

# Optyka w fotografii

## Fizyka ani łatwa, ani trudna – ale potrzebna!

Podręczniki fotografii pełne są skomplikowanych opisów i jeszcze bardziej skomplikowanych teorii, a tymczasem wszystko jest znacznie prostsze niż się to wydaje.

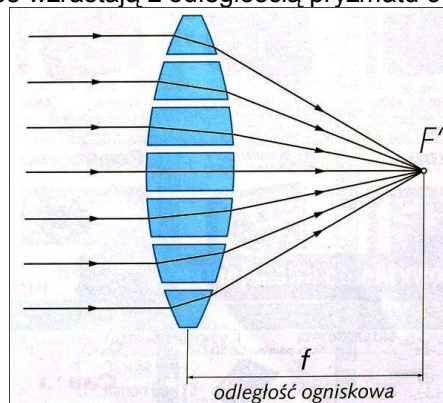
### 1. Soczewki



Rys 1 Soczewka utworzona przez powierzchnie kuliste

Soczewką nazywa się bryłę szklaną ograniczoną dwiema wypolerowanymi powierzchniami kulistymi bądź jedną powierzchnią kulistą a drugą płaską. Na rysunku 1 pokazana jest soczewka o dwóch ograniczonych powierzchniach sferycznych, takich, że maksymalna odległość między nimi jest dużo mniejsza niż promień krzywizny tych powierzchni.

Działanie soczewki możemy łatwiej zrozumieć, jeżeli wyobrazimy sobie soczewkę jako zbiór dużej ilości pryzmatów rys.2, których kąty łamiące wzrastają z odległością pryzmatu od osi.



Rys 2 Soczewka jako zbiór wielu pryzmatów

Jeśli na soczewkę pada pęk promieni równoległych do osi, to promień biegnący wzdłuż osi nie zmienia swego kierunku, gdyż w obszarze przyosiowym soczewka stanowi jak gdyby soczewkę płasko równoległą. Promienie biegnące obok osi ulegają tym silniejszemu odchyleniu, im dalej od osi pada promień na soczewkę. Punkt  $F'$  lub punkt skupienia przedłużeń promieni załamanych nazywa się ogniskiem obrazowym soczewki.

Dalej dla lepszego zrozumienia zagadnienia wykorzystamy kilka, akceptowanych przez fizykę uproszczeń, które ułatwiają zrozumienie zjawiska.

Pierwsze uproszczenie, to model soczewki cienkiej. Układ soczewek (obiektywu), można zastąpić jedną, ale „idealną”, pozbawioną wad, soczewką **nieskończenie** cienką (nie ograniczoną wymiarami), która skupia w sobie właściwości układu. Otrzymane wtedy rysunki stają się bardzo przejrzyste. Upraszczając skrajnie, zamiast cienkiej soczewki możemy rysować ją w postaci płaszczyzny  $H$ , którą nazywamy płaszczyzną główną soczewki. Drugie uproszczenie, to zaniedbamy wady soczewki (w przypadku nieskorygowanej soczewki równanie Gaussa dotyczy tylko promieni przyosiowych!). Wszystkie promienie padające na płaszczyznę główną – czyli soczewkę **nieskończenie** cienką – pod kątem prostym, muszą przejść przez ognisko soczewki  $F'$ .

I odwrotnie, źródło punktowe umieszczone w tym ognisku daje po załamaniu przez soczewkę wiązkę równoległą do osi soczewki.

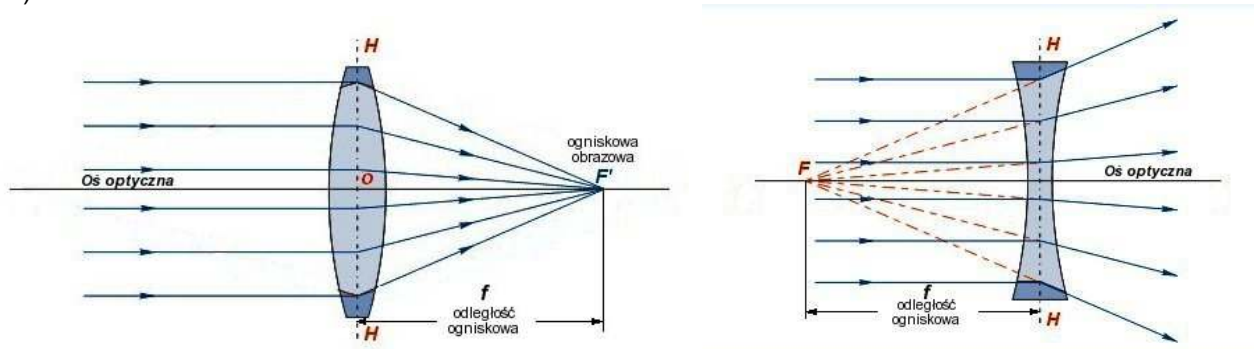
Po trzecie: soczewkę będziemy traktować jako dodatnią i symetryczną w potrzebnym nam do rozważań przybliżeniu.

Po czwarte: po obu stronach soczewki znajduje się taki sam ośrodek – powietrze.

Przedmiot bardzo oddalony od soczewki tworzy obraz w płaszczyźnie ogniskowej obrazowej soczewki, tj. w płaszczyźnie prostopadłej do osi optycznej, a przechodzącej przez ognisko obrazowe  $F'$ .

Odległość od głównego punktu obrazowego  $O$  do ogniska obrazowego soczewki  $F'$  nazywa się **odległością ogniskową** lub wprost ogniskową soczewki (Rys. 3a). Odległość ogniskową oznacza się małą literą  $f'$  (lub  $f$ ). Soczewki grubsze na osi niż na brzegu skupiają promienie. Są to soczewki skupiające (dodatnie - Rys. 3a). Prócz **ogniska obrazowego  $F'$**  soczewki rozróżniamy jeszcze drugie ognisko, zwane **ogniskiem przedmiotowym  $F$** .

**Ognisko przedmiotowe soczewki dodatniej** to punkt **F** na osi, który ma tę własność, że źródło punktowe umieszczone w tym ognisku daje po przejściu przez soczewkę wiązkę równoległą do osi (Rys 5b). Ognisko przedmiotowe soczewki dodatniej jest rzeczywiste, gdy promienie padające na soczewkę w rzeczywistości z tego punktu wychodzą. Soczewce skupiającej przypisuje się ogniskową dodatnią. Soczewki grubsze na brzegu niż na osi rozpraszają promienie (zamieniają padające na nie pęk promieni równoległych na wiązkę rozbieżne). Soczewki takie zwą się rozpraszającymi (Rys. 3b). Soczewce rozpraszającej przypisuje się ogniskową ujemną. Soczewka rozpraszająca ma ognisko pozorne, gdyż promienie przez to ognisko nie przechodzą (przez ognisko pozorne przechodzą przedłużenia promieni załamanych). Ognisko przedmiotowe soczewki ujemnej jest to punkt **F** na osi, który posiada tę własność, że każdy promień padający w kierunku punktu **F** zostaje przekształcony przez soczewkę na promień równoległy do osi (Rys 5d). Ogniska obrazowe i przedmiotowe leżą zawsze po dwóch różnych stronach soczewki: dla soczewki dodatniej ognisko przedmiotowe **F** leży przed soczewką, a obrazowe **F'** leży za soczewką, dla soczewki zaś ujemnej położenie ogniska jest odwrotne - ognisko przedmiotowe leży za soczewką, a obrazowe - przed nią (Rys 5c i 5d).

