

**Politechnika Poznańska**  
**Instytut Technologii Mechanicznej**

**Laboratorium**  
**Badania Maszyn CNC**

**Nr 4**

**Pomiary prostoliniowości**  
**laserowym systemem pomiarowym XL-10**

Opracował:  
Dr inż. Wojciech Ptaszyński

Poznań, 09 maja 2013

## 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 fotoczułego,
- interferometru laserowego z układem optycznym do pomiarów prostoliniowości.

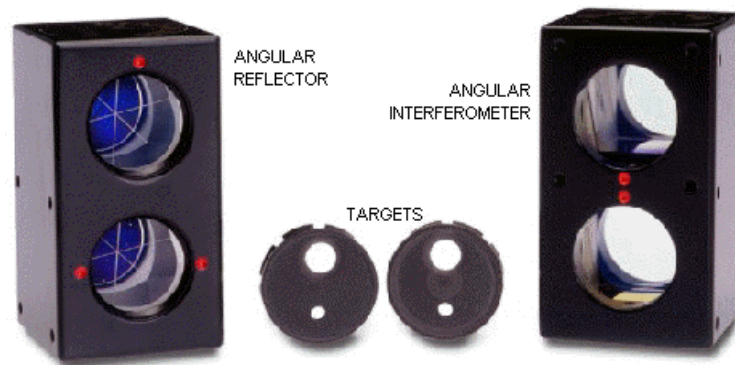
W grupie metod opartych na pomiarze kąta stosuje się metody z wykorzystaniem:

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

## 3. Pomiary prostoliniowości za pomocą pomiarów kątów interferometrem laserowym

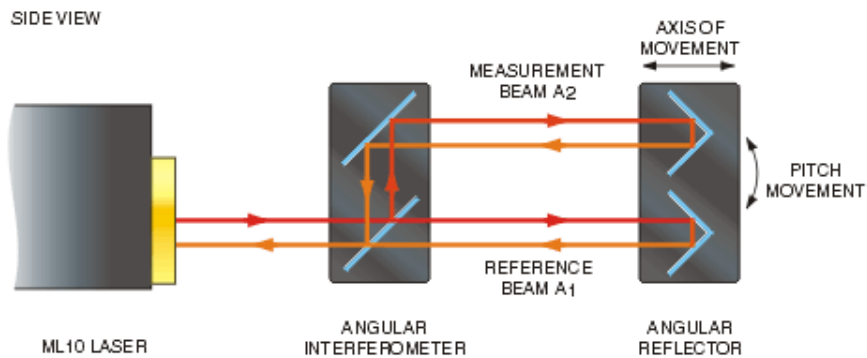
Technologia pomiarów interferometrem laserowym została opisana w instrukcji do ćwiczenia nr 1 „Badanie dokładności pozycjonowania obrabiarek CNC laserowym systemem pomiarowym”.

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).



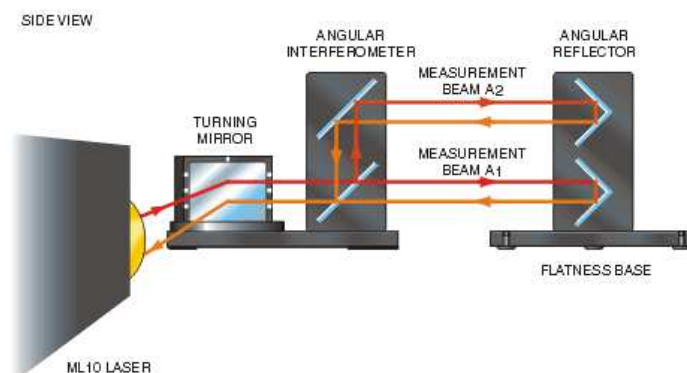
Rys. 1. Zestaw optyczny do pomiarów kątowych.

Ten układ optyczny umożliwi 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.

