

Politechnika Poznańska
Instytut Technologii Mechanicznej

Laboratorium
Badania Maszyn CNC

Nr 4

Pomiary prostoliniowości
laserowym systemem pomiarowym XL-10

Opracował:
Dr inż. Wojciech Ptaszyński

Poznań, 20 grudnia 2020

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z metodami pomiaru przemieszczeń kątowych oraz prostoliniowości za pomocą laserowego systemu pomiarowego typu XL-10.

2. Wprowadzenie

Jedną z przyczyn powodujących błąd obróbki na obrabiarkach jest błąd prostoliniowości ruchu elementów obrabiarki, który jest najczęściej związany z błędem prostoliniowości prowadnic.

Zgodnie z normą PN-ISO-230 linię umieszczoną na płaszczyźnie uważa się za prostą na danej długości, jeśli wszystkie jej punkty zawarte są między dwiema liniami prostymi, równoległymi do ogólnego kierunku prostej, której odległość jest równa tolerancji.

Ogólny kierunek linii lub linii reprezentatywnej powinien być tak ustalony, aby zminimalizować odchyłki prostoliniowości. Umownie można go ustalić za pomocą:

- dwóch punktów odpowiednio wybranych w pobliżu końców linii, która ma być sprawdzana,
- linii prostej wyznaczonej z punktów wykresu, np. metodą najmniejszych kwadratów.

Istnieją dwie grupy metod pomiaru prostoliniowości, oparte na:

- pomiarze długości,
- pomiarze kątów.

W grupie metod opartych na pomiarze długości stosuje się metody z wykorzystaniem:

- liniału precyzyjnego i czujnika zegarowego,
- napiętej struny i mikroskopu,
- teleskopu,
- lasera i detektora fotoczulego,
- interferometru laserowego z układem optycznym do pomiarów prostoliniowości.

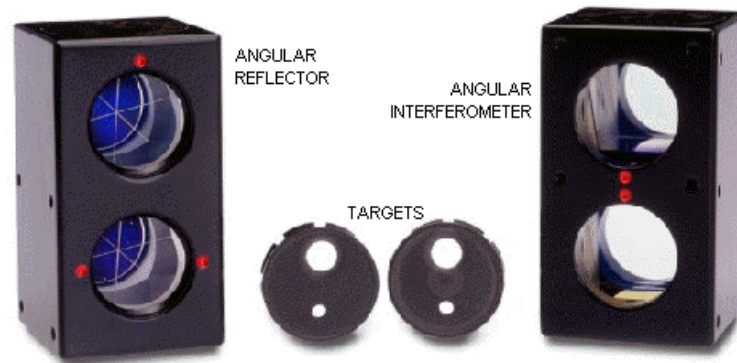
W grupie metod opartych na pomiarze kąta stosuje się metody z wykorzystaniem:

- poziomicy precyzyjnej,
- autokolimatora,
- interferometru laserowego z układem optycznym do pomiarów kątów.

3. Pomiary prostoliniowości za pomocą pomiarów kątów interferometrem laserowym

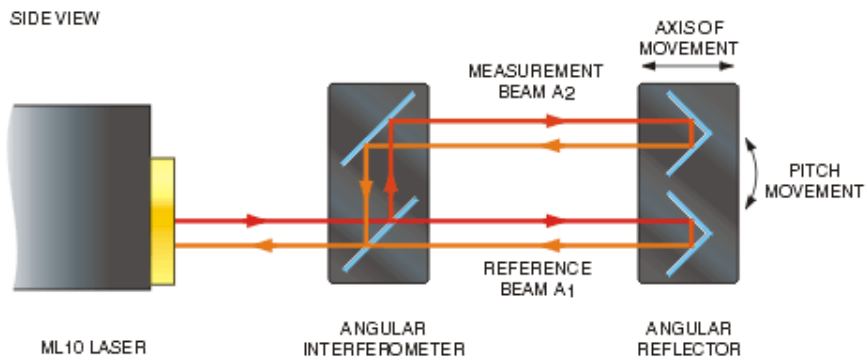
Technologia pomiarów interferometrem laserowym została opisana w instrukcji do ćwiczenia nr 1 „Badanie dokładności pozycjonowania obrabiarek CNC laserowym systemem pomiarowym”.

