

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Војна академија Универзитета одбране у Београду



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Наоружање

Предмет: Оптички уређаји и оптоелектроника

Број индекса: 502/2010

Сретен М. Токић

**Пројектовање дневног оптичког нишана за
војника пешадије
Дипломски рад**

Комисија за преглед и одбрану:

- 1. ванр. проф. др Дарко Васиљевић- председник**
- 2. ред. проф. др Богдан Недић - члан**
- 3. доцент др. Александра Кари- члан**

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Крагујевац, септембар 2015.

Увод у област теме дипломског рада

Пешадијске јединице и у савременим ратовима имају веома значајну улогу. Одређена територија се не може запоседнути и држати без употребе пешадијских јединица. Доктрина одбране Војске Републике Србије предвиђа да војник пешадије треба да дејствује на растојањима до 500 m. Основно наоружање војника пешадије је аутоматска пушка. До недавно аутоматске пушке биле су опремљене само механичким нишаном. Због познатих недостатака механичких нишана многе армије света замењују механичке нишане са дневним оптичким нишанима као основним нишаном на аутоматској пушци.

Смернице за израду дипломског рада

Кандидат би требао приликом израде дипломског рада примени стандардни приступ у изучавању једног сложеног проблема који се састоји из следећих корака:

- анализа постојећих дневних нишана за војника пешадије која су усвојена у наоружање савремених армија света,
- на основу извршене анализе постојећих дневних нишана и у складу са тактиком употребе наших пешадијских јединица одредити полазне тактичко техничке захтеве за наш дневни нишан,
- на основу усвојених тактичко техничких захтева извршити габаритни прорачун и одредити се за основне компоненте дневног нишана (објектив, обртни систем, окулар),
- након извршеног габаритног прорачуна прећи на пројектовање реалних компоненти (објектив, обртни систем и окулар) и пројектовање комплетног телескопског система. Пројектовање, анализу квалитета оптичких система и оптимизацију оптичких система радити у стандардном програму за пројектовање сложених оптичких и оптоелектронских система.

Анализу постојећих дневних нишана за војника пешадије треба урадити сагледавањем доступне литературе из посматране области и претраживањем интернета.

Габаритни прорачун дневног нишана урадити на основу познатих закона геометријске оптике. У оквиру габаритног прорачуна неопходно је усвојити тип објектива, обртног система и окулара који ће да испуни све постављене захтеве у тактичко техничким захтевима.

Пројектовање оптичких компоненти извршити у програму за пројектовање оптичких и оптоелектронских система *ZEMAX* америчке фирме *Radiant Zemax*. Приликом пројектовања сваке оптичке компоненте користити следећи поступак: поставка оптичке компоненте, анализа квалитета оптичке компоненте, оптимизација оптичке компоненте и завршна анализа.

Резиме:

У оквиру овог рада су приказана нека од савремених решења оптичких нишана који се данас користе широм света. Поступак пројектовања телескопског нишана, габаритни прорачун и прорачун у програму *ZEMAX*, као и вариације полазних података да би се добило оптимално решење. Упоредна анализа добијеног решења са савременим решењима. Технолошка документација добијеног решења.

Кључне речи:

Оптички нишан, габаритни прорачун, пројектовање оптичког система, оптимизација оптичког система, конструктивне толеранције.

Summary:

As part of this work are shown some of the modern solutions of optical sights used today worldwide. The process of designing telescopic sight, overall budget and the budget program *ZEMAX*, as well as variations of baseline data to obtain the optimal solution. Comparative analysis of the obtained solution with modern solutions. Technological documentation obtained solution.

Key words:

Optical sight, overall budget, the design of the optical system, optimization of the optical system, constructive tolerance .

Садржај	
Коришћене ознаке	5
УВОД.....	7
1. ПРИКАЗ САВРЕМЕНИХ ОПТИЧКИХ НИШАНА	8
1.1. <i>CP1 prismatic scope</i>	8
1.2. <i>Specter M145</i>	10
1.3. <i>Specter OS 3.0</i>	12
1.4. <i>SightPro PTS1</i>	14
1.5. <i>3x25 QR-TS</i>	16
1.6. <i>Spitfire 3x Prism Scope</i>	18
1.7. ПО 4x24 П.....	20
1.8. <i>S330P 3x Ultra compact</i>	22
1.9. Упоредна анализа приказаних оптичких нишана.....	24
2. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ОПТИЧКОГ НИШАНА	25
2.1. Габаритни прорачун	25
2.2. Пројектовање сочива	28
Пројектовање објектива (слепељени дубле).....	28
Пројектовање обртног система (слепељени дубле)	30
Пројектовање колекторског сочива (планконвексно сочиво).....	32
2.3. Пројектовање оптичког система у програму <i>ZEMAX</i>	33
Пројектовање објектива у програму <i>ZEMAX</i>	33
Пројектовање обртног система у програму <i>ZEMAX</i>	41
Пројектовање помоћног оптичког система у програму <i>ZEMAX</i>	45
Пројектовање телескопског система у програму <i>ZEMAX</i>	48
2.4. Други покушај.....	52
2.5. Трћи покушај.....	54
2.6. Четврти покушај (успешан)	58
Габаритни прорачун	58
Пројектовање сочива.....	59
Пројектовање телескопског система у програму <i>ZEMAX</i>	63
2.7. Упоредна анализа усвојеног телескопског система са већ постојећим решењима	68
3. ТЕХНОЛОШКА ДОКУМЕНТАЦИЈА.....	69
ЗАКЉУЧАК.....	83
Литература	84

Коришћене ознаке

Ознака	Значење
a, b, c	коэффициенти
D_{iz}	пречник излазне пупиле
D_u	пречник улазне пупиле
D_{ob}	пречник објектива
D_{obs}	пречник обртног система
D_{oo}	пречник очнице окулар
D_{ks}	пречник колекторског сочива
D_k	пречник дијафрагме видног поља
D_{ko}	пречник колектора окулар
D_{meh}	механички отвор сочива
d_{obs}	растојање између дублеа обртног система
d_{ks}	периферна дебљина колекторског сочива
d_1	периферна дебљина сабирног сочива у дублеу
d_2	периферна дебљина расипног сочива у дублеу
f'_{ok}	жижна дужина окулар
f'_{ob}	жижна дужина објектива
f'_{obs}	жижна дужина обртног система
f'_{ks}	жижна дужина колекторског сочива
h_{max}	половина слободног светлосног отвора
k	коэффициент линеарног винјетирања
L	дужина телескопског система
$2m$	максимална висина косих зрака који пролазе кроз улазну пупилу
m_2	разлика у висини између тачке продора главног и косог доњег зрака кроз колектор окулар
n	индекс преламања стакла
p'	растојање излазне пупиле
Q	енергија зрачења
r_1	радијус прве преломне површине
r_2	радијус друге преломне површине
r_3	радијус треће преломне површине
r_{ks}	радијус колекторског сочива
S_{Fok}	предње темено растојање окулар
S'_{Fok}	задње темено растојање окулар

t	периферна дебљина
v	Abbeov број
W^{∞}	коэффициент коме трећег реда
β_{obs}	попречно увећање обртног система
Φ_1	оптичка моћ сабирног сочива
Φ_2	оптичка моћ расипног сочива
Γ	телескопско увећање
σ_1	угао параксијалног зрака у првој преломној површини
σ_2	угао параксијалног зрака у другој преломној површини
σ_3	угао параксијалног зрака у трећој преломној површини
2ω	реални угао видног поља
$2\omega'$	привидни угао видног поља
ω_{obs}	угао између оптичке осе и главног зрака при проласку кроз први дубле обртног система
ω_{ok}	угао између оптичке осе и главног зрака при проласку кроз други дубле обртног система

УВОД

Оптички нишан је врста нишана која користи оптику како би стрелцу приказао кончаницу у равни циља, а велика већина оптичких нишана има и увећање и стрелцу циљ представља привидно ближим тј. већим што му веома олакшава нишањење. У већини случајева се оптички нишан поистовећује са снајперским нишаном, предвиђеним за веома прецизну пушку војника снајперисте, што је некад и било тачно, али последњих година је усавршавањем особина другог оружја, као и променом начина ратовања створена потреба за оптичким нишанима и код војника пешадије, тј оптичких нишана за употребу на аутоматском оружју.

Разлика ових нишана у односу на снајперске је та што немају или имају мање увећање, до 4 пута, већи угао видног поља, предвиђени су за нишањење на мањим растојањима до 500 m за аутоматске пушке и до 800 m за пушкомитраље, веће растојање нишана од ока стрелца, простију кончаницу, и захтевају мању обученост за коришћење.

Оптички нишани се углавном састоје од четири основна оптичка дела то су:

- Објектив је део најближи циљу и његова улога је да формира лик удаљеног предмета у својој жижној равни који је обрнут и умањен. Од квалитета објектива зависи и квалитет лика, а самим тим и квалитет оптичког нишана. Најчешће коришћени објектив је дубле који се састоји из једног сабирног и једног расипног сочива.
- Обртни систем се налази иза објектива и има улогу да усправи лик који је формирао објектив. Обртни систем се може формирати од сочива (најчешће два дублеа), огледала или призама.
- Кончаница је основни нишански и мерни елемент код оптичких нишана. Углавном се састоји од међусобно паралелних или нормалних линија са поделама. На кончаницама се налазе бројчане и словне ознаке. Углавном је тамне боје на провидној плочи, а у модерним оптичким нишанима има могућност осветљавања. Кончаница се поставља или у задњу жижну раван објектива или у предњу жижну раван окулар, где се формира слика циља и због тога се стиче утисак да је поклопљена са циљем.
- Окулар је део који се налази најближе оку стрелца и има улогу да по принципу лупе увећа лик који је формирао објектив, лик је увећан онолико пута колико је увећање оптичког нишана. Углавном се састоји од две групе сочива, група ближа кончаници назива се колектор окулар, док се група ближа оку стрелца назива очница. Нишанске спарве треба да омогуће нормално гледање како људима без диоптрије, тако и људима са диоптријом, то се постиже тако што је окулар помичан по оси оптичког нишана.

Оптички нишан се састоји од још једног не оптичког дела, о коме неће бити речи у наставку рада, а то је механичка конструкција која има улогу смештања оптичких делова, њихове заштите, као и да обезбеди превилан рад механизма за подешавање оптичких нишана. [1], [2]

Овај рад представља примр пројектовања оптичког нишана, кроз габаритни прорачун са подацима усвојеним на основу савремених оптичких нишана који су представљени на почетку рада, варирање тих података да би се дошло до што прихватљивијег решења. Пројектовање и оптимизацију нишанских компоненти и целог оптичког система у програму *ZEMAX*. Упоредивање карактеристика добијеног нишана са већ постојећим нишанима. Приказ технолошке документације пројектованог нишана по *ISO 10110* стандарду.