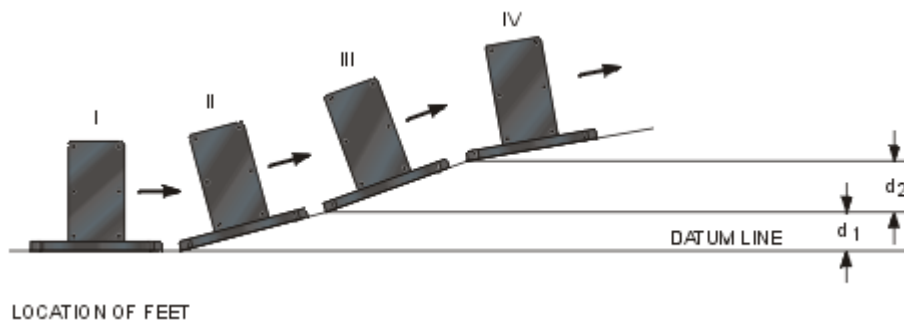


Rys. 3 Układ optyczny do pomiaru prostoliniowości stołu

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:

$$d_i = L \cdot \tan \alpha_i$$

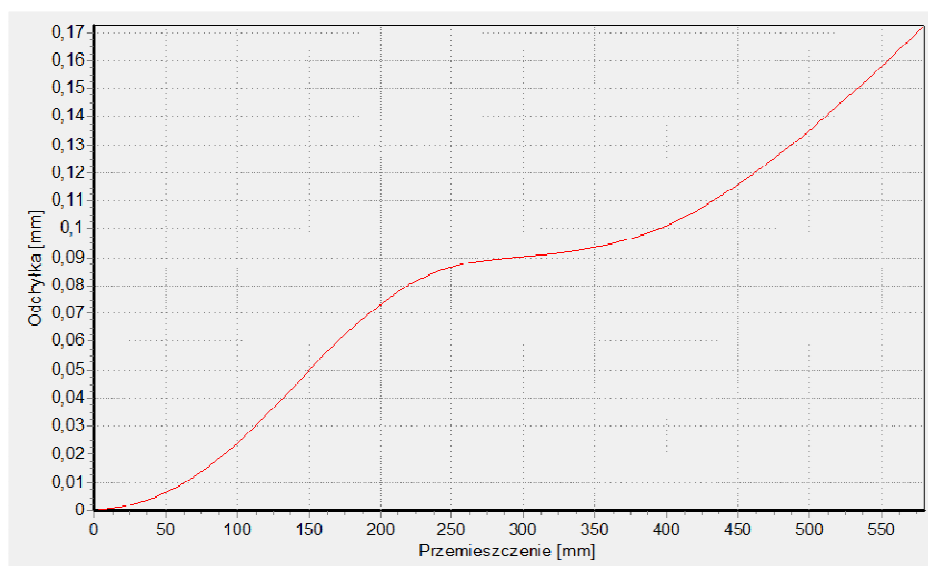
gdzie:  $d_i$  – wartość odchyłki w punkcie  $i$ ,  
 $L$  – odległość stóp w podstawie,  
 $\alpha_i$  – zmierzony kąt.

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

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

gdzie:  $D_i$  – sumaryczna wartość odchyłki w punkcie  $i$  w stosunku do punktu położenia początkowego,  
 $D_{i-1}$  – sumaryczna wartość odchyłki w punkcie poprzednim ( $i-1$ ),  
 $L$  – odległość stóp w podstawie,  
 $\alpha_i$  – zmierzony kąt w położeniu  $i$ .

Z powyższego wzoru możemy uzyskać wykres jak na rys. 5



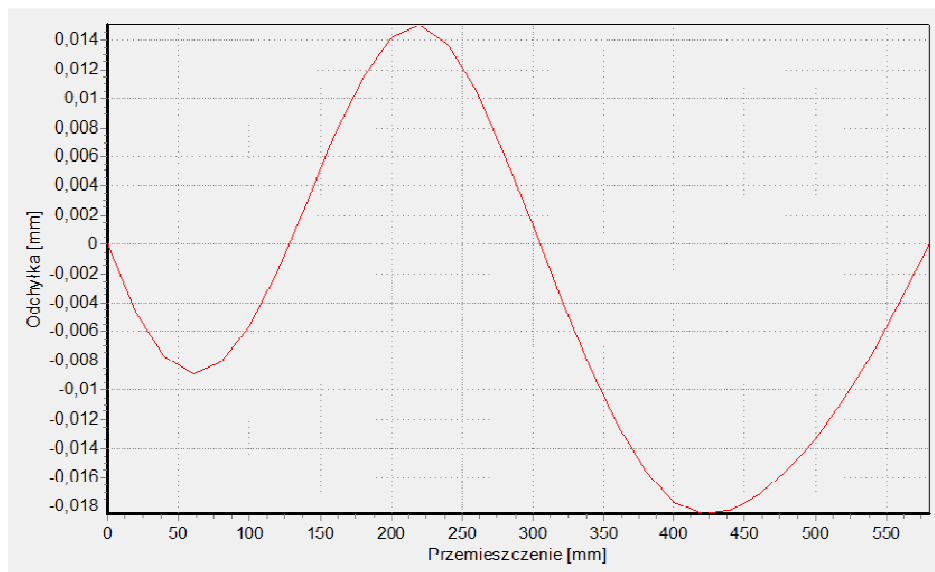
Rys. 5. Wykres wyznaczonej prostoliniowości

