

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

KONSTRUKCJA UKŁADÓW OPTYCZNYCH

Projekt 1

Temat nr 19

Śledzenie biegu promienia przyosiowego

Wykonał: Łukasz Pastuszko, gr. Mt-161

Prowadzący: dr inż. Arkadiusz Kuś

Warszawa 2024

1. Założenia tematu nr 19

promienie	odstęp	gatunek szkła
21,28	2	SK 9
-225,9	4,2	
-18,535	0,7	F 3
23,55	3,8	
225,9	2,1	SK 9
-15,959		

- Przysłona aperturowa 0,95 mm za 4 powierzchnią
- Powiększenie -0,2X
- Liczba otworu 4,5
- Format 24x36

2. Cel projektu

Celem projektu było scharakteryzowanie układu optycznego składającego się z 3 soczewek z podanymi w tabeli powyżej parametrami oraz wyznaczenie jego właściwości geometrycznych, prześledzenie biegu promieni i przeanalizowanie winietowania.

3. Tabela biegu promienia

Korzystając z podstawowych zależności optycznych możemy sporządzić tabelę biegu promienia, zawierającą obliczenia na każdej powierzchni układu. Pozwala ona na wyznaczenie niezbędnych do opisu układu parametrów optycznych.

Początkowa tabela została stworzona dla parametrów biegu promienia z nieskończoności zatem $\alpha_0 = 0$ oraz $h_1 = 10$.

Tabela biegu promienia została przedstawiona poniżej:

r	$\frac{\Delta n}{r}$	h	$\frac{\Delta n}{r \cdot h}$	$\alpha \cdot n$	α	d	n
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
				0	0		1
21,28	0,02885574	10	0,28855743	0,2885574	0,1787784	2	1,614050213
-225,9	0,00271824	9,64244306	0,02621047	0,3147679	0,3147679	4,2	1
-18,535	-0,0330689	8,32041789	-0,27514665	0,0396213	0,0245647	0,7	1,61293114
23,55	-0,0260268	8,30322257	-0,21610631	-0,1764851	-0,176485	3,8	1
225,9	0,00271824	8,97386583	0,02439311	-0,152092	-0,09423	2,1	1,614050213
-15,959	0,03847674	9,17174884	0,35289895	0,200807	0,200807		1

Dzięki temu możemy obliczyć ogniskową f' :

$$f' = \frac{h_1}{\alpha_n} = \frac{10}{0,200807} = 49,79906$$

Oraz położenie ogniska obrazowego S'_{Fi} :

$$S'_{Fi} = \frac{h_n}{\alpha_n} = \frac{9,17174884}{0,200807} = 45,67445$$

Korzystając z biegu odwróconego promienia możemy sprawdzić czy długość ogniskowej została poprawnie obliczona:

r	$\frac{\Delta n}{r}$	h	$\frac{\Delta n}{r \cdot h}$	$\alpha \cdot n$	α	d	n
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
				0	0		1
15,959	0,03847674	10	0,38476735	0,38476735	0,23838623	2,1	1,61405021
-225,9	0,00271824	9,49938891	0,02582161	0,41058896	0,41058896	3,8	1
-23,55	-0,0260268	7,93915086	-0,2066307	0,20395827	0,12645194	0,7	1,61293114
18,535	-0,0330689	7,85063451	-0,2596115	-0,0556532	-0,0556532	4,2	1
225,9	0,00271824	8,0843779	0,02197527	-0,0336779	-0,0208655	2	1,61405021
-21,28	0,02885574	8,12610884	0,23448491	0,20080699	0,200807		1

Sprawdzenie wartości obliczonej wcześniej ogniskowej f :

$$f = \frac{h_1}{\alpha_n} = \frac{10}{0,200807} = 49,79906$$

Oraz obliczenie położenia ogniska przedmiotowego S_F :

$$S_F = \frac{h_n}{\alpha_n} = \frac{8,12610884}{0,200807} = 40,46726$$

Wartość ogniskowej wyniosła taką samą wartość w obydwu przypadkach co świadczy o poprawności wykonanych obliczeń.

