



**ĆWICZENIE  
77**

**POMIAR ODLEGŁOŚCI OGNISKOWYCH SOCZEWEK**

**Instrukcja wykonawcza**

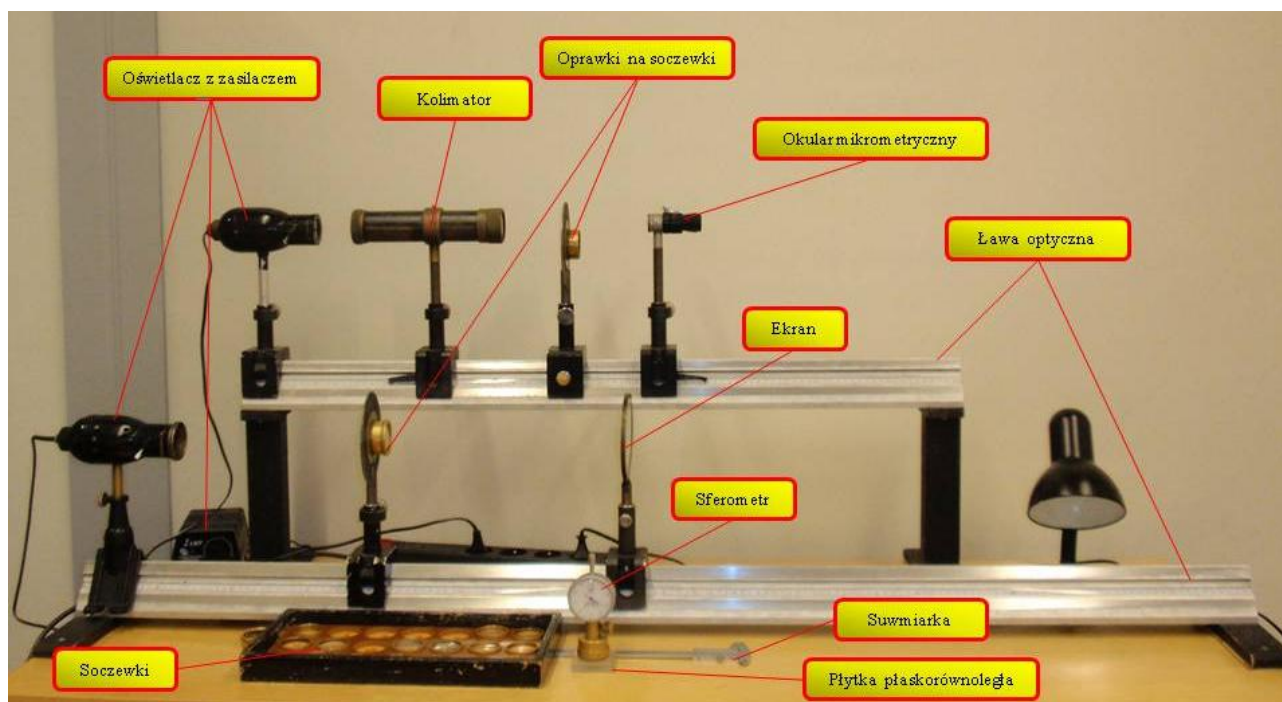
**1. Wykaz przyrządów**

- Ława optyczna z podziałką, oświetlacz z zasilaczem i płytka z wyciętym wzorkiem, ekran
- Komplet soczewek z oprawkami
- Kolimator z płytką ogniskową
- Okular mikrometryczny
- Sferometr (pierścień wraz z czujnikiem mikrometrycznym zegarowym)
- Płytkę płasko – równoległą
- Suwmiarka

**2. Cel ćwiczenia**

- Zapoznanie się z procesem wytwarzania obrazów przez soczewki cienkie.
- Wyznaczanie odległości ogniskowych soczewek cienkich różnymi metodami.

**3. Stanowisko pomiarowe**



**4. Przebieg pomiarów**

Wybrać soczewkę skupiającą i rozpraszającą tak, aby układ obu soczewek był układem skupiającym oraz oszacować orientacyjnie ogniskową  $f'$  wybranej soczewki skupiającej i układu skupiającego. W tym celu skierować soczewkę (układ soczewek) na odległe źródło światła i znaleźć na ekranie ostry rzeczywisty obraz tego źródła. Odległość od soczewki (układu soczewek) do ekranu jest w przybliżeniu równa odległości ogniskowej badanej soczewki (lub układu soczewek).