Aby wyznaczyć wartość prostoliniowości należy wyznaczyć ogólny kierunek linii. Wartość odchyłki prostoliniowości najłatwiej jest odczytać gdy linia ta jest pozioma. 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 zgodnie ze wzorem:

$$D'_i = D_i - \frac{D_n}{n} \cdot i$$

gdzie:  $D'_i$  – skorygowana wartość odchyłki prostoliniowości,  
 $D_n$  – błąd w punkcie ostatnim  $n$ ,  
 $n$  – liczba punktów.

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

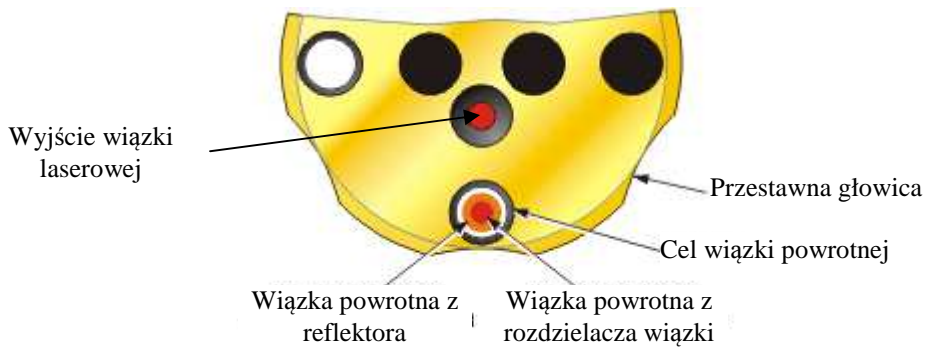


Rys. 5. Wykres wyznaczonej prostoliniowości sprowadzony do linii poziomej

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

#### 4. Kalibracja układu

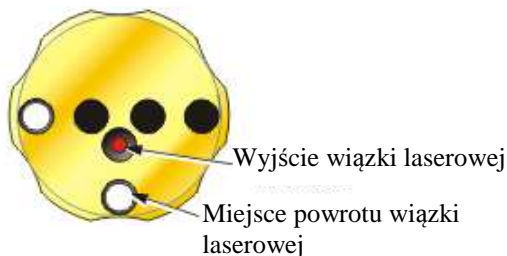
Do prawidłowego przeprowadzenia pomiarów należy odpowiednio wykalibrować układ optyczny. Kalibracja polega na dokładnie równoległym ustawieniu wiązki laserowej względem przesuwu reflektora. Kalibracja odbywa się w podobny sposób jak w przypadku pomiarów liniowych. Jednak w tym przypadku nie ma przymusowego 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.



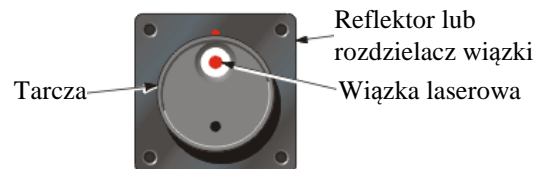
Rys. 4. Widok głowicy laserowej – ustawienie kalibracyjne