4. Położenie źrenicy

Kolejnym etapem jest wyznaczenie źrenicy wejściowej układu poprzez znalezienie obrazu przysłony aperturowej w przestrzeni przedmiotowej. W tym celu wprowadzimy do tabeli odpowiednie dane. Będą to 4 powierzchnie w biegu odwróconym, ponieważ przysłona aperturowa znajduje się 0,95 mm za 4 powierzchnią.

Parametry promienia wyznaczamy z zależności:

$$\alpha_0 = \frac{h_1}{s} = \frac{10}{0,95} = 10,52632$$

Gdzie:

s – odległość przysłony aperturowej od czwartej powierzchni

Po wstawieniu wartości do tabeli:

r	$\frac{\Delta n}{r}$	h	$\frac{\Delta n}{r \cdot h}$	$\alpha \cdot n$	α	d	n
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
				10,52632	10,52632		1
-23,55	-0,02603	10	-0,260268	10,26605	6,364839	0,7	1,61293114
18,535	-0,03307	5,544612	-0,18335396	10,08269	10,08269	4,2	1
225,9	0,002718	-36,8027	-0,10003854	9,982655	6,184848	2	1,614050213
-21,28	0,028856	-49,1724	-1,41890608	8,563749	8,563749		1

Obliczamy położenie źrenicy wejściowej:

$$s' = \frac{h_n}{\alpha_n} = \frac{-49,1724}{8,563749} = -5,74192$$

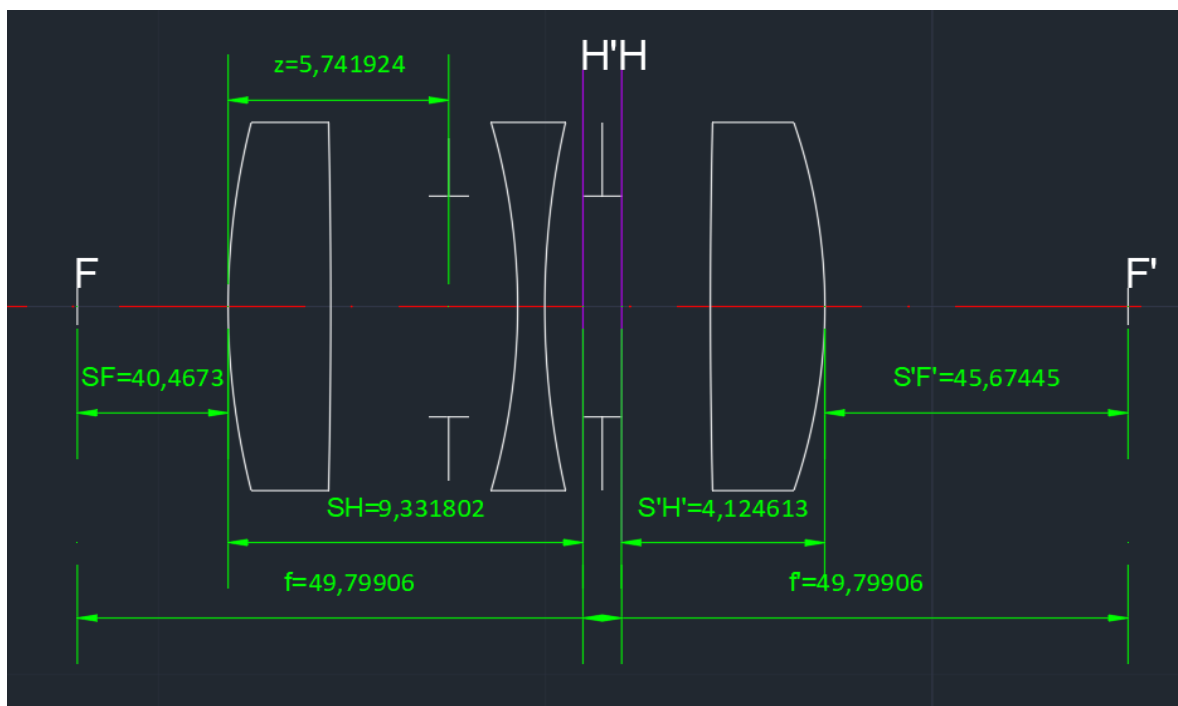
$$z = 5,74192$$

Powiększenie poprzeczne źrenicy wynosi:

$$b = \frac{\alpha_{n0}}{\alpha_{nn}} = \frac{10,52632}{8,563749} = 1,22917$$

$$\beta = \frac{1}{b} = \frac{1}{1,22917} = 0,81356$$

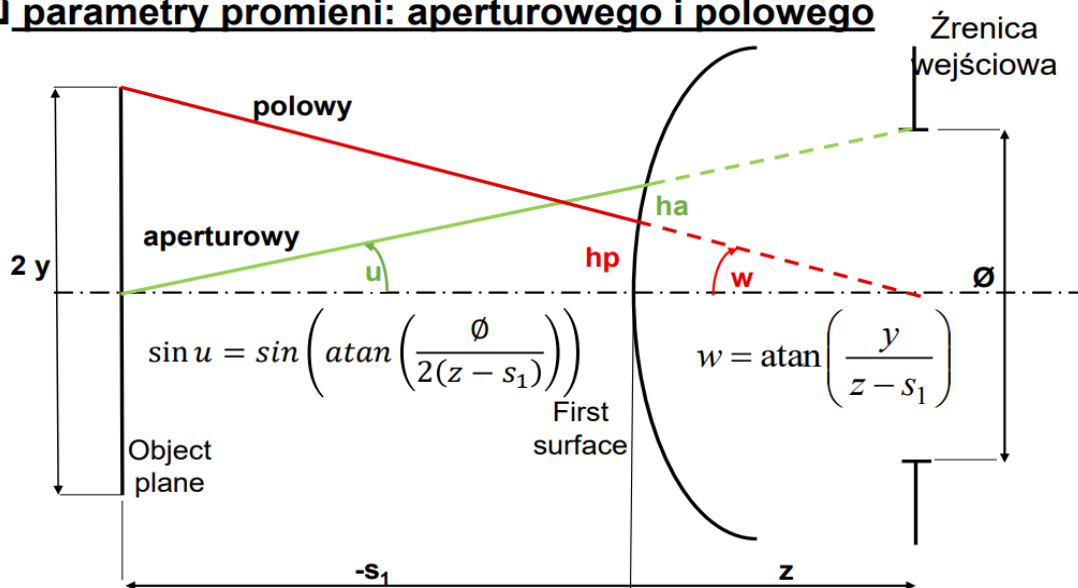
5. Zbiorne parametry układu optycznego



6. Wyznaczanie promienia polowego i aperturowego

Aby wyznaczyć bieg promienia aperturowego i polowego skorzystamy z zależności według poniższego rysunku:

☐ parametry promieni: aperturowego i polowego



Parametry promieni: aperturowego i polowego

Promień aperturowy:

$$-s = \frac{f' \cdot (1 - \beta)}{\beta} = \frac{49,79906 \cdot 1,2}{(-0,2)} = -298,794$$

$$s_1 = s_H + s = 9,331802 - 298,794 = -289,463$$

$$\varphi_z = \frac{f'}{F\#} = \frac{49,79906}{4,5} = 11,06646$$

$$\sin u = \sin\left(\operatorname{atan}\left(\frac{\varphi_z}{2(z - s_1)}\right)\right) = \sin\left(\operatorname{atan}\left(\frac{11,06646}{2(5,741924 + 289,463)}\right)\right) = 0,01874$$