## **A. Metoda wzoru soczewkowego**

### **Pomiary wykonać dla jednej soczewki skupiającej.**

- a) Badaną soczewkę skupiającą włożyć do oprawy.
- b) Na jednym końcu ławy ustawić źródło światła ze szkiełkiem matowym i metalową płytką z wyciętym wzorkiem.
- c) W pewnej odległości  $s$  od źródła światła umieścić badaną soczewkę.
- d) Po drugiej stronie soczewki umieścić ekran. Znaleźć takie jego położenie, by uzyskać ostry obraz przedmiotu. W tym położeniu odległość pomiędzy soczewką, a ekranem będzie wynosić  $s'$ . Dla tej samej odległości  $s$  pomiary odległości  $s'$  powtórz kilkakrotnie – według zaleceń prowadzącego.
- e) Pomiary odległości  $s'$  pomiędzy soczewką a ekranem powtórz także dla innych odległości  $s$  pomiędzy przedmiotem a badaną soczewką, według zaleceń prowadzącego.

## **B. Metoda Bessela**

### **Pomiary wykonać dla jednej soczewki skupiającej (wybranej do metody wzoru soczewkowego) i jednej soczewki rozpraszającej.**

- a) Na ławie optycznej umieścić źródło światła z płytką ze wzorkiem.
- b) W pewnej – względnie dużej – odległości  $d$  od przedmiotu umieścić ekran.
- c) Pomiedzy przedmiotem a ekranem umieścić badaną soczewkę. Następnie przesuając soczewkę wzdłuż ławy optycznej znaleźć takie jej położenie  $c_1$ , w którym na ekranie powstanie powiększony obraz przedmiotu.
- d) Następnie – nie zmieniając odległości  $d$  pomiędzy przedmiotem a ekranem – przesuwać soczewkę do położenia  $c_2$ , w którym na ekranie powstanie obraz pomniejszony.
- e) Dla tej samej odległości  $d$  czynności 3 i 4 powtórz kilkakrotnie – według zaleceń prowadzącego.
- f) Pomiary położenia  $c_1$  oraz  $c_2$  powtórz także dla innych odległości  $d$  pomiędzy przedmiotem a ekranem, według zaleceń prowadzącego.
- g) W celu wyznaczenia ogniskowej soczewki rozpraszającej w przesłonie irysowej umieścić układ soczewek (skupiająca + rozpraszająca) wybranych tak, aby tworzyły układ skupiający.
- h) Przeprowadzić pomiary położenia  $c_1$  i  $c_2$  dla układu soczewek.

## **C. Metoda sferometru**

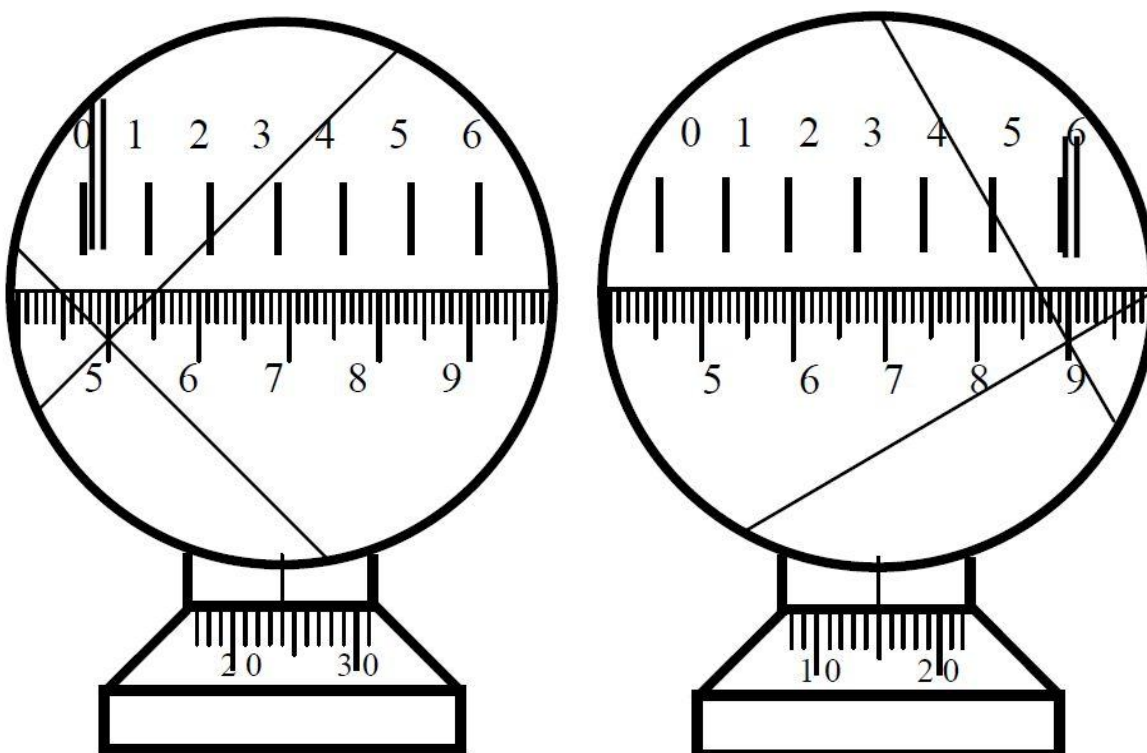
### **Pomiary wykonać dla soczewek skupiających i rozpraszających (wybranych do metody wzoru soczewkowego i metody Bessela).**