Pomiary prostoliniowości wykonuje się z zastosowaniem specjalnego układu optycznego. Pomiary prostoliniowości np. stołu obrabiarki lub ruchu stołu w pewnych przypadkach mogą być również wykonane przy zastosowaniu układu optycznego do pomiarów przemieszczeń kątowych (rys. 1).



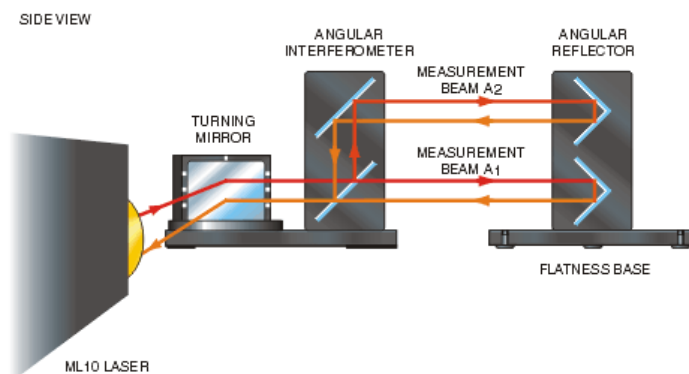
Rys. 1. Zestaw optyczny do pomiarów kątowych.

Ten układ optyczny umożliwia pomiar przemieszczeń kątowych w zakresie $\pm 5^\circ$. Zasadę pomiaru przemieszczeń kątowych przedstawiono na rys. 2. W przypadku skręcania reflektora kątowego wiązka laserowa A2 od interferometru do reflektora musi pokonać dłuższą drogę niż wiązka A1. W wyniku czego w głowicy laserowej zostanie zaobserwowane przemieszczenie faz wiązek A1 i A2, co przy znanej odległości wiązki A2 i A1 zostanie przeliczone na przemieszczenie kątowe.



Rys. 2. Zasada pomiarów przemieszczeń kątowych laserowym systemem pomiarowym

Pomiar prostoliniowości stołu przy pomocy pomiarów kątowych możliwe jest w układzie przedstawionym na rys. 3.

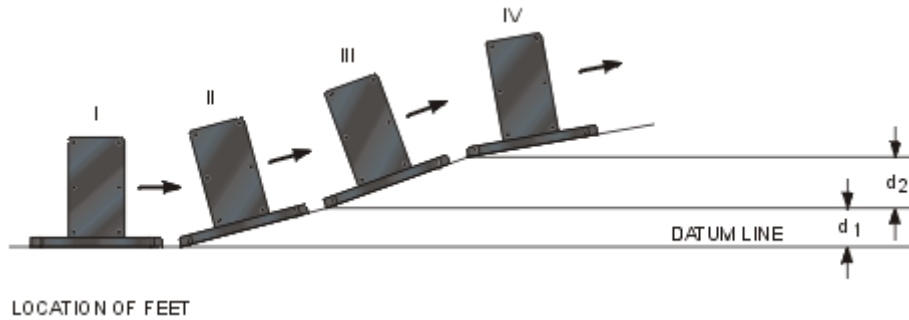


Rys. 3 Układ optyczny do pomiaru prostoliniowości stołu

Podstawowym wyposażeniem takiego układu są:

- głowica laserowa,
- interferometr kątowy (angular interferometer),
- reflektor kątowy (angular reflektor)
- podstawa (flatness base) – jeśli ma być sprawdzana prostoliniowość płaszczyzny,

Zasadę pomiaru prostoliniowości stołu poprzez pomiar kątów przedstawia rys. 4



Rys. 4. Pomiar prostoliniowości stołu poprzez pomiar kątów.

Jeśli znany jest rozstaw stóp podstawy i jeśli podczas pomiarów kolejne położenia reflektora zajmują takie położenia, że stopa lewa jest dokładnie w tym samym miejscu co stopa prawa w poprzednim położeniu to odchyłkę w danym punkcie w stosunku do stopy lewej możemy obliczyć z równania:

$$d_i = L \cdot \tan \alpha_i \quad (1)$$

gdzie: d_i – wartość odchyłki w punkcie i [mm],
 L – odległość stóp w podstawie [mm],
 α_i – zmierzony kąt.