$$h_1 = |s_1| \cdot \sin u = 289,463 \cdot 0,01874 = 5,424651$$

Po wykonaniu powyższych obliczeń możemy stworzyć tabelę biegu promienia aperturowego:

r	$\frac{\Delta n}{r}$	h	$\frac{\Delta n}{r \cdot h}$	$\alpha \cdot n$	α	d	n
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
				-0,01874	-0,01874		1
21,28	0,028856	5,424651	0,15653235	0,137791	0,08537	2	1,614050213
-225,9	0,002718	5,253912	0,01428139	0,152072	0,152072	4,2	1
-18,535	-0,03307	4,615209	-0,1526197	-0,00055	-0,00034	0,7	1,61293114
23,55	-0,02603	4,615446	-0,1201253	-0,12067	-0,12067	3,8	1
225,9	0,002718	5,074003	0,01379235	-0,10688	-0,06622	2,1	1,614050213
-15,959	0,038477	5,213062	0,20058161	0,093701	0,093701		1

Dzięki uzyskanej tabeli biegu promienia aperturowego możemy wyznaczyć położenie obrazu:

$$s' = \frac{h_n}{\alpha_n} = \frac{5,213062}{0,093701} = 55,63494$$

Oraz powiększenie poprzeczne układu:

$$\beta = \frac{\alpha_1}{\alpha_n} = \frac{-0,01874}{0,093701} = -0,2$$

Promień polowy:

$$y = \frac{\text{przekątna}}{2 \cdot |\beta|} = 108,175$$

$$w = \operatorname{atan}\left(\frac{y}{z - s_1}\right) = 0,383774$$

$$y_1 = z \cdot w = 5,741924 \cdot 0,383774 = 2,203603$$

Po wykonaniu powyższych obliczeń możemy stworzyć tabelę biegu promienia połowego:

r	$\frac{\Delta n}{r}$	h	$\frac{\Delta n}{r \cdot h}$	$\alpha \cdot n$	α	d	n
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]
				0,383774	0,383774		1
21,28	0,028856	2,203603	0,06358659	0,447361	0,277167	2	1,614050213
-225,9	0,002718	1,649269	0,00448311	0,451844	0,451844	4,2	1
-18,535	-0,03307	-0,24848	0,00821679	0,460061	0,285233	0,7	1,61293114
23,55	-0,02603	-0,44814	0,0116636	0,471724	0,471724	3,8	1
225,9	0,002718	-2,24069	-0,0060907	0,465634	0,288488	2,1	1,614050213
-15,959	0,038477	-2,84651	-0,1095246	0,356109	0,356109		1

Dzięki uzyskanej tabeli biegu promienia połowego możemy wyznaczyć położenie źrenicy wyjściowej:

$$s' = \frac{h_n}{\alpha_n} = \frac{-2,84651}{0,356109} = -7,99338$$

Oraz powiększenie poprzeczne w źrenicach:

$$\beta = \frac{\alpha_1}{\alpha_n} = \frac{0,383774}{0,356109} = 1,077688$$

7. Winietowanie

Średnice czynne układu wyliczono ze wzoru:

$$\Phi = \max \left\{ 2 \cdot \left(|h_p| + \eta \cdot |h_a| \right), 2 \cdot |h_a| \right\}$$