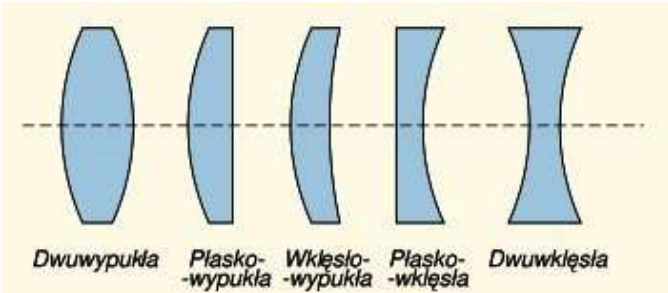


Rys 3a i 3b Załamanie promieni przez soczewkę dodatnią i ujemną

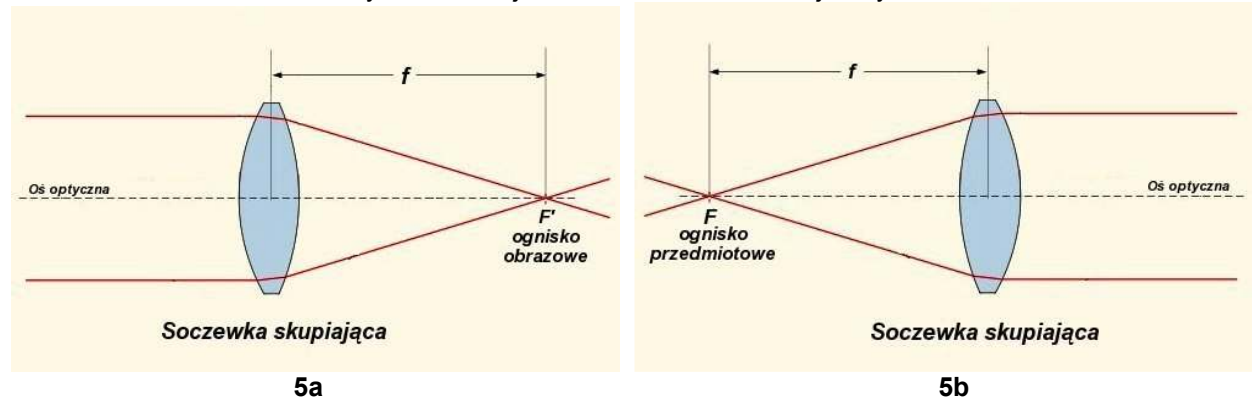
Obydwa ogniska soczewki dodatniej są rzeczywiste, zaś soczewki ujemnej są pozorne. Ogniska przedmiotowe **F** i obrazowe **F'** leżą w równych odległościach od punktu głównego **O**, który umiejscowiony jest w środku osi optycznej **soczewki nieskończenie cienkiej** przecinanej przez płaszczyznę główną **H**. Na ogół wielkości odpowiadające przestrzeni obrazowej oznacza się symbolami literowymi z apostrofem. Obraz w soczewce dodatniej jako obraz rzeczywisty można otrzymać na ekranie umieszczonym w płaszczyźnie ogniskowej obrazowej lub zarejestrować na matrycy albo błonie fotograficznej umieszczonej w płaszczyźnie ogniskowej. W tym ostatnim przypadku soczewka dodatnia stanowi najprostszy obiektyw fotograficzny. Jeśli jednostkę podzielić przez ogniskową **f**, wyrażoną w metrach, otrzymuje się liczbę, która nazywa się mocą soczewki. Moc soczewki wyraża się w dioptriach.

$$D = \frac{1}{f}$$

Soczewka o ogniskowej  $f = 1 \text{ m}$  ma moc  $= 1$  dioptrii, czyli 1 dioptria (1 dptr) jest mocą soczewki o ogniskowej 1 m.

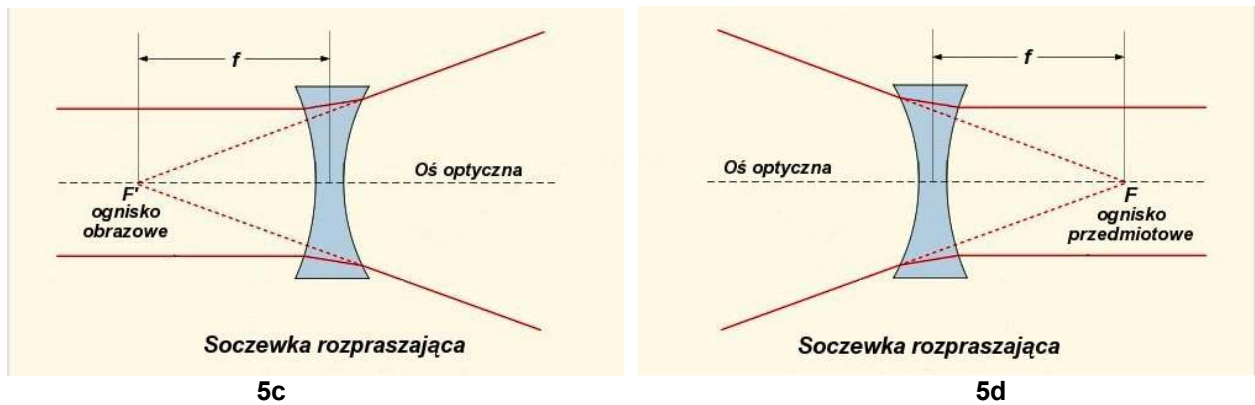


Rys 4 Przekroje soczewek dodatnich i ujemnych



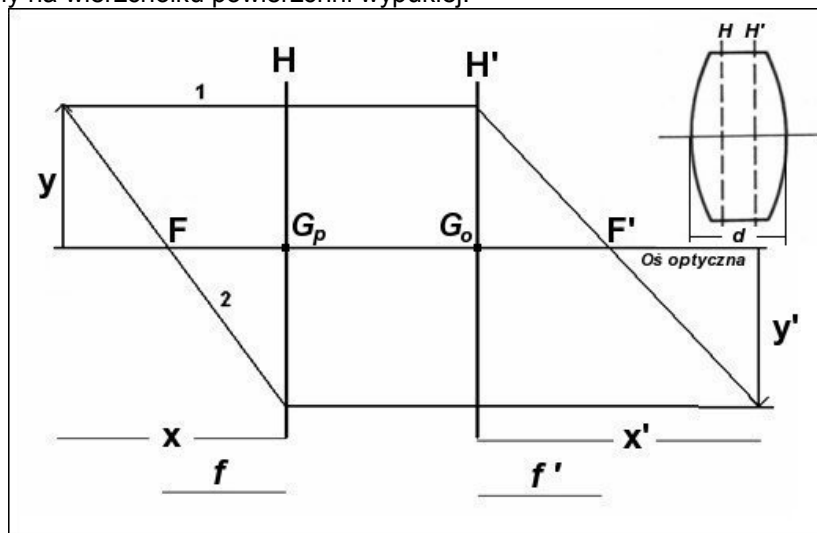
5a

5b



Rys 5 Położenie ognisk: obrazowego i przedmiotowego dla soczewki dodatniej i ujemnej

**W soczewkach rzeczywistych** trzeba uwzględnić ich grubość  $d$  oraz punkty główne, traktując jako równoległe przesunięcie, czyli płasko – równoległą płytkę o grubości równej odległości między dwoma punktami głównymi (obrazowym i przedmiotowym). Punkty główne  $G_p$  i  $G_o$  leżą na osi optycznej soczewki. Odległość tych punktów wynosi ok.  $1/3$  grubości soczewki (przy szkło o współczynniku załamania światła  $n = 1,5$  szkło kronowe), a ich miejsce zależy od kształtu soczewki. Dzielą one grubość soczewki na trzy równe części w przypadku soczewek symetrycznych, natomiast soczewki o jednej powierzchni płaskiej, mają jeden punkt główny umiejscowiony na wierzchołku powierzchni wypukłej.

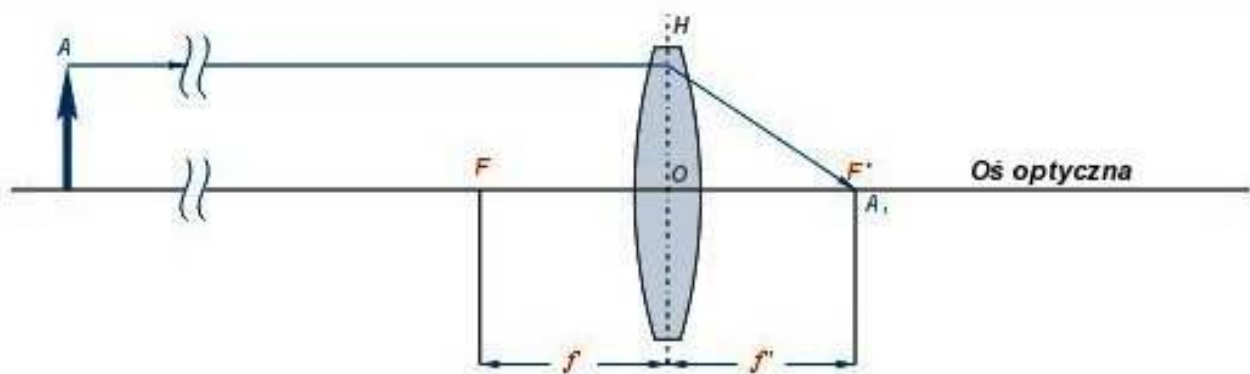


Rys 6 Soczewka rzeczywista

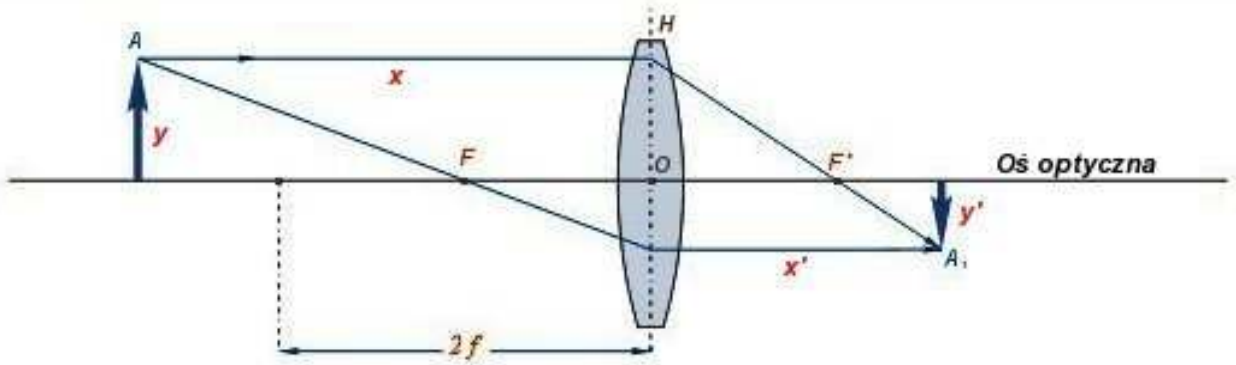
## 2. Położenie i wielkość obrazu utworzonego przez soczewkę cieką (bieg promieni)

Jeżeli znane jest położenie i wielkość przedmiotu, to można znaleźć wykreślnie położenie i wielkość obrazu (rys.7b). Z punktu A przedmiotu prowadzi się dwa promienie; jeden równoległy do osi, drugi przez ognisko przedmiotowe F. Po załamaniu w soczewce pierwszy promień przejdzie przez ognisko obrazowe  $F'$ , drugi biegnie równoległy do osi. Punkt  $A'$  przecięcia się obydwu promieni załamanych przez soczewkę jest obrazem punktu A przedmiotu.