- a) Przygotować sferometr do pomiarów: na trzpień czujnika zegarowego nałożyć pierścień przeznaczony do pomiaru wartości strzałki  $h$  czaszy kulistej o średnicy  $2R$ . ( $2R_z$  dla powierzchni wklęsłej,  $2R_w$  dla powierzchni wypukłej).
- b) Ustawić sferometr na powierzchni płytki płasko-równoległej - wartość wskazywana przez czujnik będzie wartością odniesienia. Jest możliwość regulacji położenia czujnika względem pierścienia - optymalne ustawienie początkowe to takie, dla którego czujnik wskazuje ok.  $1/2$  wartości zakresu pomiarowego – np. 5.00 mm dla zakresu 10 mm (mała wskazówka wskazuje pełne milimetry, a duża setne części milimetra).
- c) Ustawić sferometr na mierzonej powierzchni soczewki i odczytać wskazanie czujnika zegarowego. Wartość  $h$  strzałki czaszy kulistej soczewki jest różnicą wskazań czujnika na płycie płasko-równoległej i na mierzonej powierzchni. Pomiar strzałki  $h$  należy powtórzyć kilkakrotnie.
- d) Analogiczne pomiary wartości strzałki przeprowadzić dla drugiej powierzchni soczewki.

- e) Zmierzyć suwmiarką kilkakrotnie – w różnych kierunkach - średnicę zewnętrzną  $2R_z$  i średnicę wewnętrzną  $2R_w$  pierścienia sferometru.
- f) Pomiarów strzałek dokonać dla soczewki skupiającej i rozpraszającej – według zaleceń prowadzącego.

**D. Metoda okularu mikrometrycznego i kolimatora.  
Pomiary wykonać dla układów skupiających.**

- a) Wyregulować ustawienie okularu mikrometrycznego na ostre widzenie krzyża.
- b) Zestawić na ławie optycznej przyrządy w następującej kolejności: oświetlacz, kolimator z podziałką, badany układ skupiający oraz okular mikrometryczny ze skalą tak, aby ich środki leżały na jednej prostej pokrywającej się z główną osią optyczną soczewki.
- c) Przesuwając okular lub badaną soczewkę wzdłuż ławy optycznej znaleźć takie jego (jej) położenie, aby widzieć ostro, bez paralaksy, obraz skali kolimatora na tle krzyża okularu.
- d) Wybrać dwie odległe kreski na skali kolimatora i policzyć liczbę  $k$  małych działek między tymi kreskami (na rys. 1:  $k = 10 \cdot (9,0 - 5,0) = 40$ ).
- e) Ustawić przecięcie nitek krzyża okularu mikrometrycznego na wybraną lewą kreskę skali kolimatora i odczytaj jego położenie  $x_L$ . W ten sam sposób dokonać pomiaru położenia  $x_P$  dla prawej wybranej kreski skali. Pomiary  $x_L$  i  $x_P$  powtórzyć trzykrotnie. Wartość elementarnej działki bębna okularu mikrometrycznego wynosi 0,01 mm, a odstęp między numerowanymi kreskami skali okularu mikrometrycznego wynosi 1 mm i odpowiada pełnemu obrotowi bębna. Przykład odczytu położenia krzyża jest zilustrowany na rys. 1.