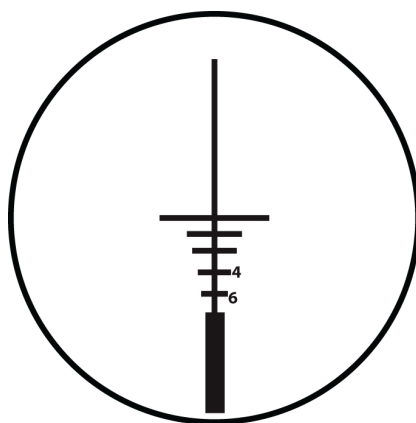
1. ПРИКАЗ САВРЕМЕНИХ ОПТИЧКИХ НИШАНА

1.1. CP1 prismatic scope

CP1 prismatic scope је оптички нишан швајцарске фирме SIG SAUER. Овај нишан представља решење мале масе за брзо нишањење. Нишан је веома издржљив и поуздан, и помоћу увећања од 3 пута омогућава прецизност при гађању на раздаљинама и до 600 метара. Поседује 3 начина приказивања кончанице: неосветљено црно, осветљено црвено и осветљено зелено, и за сваки од њих нуди пет нивоа осветљености. Заштитно кућиште од алуминијума обезбеђује оптималне перформансе у екстремним условима. На све оптичке површине је нанета вишеслојна антирефлексна заштитна превлака. Поседује могућност подешавања кончанице за утицај ветра и по висини. Поставља се на пикатини шину (M19137) што омогућава монтирање на свим типовима оружја који поседују пикатини шину. [3] На сликама 1.1 и 1.2 је приказан нишан и изглед кончанице.



Слика 1. 1. Оптички нишан CP1 prismatic scope [4]



Слика 1. 2. Изглед кончанице нишана CP1 prismatic scope [5]

Табела 1. 1. Основне карактеристике нишана CP1 prismatic scope [3]

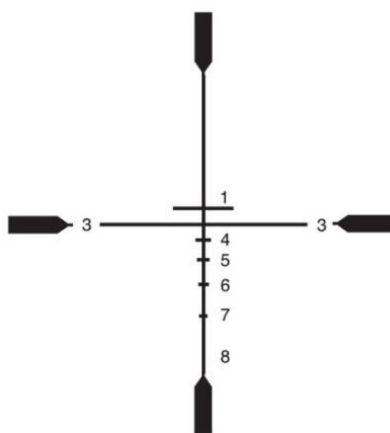
CP1 prismatic scope	
Оптички подаци	
Увећање	3 x
Угао видног поља	6 °
Удаљеност ока од окулара	82 mm
Пречник објектива	32 mm
Величина излазног отвора	10,6 mm
Кончаница	Неосветљена црна и осветљена црвена и зелена
Оптички слојеви	Вишеслојна антирефлексна превлака
Електрични подаци	
Тип батерије	3V CR2032
Просечни радни век батерије	8000 h
Преклопник за сјај кончанице	6 позиција искључено и 5 нивоа осветљености
Механичке карактеристике	
Материјал кућишта	алуминијум
Заштитници сочива	/
Подешавање ректификације	7 mm на 100 m
Начин монтирања	Пикатини шина (M1913)
Димензије	
Дужина	146 mm
Ширина/Висина	30 mm
Тежина	390 g
Климатски услови рада	
Температурни опсег	-20 °C до +50 °C
Отпорност на потапање	20 минута на дубини од 0,5 метара

1.2. *Specter M145*

Specter M145 је оптички нишан канадске фирме *ELKON*. Овај нишан је комбинација Елконове познате компактне конструкције и оптичког савршенства са балистички калибрисаним распоном осветљења кончанице. Предвиђен је за коришћење на пушкомитраљезима и аутоматским пушкама. У широкој је употреби у Америчкој војсци. Доказан је као поуздан у модерним ратним условима. Поставља се на пикатини шину (*M1913*) што олакшава упуцавање нишана. Постоје два модела за аутоматску пушку *M145M4* и за пушкомитраљез *M145C*. [6] На сликама 1.3 и 1.4 је приказан нишан и изглед кончанице.



Слика 1. 3. Оптички нишан *Specter M145* [7]



Слика 1. 4. Изглед кончанице нишана *Specter M145* [8]

Табела 1. 2. Основне карактеристике нишана Specter M145 [6]

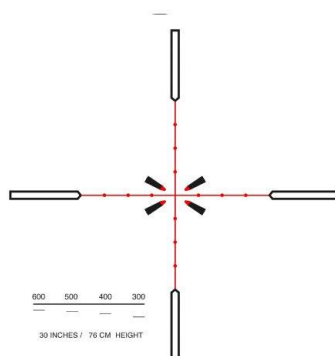
Specter M145	
Оптички подаци	
Увећање	3,4x
Угао видног поља	8°
Удаљеност ока од окулара	70 mm
Пречник објектива	28 mm
Величина излазног отвора	8,5 mm
Кончаница	Црна са осветљеним центром
Оптички слојеви	/
Електрични подаци	
Тип батерије	DL1/3N 3V
Просечни радни век батерије	7 дана при максималном осветљењу
Преклопник за сјај кончанице	11 нивоа осветљености и искључено
Механичке карактеристике	
Материјал кућишта	Алуминијум
Заштитници сочива	/
Подешавање ректификације	25 mm на 100 m
Начин монтирања	Пикатини шина (M19137)
Димензије	
Дужина	182 mm
Ширина/Висина	78 mm/92 mm
Тежина	660 g (M145M4) и 700 g (M145C)
Климатски услови рада	
Температурни опсег	/
Отпорност на потапање	Непропустљив до 20 метара

1.3. Specter OS 3.0

Specter OS 3.0 је лаган и издржљив оптички нишан са фиксним увећањем од три пута. Направљен је за модерну војску. Поседује осветљену кончаницу која омогућује брзо и прецизно нишањење, може се користити и у блиској борби, а обезбеђује прецизно нишањење и на већим удаљеностима. Алуминијумско кућиште и гумене облоге дају нишану велику издржљивост у борбеним условима. Може имати или балистички калибрисану кончаницу или кончаницу са могућношћу подешавања за утицај ветра или по висини. Поставља се на пикатини шину (*M1913*) , а и на њему се налазе пикатини шине што омогућава качење додатних уређаја. [9] На сликама 1.5 и 1.6 је приказан нишан и изглед кончанице.



Слика 1. 5. Оптички нишан Specter OS 3.0 [10]



Слика 1. 6. Изглед кончанице нишана Specter OS 3.0 [11]

Табела 1. 3. Основне карактеристике нишана Specter OS 3.0 [9]

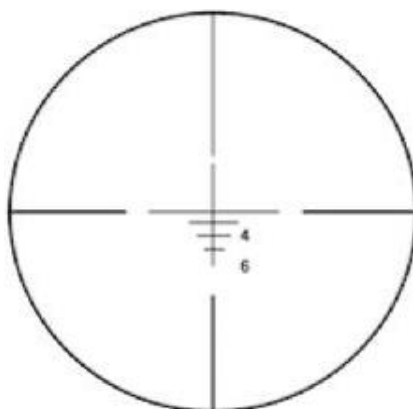
Specter OS 3.0	
Оптички подаци	
Увећање	3,1 x
Угао видног поља	6 °
Удаљеност ока од окулара	66 mm
Величина излазног отвора	8 mm
Кончаница	Црна и осветљена
Оптички слојеви	/
Електрични подаци	
Тип батерије	CR123 (3 V литијумска)
Просечни радни век батерије	Око 3 године
Преклопник за сјај кончанице	11 положаја
Механичке карактеристике	
Материјал кућишта	алуминијум
Заштитници сочива	/
Подешавање ректификације	14,5 mm на 100 m
Начин монтирања	Пикатини шина (M19137)
Димензије	
Дужина	135 mm
Ширина/Висина	65 mm / 77 mm
Тежина	415 g
Климатски услови рада	
Температурни опсег	-45 °C до 50 °C
Отпорност на потапање	До 20 м најмање 2 сата

1.4. SightPro PTS1

SightPro PTS1 је нишан италијанске фирме *KONUS*. Нишан је беспрекорног оптичког кавилитета. Конструкција је издржљива. Може се користити и за ловачко оружје, а и у војсци. Поседује осветљену кончаницу која може бити у 4 боје, црвена, зелена, плава и црна, на кончаници постоје подеоци помоћу којих се лако и брзо може нишанити и на већа растојања. [12] На сликама 1.7 и 1.8 је приказан нишан и изглед кончанице.



Слика 1. 7. Оптички нишан *SightPro PTS1* [13]



Слика 1. 8. Изглед кончанице нишана *SightPro PTS1* [14]

Табела 1. 4. Основне карактеристике нишана SightPro PTS1 [14]

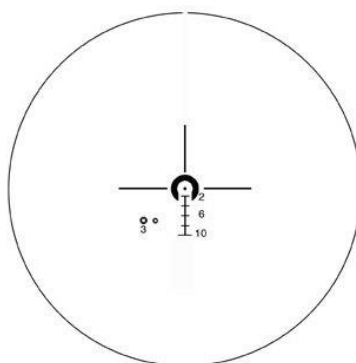
SightPro PTS1	
Оптички подаци	
Увећање	3 x
Угао видног поља	7 ° (12,13 m на 100 m)
Удаљеност ока од окулара	80 mm
Пречник објектива	32 mm
Величина излазног отвора	13 mm
Кончаница	Осветљена црвено, плаво и зелено и неосветљена црна
Оптички слојеви	
Електрични подаци	
Тип батерије	CR2032
Просечни радни век батерије	/
Преклопник за сјај кончанице	/
Механичке карактеристике	
Материјал кућишта	/
Заштитници сочива	/
Подешавање ректификације	7,5 mm на 100 m
Начин монтирања	Пикатини шина (M19137)
Димензије	
Дужина	115 mm
Ширина/Висина	/
Тежина	400 g
Климатски услови рада	
Температурни опсег	/
Отпорност на потапање	водоотпоран

1.5. 3x25 QR-TS

3x25 QR-TS је први нишан за модел пушке *AR 15* румунске фирме *IOR*. Нишан има увећање од 3 пута. Кончаница овог нишана има осветљену тачку на средини која је веома прецизна на великим растојањима. Испод тачке се налази линија са подеоцима која искусним стрелцима омогућава лако и брзо нишањење на већим растојањима. Може се користити и са празном батеријом пошто кончаница остаје у стандардној црној боји. Поседује седам нивоа осветљености кончанице. Начин постављања је на пикатини шину, а и сам поседује пикати шине што омогућава да се на њега каче додатни уређаји(ласер, лампа ...). Просечни животни век батерије је 38 сати при максималном осветљењу, док је у регуларној употреби око 2 године. [15] На сликама 1.9 и 1.10 је приказан нишан и изглед кончанице.