Sumaryczna wartość odchyłki prostoliniowości w stosunku do punktu początkowego możemy obliczyć z równania:

$$D_i = D_{i-1} + d_i = D_{i-1} + L \cdot \tan \alpha_i \quad (2)$$

gdzie: D_i – sumaryczna wartość odchyłki w punkcie i w stosunku do punktu położenia początkowego [mm],

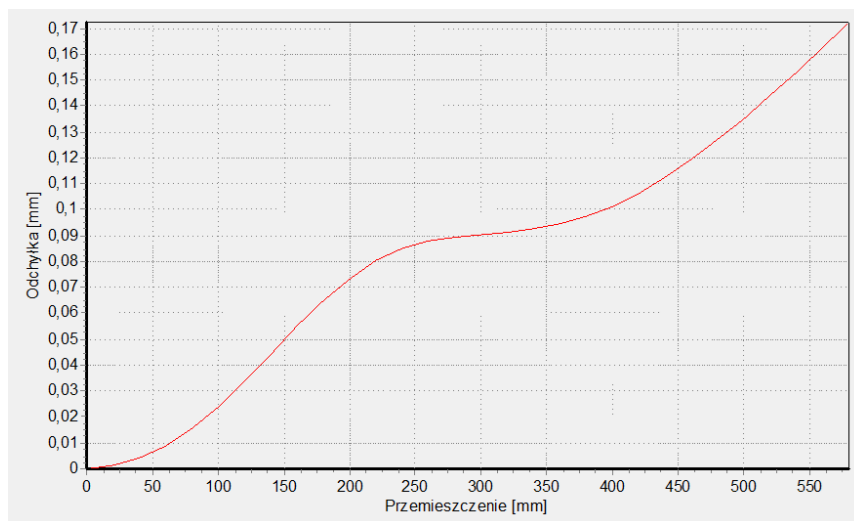
D_{i-1} – sumaryczna wartość odchyłki w punkcie poprzednim ($i-1$) [mm],

L – odległość stóp w podstawie [mm],

α_i – zmierzony kąt w położeniu i .

Wartość początkową wykresu (dla $i=0$) należy przyjąć 0 ($D_{i=0}=0$ mm), liczba punktów wykresu będzie $n+1$, gdzie n – liczba punktów pomiarowych.

Z powyższego wzoru możemy uzyskać wykres jak na rys. 5.



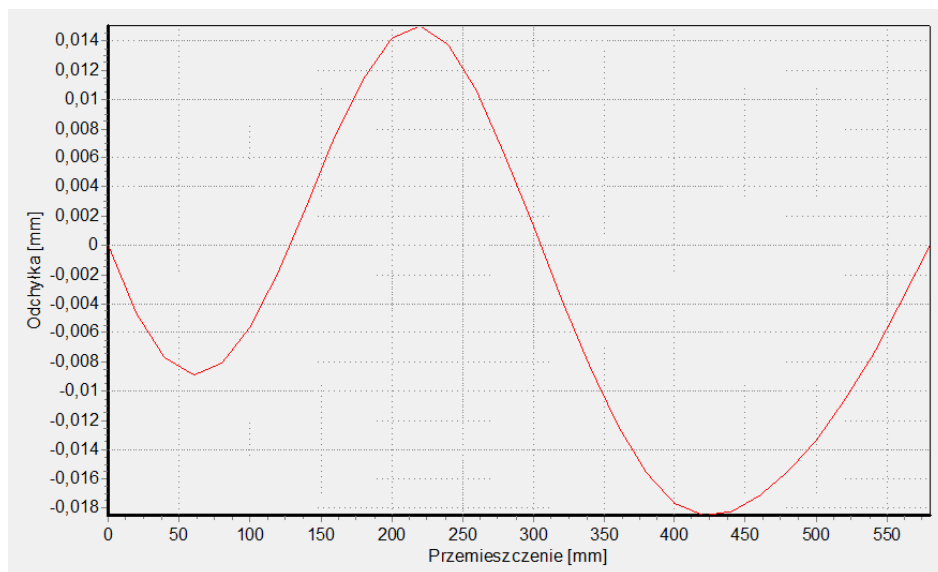
Rys. 5. Wykres wyznaczonej prostoliniowości

Aby wyznaczyć wartość prostoliniowości należy wyznaczyć ogólny kierunek linii. Wartość odchyłki prostoliniowości najłatwiej jest odczytać gdy ogólny kierunek linii jest poziomy. W przypadku określania ogólnego kierunku linii przez wybór dwóch punktów w pobliżu końców sprawdzanej linii (najlepiej pierwszy i ostatni punkt) musimy dokonać przeliczenia wartości z wykresu 5 i równania (2) zgodnie ze wzorem:

$$D'_i = D_i - \frac{D_n}{n} \cdot i \quad (3)$$

gdzie: D'_i – skorygowana wartość odchyłki prostoliniowości [mm],
 D_i – wartość wyznaczonej odchyłki prostoliniowości ze wzoru (2) [mm],
 D_n – błąd w punkcie ostatnim n [mm]
 n – liczba punktów pomiarowych (bez punktu początkowego).