Przecięcie nitek krzyża na skali kolimatora wskazuje wartość **5,0** co na skali okularu mikrometrycznego odpowiada wartości  $x_L = \mathbf{0,24}$  mm.

Przecięcie nitek krzyża na skali kolimatora wskazuje wartość **9,0** co na skali okularu mikrometrycznego odpowiada wartości  $x_P = \mathbf{6,15}$  mm.

## 5. Opracowanie wyników

### A. Metoda wzoru soczewkowego

1. Obliczyć średnią wartość odległości  $s'$  ekranu od soczewki i wyznaczyć jej niepewność.
2. Ze wzoru soczewkowego:
$$\frac{1}{f'} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$
obliczyć ogniskową  $f'$  soczewki i jej niepewność.
3. Obliczyć zdolność skupiającą soczewki  $\varphi = \frac{1}{f'}$  i jej niepewność, gdzie  $f'$  wyrażona jest w metrach.
4. Analogiczne obliczenia wykonać dla innych odległości  $p$  przedmiotu od soczewki.

### B. Metoda Bessela

1. Dla danej odległości  $d$  przedmiotu od ekranu obliczyć średnie wartości  $\bar{c}_1$  i  $\bar{c}_2$  położenia soczewki, przy których otrzymano ostry obraz powiększony i pomniejszony oraz wyznaczyć ich niepewności.
2. Wyznaczyć odległość  $\bar{c}$  między oboma położeniami soczewki ze wzoru:
$$c = |\bar{c}_1 - \bar{c}_2|$$
oraz jej niepewność.
3. Dla danej odległości  $d$  obliczyć ogniskową soczewki skupiającej wg wzoru:
$$f'_s = \frac{d^2 - c^2}{4d}$$
i wyznaczyć jej niepewność.
4. Jeśli mierzony był również układ soczewek, przeprowadzić analogiczne obliczenia ogniskowej  $f'_u$  układu soczewek oraz jej niepewności.
5. Obliczyć ogniskową  $f'_r$  soczewki rozpraszającej z zależności:
$$\frac{1}{f'_r} = \frac{1}{f'_u} - \frac{1}{f'_s}$$
, oraz jej niepewność.
6. Powtórzyć obliczenia ogniskowych dla pozostałych odległości  $d$  przedmiotu od ekranu.
7. Uśrednić otrzymane ogniskowe danej soczewki dla różnych odległości  $d$  oraz oszacować niepewność.

### C. Metoda sferometru

1. Obliczyć średnią wartość  $\bar{h}$  strzałki czaszy kulistej dla obu powierzchni soczewki i jej niepewność.
2. Obliczyć średnią wartość średnicy pierścienia:  $\bar{R}_z$  dla wklęsłej powierzchni soczewki;  $\bar{R}_w$  dla wypukłej powierzchni soczewki. Obliczyć ich niepewności.
3. Obliczyć promienie obu krzywizn soczewki ze wzoru:
$$r = \frac{R^2 + h^2}{2h},$$
przy czym  $R = R_z$  dla wklęsłej powierzchni soczewki  
 $R = R_w$  dla wypukłej powierzchni soczewki.  
Obliczyć ich niepewności.
4. Obliczyć ogniskową  $f'$  badanej soczewki i jej zdolność skupiającą ze wzoru:
$$\frac{1}{f'} = \left(\frac{n}{n'} - 1\right) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right),$$
gdzie:  $\frac{n}{n'} = 1,52 \pm 0,01$  – współczynnik załamania szkła względem powietrza,  
 $r_1, r_2$  – promienie krzywizn odpowiednio pierwszej i drugiej powierzchni soczewki.  
Obliczyć jej niepewność.