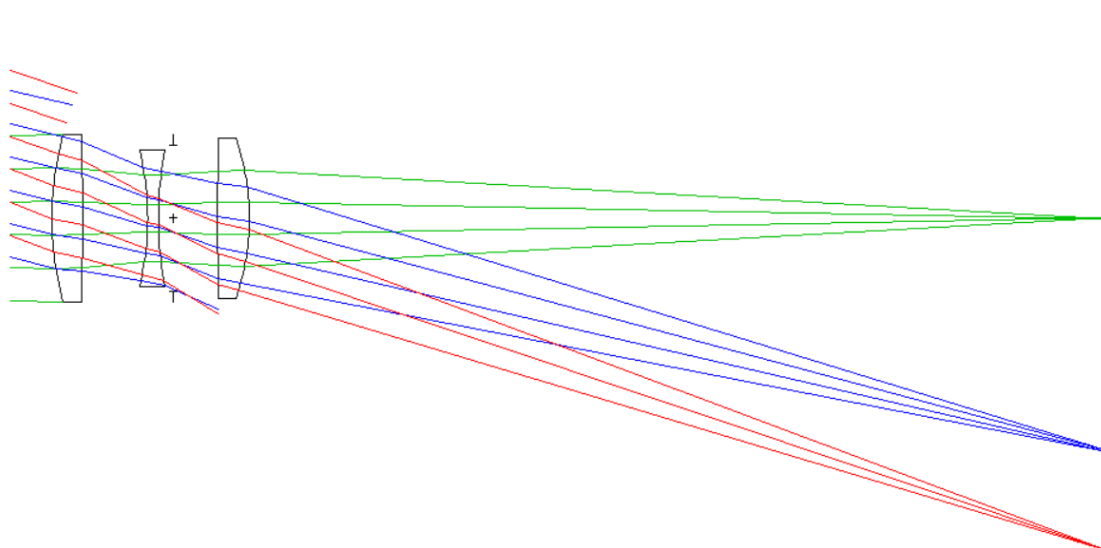
dla współczynnika winietowania równego 50%.

Zestawienie średnic czynnych w tabeli:

promień	średnice czynne
21,28	10,8493
-225,9	10,50782
-18,535	9,230418
23,55	9,230893
225,9	10,14801
-15,959	10,90609

W przypadku wszystkich powierzchni oprócz ostatniej decydującą wartość stanowił promień aperturowy.

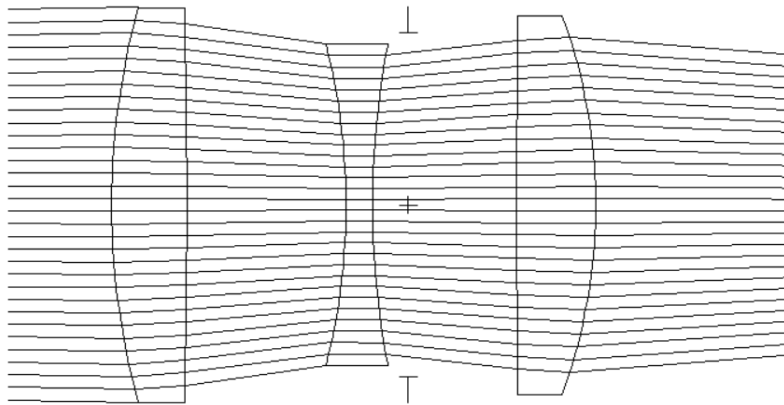
Układ po przeniesieniu do programu OSLO wyglądał następująco:



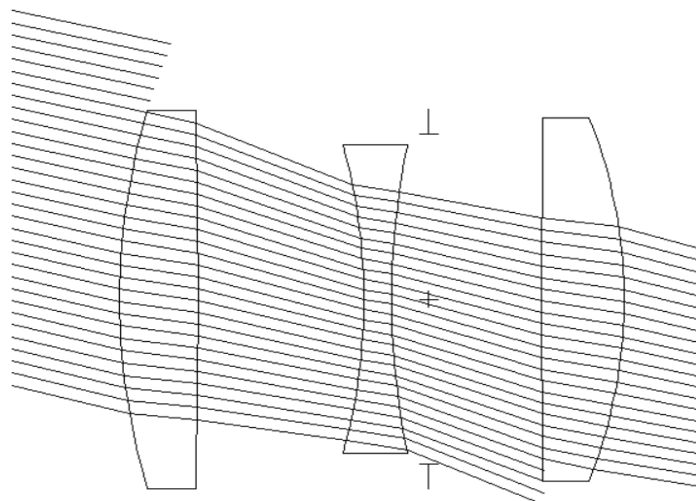
Następnie została przeprowadzona dalsza korekcja winietowania w programie OSLO.