Po obliczeniu tych wartości otrzymamy wykres jak na rys. 6.

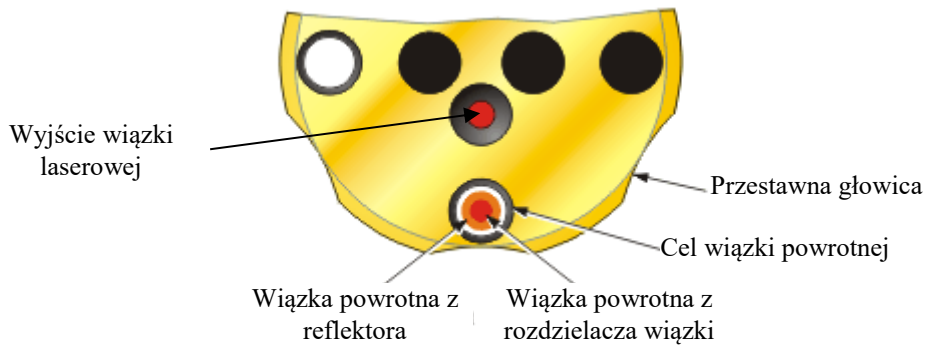


Rys. 6. Wykres wyznaczonej prostoliniowości sprowadzony do linii poziomej

Z tego wykresu możemy odczytać, że odchyłka prostoliniowości wynosi ok 0.032 mm (0.014+0.018).

4. Kalibracja układu

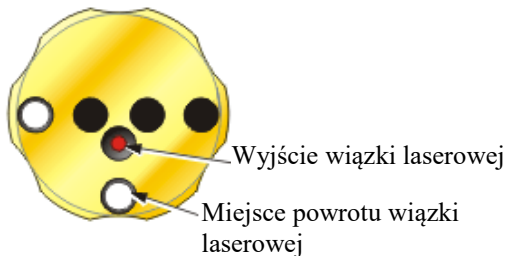
Do prawidłowego przeprowadzenia pomiarów należy odpowiednio wykalibrować układ optyczny. Kalibracja polega na dokładnie równoległym ustawieniu wiązki laserowej względem przesuwu reflektora. Kalibracja odbywa się w podobny sposób jak w przypadku pomiarów liniowych. Jednak w tym przypadku nie ma przymusowego prowadzenia reflektora dlatego do prostoliniowego prowadzenia reflektora należy zastosować liniał. Na rys. 4. pokazano głowicę laserową z miejscem wyjścia i powrotu wiązki laserowej. Powrotna wiązka laserowa musi w całym zakresie ruchu trafiać dokładnie w punkt docelowy.



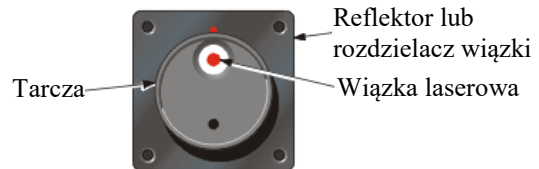
Rys. 4. Widok głowicy laserowej – ustawienie kalibracyjne

Dla ułatwienia kalibracji można użyć specjalnej kierownicy wiązki. W czasie kalibracji należy kolejno:

- ustawić laser na stojaku możliwie jak najdokładniej równoległe do ruchu osi mierzonej,
- połączyć układ elektryczny i włączyć laser (długi czas nagrzewania),
- głowicę laserową ustawić w pozycji kalibracyjnej (rys. 4),