**UWAGA! Promień krzywizny powierzchni łamiącej soczewki jest dodatni, gdy promienie świetlne padają na stronę wypukłą soczewki, a ujemny - gdy promienie świetlne padają na powierzchnię wklęsłą.**

**D. Metoda okularu mikrometrycznego i kolimatora**

1. Obliczyć średnią wartość położenia  $x_L$  dla lewej kreski oraz średnią wartość położenia  $x_P$  dla prawej kreski skali kolimatora i wyznaczyć ich niepewności.
2. Obliczyć odległość  $x'$  między wybranymi do pomiaru kreskami skali ze wzoru:

$$x' = x_P - x_L.$$

3. Obliczyć ogniskową soczewki (układu skupiającego) ze wzoru:

$$f' = \frac{x'}{\operatorname{tg}(k\alpha_0)},$$

gdzie:  $\alpha_0 = 4,3'$  – odległość kątowna między kolejnymi małymi kreskami skali kolimatora,  
 $k$  – liczba małych działek między wybranymi kreskami skali kolimatora  
 i wyznaczyć jej niepewność.

4. Obliczyć ogniskową soczewki rozpraszającej ze wzoru:

$$\frac{1}{f_{r'}} = \frac{1}{f_u'} - \frac{1}{f_s'},$$

gdzie:  $f_s', f_r', f_u'$  – odległości ogniskowych odpowiednio soczewki skupiającej, rozpraszającej i układu soczewek,  
 i jej niepewność.

**6. Proponowane tabele (do zatwierdzenia u prowadzącego)**

Tabela 1. Metoda wzoru soczewkowego.

Numer soczewki	$s$ $\times 10^{-2}$ [m]	$u(s)$ $\times 10^{-2}$ [m]	$s'$ $\times 10^{-2}$ [m]	$\bar{s}$ $\times 10^{-2}$ [m]	$u(s')$ $\times 10^{-2}$ [m]	$f'$ $\times 10^{-2}$ [m]	$u_c(f')$ $\times 10^{-2}$ [m]	$\varphi$ [1/m]	$u_c(\varphi)$ [1/m]

Tabela 2. Metoda Bessela

Dla jednej soczewki skupiającej (wybranej do metody wzoru soczewkowego).

	$c_1 \times 10^{-2}$ [m]	$c_2 \times 10^{-2}$ [m]
Pomiar 1:		
Pomiar 2:		
...		
$\Delta X$		
$\bar{X}$		
$u(X)$		

Numer soczewki	$d$ $\times 10^{-2}$ [m]	$u(d)$ $\times 10^{-2}$ [m]	$\bar{c}_1$ $\times 10^{-2}$ [m]	$u(c_1)$ $\times 10^{-2}$ [m]	$\bar{c}_2$ $\times 10^{-2}$ [m]	$u(c_2)$ $\times 10^{-2}$ [m]	$c$ $\times 10^{-2}$ [m]	$u_c(c)$ $\times 10^{-2}$ [m]	$f'$ $\times 10^{-2}$ [m]	$u_c(f')$ $\times 10^{-2}$ [m]

Dla układu soczewek skupiającej i rozpraszającej.

	$c_1 \times 10^{-2}$ [m]	$c_2 \times 10^{-2}$ [m]
Pomiar 1:		
Pomiar 2:		
...		
$\Delta X$		
$\bar{X}$		
$u(X)$		

Numer soczewki	$d \times 10^{-2}$ [m]	$u(d) \times 10^{-2}$ [m]	$\bar{c}_1 \times 10^{-2}$ [m]	$u(c_1) \times 10^{-2}$ [m]	$\bar{c}_2 \times 10^{-2}$ [m]	$u(c_2) \times 10^{-2}$ [m]	$c \times 10^{-2}$ [m]	$u(c) \times 10^{-2}$ [m]	$f'_u \times 10^{-2}$ [m]	$u(f'_u) \times 10^{-2}$ [m]	$f'_r \times 10^{-2}$ [m]	$u(f'_r) \times 10^{-2}$ [m]

Tabela 3. Metoda sferometru (dla wszystkich soczewek).

	$h \times 10^{-2}$ [m]	$R_z \times 10^{-2}$ [m]	$R_w \times 10^{-2}$ [m]
Pomiar 1:			
Pomiar 2:			
...			
$\Delta X$			
$\bar{X}$			
$u(X)$			

