

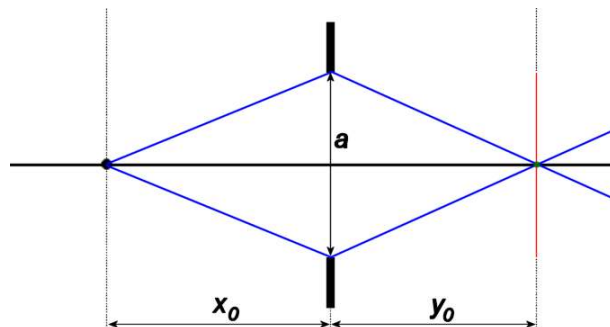
## WYPROWADZENIE WZORÓW OPISUJĄCYCH ZAKRES GŁĘBI OSTROŚCI.

1. Podstawowym wyrażeniem, z którego wyprowadzimy poszukiwaną zależność jest tzw. wzór soczewkowy:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x} + \frac{1}{y} \quad (1)$$

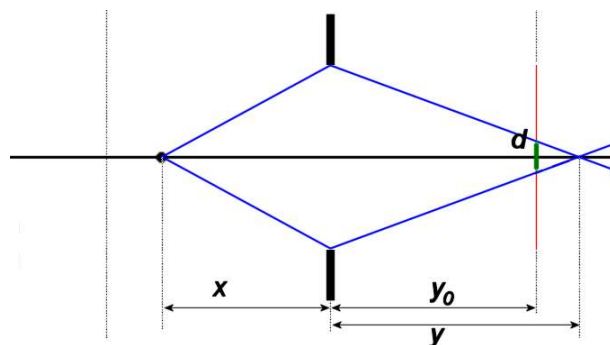
gdzie:

- $f$  – jest ogniskową soczewki
- $x$  – odległością przedmiotu od soczewki
- $y$  – odległością obrazu od soczewki



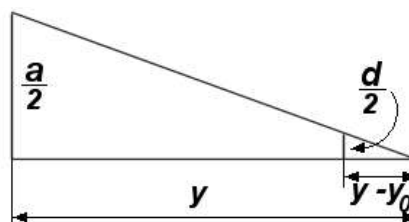
2. Załóżmy, że odległość na którą nastawiamy ostrość to  $x_0$ . Punkty znajdujące się dokładnie w takiej odległości od obiektywu odwzorują się w postaci punktów na elemencie światłoczułym, który powinien być ulokowany dokładnie w odległości  $y_0$  po drugiej stronie obiektywu.

3. Dowolny punkt położony w odległości  $x$ , gdzieś pomiędzy obiektywem a miejscem, na które nastawiono ostrość zostałyby odwzorowany jako punkt w odległości  $y$  poza elementem światłoczułym, tak jak to pokazano na rysunku obok. Oznacza to, że promienie padające na element światłoczuły utworzą na nim krążek o średnicy  $d$ . Krążek ten nazywamy krążkiem rozmycia. Od jego rozmiarów zależy, czy obraz punktu będziemy interpretować jeszcze jako ostry czy już nie.



4. Zauważmy, że jeżeli  $a$  oznacza średnicę otworu przysłony, to z twierdzenia Talesa możemy zapisać poniższą relację:

$$\frac{a}{d} = \frac{y}{y - y_0} \quad (2)$$



5. Kilka poniższych przekształceń pozwoli znaleźć wyrażenie opisujące związek pomiędzy położeniem przedmiotu (odległość  $x$ ), a wielkością krążka rozmycia (średnica  $d$ ).