Слика 1. 9. Оптички нишан 3x25 QR-TS [16]



Слика 1. 10. Изглед кончанице нишана 3x25 QR-TS [16]

Табела 1. 5. Основне карактеристике нишана 3x25 QR-TS [15]

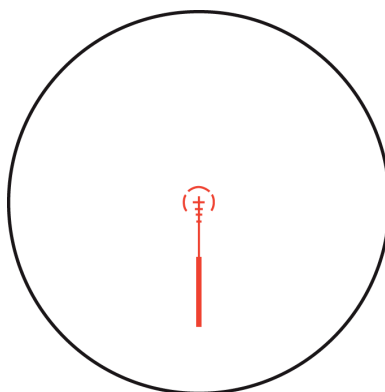
3x25 QR-TS	
Оптички подаци	
Увећање	3 x
Угао видног поља	6° (11,38 m на 100 m)
Удаљеност ока од окулара	89 mm
Пречник објектива	25 mm
Величина излазног отвора	8,25 mm
Кончаница	Осветљена црвено и не осветљена црна
Оптички слојеви	/
Електрични подаци	
Тип батерије	2032
Просечни радни век батерије	38 сати при максималном осветљењу око, 2 године регуларно
Преклопник за сјај кончанице	7 нивоа осветљености
Механичке карактеристике	
Материјал кућишта	алуминијум
Заштитници сочива	/
Подешавање ректификације	7,5 mm на 100 m
Начин монтирања	Пикатини шина (M19137)
Димензије	
Дужина	143 mm
Ширина/Висина	/
Тежина	454 g
Климатски услови рада	
Температурни опсег	/
Отпорност на потапање	водоотпоран

1.6. Spitfire 3x Prism Scope

Spitfire 3x Prism Scope је нишан фирме *Vortex* из *Wisconsin, USA*. Заснован је на призматичном систему који обезбеђује јасан преглед. Кончаница овог нишана је видљива са или без осветљења, може бити осветљена црвеном или зеленом бојом уз пет нивоа осветљења, при том је радни век батерије на максималном нивоу осветљења 250 сати док је на минималном нивоу осветљења око 3000 сати. Једноделно кућиште је компактно и лако, притом је врло отпорно на ударе и трзаје. Заптивни прстенови спречавају улаз било какве прљавштине, магле и воде у свим условима. Оптичке површине су заштићене вишеслојним антирефлексним превлакама. [17] На сликама 1.11 и 1.12 је приказан нишан и изглед кончанице.



Слика 1. 11. Оптички нишан Spitfire 3x Prism Scope [18]



Слика 1. 12. Изглед кончанице нишана Spitfire 3x Prism Scope [19]

Табела 1. 6. Основне карактеристике нишана Spitfire 3x Prism Scope [17]

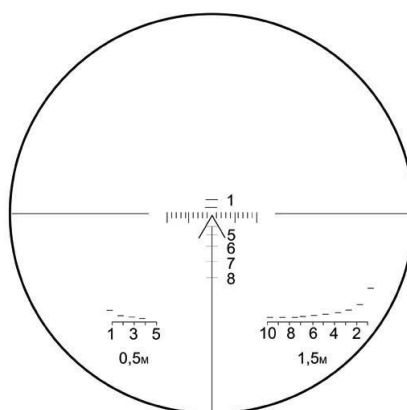
Spitfire 3x Prism Scope	
Оптички подаци	
Увећање	3 x
Угао видног поља	6 °
Удаљеност ока од окулара	71 mm
Пречник објектива	32 mm
Кончаница	Осветљена црвена и зелена и не осветљена црна
Оптички слојеви	Вишеслојне антирефлексне превлаке
Електрични подаци	
Тип батерије	CR 2032
Просечни радни век батерије	250 h на макс. осветљењу и 3000 h на мин. осветљењу
Преклопник за сјај кончанице	5 положаја
Механичке карактеристике	
Материјал кућишта	алуминијум
Заштитници сочива	Пластични поклопци
Подешавање ректификације	13 mm на 100 m
Начин монтирања	Пикатини шина (M19137)
Димензије	
Дужина	140 mm
Ширина/Висина	39 mm
Тежина	380 g
Климатски услови рада	
Температурни опсег	Од – 30 °C до 50 °C
Отпорност на потапање	водоотпоран

1.7. ПО 4х24 П

ПО 4х24 П је нишан белоруске фирме Беломо дизајниран је за нишањење аутоматским оружјем током дана и у сумрак. Са светлећом кончаницом добар је за нишањење и посматрање циљева на средњим и великим растојањима. Монтира се на пикатини шине, а помоћу додатка може да се монтира и на оржја која немају пикатини шину. [20] На сликама 1.13 и 1.14 је приказан нишан и изглед кончанице.



Слика 1. 13. Оптички нишан ПО 4х24 П [21]



Слика 1. 14. Изглед кончанице нишана ПО 4х24 П [21]

Табела 1. 7. Основне карактеристике нишана ПО 4х24 П [21]

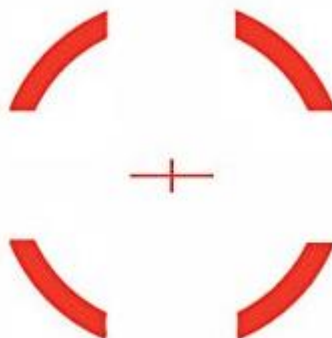
ПО 4х24 П	
Оптички подаци	
Увећање	4 х
Угао видног поља	12 °
Удаљеност ока од окулара	42 mm
Пречник објектива	21 mm
Величина излазног отвора	6 mm
Кончаница	Неосветљена црна са осветљеном црвеном тачком
Оптички слојеви	/
Електрични подаци	
Тип батерије	АА
Просечни радни век батерије	/
Преклопник за сјај кончанице	5 положаја
Механичке карактеристике	
Материјал кућишта	/
Заштитници сочива	/
Подешавање ректификације	/
Начин монтирања	Пикатини шина (M19137)
Димензије	
Дужина	186 mm
Ширина/Висина	82 mm / 78 mm
Тежина	600 g
Климатски услови рада	
Температурни опсег	Од -30 °C до 50 °C
Отпорност на потапање	/

1.8. S330P 3x Ultra compact

S330P 3x Ultra compact је нишан америчке фирме *Monstrum Tactical*. Компактни нишан на принципу призама са фиксним увећањем од 3 пута, веома погодан за брзо нишањење на раздаљинама до 450 метара. Призмени систем који користи овај нишан је бољи од традиционалних рефлектујућих нишана јер омогућује бољи оптички квалитет у знатно мањем паковању. Кончаница овог нишана може бити осветљена у три боје (црвено, плаво и зелено), у пет нивоа осветљености. Кончаница је видљива и без осветљења, што значи да се нишан може користити и без батерије. Начин монтирања је на пикатини шине. [22] На сликама 1.15 и 1.16 је приказан нишан и изглед кончанице.



Слика 1. 15. Оптички нишан S330P 3x Ultra compact [22]



Слика 1. 16. Изглед кончанице нишана S330P 3x Ultra compact [22]

Табела 1. 8. Основне карактеристике нишана S330P 3x Ultra compact [22]

S330P 3x Ultra compact	
Оптички подаци	
Увећање	3 x
Угао видног поља	/
Удаљеност ока од окулара	75 mm
Пречник објектива	30 mm
Кончаница	Осветљена црвено, зелено и плаво не осветљена црна
Оптички слојеви	/
Електрични подаци	
Тип батерије	3V CR2032
Просечни радни век батерије	/
Преклопник за сјај кончанице	5 положаја
Механичке карактеристике	
Материјал кућишта	/
Заштитници сочива	/
Подешавање ректификације	/
Начин монтирања	Пикатини шина (M19137)
Димензије	
Дужина	127 mm
Ширина/Висина	50 mm / 71 mm
Тежина	425 g
Климатски услови рада	
Температурни опсег	/
Отпорност на потапање	/

1.9. Упоредна анализа приказаних оптичких нишана

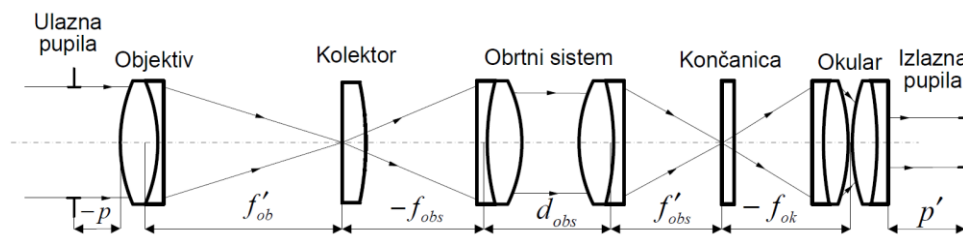
Табела 1. 9. Упоредна анализа карактеристика оптичких нишана

	Јед.	CP1 prismatic scope	Specter M145	Specter OS 3.0	Sight Pro PTS1	3x25 QR- TS	Spitfire 3xPrism Scope	ПО 4x24 П	S330P 3x Ultra compact
Приказан у табели		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
Увећање		3 x	3,4 x	3,1x	3 x	3 x	3 x	4 x	3 x
Угао видног поља	°	6	8	6	7	6	6	12	Нема податка
Удаљеност ока	mm	82	70	66	80	89	79	42	75
Пречник објектива	mm	32	28	Нема податка	32	25	30	21	30
Излазни отвор	mm	10.6	8,5	8	13	8,25	Нема податка	6	Нема податка
Век батерије		8000 h	168 h на мах	3 год.	Нема податка	38h / 2 год.	250h/ 3000h	Нема податка	Нема податка
Дужина	mm	146	182	135	115	143	140	186	127
Ширина/ висина	mm	30	78/92	65/77	Нема податка	Нема податка	39	82/78	50/71
Тежина	g	390	660/700	415	400	454	380	600	425
Темп. опсег	°C	од -20 до 50	Нема податка	Од -45 до 50	Нема податка	Нема податка	Од -30 до 50	Од -30 до 50	Нема податка

Као што се из табеле 1.9 види увећање оптичких нишана се креће од 3 до 4 пута што је сасвим довољно јер оружије за које су предвиђени има ефикасни домет до 500 метара. Угао видног поља се креће од 6 до 12 степени што је за ово увећање сасвим довољно. Удаљеност ока од окулар се креће од 42 до 89 милиметара што одговара коришћењу на аутоматском оружију. Величина излазног отвора се креће од 6 до 13 милиметара. За просечни радни век батерије има мало података и он зависи од нивоа осветљености кончанице. Дужина оптичких нишана се креће од 115 до 186 милиметара, мала дужина нишана је углавном постигнута коришћењем обртног система од призама. Тежина оптичких нишана се креће од 380 до 700 грама. Температурни опсег је од -20 до 50 степени целзијуса.

2. ПРОЈЕКТОВАЊЕ ОПТИЧКОГ НИШАНА

На основу резултата приказаних у предходној тачки овог рада, за пројектовање новог нишана усвојени су: увећање од 3 пута, угао видног поља од 8 степени, величина излазног отвора од 8 милиметра и дужина телескопског система од 160 милиметра. Поред тога усвојене су стандардне величине за жижду дужину окулара од 25 милиметра и дозвољено вињетирање од 30 процената. Пошто је усвојен обртни систем који се састоји од два симетрична дублеа, попречно увећање обртног система је -1. На слици 2.1 је приказана усвојена оптичка шема телескопског система.



Слика 2. 1. Оптичка шема телескопског система

2.1. Габаритни прорачун

Полазни податци

Телескопско увећање $\Gamma = 3 \times$

Угао видног поља $2\omega = 8^\circ$

Пречник излазне пупиле $D_{iz} = 8 \text{ mm}$

Жижда дужина окулара $f'_{ok} = 25 \text{ mm}$

Попречно увећање обртног система $\beta_{obs} = -1$

Дужина телескопског система $L = 160 \text{ mm}$

Дозвољено вињетирање 30%, односно $k = 0.3$

Жижда дужина објектива:

$$f'_{ob} = \frac{-\Gamma \cdot f'_{ok}}{\beta_{obs}} = \frac{-3 \cdot 25}{-1} = 75 \text{ mm}.$$

Пречник улазне пупиле:

$$D_u = \Gamma \cdot D_{iz} = 3 \cdot 8 = 24 \text{ mm}.$$

Максимална висина косих зрака на улазној пупили:

$$2 \cdot m = (1 - k) \cdot D_u = (1 - 0.3) \cdot 24 = 16.8 \text{ mm}.$$

Пречник објектива једнак је пречнику улазне пупиле: $D_{ob} = D_u = 24 \text{ mm}$.