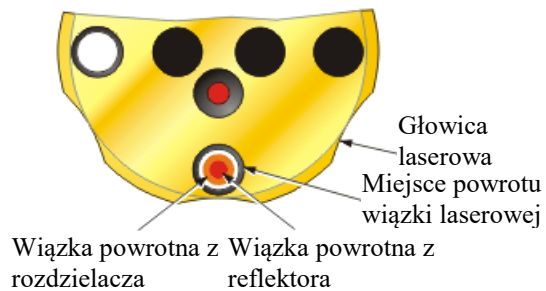


Rys. 5. Ustawienie głowicy laserowej w czasie kalibracji



Rys. 6. Ustawianie wiązki laserowej względem reflektora i rozdzielacza wiązki

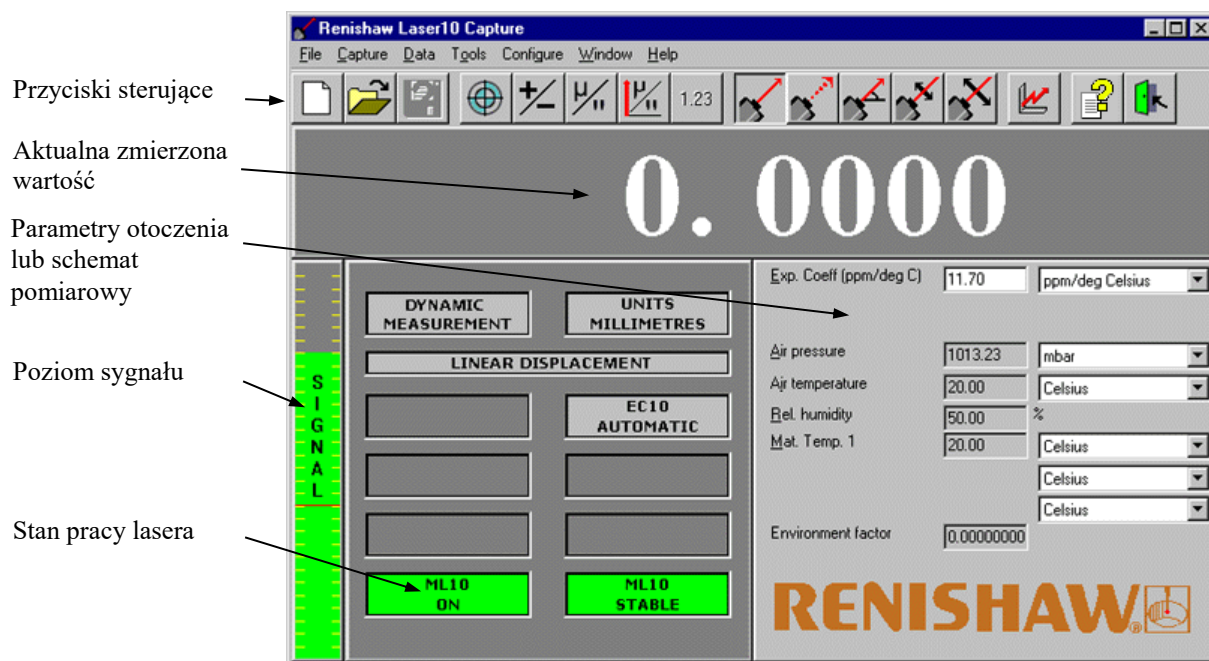
- zmontować odpowiedni układ optyczny,
- przesunąć reflektor tak aby zestawy reflektor i rozdzielacz wiązki były jak najbliżej siebie,
- tak ustawić laser oraz układ optyczny aby wiązka trafiała w odpowiedni punkt tarczy celowniczej zamontowanej na układzie optycznym (rys. 6),
- ustawić układ optyczny tak aby wiązka z rozdzielacza wiązki i reflektora trafiały w odpowiedni punkt na głowicy laserowej (po zdjęciu tarczy celowniczej) (rys. 7),
- zamontować kierownicę wiązki,
- skorygować ustawienie lasera lub kierownicy wiązki aby wiązka laserowa trafiała w odpowiednie miejsce w głowicy laserowej (rys. 4),
- przesunąć oś reflektor w drugie położenie krańcowe i przy pomocy dźwigni kierownicy wiązki ustawić wiązką tak aby trafiała w odpowiednie miejsce tarczy zamontowanej na przesuwym reflektorze,
- sprawdzić czy w całym zakresie ruchu wiązka powrotna trafia w punkt docelowy na głowicy laserowej, jeśli nie powtórzyć czynności kalibracyjne,
- sprawdzić w programie LaserXL czy moc wiązki w całym zakresie ruchu jest odpowiednia.