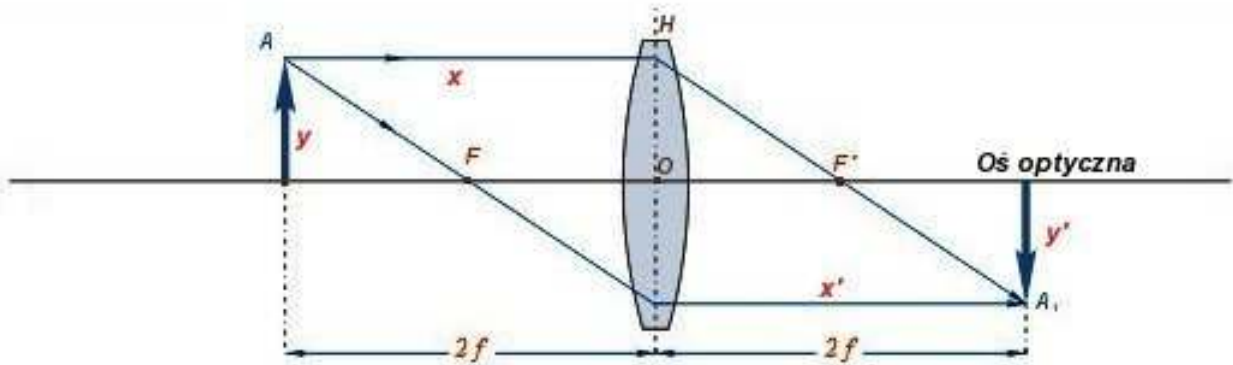
Przeanalizować możemy następujące przypadki wzajemnych położen przedmiotu, soczewki dodatniej i obrazu:



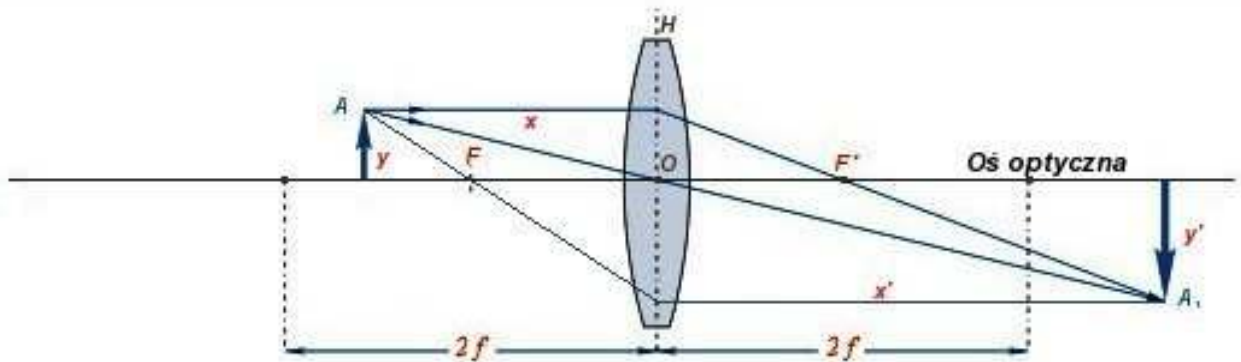
Rys 7a Jeśli przedmiot znajduje się w odległości nieskończenie dalekiej od soczewki, to jego obraz otrzymamy w ognisku obrazowym  $F'$  **rzeczywisty, odwrócony i pomniejszony**



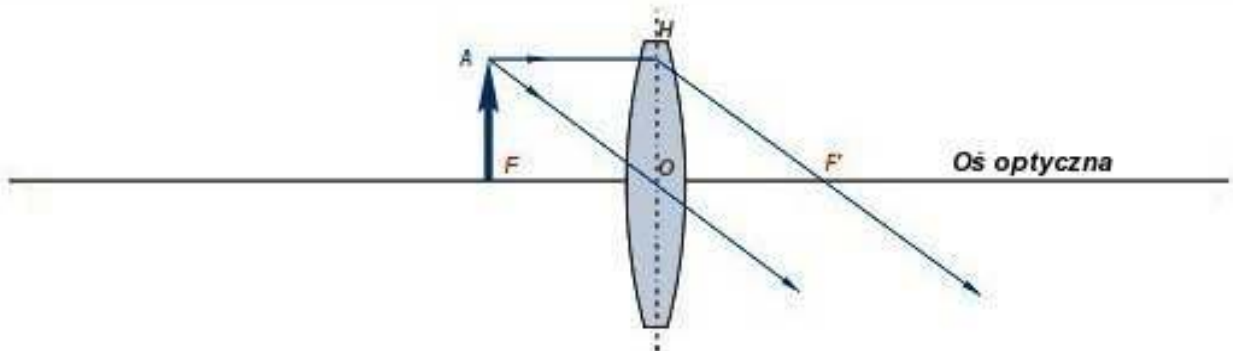
Rys 7b Jeśli przedmiot zbliżymy do soczewki i umieścimy go w odległości przekraczającej wartość podwójnej ogniskowej przedmiotowej soczewki, to jego obraz będzie **rzeczywisty, odwrócony i pomniejszony** oraz umieszczony za ogniskową obrazową  $F'$  na odcinku do jej podwójnej wartości. Jest to typowy przypadek dla obiektywów fotograficznych. Matrycę lub błonę fotograficzną umieszcza się w płaszczyźnie obrazu  $y'$ , który leży zwykle nieco za ogniskiem obrazowym.



Rys 7c Jeśli przedmiot znajduje się w odległości równej podwójnej wartości ogniskowej przedmiotowej soczewki, to jego obraz będzie umieszczony w odległości równej podwójnej wartości ogniskowej obrazowej. Otrzymany obraz będzie **rzeczywisty, odwrócony i o wielkości równej przedmiotowi**.

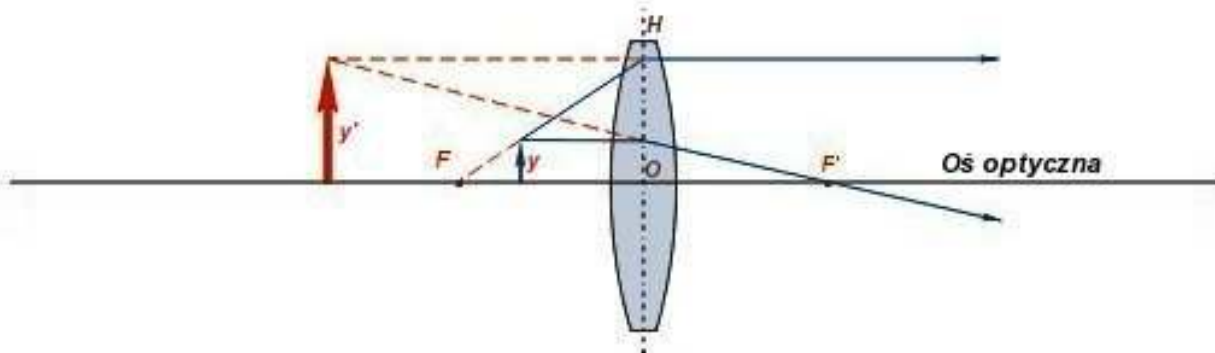


Rys 7d Jeśli przedmiot umieścimy na odcinku pomiędzy ogniskową przedmiotową soczewki a jej podwójną wartością, to otrzymamy jego obraz umieszczony w odległości przekraczającej wartość podwójnej ogniskowej obrazowej. Otrzymany obraz będzie **rzeczywisty, odwrócony i powiększony**. Jest to typowy przypadek dla wykonania powiększeń fotograficznych: przedmiotem jest negatyw, a powiększony obraz odtwarza się na papierze światłoczułym.