Жижда дужина дублеа обртног система добија се решавањем квадратне једначине:

$$\begin{aligned} f'^2_{obs} \cdot \frac{(1-k) \cdot D_u}{f'^2_{ob} \cdot \tan \omega} + f'_{obs} \cdot (\beta_{obs} - 1) + L - (f_{ob} + f_{ok}) &= 0 \\ f'^2_{obs} \cdot \frac{(1-0.3) \cdot 24}{75 \cdot \tan(-4^\circ)} + f'_{obs} \cdot (-1 - 1) + 160 - (75 + 25) &= 0 \\ -0.0427 \cdot f'^2_{obs} - 2 \cdot f'_{obs} + 60 &= 0 \\ f'_{obs1} = 20.779; f'_{obs2} = -67.6052 \end{aligned}$$

Усваја се жижна дужина дублеа обртног система: $f'_{obs} = 21 \text{ mm}$.

Пречник дублеа обртног система :

$$D_{obs} = D_{ob} \cdot \frac{f'_{obs}}{f'_{ob}} = 24 \cdot \frac{21}{75} = 6.72 \text{ mm}$$

Усваја се пречник дублеа обртног система $D_{obs} = 7 \text{ mm}$

Растојање између дублеа обртног система:

$$d_{obs} = -\frac{(1-k)}{\tan \omega} \cdot D_u \cdot \left(\frac{f'_{obs}}{f'_{ob}} \right)^2 = -\frac{(1-0.3)}{\tan(-4^\circ)} \cdot 24 \cdot \left(\frac{21}{75} \right)^2 = 18.836 \text{ mm}$$

Усваја се растојање између дублеа обртног система $d_{obs} = 19 \text{ mm}$

Жижна дужина колектора

$$\frac{1}{f'_{ks}} = \frac{1}{f'_{ob}} \cdot \left(1 + \frac{p}{f'_{ob}} \right) + \frac{1}{f'_{obs}} \cdot \left(1 - \frac{d_{obs}}{2 \cdot f'_{obs}} \right) = \frac{1}{75} \cdot \left(1 + \frac{0}{75} \right) + \frac{1}{21} \cdot \left(1 - \frac{19}{2 \cdot 21} \right)$$

$$f'_{ks} = 25.374 \text{ mm}$$

Усваја се жижна дужина колектора $f'_{ks} = 26 \text{ mm}$

Пречник колектора

$$D_{ks} = -2 \cdot f'_{ob} \cdot \tan \omega = -2 \cdot 75 \cdot \tan(-4^\circ) = 10.489 \text{ mm}$$

Усваја се пречник колектора $D_{ks} = 11 \text{ mm}$.

Тангенс привидног угла видног поља телескопског система је

$$\tan \omega' = \Gamma \cdot \tan \omega = 3 \cdot \tan(-4^\circ) = -0.2098$$

Пречник дијафрагме видног поља

$$D_k = -2 \cdot f'_{ok} \cdot \tan \omega' = -2 \cdot 25 \cdot 0.2098 = 10.489 \text{ mm}$$

Усваја се пречник дијафрагме видног поља $D_k = 11 \text{ mm}$

Тангенс угла између оптичке осе и главног зрака после проласка кроз први дубле обртног система је

$$\tan \omega_{obs} = \frac{D_{ks}}{2 \cdot f_{obs}} = \frac{11}{2 \cdot 21} = 0.2619$$

Тангенс угла између оптичке осе и главног зрака после проласка кроз други дубле обртног система је

$$\tan \omega_{ok} = -\frac{D_k - d_{obs} \cdot \tan \omega_{obs}}{2 \cdot \beta_{obs} \cdot f_{obs}} = -\frac{11 - 19 \cdot 0.2619}{2 \cdot (-1) \cdot 21} = 0.1434$$

Код симетричног окулара предње темено растојање S_{Fok} по апсолутној вредности једнако је задњем теменом растојању S'_{Fok} . Та вредност је

$$|S_{Fok}| = S'_{Fok} = 0.75 \cdot f_{ok} = 0.75 \cdot 25 = 18.75 \text{ mm}$$

Разлика у висини између тачке продора главног и косог доњег зрака кроз колектор окулар је

$$m_2 = \frac{(1-k) \cdot D_{obs} \cdot S_{Fok}}{2 \cdot \beta_{obs} \cdot f_{obs}} = \frac{(1-0.3) \cdot 11 \cdot 18.75}{2 \cdot (-1) \cdot 21} = 3.438 \text{ mm}$$

Пречник колектора окулар

$$D_{ko} = D_k - 2 \cdot S_{Fok} \cdot \tan \omega_{ok} + 2 \cdot m_2 = 11 - 2 \cdot 18.75 \cdot 0.4375 + 2 \cdot 3.438 = 23.253 \text{ mm}$$

Усваја се пречник колектора окулар $D_{ko} = 24 \text{ mm}$

Растојање излазне пупиле је

$$p' = S'_{Fok} - \left(\beta_{obs} \cdot f_{obs} + \frac{d_{obs}}{2} \right) \cdot \frac{f'^2_{ok}}{\beta_{obs} \cdot f_{obs}} 18.75 - \left(-1 \cdot 21 + \frac{19}{2} \right) \frac{25^2}{(-1 \cdot 21)^2} = 35.048 \text{ mm}$$

Пречник очнице окулара је

$$D_{oo} = (1 - k) \cdot D_{iz} - 2 \cdot p' \cdot \tan \omega' = (1 - 0.3) \cdot 8 - 2 \cdot 35.048 \cdot (-0.2098) = 20.304 \text{ mm}$$

Да би механички део конструкције окулара био једноставнији, усваја се да колектор и очница окулара имају исти пречник $D_{ko} = D_{oo} = 24 \text{ mm}$. [23]

Пошто је габаритним прорачуном са овим полазним подацима добијено да је растојање излазне пупиле 35,048 милиметара, што је мало за овакав тип нишана где се растојање излазне пупиле креће минимум од 40 до 60 милиметара а код неких нишана и до 90 милиметара. Урађен је прорачун у коме су мењане вредности жијне дужине окулара од 26 до 32 милиметара. Резултати овог прорачуна су представљени у табели 2.1.

Табела 2. 1. Резултати габаритног прорачуна за вредности f'_{ok} од 26 до 32 милиметра

f'_{ok}	26 mm	27 mm	28 mm	29 mm	30 mm	31 mm	32 mm
величина	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
f'_{ob}	78	81	84	87	90	93	96
D_u	24	24	24	24	24	24	24
$2m$	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8
f'_{obs1}	20.057	19.229	18.299	17.268	16.138	14.912	13.592
f'_{obs2}	-70,7041	-73,8475	-77,0376	-80,2768	-83,5672	86,9113	-90,3117
у св. вред.	21	20	19	18	17	15	14
$D_{ob} = D_u$	24	24	24	24	24	24	24
D_{obs}	6.46	5.926	5.428	4.966	4.533	3.871	3.5
у св. вред.	7/11	6/12	6/12	5/13	5/13	4/14	4/14
d_{obs}	17.415	14.647	12.292	10.284	8.572	6.25	5.109
у св. вред.	18	15	13	11	9	7	6
f'_{ks}	53.524	40.248	35.056	30.212	25.778	21.594	19.519
у св. вред.	54	41	36	31	26	22	20
D_{ks}	10.909	11.328	11.748	12.167	12.587	13.006	13.426
у св. вред.	11	12	12	13	13	14	14
$\tan \omega'$	-0.2098	-0.2098	-0.2098	-0.2098	-0.2097	-0.2097	-0.2097
D_k	10.909	11.328	11.748	12.167	12.587	13.006	13.426
у св. вред.	11	12	12	13	13	14	14
$\tan \omega_{obs}$	0.2619	0.3	0.3158	0.3611	0.3824	0.4667	0.5
$\tan \omega_{ok}$	0.1471	0.1875	0.2078	0.2508	0.2811	0.3578	0.393
S'_{Fok}	19.5	20.25	21	21.75	22.5	23.25	24
m_2	3.575	4.253	4.642	5.498	6.022	7.595	8.4
D_{ko}	23.886	28.098	30.010	34.904	37.696	45.826	49.657
у св. вред.	24	29	31	35	38	46	50
p'	37.577	43.031	48.147	54.196	61.427	72.367	81.469
D_{oo}	21.365	23.654	25.8	28.339	31	35.963	39.781
у св. вред.	24	29	31	35	38	46	50

На основу приказаних податак у табели 2.1, жижна дужина окулара од 30 милиметара је прихватљива, али јавио се нови проблем жижна дужина обртног система од 17 милиметара је премала па је одлучено да се дужина телескопског система са првобитних 160 милиметара повећа на 200 милиметара. Резултати овог габаритног прорачуна биће приказани у табели 2.2.

Табела 2. 2. Резултати габаритног прорачуна телескопског система дужине 200 mm

f'_{ob}	90 mm	d_{obs}	24,9446 mm	$\tan \omega_{obs}$	0,22413
D_u	24 mm	усв. вред.	25 mm	$\tan \omega_{ok}$	0,12753
$2m$	16,8 mm	f'_{ks}	32,5408 mm	S'_{Fok}	22,5 mm
f'_{obs1}	28,2034	усв. вред.	33 mm	m_2	2,1724
f'_{obs2}	-95,6329	D_{ks}	12,5868 mm	D_{ko}	23,0835 mm
усв. вред.	29 mm	усв. вред.	13 mm	усв. вред.	24 mm
$D_{ob} = D_u$	24 mm	$\tan \omega'$	-0,20978	p'	40,1576mm
D_{obs}	7,7333 mm	D_k	12,5868 mm	D_{oo}	22,4485 mm
усв. вред.	8 mm	усв. вред.	13 mm	усв. вред.	24 mm

2.2. Пројектовање сочива

За пројектовање дублеа одабарања је комбинација *Crown* стакла *BK7* који има индекс преламања $n_1=1.5168$ и *Abbeon* број $v_1=64.17$ и *Flint* стакла *F2* које има индекс преламања $n_2=1.62004$ и *Abbeon* број $v_2=36.37$ из Schott-овог каталога.