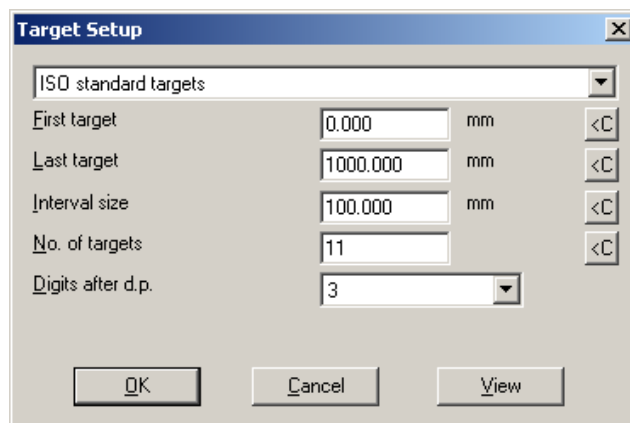
Rys. 7. Ustawienie wiązki laserowej

5. Konfiguracja pomiaru

Pakiet programów LaserXL służy do wykonywania pomiarów laserowym systemem pomiarowym ML10. Do pomiarów kątowych przeznaczony jest program „Angular Measurement” (rys. 8).



Rys. 8. Okno programu Laser10



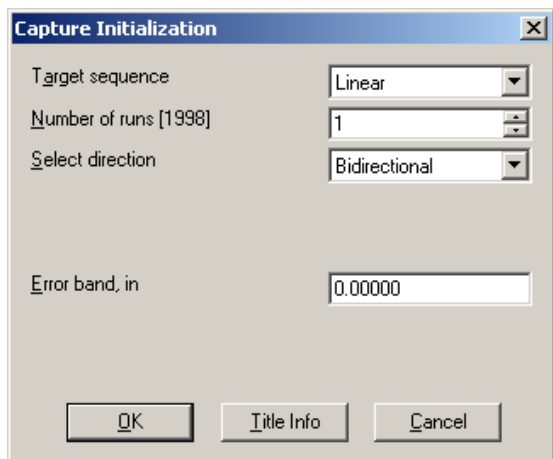
Rys. 9. Wprowadzanie cyklu i punktów pomiarowych

W celu dokonania pomiarów należy wykonać następujące czynności w programie „Angular Measurement”:

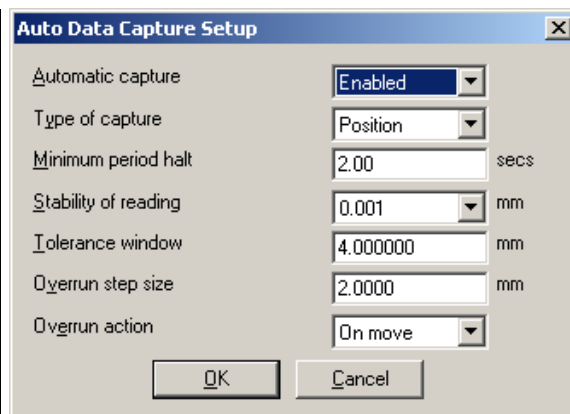
- ustawić warunki pomiaru – w tym celu należy z górnego menu wybrać opcję „Targets”, następnie wybrać „Automatic Setup” oraz wybrać opcję „targets in millimeters”. Po ukazaniu się okienka (rys. 9) należy wybrać z listy: „ISO standard targets”, następnie wprowadzić współrzędną pierwszego punktu pomiarowego „First target”, współrzędną ostatniego punktu pomiarowego „Last target” oraz odstęp między

punktami pomiarowymi „Interval size”. Pozostałe dane zostaną obliczone automatycznie i wstawione. Zatwierdzenie wartości następuje klawiszem OK.

- ustawić dane cyklu pomiarowego – należy w górnym menu wybrać opcję „Capture”, a następnie „Start”. W oknie Capture Initialization” (rys. 10) należy wybrać rodzaj ruchu („Target sequence”) „Linear”, liczbę przejść („Number of runs”) zgodnie z normą dla pomiarów dokładności wartość od 3 do 5, kierunek ruchu („Select direction”) „Bidirectional” – dwukierunkowo. W opcji „Title Info” można wprowadzić informacje warunkach pomiaru. Akceptacja klawiszem OK.
- w oknie „Auto Data Capture Setup” wyłączyć pomiar automatyczny, w oknie „Automatic setup” wprowadzić „Disable”.