Stan początkowy:

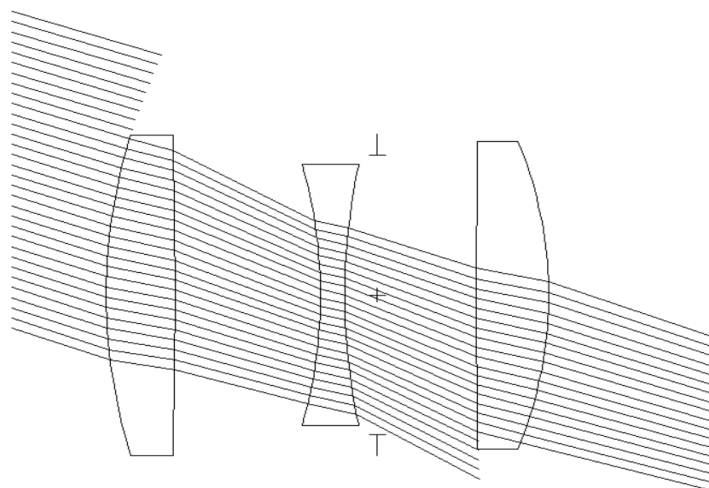
Y=0



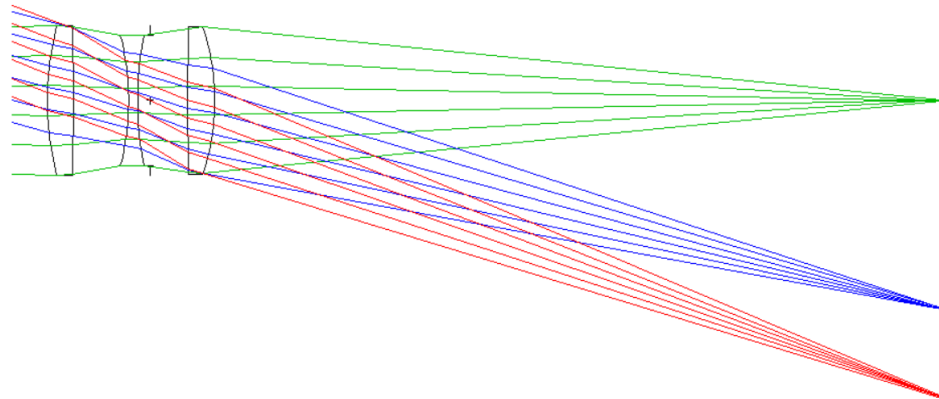
Y=0,7



Y=1



Stan po przeprowadzeniu korekcji winietowania wraz z jej wynikami:



Lens Drawing Conditions < Surface Data

Initial distance: 0.000000 Final distance: 0.000000

Horizontal view angle: 240 Vertical view angle: 30

First surface to draw: 0 Last surface to draw: 0 Autodraw: YZ

X shift: 0.000000 Y shift: 0.000000 DXF/IGES view: Unconverted

Apertures: Quadrant Rings: 3 Spokes: 4 Image space rays: Image srf

Draw aperture stop: ☐ Off ☒ On Hatch back of reflectors: ☐ Off ☒ On

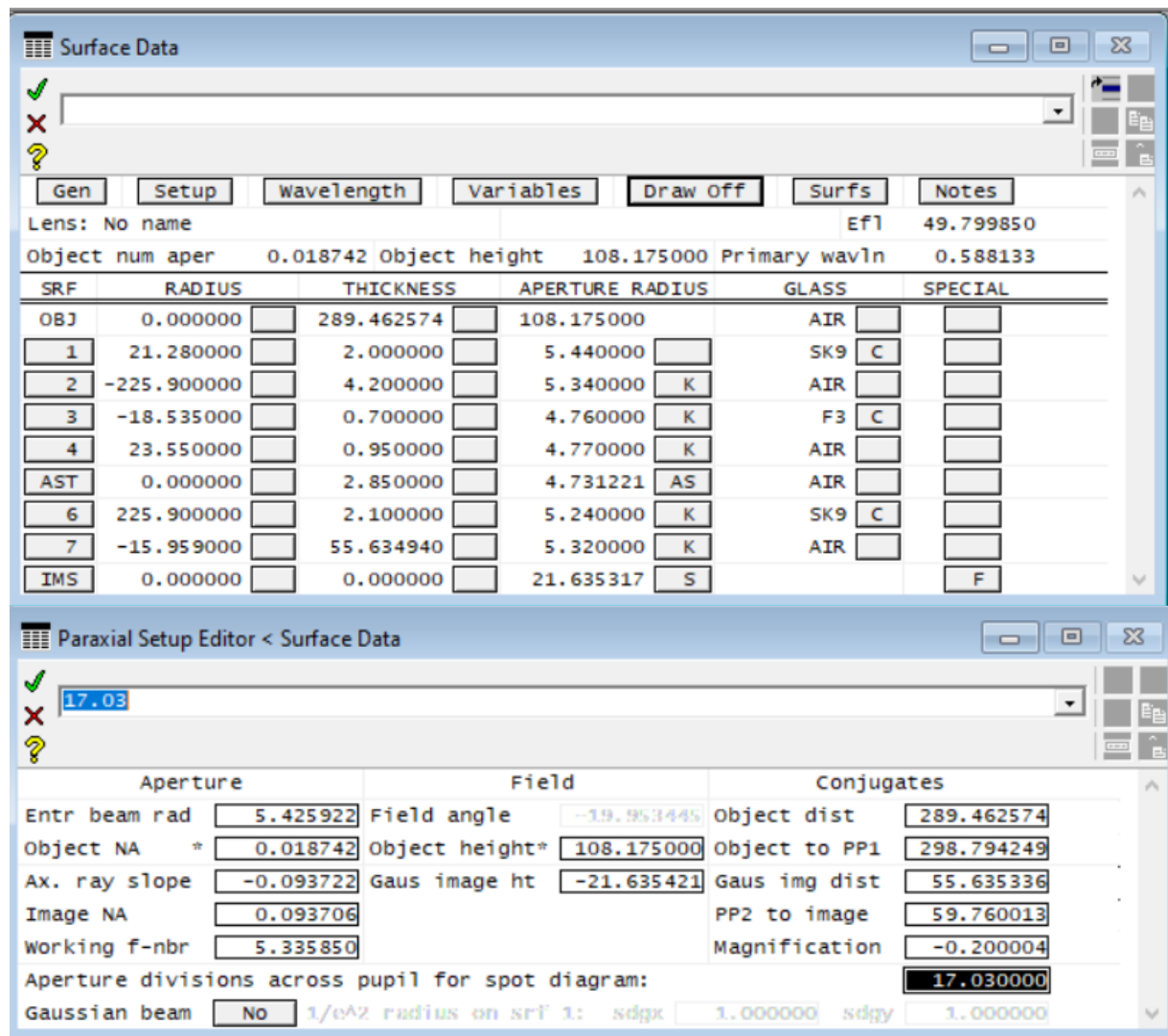
Shaded solid color - Red: 175 Green: 185 Blue: 250

Number of ray fans in lens drawings: 3 Points for aspheric profiles: 41

Frac Y Obj	Frac X Obj	Rays	Min Pupil	Max Pupil	Offset	FY	FX	Wvn
0.000000	0.000000	6	-1.000000	1.000000	0.000000	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	1
0.700000	0.000000	6	-0.830000	0.660000	0.000000	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	1
1.000000	0.000000	6	-0.740000	0.500000	0.000000	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	1