Пројектовање објектива (слепољени дубле)

Полазни подаци

Жижна дужина објектива $f'=f'_{ob}=90$ mm

Слободан светлосни отвор $D=D_{ob}=24$ mm

Индекс преламања за „Crown“ стакло „BK7“ $n_1=1.5168$

Abbeon број за „Crown“ стакло „BK7“ $v_1=64.17$

Индекс преламања за „Flint“ стакло „F2“ $n_2=1.62004$

Abbeon број за „Flint“ стакло „F2“ $v_2=36.37$

Додатак за уградњу помоћу прстена 2 mm

Периферна дебљина сабирног сочива $t=1.8$ mm

Прорачун оптичких моћи сабирног и расипног сочива

Оптичка моћ сабирног сочива

$$\Phi_1 = \frac{v_1}{v_1 - v_2} = \frac{64.17}{64.17 - 36.37} = 2.3183$$

Оптичка моћ расипног сочива

$$\Phi_2 = 1 - \Phi_1 = 1 - 2.3183 = -1.3183$$

Прорачун потребних коефицијената

$$a = 1 + 2 \cdot \Phi_1 \cdot \left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right) + \frac{2}{n_2} = 1 + 2 \cdot 2.3183 \cdot \left(\frac{1}{1.5168} - \frac{1}{1.62004} \right) + \frac{2}{1.62004} = 2.4285$$

$$b = \frac{3}{n_1-1} \cdot \Phi_1^2 - \frac{3}{n_2-1} \cdot \Phi_2^2 - 2 \cdot \Phi_2 =$$

$$= \frac{3}{1.5168-1} \cdot 2.3183^2 - \frac{3}{1.62004-1} \cdot (-1.3183)^2 - 2 \cdot 1.3183 = 25.2648$$

$$c = \frac{n_1}{(n_1-1)^2} \cdot \Phi_1^3 + \frac{n_2}{(n_2-1)^2} \cdot \Phi_2^3 + \frac{n_2}{n_2-1} \cdot \Phi_2^2 =$$

$$= \frac{1.5168}{(1.5168-1)^2} \cdot 2.3183^3 + \frac{1.62004}{(1.62004-1)^2} \cdot (-1.3183)^3 + \frac{1.62004}{1.62004-1} \cdot (-1.3183)^2 = 64.8827$$

Прорачун Abbeov-е инваријанте Q

$$Q_{1/2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-25.2648 \pm \sqrt{25.2648^2 - 4 \cdot 2.4285 \cdot 64.8827}}{2 \cdot 2.4285}$$

$$Q_1 = -4.6180$$

$$Q_2 = -5.7855$$

Коефициент коме трећег реда за вредности Abbeov-е инваријанте

$$W_1^\infty = -\frac{a+1}{2} \cdot Q_1 + \frac{\Phi_2-b}{3} = -\frac{2.4285+1}{2} \cdot (-4.6180) + \frac{(-1.3083)-25.2648}{3} = -0.9413$$

$$W_2^\infty = -\frac{a+1}{2} \cdot Q_2 + \frac{\Phi_2-b}{3} = -\frac{2.4285+1}{2} \cdot (-5.7855) + \frac{(-1.3083)-25.2648}{3} = 1.0601$$

Пошто је $|W_1^\infty| < |W_2^\infty|$ усваја се вредност Abbeov-е инваријанте $Q = Q_1 = -4.6180$

Прорачун дебљина сочива слепљеног дублеа

Механички отвор сочива D_{meh} се добија тако што се на величину слободног светлосног отвора D дода додаток за уградњу који је у овом случају 2 mm.

$$D_{meh} = D + 2 = 24 + 2 = 26 \text{ mm}$$

Дебљина сабирног сочива

$$d_1 = \frac{D_{meh}^2}{4f'_{ob}} \cdot \Phi_1 + t = \frac{26^2}{4 \cdot 90} \cdot 2.3083 + 1.8 = 6.3344 \text{ mm}$$

Усваја се дебљина сабирног сочива $d_1 = 6,4 \text{ mm}$

Дебљина расипног сочива

$$d_2 = \frac{D_{meh}}{12} = \frac{26}{12} = 2.1667 \text{ mm}$$

Усваја се дебљина расипног сочива $d_2 = 2,2 \text{ mm}$

Прорачун углова параксијалног зрака који улази у оптички систем паралелно са оптичком осом

Угао параксијалног зрака у првој преломној површини

$$\sigma_1 = 0$$

Угао параксијалног зрака у другој преломној површини

$$\sigma_2 = \left(1 - \frac{1}{n_1}\right) \cdot Q + \Phi_1 = \left(1 - \frac{1}{1.5168}\right) \cdot (-4.6180) + 2.3083 = 0.7348$$

Угао параксијалног зрака у трећој преломној површини

$$\sigma_3 = \left(1 - \frac{1}{n_2}\right) \cdot Q + \Phi_1 = \left(1 - \frac{1}{1.62004}\right) \cdot (-4.6180) + 2.3083 = 0.5408$$

Прорачун радијуса кривина преломних површина

Радијус прве преломне површине

$$r_1 = \frac{n_1 - 1}{n_1 \cdot \sigma_2} \cdot f'_{ob} = \frac{1,5168 - 1}{1,5168 \cdot 0,7348} \cdot 90 = 41.7291 \text{ mm}$$

Радијус друге преломне површине

$$r_2 = \frac{n_2 - n_1}{n_2 \cdot \sigma_3 - n_1 \cdot \sigma_2} \cdot (f'_{ob} - d_1 \cdot \sigma_2) =$$

$$= \frac{1,62004 - 1,5168}{1,62004 \cdot 0,5408 - 1,5168 \cdot 0,7348} \cdot (90 - 6,4 \cdot 0,7348) = -36.9507 \text{ mm}$$

Радијус треће преломне површине

$$r_3 = \frac{1 - n_2}{1 - n_2 \cdot \sigma_3} \cdot (f'_{ob} - d_1 \cdot \sigma_2 - d_2 \cdot \sigma_3) =$$

$$= \frac{1 - 1,62004}{1 - 1,62004 \cdot 0,5408} \cdot (90 - 6,4 \cdot 0,7348 - 2,2 \cdot 0,5408) = -421.4485 \text{ mm}$$

Половина слободног светлосног отвора

$$h_{max} = \frac{D}{2} = \frac{24}{2} = 12 \text{ mm}$$

Табела 2. 3. Конструктивни подаци за пројектовани слеђени дубле објектива

r	d	стакло	h_{max}
41.7291		ваздух	12
-36.9507	6,4	BK7	12
-421.4485	2,2	F2	12

Пројектовање обртног система (слеђени дубле)

Полазни подаци

Жижна дужина објектива $f' = f'_{obs} = 29 \text{ mm}$ Слободан светлосни отвор $D = D_{obs} = 8 \text{ mm}$ Индекс преламања за „Crown“ стакло „BK7“ $n_1 = 1.5168$ Abbeов број за „Crown“ стакло „BK7“ $v_1 = 64.17$ Индекс преламања за „Flint“ стакло „F2“ $n_2 = 1.62004$ Abbeов број за „Flint“ стакло „F2“ $v_2 = 36.37$ Додатак за уградњу помоћу прстена 1 mm Периферна дебљина сабирног сочива $t = 1.2 \text{ mm}$ Прорачун оптичких моћи сабирног и расипног сочива

Оптичка моћ сабирног сочива

$$\Phi_1 = \frac{v_1}{v_1 - v_2} = \frac{64.17}{64.17 - 36.37} = 2.3183$$

Оптичка моћ расипног сочива

$$\Phi_2 = 1 - \Phi_1 = 1 - 2.3183 = -1.3183$$

Прорачун потребних коефицијената

$$a = 1 + 2 \cdot \Phi_1 \cdot \left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right) + \frac{2}{n_2} = 1 + 2 \cdot 2.3183 \cdot \left(\frac{1}{1.5168} - \frac{1}{1.62004} \right) + \frac{2}{1.62004} = 2.4285$$

$$b = \frac{3}{n_1 - 1} \cdot \Phi_1^2 - \frac{3}{n_2 - 1} \cdot \Phi_2^2 - 2 \cdot \Phi_2 =$$

$$= \frac{3}{1.5168-1} \cdot 2.3183^2 - \frac{3}{1.62004-1} \cdot (-1.3183)^2 - 2 \cdot 1.3183 = 25.2648$$

$$c = \frac{n_1}{(n_1 - 1)^2} \cdot \Phi_1^3 + \frac{n_2}{(n_2 - 1)^2} \cdot \Phi_2^3 + \frac{n_2}{n_2 - 1} \cdot \Phi_2^2 =$$

$$= \frac{1.5168}{(1.5168-1)^2} \cdot 2.3183^3 + \frac{1.62004}{(1.62004-1)^2} \cdot (-1.3183)^3 + \frac{1.62004}{1.62004-1} \cdot (-1.3183)^2 = 64.8827$$

Прорачун Абеве инваријанте Q

$$Q_{1/2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-25.2648 \pm \sqrt{25.2648^2 - 4 \cdot 2.4285 \cdot 64.8827}}{2 \cdot 2.4285}$$

$$Q_1 = -4.6180$$

$$Q_2 = -5.7855$$

Коефициент коме трећег реда за вредности *Abbeove* инваријанте

$$W_1^\infty = -\frac{a+1}{2} \cdot Q_1 + \frac{\Phi_2 - b}{3} = -\frac{2.4285+1}{2} \cdot (-4.6180) + \frac{(-1.3083)-25.2648}{3} = -0.9413$$

$$W_2^\infty = -\frac{a+1}{2} \cdot Q_2 + \frac{\Phi_2 - b}{3} = -\frac{2.4285+1}{2} \cdot (-5.7855) + \frac{(-1.3083)-25.2648}{3} = -1.0601$$

Пошто је $|W_1^\infty| < |W_2^\infty|$ усваја се вредност *Abbeove* инваријанте $Q = Q_1 = -4.6180$

Прорачун дебљина сочива слепљеног дублеа

Механички отвор сочива D_{meh} се добија тако што се на величину слободног светлосног отвора D дода додатак за уградњу који је у овом случају 1 mm

$$D_{meh} = D + 1 = 8 + 1 = 9 \text{ mm}$$

Дебљина сабирног сочива

$$d_1 = \frac{D_{meh}^2}{4f'_{ob}} \cdot \Phi_1 + t = \frac{9^2}{4 \cdot 29} \cdot 2.3083 + 1.2 = 2.6118 \text{ mm}$$

Усваја се дебљина сабирног сочива $d_1 = 2.7 \text{ mm}$

Дебљина расипног сочива

$$d_2 = \frac{D_{meh}}{12} = \frac{9}{12} = 0.75 \text{ mm}$$

Усваја се дебљина расипног сочива $d_2 = 0.8 \text{ mm}$

Прорачун углаова параксијалног зрака који улази у оптички систем паралелно са оптичком осом

Угао параксијалног зрака у првој преломној површини

$$\sigma_1 = 0$$

Угао параксијалног зрака у другој преломној површини

$$\sigma_2 = \left(1 - \frac{1}{n_1}\right) \cdot Q + \Phi_1 = \left(1 - \frac{1}{1.5168}\right) \cdot (-4.6180) + 2.3083 = 0.7348$$

Угао параксијалног зрака у трћој преломној површини

$$\sigma_3 = \left(1 - \frac{1}{n_2}\right) \cdot Q + \Phi_1 = \left(1 - \frac{1}{1.62004}\right) \cdot (-4.6180) + 2.3083 = 0.5408$$

Прорачун радијуса кривина преломних површина

Радијус прве преломне површине

$$r_1 = \frac{n_1 - 1}{n_1 \cdot \sigma_2} \cdot f'_{ob} = \frac{1,5168 - 1}{1,5168 \cdot 0,7348} \cdot 29 = 13,4461$$