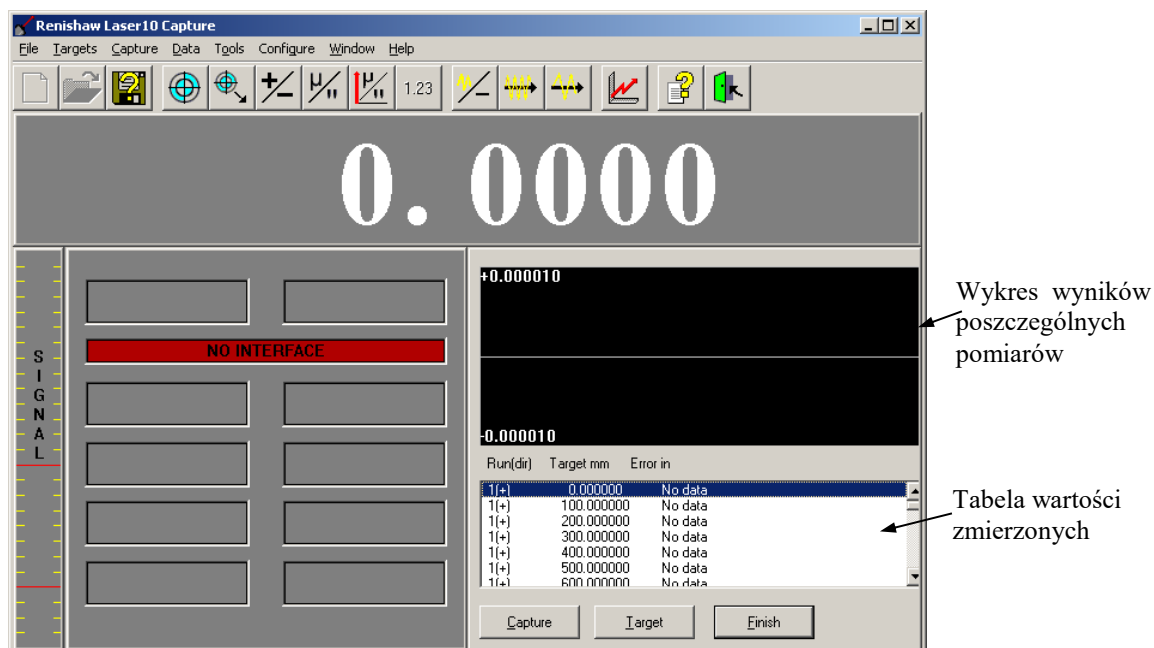


Rys. 10. Ustawienie danych pomiarowych



Rys. 11. Ustawienie danych cyklu pomiaru automatycznego

Po wprowadzeniu niezbędnych danych można przystąpić do pomiarów. Przed uruchomieniem pomiarów, po przesunięciu reflektora na punkt 0, należy wyzerować układ pomiarowy lasera przez naciśnięcie klawisza Ctrl+D. Należy zwrócić również uwagę w czasie wykonywania pomiarów na znak wartości, który można zmienić przyciskiem +/-



Rys. 12. Okno programu laser10 w czasie wykonywania pomiarów

W czasie wykonywania pomiarów okno programu laser10 ma postać jak na rys. 12.

Po zakończeniu pomiarów otrzymane wyniki należy zapisać na dysk i np. pendrive. Następnie należy przejść do okna analizy otrzymanych wyników po naciśnięciu klawisza i wydrukować arkusz All plots".



6. Przebieg ćwiczenia

- Zbudować odpowiedni układ optyczny,
- Połączyć układ pomiarowy,
- Zamontować układ pomiarowy na mierzonym stole,
- Przeprowadzić kalibrację układu,
- Wykonać pomiar kątów przemieszczenia w kierunku dodatnim i ujemnym,
- Określić znak wartości kąta,
- Rozmontować układ.

7. Obliczenia prostoliniowości

Do wykonaniu pomiarów układem optycznym do pomiaru kątów otrzymuje się plik z danymi pomiarowymi taki jak pokazano poniżej. Jest to plik tekstowy z rozszerzeniem rta, który można otworzyć przy pomocy notatnika lub wczytać do programu Exel w celu przetworzenia danych.