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),

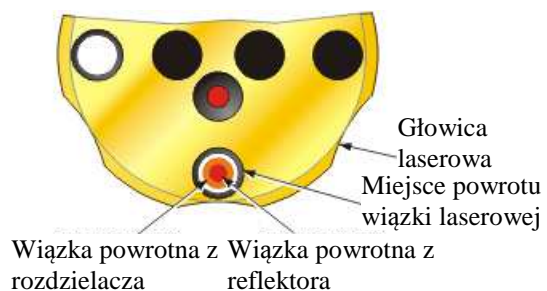


Rys. 5. Ustawienie głowicy laserowej w czasie kalibracji



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

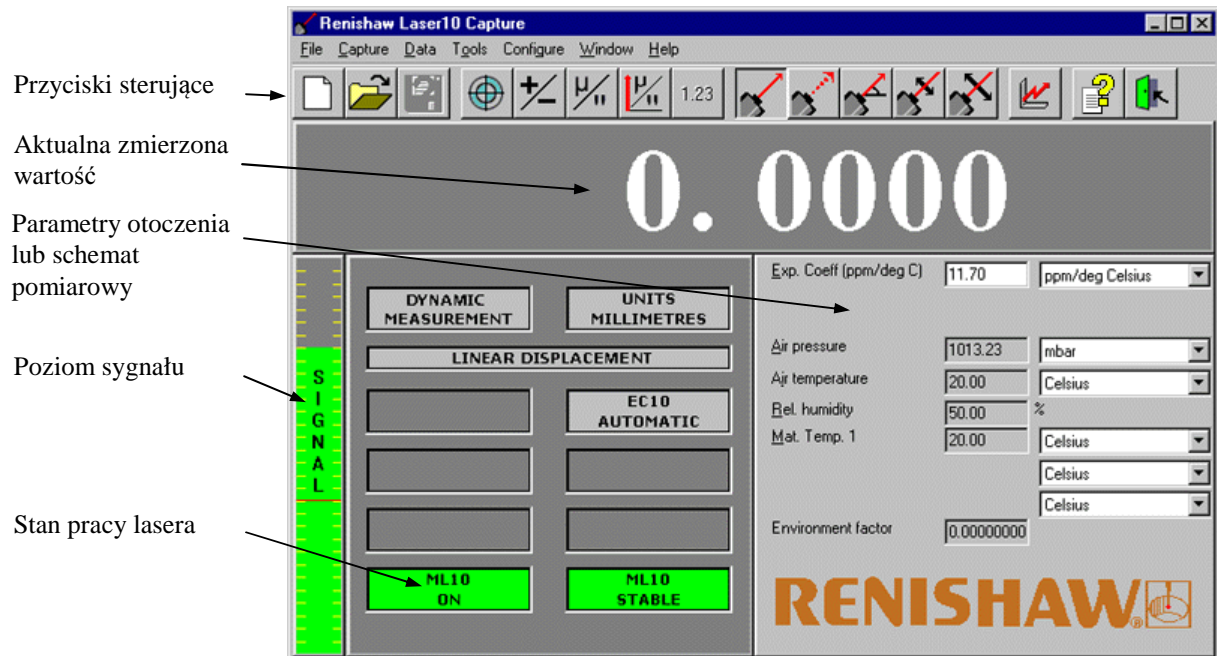
- zmontować odpowiedni układ optyczny,
- przesunąć reflektor tak aby zestawy reflektor i rozdzielacz wiązki były jak najbliżej siebie,
- tak ustawić laser oraz układ optyczny aby wiązka trafiała w odpowiedni punkt tarczy celowniczej zamontowanej na układzie optycznym (rys. 6),
- ustawić układ optyczny 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 przesuwnym 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.



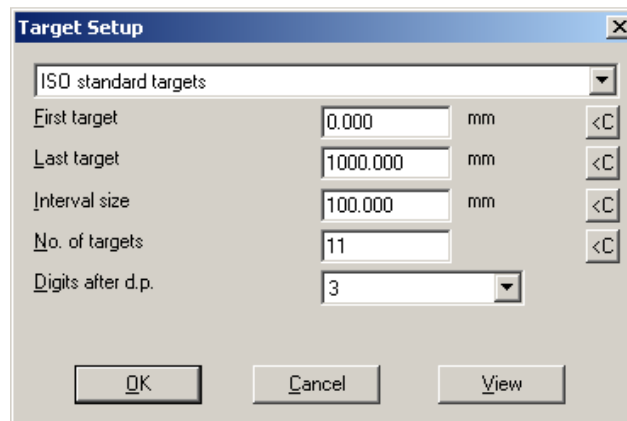
Rys. 7. Ustawienie wiązki laserowej

## 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



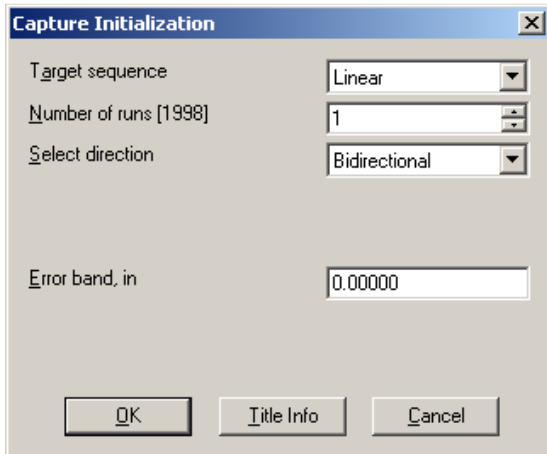
Rys. 9. Wprowadzanie cyklu i punktów pomiarowych