Радијус друге преломне површине

$$r_2 = \frac{n_2 - n_1}{n_2 \cdot \sigma_3 - n_1 \cdot \sigma_2} \cdot (f'_{ob} - d_1 \cdot \sigma_2) =$$

$$= \frac{1,62004 - 1,5168}{1,62004 \cdot 0,5408 - 1,5168 \cdot 0,7348} \cdot (29 - 2,7 \cdot 0,7348) = -11,7247$$

Радијус треће преломне површине

$$r_3 = \frac{1 - n_2}{1 - n_2 \cdot \sigma_3} \cdot (f'_{ob} - d_1 \cdot \sigma_2 - d_2 \cdot \sigma_3) =$$

$$= \frac{1 - 1,62004}{1 - 1,62004 \cdot 0,5408} \cdot (29 - 2,7 \cdot 0,7348 - 0,8 \cdot 0,5408) = -113,5598$$

Половина слободног светлосног отвора

$$h_{max} = \frac{D}{2} = \frac{8}{2} = 4 \text{ mm}$$

Табела 2. 4. Конструктивни подаци за пројектовани слеђени дубле обртног система

r	d	стакло	h_{max}
13.4461		ваздух	4
-11.7247	2.7	BK7	4
-133.5598	0.8	F2	4

[1]

Пројектовање колекторског сочива (планконвексно сочиво)

Полазни подаци

Жижна дужина објектива $f' = f'_{ks} = 33 \text{ mm}$ Слободан светлосни отвор $D = D_{ks} = 13 \text{ mm}$ Индекс преламања за „Crown“ стакло „BK7“ $n_1 = 1,5168$ Абеов број за „Crown“ стакло „BK7“ $v_1 = 64,17$ Периферна дебљина сабирног сочива $t = 1,5 \text{ mm}$

Полупречник кривине колекторског сочива

$$r_{ks} = f'_{ks} \cdot (n - 1) = 33 \cdot (1,5168 - 1) = 17,0544$$

Дебљина на оптичкој оси колекторског сочива

$$d_{ks} = t_{ks} + r_{ks} - \sqrt{r_{ks}^2 - \left(\frac{D_{ks}}{2}\right)^2} = 1,5 + 17,0544 - \sqrt{17,0544^2 - \left(\frac{13}{2}\right)^2} = 3,2873 \text{ mm}$$

Усваја се да је дебљина колекторског сочива на оптичкој оси $d_{ks} = 3,3 \text{ mm}$

Половина слободног светлосног отвора

$$h_{max} = \frac{D}{2} = \frac{13}{2} = 6,5 \text{ m}$$

Табела 2. 5. Конструктивни подаци за пројектовано планконвексно сочиво колектора

г	d	стакло	h_{max}
0		ваздух	6,5
17.0544	3.3	BK7	6,5

[2]

2.3. Пројектовање оптичког система у програму ZEMAX

Након завршетка пројектовања и добијања конструктивних података за појединачне елементе оптичког система креће се са пројектовањем у програму ZEMAX, на следћи начин:

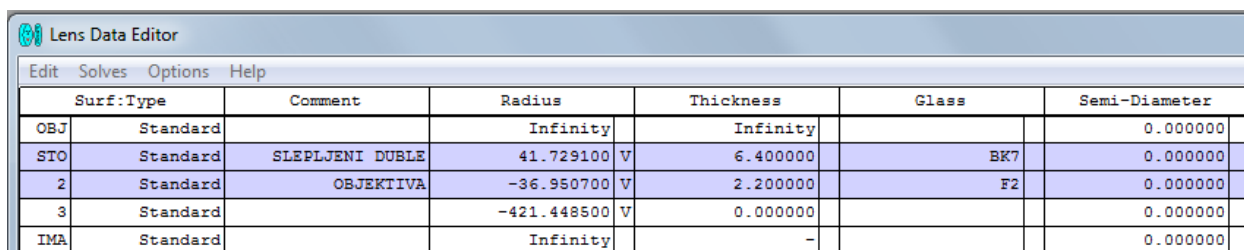
Прво се поставе појединачне компоненте (дубле објектива и обртног система), изврши се провера квалитета оптичке компоненте, оптимизација и коначна анализа компоненти.

Затим се поставља помоћни оптички систем који се састоји од објектива, колекторског сочива и обртног система, изврши се анализа, оптимизација и коначна анализа помоћног оптичког система.

Тек онда се поставља телескопски систем, тако што се на оптимизовани помоћни оптички систем додају кончаница и окулар. Изврши се анализа, оптимизација и коначна анализа телескопског система.

Пројектовање објектива у програму ZEMAX

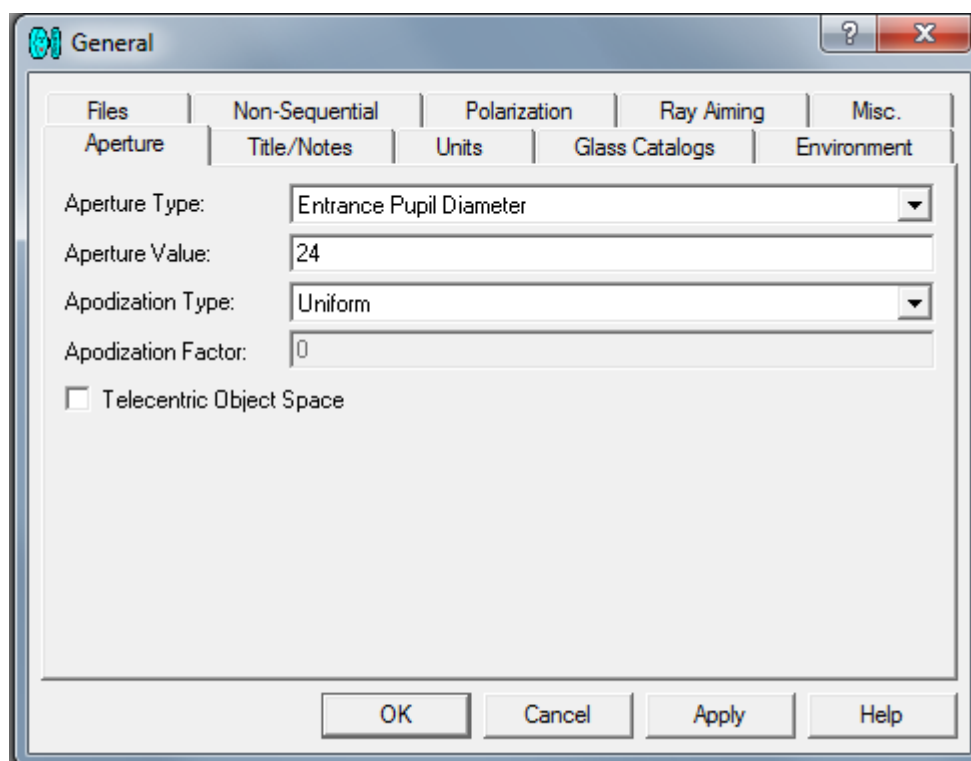
Подаци приказани у табели 2.3 се уносе у *Lens Data Editor*, то је прозор који је отворен чим се стертује програм ZEMAX. Изглед *Lens Data Editor* прозора са унетим подацима приказан је на слици 2.2.



Surf:Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard	Infinity	Infinity		0.000000
STO	Standard	SLEPLJENI DUBLE	41.729100 V	BK7	0.000000
2	Standard	OBJEKTIVA	-36.950700 V	F2	0.000000
3	Standard		-421.448500 V		0.000000
IMA	Standard	Infinity	-		0.000000

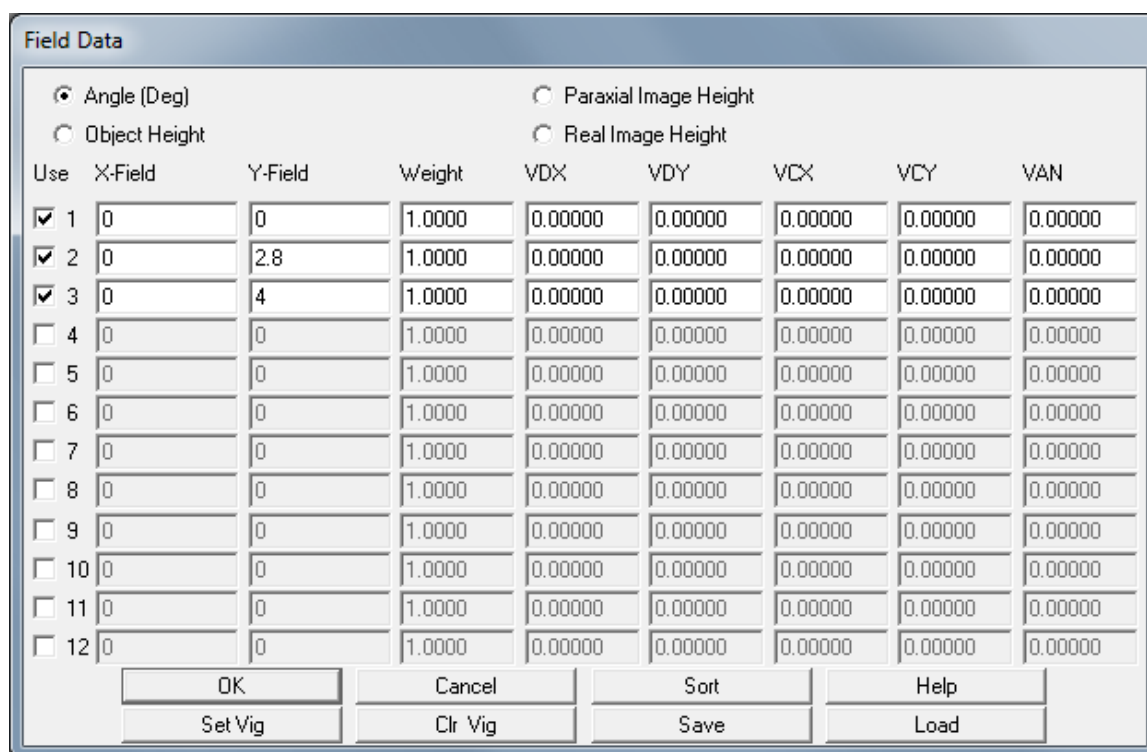
Слика 2. 2. Изглед *Lens Data Editor* прозора са унетим подацима

Програм ZEMAX сам рачуна слободне светлосне отворе, када се у прозор *General*, који се отвара помоћу команде *Gen* из главног менија, унесе пречник улазне пупиле. Прозор *General* је приказан на слици 2.3.