Przekształćmy równanie (2):

$$\begin{aligned} ay - ay_0 &= dy \\ (a - d)y &= ay_0 \quad (3) \end{aligned}$$

Z równania (1) wyliczymy  $y$  i  $y_0$ :

$$y = \frac{fx}{x - f} \quad y_0 = \frac{fx_0}{x_0 - f}$$

i podstawimy wyliczone wartości do równania (3):

$$(a-d)\frac{fx}{x-f} = a\frac{fx_0}{x_0-f}$$

Otrzymane równanie obustronnie dzielimy przez  $f$ , a następnie obydwie strony mnożymy przez:  $(x_0-f)(x-f)$ :

$$(a-d)x(x_0-f) = ax_0(x-f)$$

co po przekształceniu daje:

$$x[ax_0 - (a-d)(x_0-f)] = afx_0$$

równanie to pozwala już swobodnie wyznaczyć  $x$ :

$$x = \frac{afx_0}{ax_0 - (a-d)(x_0-f)} = \frac{afx_0}{ax_0 - ax_0 + af + dx_0 - df} = \frac{afx_0}{af + d(x_0-f)}$$

Przekształćmy jeszcze to wyrażenie do nieco innej postaci:

$$x = \frac{af + d(x_0-f) - d(x_0-f)}{af + d(x_0-f)} x_0 = \left[ 1 - \frac{d(x_0-f)}{af + d(x_0-f)} \right] x_0$$

Jeżeli teraz za  $d$  podstawimy  $D$  oznaczające maksymalny rozmiar krążka dyfrakcji, który jeszcze będziemy interpretować jako ostry punkt, to otrzymamy wzór na  $x_{min}$  czyli najmniejszą odległość od obiektywu przy której przedmioty będą ostro odwzorowane. Odległość ta jest więc początkiem zakresu głębi ostrości.

$$x_{min} = \left[ 1 - \frac{D(x_0-f)}{af + D(x_0-f)} \right] x_0 \quad (4)$$

Pamiętajmy przy okazji, że średnicę otworu przysłony możemy wyliczyć z zależności:  $a = \frac{f}{A}$ , gdzie  $A$  oznacza tak zwany  $f$ -stop czyli numer przysłony (2.2, 5.6, 11 itd...).

6. Dokładnie w ten sam sposób można pokazać (pozostawiam to jako ćwiczenie dociekliwym czytelnikom), że głębia ostrości rozciąga się aż do:

$$x_{max} = \left[ 1 + \frac{D(x_0-f)}{af - D(x_0-f)} \right] x_0 \quad (5)$$

7. Zakres głębi ostrości to oczywiście:  $\Delta = x_{max} - x_{min}$

8. Jeżeli mianownik równania (5) będzie równy zero, to  $x_{max}$  będzie równe nieskończoności.

Oznacza to, że głębia ostrości będzie się wówczas rozciągać od  $x_{min}$  do nieskończoności. Odległość  $x_0$  na jaką wówczas nastawiono ostrość nazywana jest odległością hiperfokalną i można pokazać, że

$$\text{jest ona równa: } x_h = \left( \frac{a}{D} + 1 \right) f$$

Na zakończenie pozostaje kwestia ustalenia ile wynosi średnica krążka  $D$ . Dla sprzętu analogowego formatu 35mm przyjmuje się  $D \approx 0.03mm$ . Wartość ta wynika z wyliczeń biorących pod uwagę rozdzielczość kątową ludzkiego oka oraz typowe warunki powiększenia negatywu i oglądania odbitki. W przypadku aparatów cyfrowych sprawa nie jest jednoznaczna. Część autorów przyjmuje, że rozmiar krążka dyfrakcji powinien zostać podzielony przez czynnik skalujący ogniskową. Tak więc np. dla Canona EOS 350D, dla którego czynnik mnożący wynosi 1.6 wartość średnicy krążka dyfrakcji wynosiłaby  $D \approx 0.0188$ . Inni autorzy przyjmują, że w przypadku fotografii cyfrowej obraz pozostaje ostry dopóty, dopóki rozmiar krążka dyfrakcji nie przekracza średnicy pojedynczego piksela (pojedynczego elementu CCD czy CMOS). W takim przypadku dla wspomnianego aparatu, którego element CMOS ma szerokość 22.2mm i na tej szerokości ulokowano 3456 pikseli, średnica krążka dyfrakcji wynosiłaby  $D \approx 0.0064mm$ . Krążek dyfrakcji byłby zatem blisko trzy razy mniejszy. W efekcie głębia ostrości byłaby mniejsza.