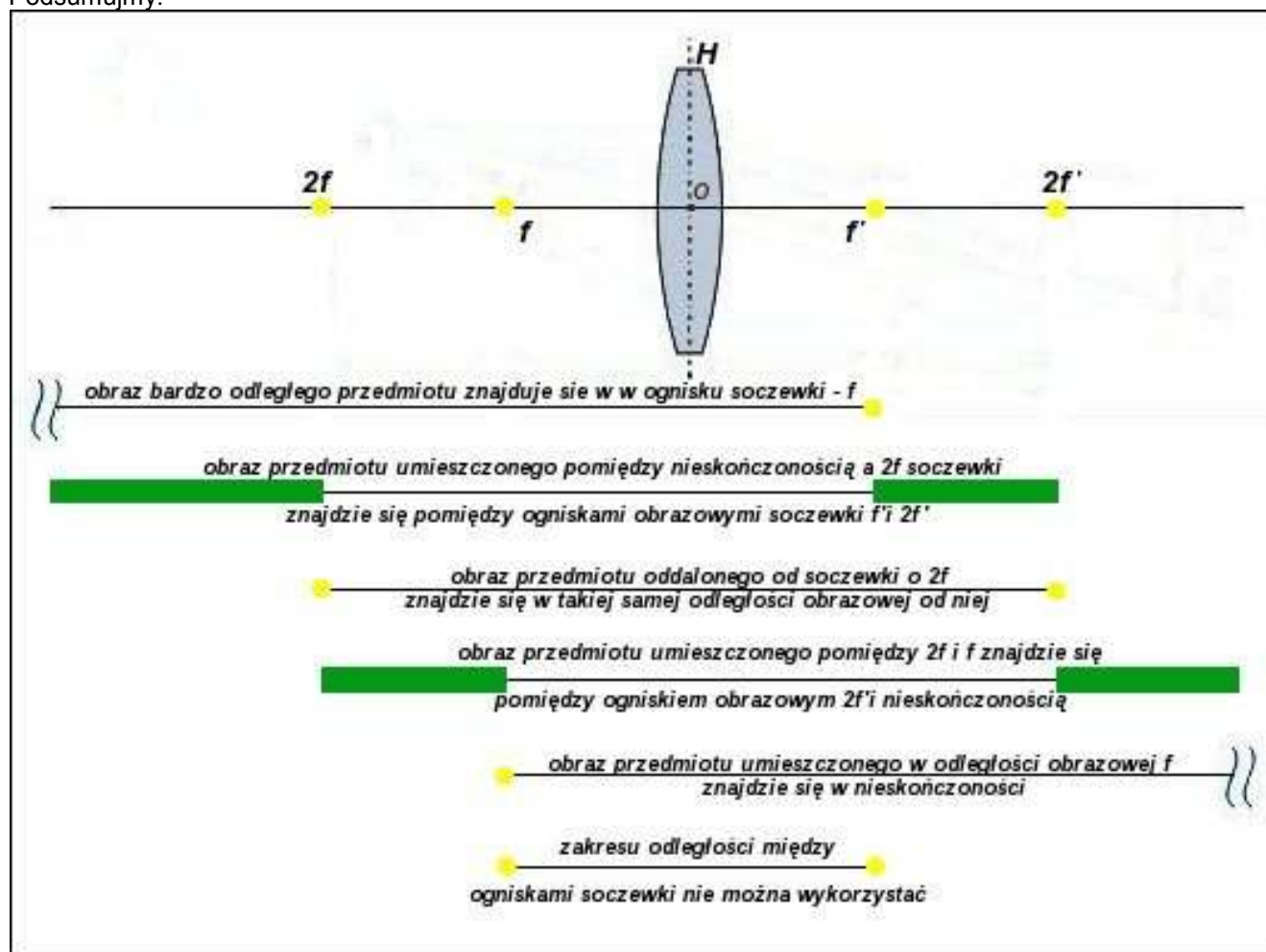
Rys 7e Jeśli przedmiot umieścimy w ogniskowej przedmiotowej soczewki to promienie przejdą przez soczewkę, pobezną równolegle i obraz przedmiotu można otrzymać tylko w nieskończoności.



Rys 7f Jeśli przedmiot umieścimy na odcinku mniejszym od ogniskowej przedmiotowej soczewki, to promienie w postaci wiązki rozchodzącej się, nigdzie się nie przetną. Obraz przedmiotu otrzymamy **pozorny, prosty i powiększony**, tj. soczewka w tym przypadku pracuje jak lupa.

Rys 7a do 7f Wykreślne wyznaczanie obrazu

Podsumujmy:

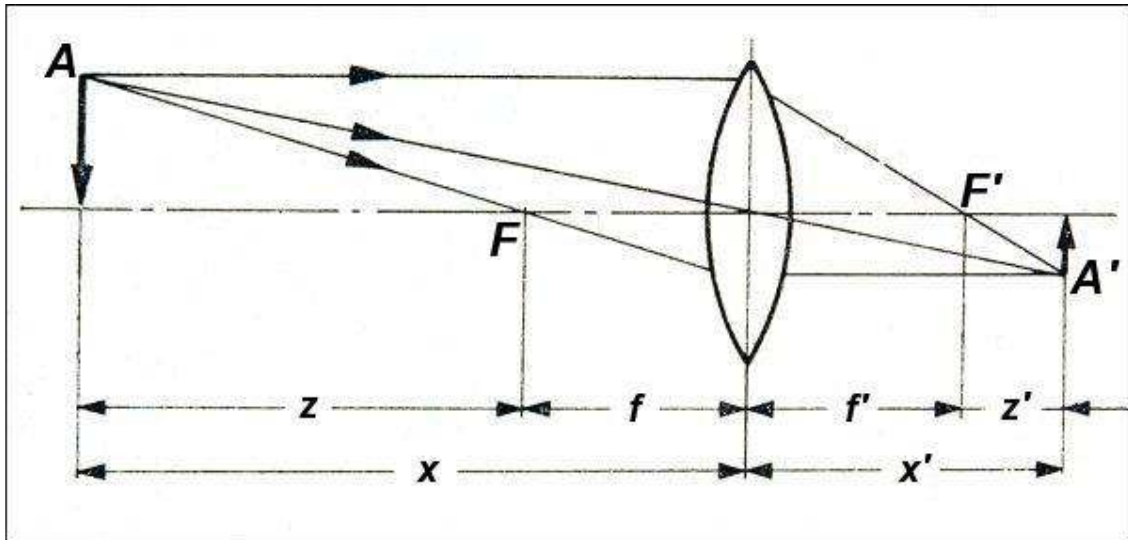


W praktyce fotograficznej spotyka się zwykle tylko przypadki 7b do 7d, gdy przedmiot leży przed ogniskiem przedmiotowym  $F$ , a obraz leży za ogniskiem obrazowym  $F'$ . W tych przypadkach obraz, zawsze jest rzeczywisty i odwrócony. Przy zbliżaniu się przedmiotu do ogniska przedmiotowego  $F$  obraz rośnie i oddala się od ogniska obrazowego  $F'$ .

<http://ifnt.fizyka.amu.edu.pl/dydaktyka/oferta/optyk.htm>: programy do symulacji komputerowej **Optyka**

Powyżej rozpatrywaliśmy soczewkę cienką – w postaci płaszczyzny głównej nie ograniczonej wymiarami. Jeżeli do naszego modelu wprowadzimy przysłonę, która ogranicza strumień światła, można przeanalizować również zjawisko głębi ostrości. W tym celu trzeba wykreślić położenie w przestrzeni obrazów np. dwóch różnoodległych od soczewki punktów.

Punktem wyjścia do jakichkolwiek obliczeń jest równanie soczewki Gaussa oraz wzór na powiększenie.



Zależność między odległością  $x$  przedmiotu i odległością  $x'$  obrazu od soczewki wyraża się wzorem soczewkowym Gaussa:

$$\frac{1}{x} + \frac{1}{x'} = \frac{1}{f}$$

Powiększenie liniowe (lub **skala odwzorowania**) jest to stosunek rozmiarów liniowych obrazu do rozmiarów liniowych przedmiotu (wyraża się stosunkiem odległości tych samych punktów na przedmiocie i na obrazie). Powiększenie (poprzeczne) obrazu  $p$  wynosi:

$$p = y' / y = x' / x \quad [\text{również oznaczane jako } -\beta]$$

gdzie:

$y$  - wymiar liniowy przedmiotu poprzecznie do osi,  $y'$  - wymiar poprzeczny obrazu,  $x$  - odległość przedmiotu od soczewki,  $x'$  - odległość obrazu od soczewki.

W przypadku ustawiania ostrości na przedmiot w nieskończoności odległość soczewki od matrycy (filmu) będzie równa ogniskowej.

W przypadku ustawiania ostrości na przedmiot bliższy musimy tę odległość zwiększyć o pewien dodatkowy wyciąg  $z'$ . Stąd  $x' = f' + z'$  i równanie Gaussa otrzyma postać:

$$1/x + 1/(f' + z') = 1/f$$

Mnożymy obie strony przez  $f' + z'$  otrzymując:

$$(f' + z')/x + 1 = (f' + z')/f$$

Ale  $(f' + z')/x$  to nic innego jak  $x'/x$  czyli nasza skala odwzorowania  $p$ .