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

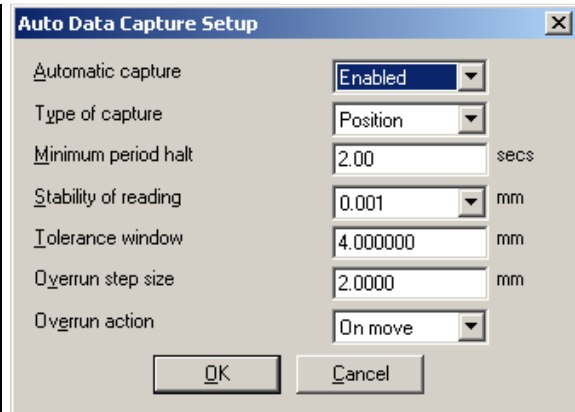
- ustawić warunki pomiaru – w tym celu należy z górnego menu wybrać opcję „Targets”, następnie wybrać „Automatic Setup” oraz wybrać opcję „targets in millimeters”. Po ukazaniu się okienka (rys. 9) należy wybrać z listy: „ISO standard targets”, następnie wprowadzić współrzędną pierwszego punktu pomiarowego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

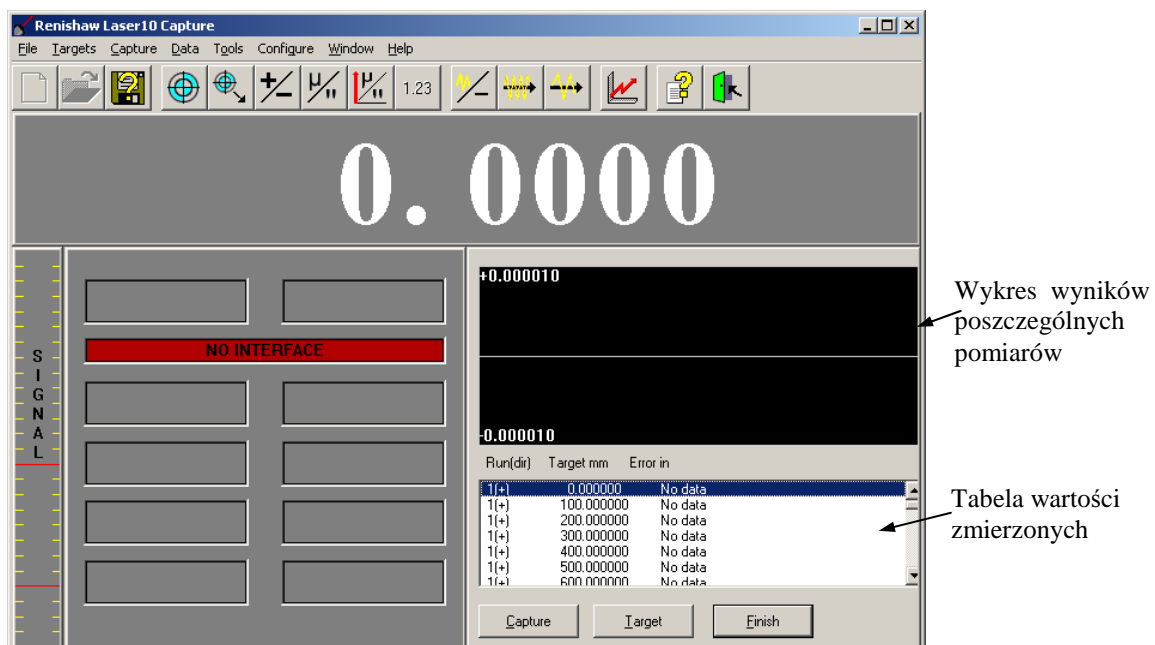


Rys. 10. Ustawienie danych pomiarowych



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. 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 skręceń w kierunku dodatnim i ujemnym,
- Określić znak wartości kąta,
- Rozmontować układ.

## 7. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać:

- datę ćwiczenia nr grupy i podgrupy,
- nazwiska osób biorących udział w ćwiczeniu,
- wykres zmierzonych wartości kątowym,
- tabelę przeliczeniową kątów na wartości odchyłek prostoliniowości,
- wykres prostoliniowości,
- wnioski..

## 8. Wymagania

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

## 9. Literatura

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