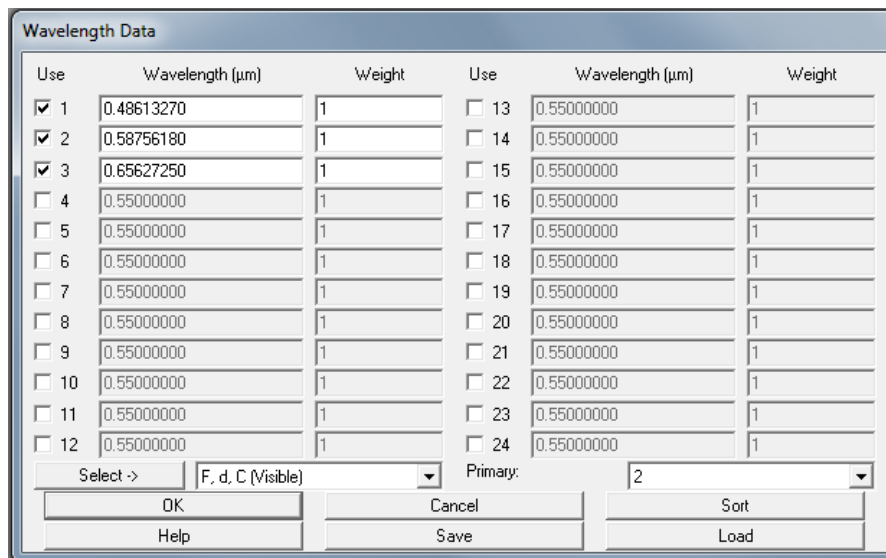
Слика 2. 3. Изглед прозора General

Угао видног поља се уноси у прозору *Field Data* који се отвара помоћу команде *Fei* из главног менија. Код угла видног поља уносе се три вредности у првом пољу је нула, у друго поље се уноси вредност од 70 процената половине угла видног поља и у треће половина угла видног поља, пошто програм *ZEMAX* због осне симетричности рачуна само са зрацима изнад оптичке осе. Изглед прозора *Field Data* са унетим вредностима приказан је на слици 2.4.



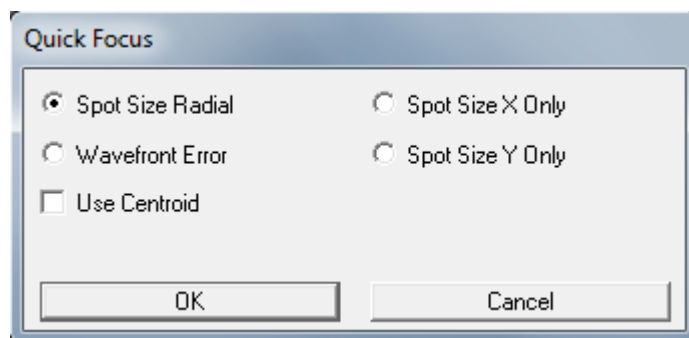
Слика 2. 4. Изглед прозора Field Data

Таласне дужине светлости са којима се прорачунава оптички систем дефинишу се у прозору *Wavelength Data* који се отвара помоћу комаде *Wav* у главном менију. Пошто се углавном користи бела светлост онда се обично користе *F*, *d* и *C* Фраунхоферове спектралне линије које се налазе на почетку, средини и крају видљивог дела спектра, онда је потребно само ићи на опцију *Select* да би се активирала прва три поља и потврдити са *OK*. Изглед прозора *Wavelength Data* приказан је на слици 2.5.



Слика 2. 5. Изглед прозора *Wavelength Data*

Последњи корак који је неопходно урадити приликом уношења података је одређивање положаја равни најбољег лика. За то се користи прозор *Quick Focus*, он се отвара помоћу команде *Tools/Miscellaneous/Quick Focus* из главног менија. Изглед прозора *Quick Focus* је приказан на слици 2.6.



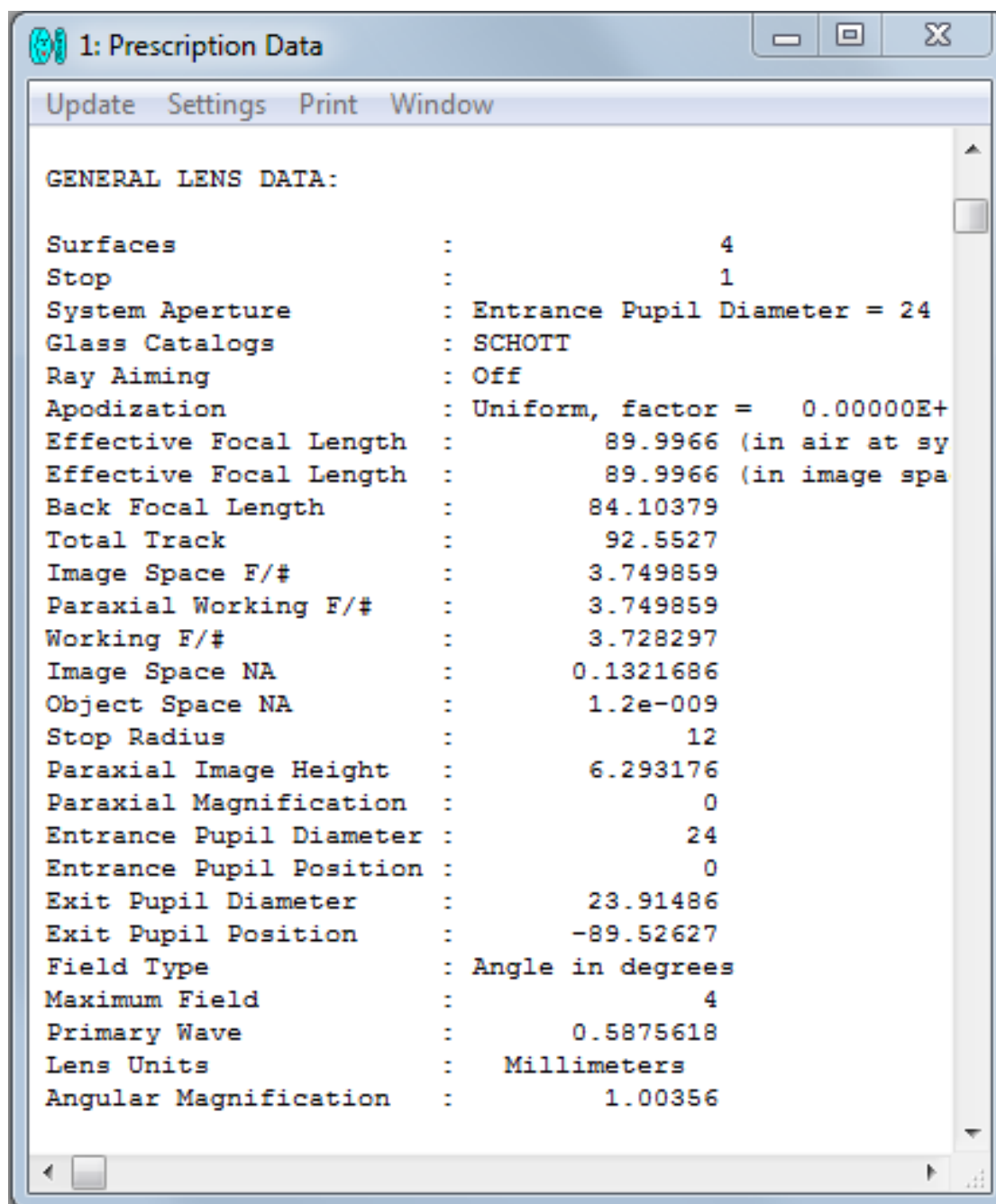
Слика 2. 6. Изглед прозора *Quick Focus*

И када се све ово уради у прозору *Lens Data Editor* су уписани подаци за величину слободних светлосних отвора као и растојање равни најбољег лика од задње оптичке површине. Нови изглед прозора *Lens Data Editor* је приказан на слици 2.7.

Lens Data Editor						
Edit Solves Options Help						
Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity
STO	Standard	SLEPLJENI DUBLE	41.729100	V 6.400000	BK7	12.125915
2	Standard	OBJEKTIVA	-36.950700	V 2.200000	F2	11.977028
3	Standard		-421.448500	V 83.952698		11.848866
IMA	Standard		Infinity	-		6.168545

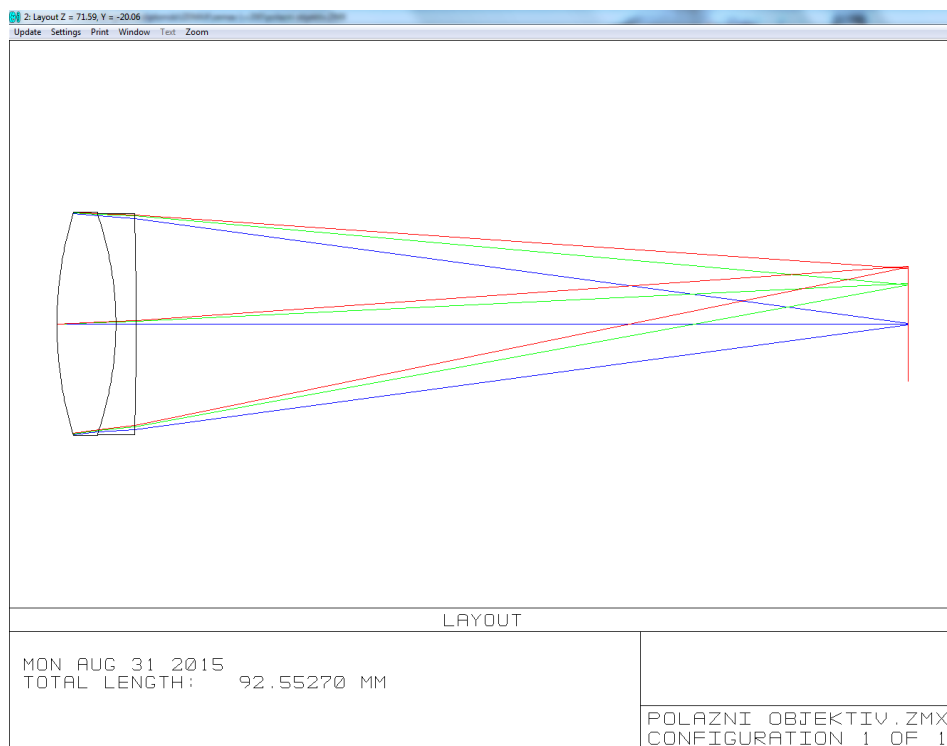
Слика 2. 7. Изглед прозора *Lens Data Editor* након уношења свих података

Подаци који су дефинисани за оптички систем могу се приказати у прозору *Prescription Data* који се отвара помоћу команде *Pre* из главног менија. Изглед прозора *Prescription Data* приказан је на слици 2.8.