Zatem:

$$p + 1 = (f' + z')/f$$

$$p = [(f' + z')/f] - 1$$

czyli:

$$p = z'/f \quad \text{lub} \quad z' = f' \cdot p$$

Wynika stąd, że chcąc uzyskać odpowiednią skalę odwzorowania musimy odsunąć soczewkę od położenia odpowiadającego ogniskowaniu na nieskończoność o odpowiednią odległość  $z'$ .

Obiektyw o „klasycznym” sposobie ostrzenia, umożliwia wysunięcie soczewek na pewną odległość, podczas ostrzenia na odległości mniejsze niż nieskończoność.

Obiektywy z wewnętrznym ostrzeniem (o czym dalej) zamiast wprowadzania dodatkowego wyciągu zmieniają swoją ogniskową, wykorzystując przemieszczanie soczewek i grup wewnątrz obiektywu w celu uzyskania ostrego obrazu.

Jeśli mamy obiektyw który ogniskuje w sposób klasyczny, to możemy obliczyć dodatkowy **wyciąg** wprowadzany przez obiektyw z przytoczonego powyższej równania Gaussa:

$$1/x + 1/(f' + z') = 1/f$$

Przekształcając je kolejno uzyskamy:

$$1/(f' + z') = 1/f - 1/x$$

$$z' = 1/(1/f - 1/x) - f$$

Przykład:

Mój „stary” obiektyw **Domiplan 2,8/50** o ogniskowej 50mm ogniskuje w sposób klasyczny i ma minimalną odległość ostrości 75cm (750mm), stąd otrzymujemy:

$$z' = [1/(1/50 - 1/750)] - 50\text{mm} = [1/(0,02 - 0,00133)] - 50 = 1/0,01867 - 50 = 53,56 - 50 = \mathbf{3,56\text{mm}}$$

(wykonany pomiar długości wysięgu pomiędzy nastawem obiektywu na nieskończoność i 0,75m dał ok. 4mm).

Taki wyciąg zapewnia uzyskanie tym obiektywem max skali odwzorowania:

$$p = z'/f = \mathbf{3,56\text{mm}/50\text{mm} = 0,0712}$$

Znając skalę odwzorowania  $p$ , można również obliczyć odległość obrazową i odległość przedmiotową z następujących wzorów:

$$x' = p \cdot f' + f' \quad \text{lub} \quad x' = f' (1 + p)$$

$$x = x' \cdot f' / x' - f' \quad \text{lub} \quad x = f' \cdot (1 + 1/p)$$

$$c = (x + x') \quad \text{lub} \quad c = f' (2 + p + 1/p)$$

oraz odległość całkowita:

podstawiając:  $p = 0,0712$ ,  $f' = 50\text{mm}$  otrzymamy:

$$x' = 0,0712 \cdot 50\text{mm} + 50\text{mm} = 3,56\text{mm} + 50\text{mm} = 53,56\text{mm}$$

$$x = 53,56\text{mm} \cdot 50\text{mm} / 53,52 - 50\text{mm} = 2676\text{mm}^2 / 3,56\text{mm} = 751,7\text{mm} = 7,52\text{m} \quad (\text{mierzona mniej więcej od płaszczyzny przesłony do przedmiotu})$$

Odległość całkowita  $c = (x + x')$  tzn. odległość od przedmiotu do elementu światłoczułego (matryca lub film)

$$c = (x + x') = 751,7\text{mm} + 53,56\text{mm} = 805\text{mm}$$

lub

$$x = f' (1 + 1/p) = 50 \cdot (1 + 14,044) = 50 \cdot 15 = 752,2\text{mm}$$

$$x' = f' (1 + p) = 50 \cdot (1 + 0,0712) = 50 \cdot 1,0712 = 53,56\text{mm}$$

$$c = f' (2 + p + 1/p) = 50 (2 + 0,0712 + 14,044) = 50 \cdot 16,12 = 806\text{mm}$$

Jeżeli na elemencie światłoczułym uzyskaliśmy obraz przedmiotu o szerokości 36mm to wielkość przedmiotu:

$$x = x' / p = 36\text{mm} / 0,0712 = 505,62\text{mm}$$

### 3. Ogniskowa soczewki grubej i układ (optyczny) soczewek

Pojedyncza soczewka dodatnia, która tworzy obraz optyczny, nadaje się już do fotografowania.

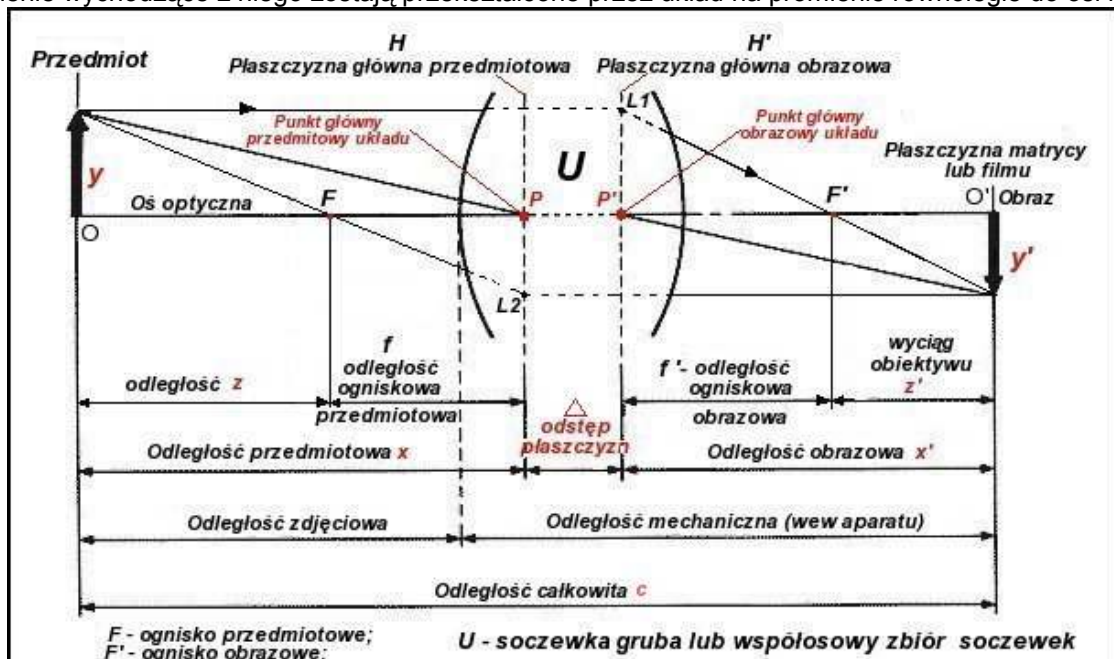
Jakie są więc przyczyny, że produkuje się bardzo drogie i skomplikowane obiektywy i że każdy fotograf chciałby mieć ich nawet kilka. Przyczyna leży w tym, że za pomocą soczewki pojedynczej nigdy nie można uzyskać prawdziwie dobrego, całkowicie wiernego i ostrego obrazu, a do różnych tematów fotograficznych używa się różnych obiektywów. Niedokładne obrazy otrzymane za pomocą soczewki pojedynczej są spowodowane wadami wynikającymi z podobieństwa budowy soczewki, jak już wspomniano, do pryzmatu (Rys 2). Wadami są: aberacja chromatyczna, aberacja sferyczna, dystorsja, astygmatyzm, krzywizna (wygięcie) pola obrazu oraz koma. W ramach tego opracowania tych zagadnień nie będziemy omawiać.

Obiektywy dzielimy ze względu na zakres pracy ogniskowych. Są dostępne obiektywy stałogniskowe, które pracują z jedną i niezmienną ogniskową, a także obiektywy zmienneogniskowe, w których ogniskowa zmienia się w charakterystycznym dla każdego obiektywu zakresie.

Rozważania przeprowadzone powyżej zostały przeprowadzone dla soczewek cienkich, ale wyniki tych rozważań zostają w mocy również dla soczewek grubych i ich układów z tą różnicą, że odległość ogniskową  $f$ , odległość przedmiotu  $x$  i obrazu  $x'$  mierzy się już nie (jak dla **soczewek nieskończenie cienkich**) od punktu  $O$ , który umiejscowiony jest w środku osi optycznej przecinanej przez płaszczyznę główną soczewki, lecz od charakterystycznych punktów, zwanych punktami głównymi.

Obiektów aparatu fotograficznego, zbudowany co najmniej z kilku, a czasem nawet kilkunastu, elementów optycznych (soczewek lub soczewek i luster), może być w uproszczeniu traktowany jako pojedyncza soczewka skupiająca (tzw. soczewka gruba), odwzorowująca wewnątrz aparatu rzeczywisty obraz przedmiotu.