8. Porównanie obliczeń z danymi z OSLO

Ostateczne wyniki dla układu w programie OSLO:

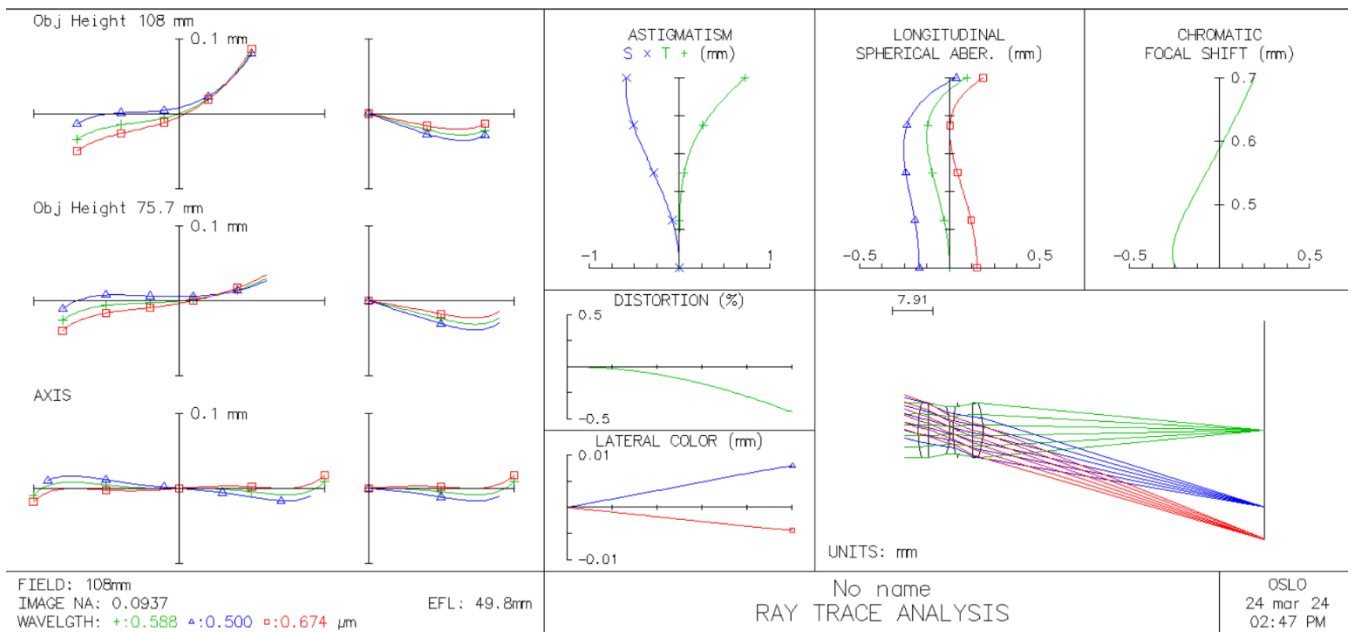


Zestawienie wyników:

	excel	OSLO
f'	49,79906	49,79985
sf'	55,63494	55,63534
h1 aperturowy	5,424651	5,425922
h1 polowy	2,203603	3,168757

Większość wielkości charakterystycznych została wyznaczona niemalże identycznie przez OSLO, znaczną różnicę obserwuje się jedynie w przypadku wartości wysokości promienia polowego. Może to wynikać ze zbyt dużych przybliżeń w trakcie liczenia pierwszej wysokości promienia polowego (przybliżanie kąta, potem tangensa).

9. Wykresy



Na powyższych wykresach możemy zauważyć wykres ‘chromatic focal shift’ oznaczający przyosiowy chromatyzm, który osiąga stosunkowo małe wartości. Wszystkie powyższe aberracje z wyjątkiem astygmatyzmu osiągają bardzo zadowalające wartości, sam astygmatyzm wypada gorzej na tle reszty aberracji, lecz również nie osiąga on dużych wartości.