Tabela 1. Struktura pliku danych pomiarowych przemieszczeń kątowych (fragment)

Nagłówek programu	HEADER:: File type : rta Owner : Angle Version no : V10.06.01
Rodzaj danych	TARGET DATA:: Filetype : ISO
Liczba punktów pomiarowych	Target-count: 35
Zadane punkty pomiarowe. Stąd można odczytać odległość pomiędzy punktami pomiarowymi (np. odległość stóp podstawy). W tym przypadku L=200 mm	Targets : 0.000000 200.000000 400.000000 600.000000 800.000000 1000.000000 1200.000000 1400.000000 1600.000000 1800.000000 2000.000000 2200.000000 2400.000000 2600.000000 2800.000000 3000.000000 3200.000000 3400.000000 3600.000000 3800.000000 4000.000000 4200.000000 4400.000000 4600.000000 4800.000000 5000.000000 5200.000000 5400.000000 5600.000000 5800.000000 6000.000000 6200.000000 6400.000000 6600.000000 6800.000000
Parametr kontrolny	Flags: 0 0 2 0
Opis danych pomiarowych	USER-TEXT:: Machine:KOLB Serial No: Date:14:14 Jan 13 2009 By:W.Ptaszynski Axis:X1 Location:Energomet TITLE:1-plaszczyzna Z-X
Liczba przejazdów pomiarowych (1 w kierunku dodatnim i 1 w kierunku ujemnym)	RUNS:: Run-count:2
Zmierzone dane - pierwsza kolumna – numer przejazdu pomiarowego - druga kolumna – numer punktu pomiarowego - trzecia kolumna – zmierzona odchyłka UWAGA: Zmierzona odchyłka jest przedstawiana w jednostce $\mu\text{m}/\text{mm}$ (inaczej mm/m) (inaczej jest to $\tan(\alpha)$ ale w takiej jednostce jak wyżej)	DEVIATIONS:: Run Target Data: 1 1 -0.0010 1 2 -0.0080 1 3 -0.0250 1 4 -0.0620 (tu dalsza część) 2 5 -0.0820 2 4 -0.0590 2 3 -0.0290 2 2 -0.0050 2 1 -0.0040
Koniec pliku	EOF::

Na podstawie tych danych można wyznaczyć prostoliniowość ze wzorów przedstawionych powyżej ale dostosowanych do jednostki zmierzonej odchyłki z pliku danych. Odchyłkę prawej w stosunku do lewej stopy podstawy można zatem obliczyć z równania:

$$d_i = \frac{L \cdot \tan \alpha_i}{1000} \quad (4)$$

gdzie: d_i – wartość odchyłki prostoliniowości w punkcie i [mm],

L – odległość stóp w podstawie [mm],

$\tan \alpha_i$ – wartość zmierzonej odchyłki w punkcie i z pliku pomiarowego [mm/m lub $\mu\text{m/mm}$].

Sumaryczna wartość odchyłki prostoliniowości w stosunku do punktu początkowego możemy obliczyć z równania:

$$D_i = D_{i-1} + d_i = D_{i-1} + \frac{L \cdot \tan \alpha_i}{1000} \quad (5)$$

gdzie: D_i – sumaryczna wartość odchyłki w punkcie i w stosunku do punktu początkowego [mm],

D_{i-1} – sumaryczna wartość odchyłki w punkcie poprzednim ($i-1$) [mm], w przypadku $i=1$ $D_{i-1} = 0$,

L – odległość stóp w podstawie [mm],

$\tan \alpha_i$ – zmierzona wartość odchyłki w punkcie i z pliku pomiarowego [mm/m lub $\mu\text{m/mm}$].

Pierwszym punktem wykresu (dla $i=0$) jest wartość 0.

Następnie należy sprowadzić ogólny kierunek linii do poziomu ze wzoru (3), pierwszego punktu wykresu (o wartości 0, dla $i=0$) nie korygujemy, jest to przyjęta wartość początkowa.

8. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- datę ćwiczenia nr grupy i podgrupy,
- nazwiska osób biorących udział w ćwiczeniu,
- wykres zmierzonych wartości kątowym, może być w jednostce mm/m
- wykres przeliczonych odchyłek kątowych na prostoliniowość ze wzoru (5)
- wykres prostoliniowości ze sprowadzonym ogólnym kierunkiem linii do poziomu ze wzoru (3) oraz wyznaczoną odchyłką prostoliniowości,
- wnioski.

9. Wymagania

Przed przystąpieniem do ćwiczeń należy zapoznać się z budową laserowego układu pomiarowego dotycząca pomiarów kątów oraz zasada pomiaru prostoliniowości.

10. Literatura

1. Norma PN-ISO-230
2. Instrukcja do ćwiczenia nr 1.