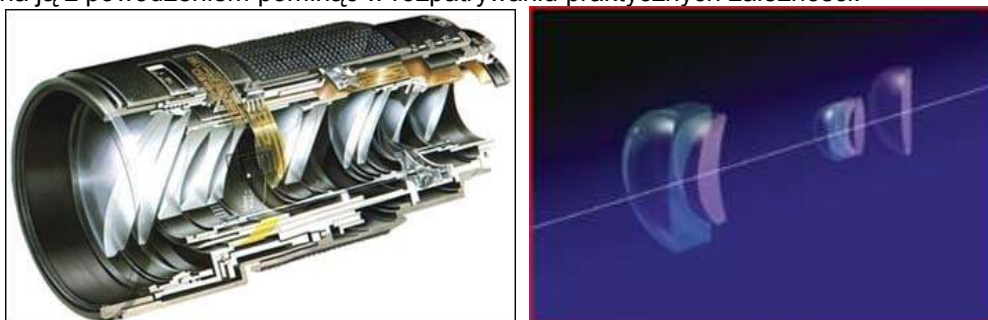
Niech  $U$  (rys.8) przedstawia soczewkę grubą lub układ soczewek (przez układ soczewek rozumie się współosiowy zbiór soczewek). Pęk promieni równoległy do osi optycznej zostaje przez układ  $U$  przekształcony w wiązkę promieni skupiających się w punkcie  $F'$ , który jest ogniskiem obrazowym układu. Płaszczyzny przechodzące przez punkt  $P$  i  $P'$  i prostopadłe do osi nazywa się płaszczyzną główną przedmiotową i obrazową układu. Punkt  $P'$ , w którym oś przebija płaszczyznę główną obrazową, nosi nazwę punktu (lub węzła) głównego obrazowego soczewki. Punkt  $F$  na osi optycznej, nazywany ogniskiem przedmiotowym układu, ma tę własność, że promienie wychodzące z niego zostają przekształcone przez układ na promienie równoległe do osi rys.8.



Rys 8 Układ optyczny

Punkty P i P', w których oś optyczna przebija płaszczyznę główną przedmiotową i obrazową, nazywa się punktem głównym przedmiotowym i obrazowym układu. Odległość od punktu głównego P' (P) do ogniska obrazowego F' (F) jest ogniskową układu f'. Powyższe elementy (ogniska, płaszczyzny główne i punkty główne) pozwalają dostatecznie dobrze zdać sobie sprawę z tego, jak powstaje obraz w układzie optycznym (w układzie soczewek). Odcinek y prostopadły do osi wyobraża przedmiot, natomiast y' obraz. Podobnie jak dla soczewki cienkiej należy przeprowadzić z przedmiotu dwa promienie: promień 1 równoległy do osi układu i promień 2 przechodzący przez ognisko przedmiotowe F. Przedłużenie pierwszego napotka płaszczyznę główną obrazową w punkcie L1. Z punktu L1 przez ognisko obrazowe F' należy przeprowadzić promień 1 przekształcony przez układ. Promień 2 przetnie płaszczyznę główną przedmiotową w punkcie L2 i zostanie przekształcony przez układ na promień równoległy do osi. Punkty główne mają tę własność, że jeżeli promień pada w kierunku punktu głównego przedmiotowego P, to promień przekształcony przez układ wybiega jak gdyby z punktu P' równoległe do promienia padającego (promienie te zaznaczono na rysunku linią przerywaną). Odległość przedmiotu mierzy się od punktu głównego przedmiotowego, odległość obrazu - od punktu głównego obrazowego, przy czym pozostają, w mocy wzory podane dla soczewek cienkich.

W obiektywach aparatów, w których dla uzyskania optymalnej ostrości obrazu na elemencie światłoczułym, konieczne jest **wysunięcie całego obiektywu (wyciąg)**, należy przyjąć, że główne płaszczyzny optyczne obiektywu znajdują się mniej więcej na wysokości płaszczyzny przysłony, a odległość między nimi  $\Delta$  jest tak mała, że można ją z powodzeniem pominąć w rozpatrywaniu praktycznych zależności.



Budowa obiektywu **Nikkor ED**



Rys 9. Przekroje obiektywów

Jak wykazano powyżej, jeżeli przedmiot znajduje się w dużej odległości od obiektywu (w „nieskończoności”), to jego obraz powstaje niemal w ognisku i tutaj jest umieszczona w aparacie matryca lub błona światłoczuła. Jeśli ostrość ustawiamy na odległość mniejszą niż nieskończoność, **odsuwamy** obiektyw od matrycy (filmu).

Jak widać z rysunków i wzoru, ostry obraz przedmiotu znajdującego się w niewielkiej odległości, powstanie w większej niż poprzednio odległości od obiektywu, czyli za płaszczyzną matrycy (błony). Stąd dla uzyskania optymalnej ostrości obrazu na elemencie światłoczułym konieczne jest odpowiednie zwiększenie odległości obrazowej, czyli **wysunięcie całego obiektywu (wyciąg obiektywu)**. Przesuwany jest cały układ optyczny lub przesuwane są grupy soczewek wewnątrz obiektywu.

Ruch soczewek ograniczony jest długością **wyciągu obiektywu**. Ręcznie odbywa się to zwykle przez obracanie zewnętrznego pierścienia oprawy obiektywu zaopatrzonego w gwint o dużym skoku (tzw. oprawa ślimakowa), natomiast w obiektywach aparatów lustrzanych wyposażonych w system Autofocus służy do tego celu silnik elektryczny, wbudowany w oprawę obiektywu albo w korpus aparatu i połączony z oprawą obiektywu za pomocą sprzęgła.

Firmy Canon, Sigma, Nikon oraz Nikkor, zdecydowały się na wyposażenie w silnik każdego obiektywu [**Canon USM** (Ultrasonic) – szybki i cichy silnik stosowany w profesjonalnej optyce sygnowanej oznaczeniem **L** (Luxury) gwarantuje bardzo precyzyjne ogniskowanie; uproszczony silnik typu **Micro USM** stosowany jest w optyce do amatorskich zastosowań np. w EF 70-300 f/4-5,6 USM IS, ma mniejszą efektywność i długo poluje na ostrość oraz pozbawiony jest funkcji **FTM**, dzięki której można szybko ręcznie doostrzyć obraz, bez przełączania



obiektywu z trybu automatycznego na manualny; **Nikkor - SWM** (Silent Wave Motor) zapewnia ciche i precyzyjne nastawienie ostrości, nastawiając napęd na **M/A** można ręcznie doostrzyć; **Sigma - HSM** (Hyper Sonic Motor);].

Zakres przesuwania soczewek jest proporcjonalny do ogniskowej obiektywu i skali odwzorowania, dla obiektywów o „klasycznym” sposobie ostrzenia:

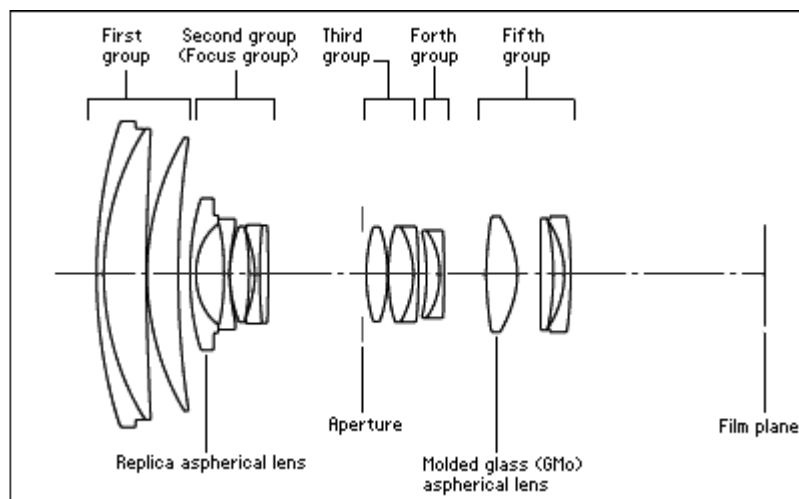
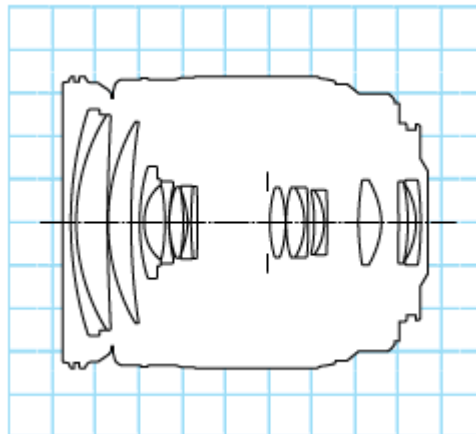
$$p = y' / y = x' / x \quad \text{lub} \quad p = f / z = z' / f' \quad \text{stąd} \quad z' = f' * p$$

W obiektywach długoogniskowych jest on dość duży, co utrudnia szybkie nastawienie ostrości. Zastosowanie przemieszczającej się w miarę ogniskowania soczewki lub grupy soczewek pozwala zredukować do minimum niepożądane efekty.