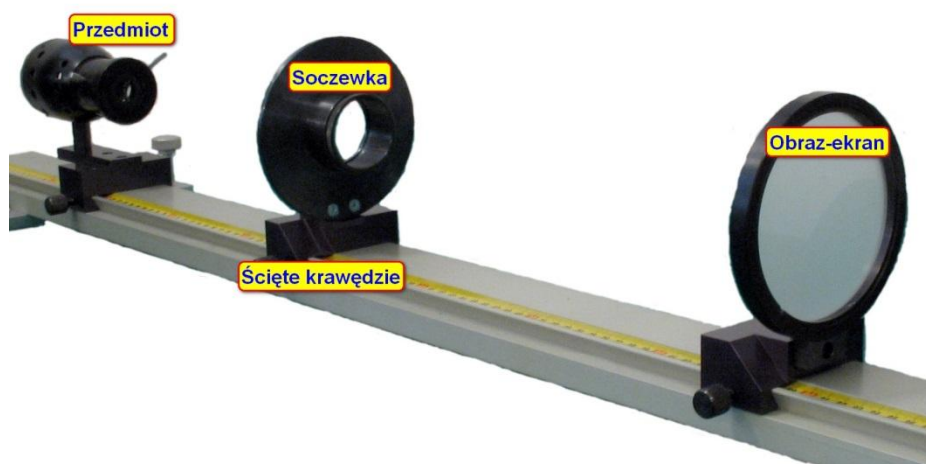
Numer soczewki	Rodzaj powierzchni	$r_1 \times 10^{-3}$ [m]	$u_c(r_1) \times 10^{-3}$ [m]	$r_2 \times 10^{-3}$ [m]	$u_c(r_2) \times 10^{-3}$ [m]	$f \times 10^{-3}$ [m]	$u_c(f) \times 10^{-3}$ [m]	$\varphi$ [1/m]	$u_c(\varphi)$ [1/m]

Tabela 4. Metoda okularu mikrometrycznego i kolimatora (dla układów skupiających).

	$x_l \times 10^{-2}$ [m]	$x_p \times 10^{-2}$ [m]
Pomiar 1:		
Pomiar 2:		
...		
$\Delta X$		
$\bar{X}$		
$u(X)$		

Numer soczewki $i$	$k$	$x'$ $\times 10^{-3}$ [m]	$u_c(x')$ $\times 10^{-3}$ [m]	$tg(k \cdot \alpha_0)$	$f'$ $\times 10^{-3}$ [m]	$u_c(f')$ $\times 10^{-3}$ [m]	$f_r$ $\times 10^{-3}$ [m]	$u_c(f_r)$ $\times 10^{-3}$ [m]

## POMIAR ODLEGŁOŚCI OGNISKOWYCH SOCZEWEK CIENKICH WERSJA ZMODYFIKOWANA



W stosunku do ćwiczenia 77 modyfikacja dotyczy: nowych ław optycznych, nowych soczewek o większej średnicy, i nowych pierścieni do metody sferometru. Uwagi przedstawione poniżej dotyczą techniki pomiaru.

1. Soczewki znajdują się w oprawkach, których brzegi oznaczone są kropkami lub kreskami. Liczba kropek to numer soczewki skupiającej (dodatniej). Liczba kresków to numer kolejny litery alfabetu. Litery zaś oznaczają soczewki rozpraszające (ujemne).
2. Aby można było mierzyć układ soczewek (soczewka dodatnia + soczewka ujemna) na nowych ławach, należy mieć na uwadze poniższe warunki:
  - Soczewka A tworzy układ z soczewkami 1 i 2,
  - Soczewka B tworzy układ z soczewkami 1 ÷ 3,
  - Soczewka C tworzy układ z soczewkami 1 ÷ 5.
3. Aby zminimalizować błędy pomiarowe (soczewki bowiem są uważane za cienkie) należy soczewki wkładać do uchwytu w odpowiedni sposób:
  - Każdą soczewkę należy wkładać w taki sposób, by pierścień mocujący w oprawie soczewkę był skierowany w stronę ekranu-matówki.
  - W przypadku badania układu soczewek: soczewkę dodatnią ustawiamy, w uchwycie, bliżej przedmiotu-źródła światła, a soczewkę ujemną dalej od źródła.
4. Położenia: przedmiotu, soczewki i ekranu-matówki, wyznaczają ścięte brzegi koników!, na których się one przesuwają na ławie.

**Uwaga:** konik soczewki ma dwa ścięte brzegi! Ten ścięty brzeg bliżej zewnętrznej strony ławy służy do pomiaru położenia pojedynczej-dodatniej soczewki. Ścięty brzeg bliżej środka ławy służy do pomiaru położenia układu soczewek.