$ 0,01	1,64 $\pm$ 0,03
3	0,93 $\pm$ 0,03	0,95 $\pm$ 0,02	0,97 $\pm$ 0,02	0,90 $\pm$ 0,02
4	-1,51 $\pm$ 0,04	-1,60 $\pm$ 0,04	-1,55 $\pm$ 0,02	-1,54 $\pm$ 0,04
5	1,03 $\pm$ 0,03	1,00 $\pm$ 0,02	1,04 $\pm$ 0,02	1,05 $\pm$ 0,03
6	0,79 $\pm$ 0,04	0,82 $\pm$ 0,01	0,78 $\pm$ 0,02	0,79 $\pm$ 0,03
7	-1,43 $\pm$ 0,03	-1,45 $\pm$ 0,02	-1,41 $\pm$ 0,01	-1,43 $\pm$ 0,02
8	-1,07 $\pm$ 0,03	-1,09 $\pm$ 0,02	-1,13 $\pm$ 0,01	-1,09 $\pm$ 0,03
9	-0,80 $\pm$ 0,03	-0,87 $\pm$ 0,03	-0,82 $\pm$ 0,03	-0,84 $\pm$ 0,03
10	1,35 $\pm$ 0,02	1,37 $\pm$ 0,02	1,29 $\pm$ 0,02	1,33 $\pm$ 0,02

Jak można zauważyć maksymalny błąd pomiarowy był mniejszy niż 0,1mm co jest o rząd wielkości mniejsze od zakładanej tolerancji pomiaru. Z tego względu układ ten może zostać zastosowany w przemysłowym rozwiązaniu zapewniając poprawność pomiaru. Detale przedstawione w tabeli 1 nie zostały poddane ostatecznemu prostowaniu aby odchyłki prostoliniowości były lepiej widoczne. Ostatnim etapem było losowe sprawdzanie detali po procesie prostowania które miało na celu weryfikację uzyskanych rezultatów. Również w tym przypadku błąd pomiarowy nie przekroczył wartości 0,1mm. Mając na celu dalszą weryfikację urządzenia pomiarowego zlecono systematyczne wykonywanie pomiaru na detalu wzorcowym przed i po rozpoczęciu każdej zmiany.

### 4. Podsumowanie i wnioski

Przedstawione w artykule zastosowanie profilometru laserowego potwierdza, że przy odpowiedniej implementacji czujnika oraz obróbce danych, z wykorzystaniem elementarnych działań na liczbach i macierzach, można implementować do procesu produkcyjnego zaawansowane urządzenie pomiarowe. Zastosowanie pozycjonerów maszyny, wykonujących ustawienie profili pod zadanym kątem przed pomiarem oraz macierzy rotacji umożliwiło wykonanie pomiaru odzwierciedlającego stan

rzeczywisty. Możliwość kontroli prostoliniowości profili w trakcie produkcji seryjnej, daje możliwość nadzoru nad procesem, w czasie rzeczywistym. Minimalizuje straty poprzez wykrycie odchylenia wymiaru prostoliniowości, przekraczającego dopuszczalną tolerancję, a co za tym idzie zmniejsza ryzyko wysłania do klienta towaru niespełniającego wymagań. Automatyzacja procesu podawania płaskowników do prostowania, pomiaru i magazynów umożliwiła redukcję liczby pracowników. Nie było by to możliwe bez urządzenia pomiarowego które kierowało by płaskownik do odpowiedniego magazynu OK/NOK. Zintegrowanie układu pomiarowego z maszyną daje również możliwość archiwizacji uzyskanych wyników pomiarów dla danej partii elementów. W myśl ciągłego doskonalenia, potencjalną następną modyfikacją może być np. doposażenia stanowiska w układ znakowania detali który umożliwi wdrożenie systemu Traceability, czyli śledzenia drogi produktu wraz z jego parametrami w całym procesie.

## LITERATURA

1. LIKER JEFFREY K.: Droga Toyoty. 14 zasad zarządzania wiodącej firmy produkcyjnej świata, MT Biznes 2022.
2. TAIICHI OHNO, SETSUO MITO: Just-In-Time for Today and Tomorrow, Productivity Pr; First English Edition, 1988.
3. HUMIENNY Z.: Podstawy nowoczesnej metrologii warsztatowej, Politechnika Warszawska, Warszawa 2010, 28-34
4. Strona internetowa: <https://www.ita-polska.com.pl/baza-wiedzy/chropowatosc-i-kontur/odchylki-kszaltu-i-polozenia>
5. Strona internetowa: <https://egzosoft.pl/realizacja/profilometr-laserowy/>, dostęp 17.11.2023 r.
6. Strona internetowa: <https://wobit.com.pl/produkty/1379/skanery-laserowe-profilu-scancontrol-30xx/>, dostęp 17.11.2023r.
7. Dokumentacja techniczna profilometru laserowego 2D/3D weCat3D MLSL123, Wenglor, Strona internetowa: <https://www.wenglor.com/en/Machine-Vision/2D3D-Sensors/MLSL/2D3D-Profile-Sensor/p/MLSL123>
8. Strona internetowa: <https://kcir.pwr.edu.pl/~jjakubia/PodstawyRobotyki/wyklad2.pdf>