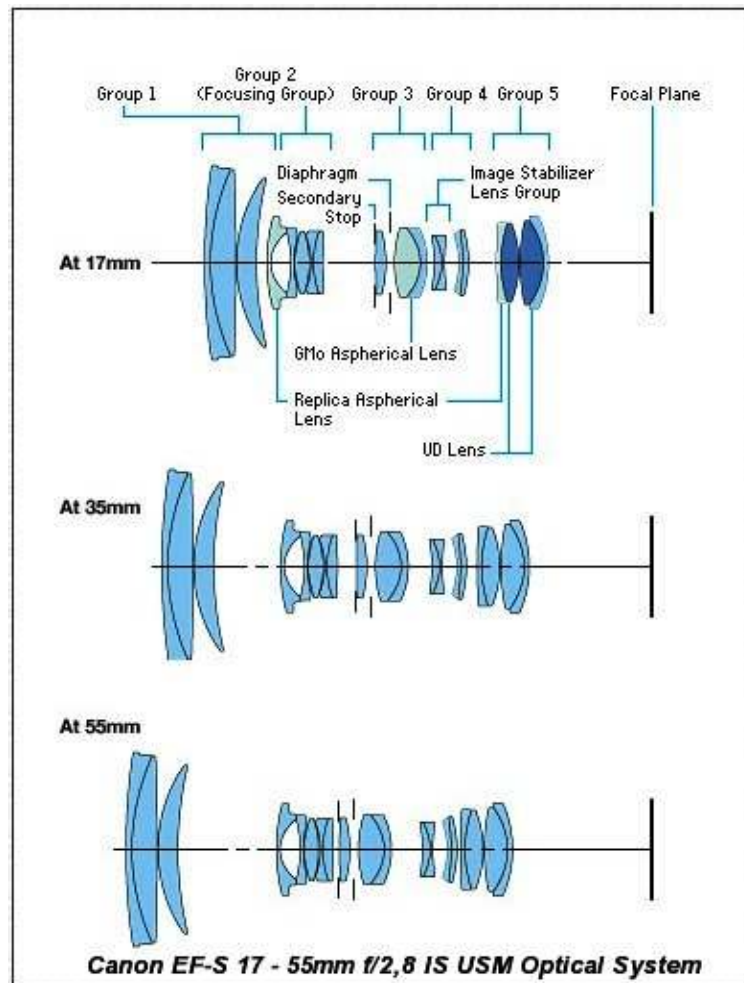
Najczęściej stosowane metody ostrzenia wykorzystują prostoliniowe wysunięcie przedniej grupy soczewek w obiektywach o stałej ogniskowej, lub przemieszczenie tej grupy połączone z ruchem obrotowym w obiektywach o zmiennej ogniskowej (**Extension system**). W obu przypadkach zmienia to wyważenie obiektywu, w obiektywach (zoom) zmiana ogniskowej powoduje spore wysunięcie przedniego tubusa do przodu, a podczas ogniskowania obraca się przednią soczewką i mocowanie filtrów jest utrudnione.

Chcąc skorzystać z filtrów polaryzacyjnych czy połówkowych, musimy pamiętać o odpowiedniej kolejności: najpierw ustawić ogniskową, następnie wyostrzyć, teraz dopiero odpowiednio obrócić filtr polaryzacyjny i na koniec dopiero wcisnąć spust migawki.

Przykładem rozwiązania może być np. teleobiektyw **Canon EF28-200mm f/3.5-5.6 USM**:



lub obiektyw **Canon EF- S 18-55mm f/2,8 IS USM**



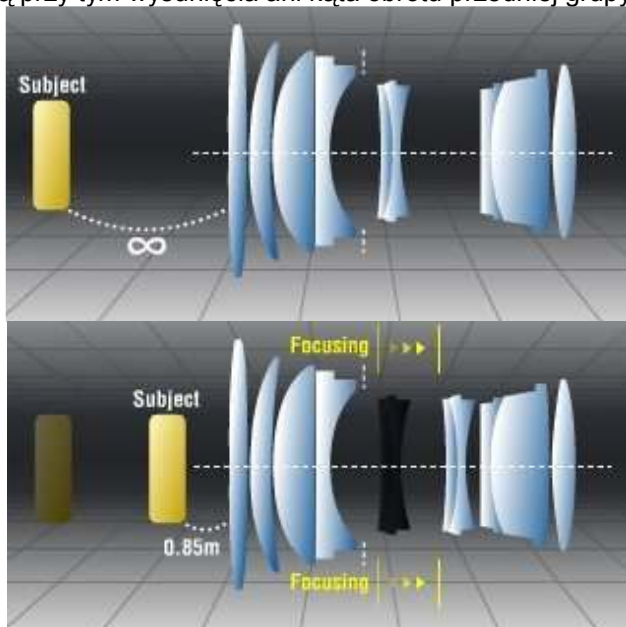
Canon **IS** to akronim od – Image Stabilizer - technologia optycznej stabilizacji obrazu pozwala w razie potrzeby wydłużyć czas ekspozycji o 2 do 3EV, bez obaw o poruszenie kadru. Korzystając z IS musimy przyzwycząć się do swobodnego „pływania” obrazu w wizjerze aparatu. Jest to normalne zjawisko

wynikające z pracujących, ruchomych soczewek w obiektywie. Stabilizator wygasza drgania rąk, ale nie pomoże, gdy się obiekt rozmaże, bo się porusza, a ja ustawiłem czas 1/20 sekundy albo i mniej!!!.

**EF** (Electro Focus) lub **Eos Fan** ☺ - oznaczenie bagnetu mocowania dla canonowskiego standardu EOS (z ang. Electro Optical System) powstałego w 1987 roku.

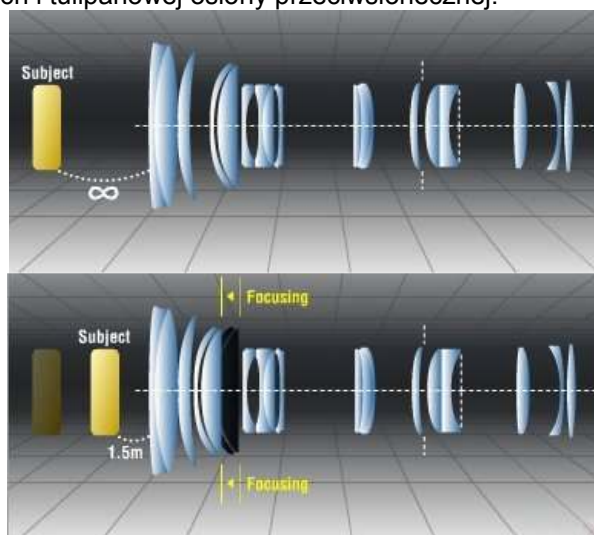
**EF-S**, to najnowszy standard obiektywów, kompatybilny z EF, ale przeznaczony dla lustrzanek z matrycami APS-C. Wartości ogniskowych tych obiektywów należy przemnożyć przez 1.6 aby uzyskać odpowiednik dla formatu 35 mm. (**Znaczk** na obiektywach <http://www.optyczne.pl/index.php?art=52> )

Systemy wewnętrznego ogniskowania – zamiast wprowadzania „klasycznego” dodatkowego wyciągu zmieniają swoją ogniskową, wykorzystując przemieszczenie soczewek i grup wewnątrz obiektywu w celu uzyskania ostrego obrazu. Nie zmieniają przy tym wysunięcia ani kąta obrotu przedniej grupy soczewek.



Rys 10. System tylnego ogniskowania Canon EF 85mm f1,8 USM

Obiektyw wyposażony w system **RF (IRF) tylnego ogniskowania (Rear Focusing)**, w procesie ogniskowania porusza tylko tylną grupą soczewek w celu szybkiego i cichego ustawienia ostrości, co wydatnie przyspiesza ustawianie ostrości (soczewki mają wówczas do wykonania krótszy ruch, więc jego wykonanie zajmuje mniej czasu). Dzięki stosowaniu systemu RF (podobnie jest w obiektywach z systemem IF) przednia soczewka układu nie obraca się, co zdecydowanie ułatwia eksploatację i pozwala na zastosowanie filtrów półkulkowych, kołowych filtrów polaryzacyjnych i tulipanowej osłony przeciwsłonecznej.



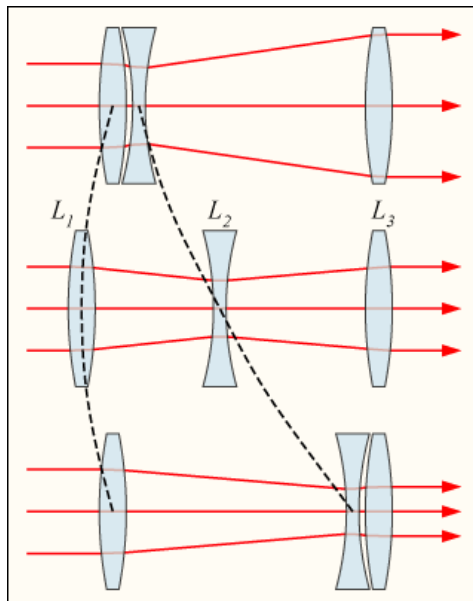
Rys 11. System wewnętrznego ogniskowania Canon EF 70 -200mm f2,8L USM (USM - pierścieniowy silnik) W celu zwiększenia stabilności podczas ustawiania ostrości, obiektyw wyposażony w system **IF-wewnętrznego ogniskowania (Internal Focusing)**, przesuwa wewnętrzną grupę soczewek, dzięki czemu długość obiektywu pozostaje niezmienną, w procesie ogniskowania (ustawiania ostrości) nie bierze udziału ani pierwsza, ani ostatnia soczewka obiektywu, cały ruch odbywa się wewnątrz obiektywu (np. „elki” Canon EF 70 - 200mm f/4L USM).

Obiektywy z systemem IF są szybsze, grupy soczewek są mniejsze co czyni całe konstrukcje lżejszymi.

Dodatkową zaletą jest cichsze ustawianie ostrości. Jest to nieocenioną zaletą w przypadku teleobiektywów czy zoomów o dużym zakresie pracy.

Dzięki stosowaniu systemu IF (podobnie jest w obiektywach z systemem RF) przednia soczewka układu pozostaje nieruchoma, można więc w takich obiektywach stosować filtry, które nie powinny zmieniać swojego położenia w niekontrolowany sposób, np. filtry połówkowe, polaryzacyjne etc

Na poniższym rysunku pokazana jest uproszczona zasada działania obiektywu zmiennoogniskowego. Ruchomy układ soczewek, (przedstawiony za pomocą pojedynczej soczewki rozpraszającej L<sub>2</sub>), powoduje zmianę ogniskowej całego układu.

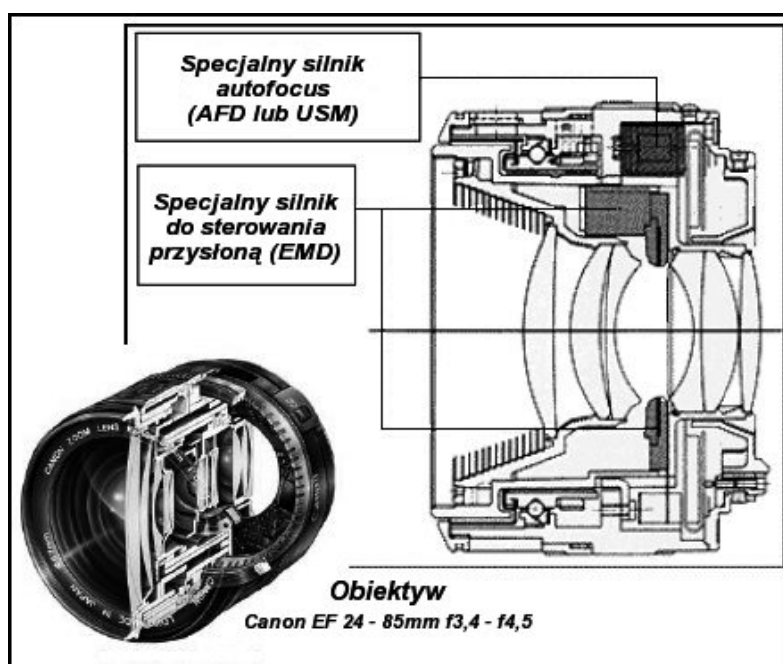


W najprostszych aparatach kompaktowych optyka pozwala uzyskać tylko trzykrotną zmianę ogniskowej (istnieją egzemplarze w ogóle pozbawione opcji zoom). W bardziej zaawansowanych cyfrowych aparatach kompaktowych układy optyczne pozwalają uzyskać, dziesięciokrotną lub nawet dwunastokrotną zmianę ogniskowej (i powiększenia obrazu).

Istnieją również obiektywy zapewniające dobry tryb makro, wykorzystywane do makrofotografii. Jeśli nie dysponujemy obiektywem makro, ale posiadamy aparat z wymienną optyką, możemy odsunąć obiektyw od korpusu za pomocą pierścieni pośrednich lub mieszka fotograficznego. A w aparatach o niewymiennej optyce pomogą nam soczewki nasadkowe umieszczane przed obiektywem. Skracają one lub wydłużają ogniskową obiektywu.

**Uwaga:**

W grupie obiektywów zoom znajdują się obiektywy Transfokatorowe [od *transfokator*] które po zmianie ogniskowej nie wymagają ponownego ostrzenia. Są to między innymi obiektywy od kamer TV. Transfokator jest obiektywem typu zoom, ale obiektyw zoom nie musi być obiektywem transfokatorowym.

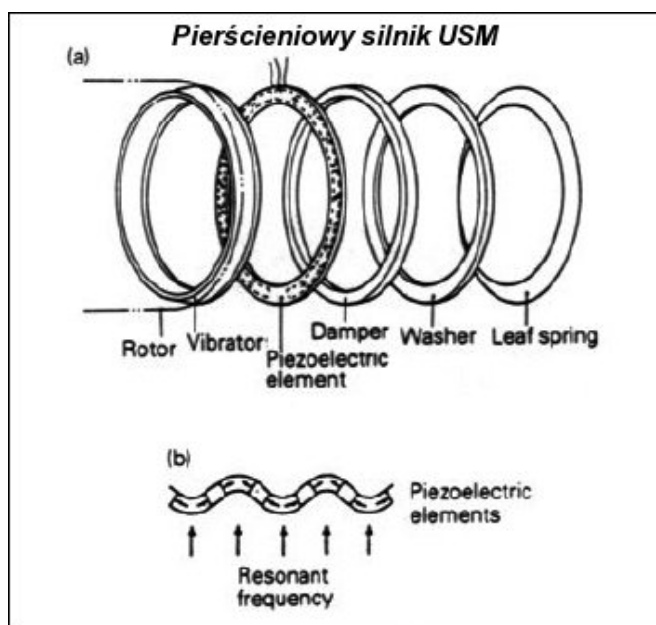
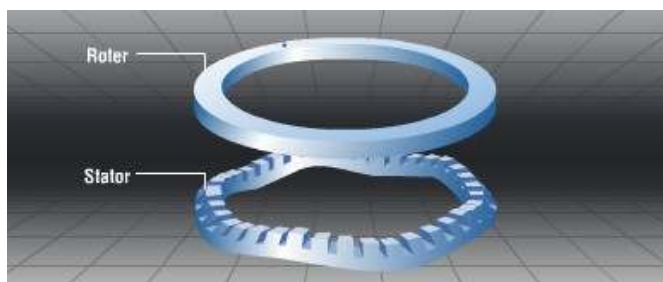
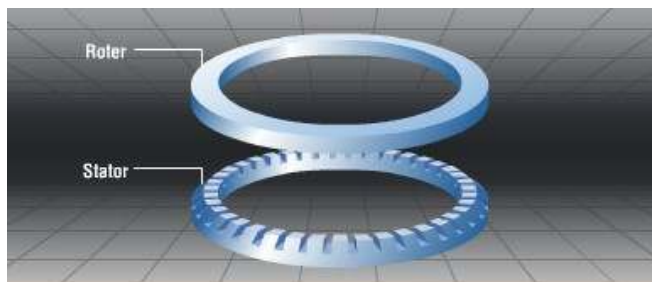


**Pierścieniowy silnik USM (ang. UltraSonic Motor)**

Zastosowanie - do ustawiania ostrości



Canon - Ultrasonic (USM) jest to pierścieniowy silniczek ultradźwiękowy, umożliwia szybsze i cichsze ogniskowanie niż tradycyjne silniczki, można bez wyłączenia AF zmieniać ostrość ręcznie (w większości obiektywów) [Nikon - Silent Wave; Sigma - Hyper Sonic Motor (HSM);]



Cechy podstawowe:

- Wysoki moment obrotowy przy małej prędkości umożliwia pominięcie układów redukujących prędkość (przekładnie). USM może wykonać większą pracę przy niskiej prędkości niż normalny silnik elektromagnetyczny.
- Duży moment hamujący. Kiedy silnik jest wyłączony obiektyw natychmiast się zatrzymuje na zasadzie hamulca tarczowego.
- Prosta konstrukcja i bardzo cicha praca, pierwsze w świecie rewolucyjne rozwiązanie techniczne zamieniające wibracje ultradźwiękowe na ruch obrotowy.
- Szybka reakcja na włączenie i wyłączenie pozwalająca na precyzyjne kontrolowanie prędkości obrotowej w szerokim zakresie od 0,2 do 80 obr./min.
- Mały pobór energii prądu **przemiennego**
- Amplituda elastycznego piezoelektrycznego statora wynosi max **0,001mm**
- Możliwość jednoczesnego ręcznego i automatycznego ustawiania ostrości (FTM – Full Time Manual focusing)

Są trzy możliwe sposoby wykorzystania funkcji FTM:

- Poprawienie ostrości – najpierw Auto, później Manual,
- Pre-ostrzenie – najpierw Manual, później Auto,
- Ostrzenie wyzwalane przyciskiem

Opracował:  
Zbyma72age

cdn.