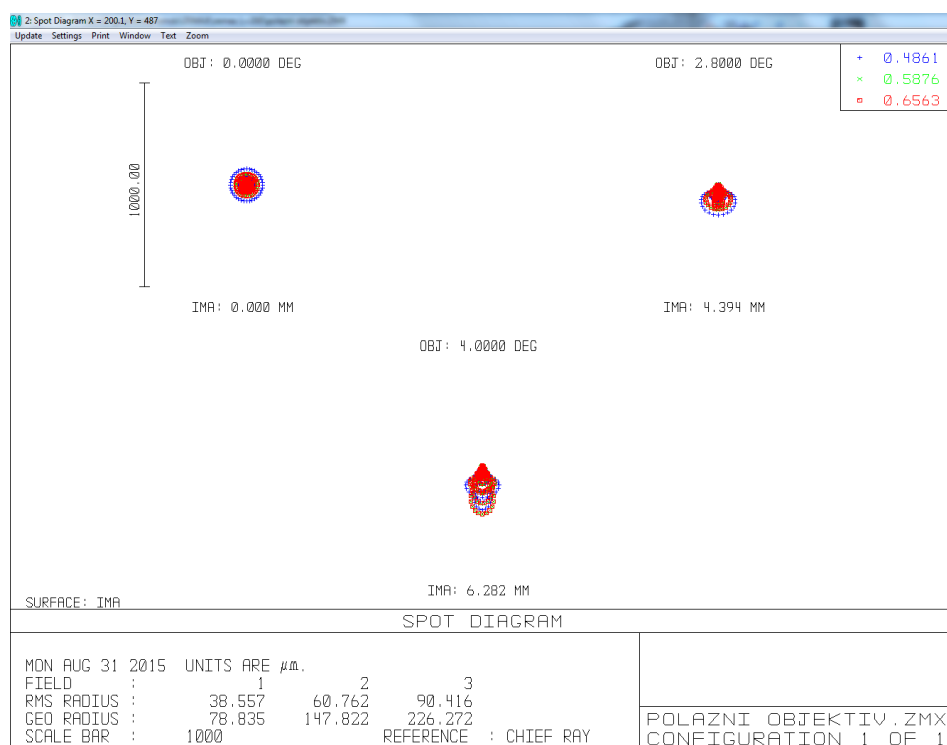
Слика 2. 8. Приказ податак у прозору *Prescription Data* за објектив

Приказ оптичке шеме пројектованог оптичког система добија се помоћу команде *La* у главном менију. У заглављу овог цртежа приказано је и растојање од прве оптичке површине до равни најбољег лика. Изглед оптичке шеме приказан је на слици 2.9.



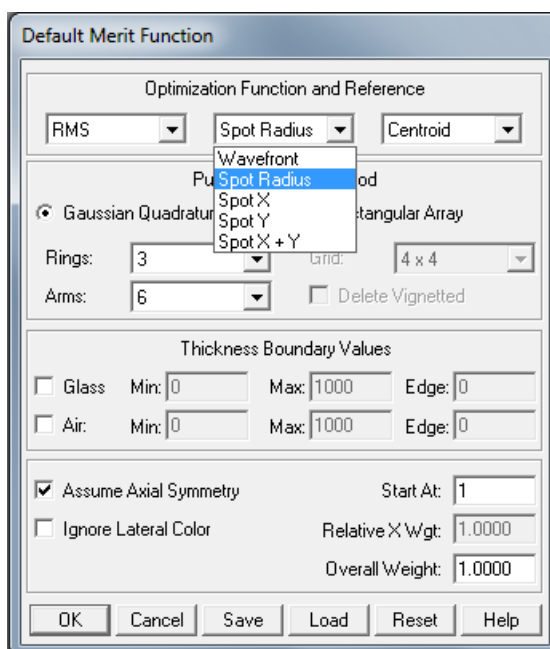
Слика 2. 9. Изглед оптичке шеме објектива

Оцена квалитета пројектованог оптичког система врши се углавном опцијом *Spot Diagram*, који се отвара командом *Spt* у главном менију. Изглед *Spot Diagrama* је приказан на слици 2.10.

Слика 2. 10. Изглед *Spot Diagrama* за објектив

Оптимизација представља избор променљивих конструктивних параметара оптичког система, које програм мења како би побољшао перформансе полазног оптичког система, као и одређивање функције за оцену и постављање граничних услова који се морају испунити. Одређивање функције за оцену врши се тако што се отвори прозор *Merit*

Function Editor помоћу опције *Editors/ Merit Function*, ова функција омогућава да се у њој дефинише функција за оцену, али пошто је то веома захтевно и тешко програм нуди и подразумевану функцију за оцену која се активира командом *Tools / Default Merit Function*. Прозор *Default Merit Function* је приказан на слици 2.11. У том прозору се бирају функције за оцену. У овом раду одабрана је функција *Spot Radius*.



Слика 2. 11. Изглед прозора *Default Merit Function* са отвореним падајућим менијем за избор функције за оцену

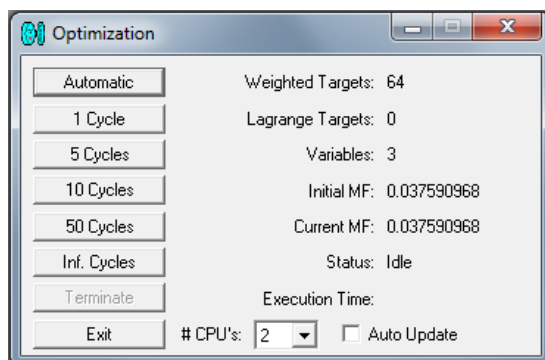
Постављање граничних услова се ради тако што се у колону *Type* унесе скраћеница параметра, у колону *Target* граничну вредност и у колону *Weight* се уписује тежински фактор који може бити 0 или 1, 0 значи да програм не узима у обзир овај параметар већ само исписује његову вредност у колони *Value*, док 1 значи да програм тежи да постигне задату вредност тог параметра. Приказ прозора *Merit Function* са задатом жижном дужином објектива као параметром је приказан на слици 2.12.

Merit Function Editor: 3.759097E-002

Oper #	Type	Wave	Target	Weight	Value	% Contrib
1	EFFL	2	90.000000	1.000000	89.996604	0.197050
2	DMFS					
3	BLNK	Default merit function: RMS spot radius centroid GQ 3 rings 6 arms				
4	BLNK	No default air thickness boundary constraints.				
5	BLNK	No default glass thickness boundary constraints.				
6	BLNK	Operands for field 1.				
7	TRAC	1	0.000000	0.000000	0.335711	0.000000
8	TRAC	1	0.000000	0.000000	0.707107	0.000000
9	TRAC	1	0.000000	0.000000	0.941965	0.000000
10	TRAC	2	0.000000	0.000000	0.335711	0.000000
11	TRAC	2	0.000000	0.000000	0.707107	0.000000
					</	

Слика 2. 12. Изглед прозора *Merit Function* за објектив

Након постављања параметара оптимизација се врши притиском на дугме *Automatic* у прозору *Optimization* који се отвара командом *Opt* из главног менија. Након што програм изврши оптимизацију прозор се затвара на *Exit*. Изглед прозора *Optimization* је приказан на слици 2.13.



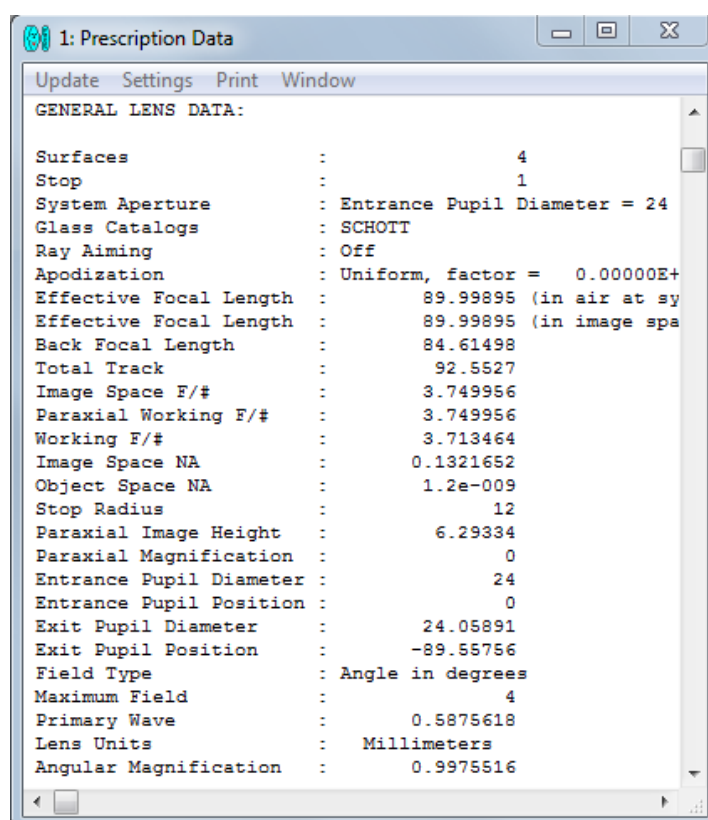
Слика 2. 13. Изглед прозора Optimization

Након завршене оптимизације добијени резултати су приказани на сликама од 2.14 до 2.18.

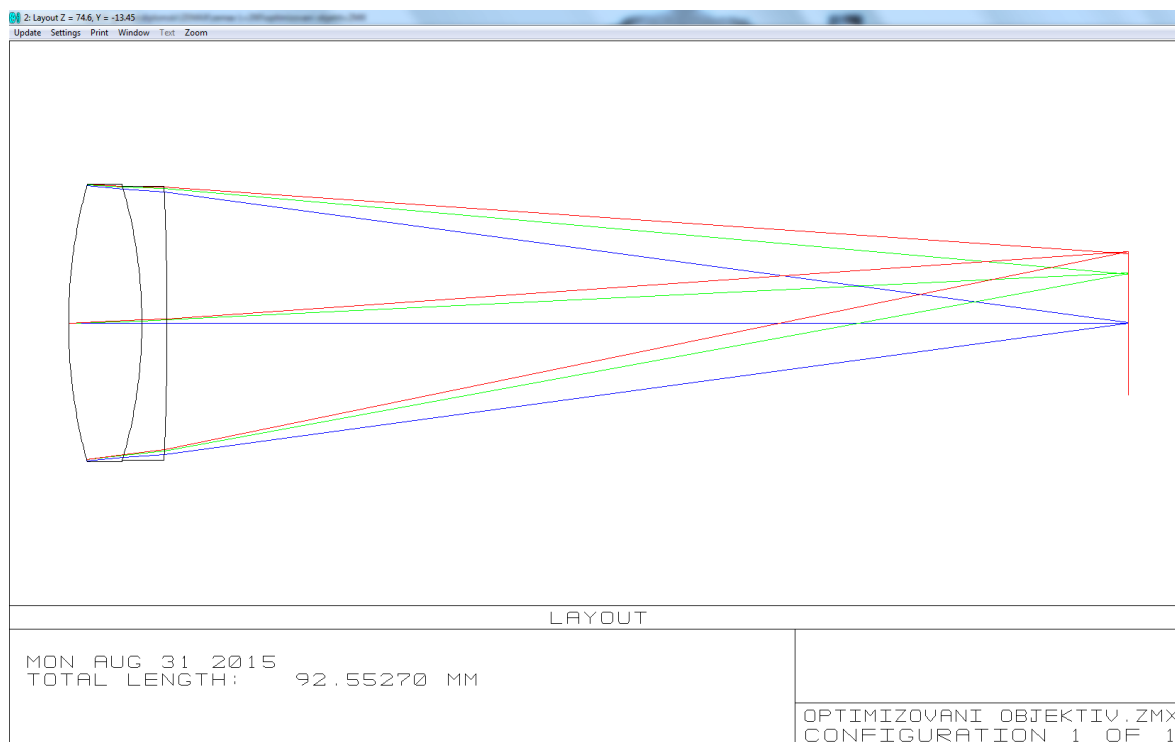
Lens Data Editor						
Edit Solves Options Help						
Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity
STO	Standard	SLEPLJENI DUBLE	45.807097 V	6.400000	BK7	12.114041
2	Standard	OBJEKTIVA	-43.042491 V	2.200000	F2	11.968880
3	Standard		-275.817446 V	83.952698		11.874135
IMA	Standard		Infinity	-		6.238763

Слика 2. 14. Lens Data Editor за оптимизовани објектив

На слици 2.14 види се да су приликом оптимизације промењени радијуси.

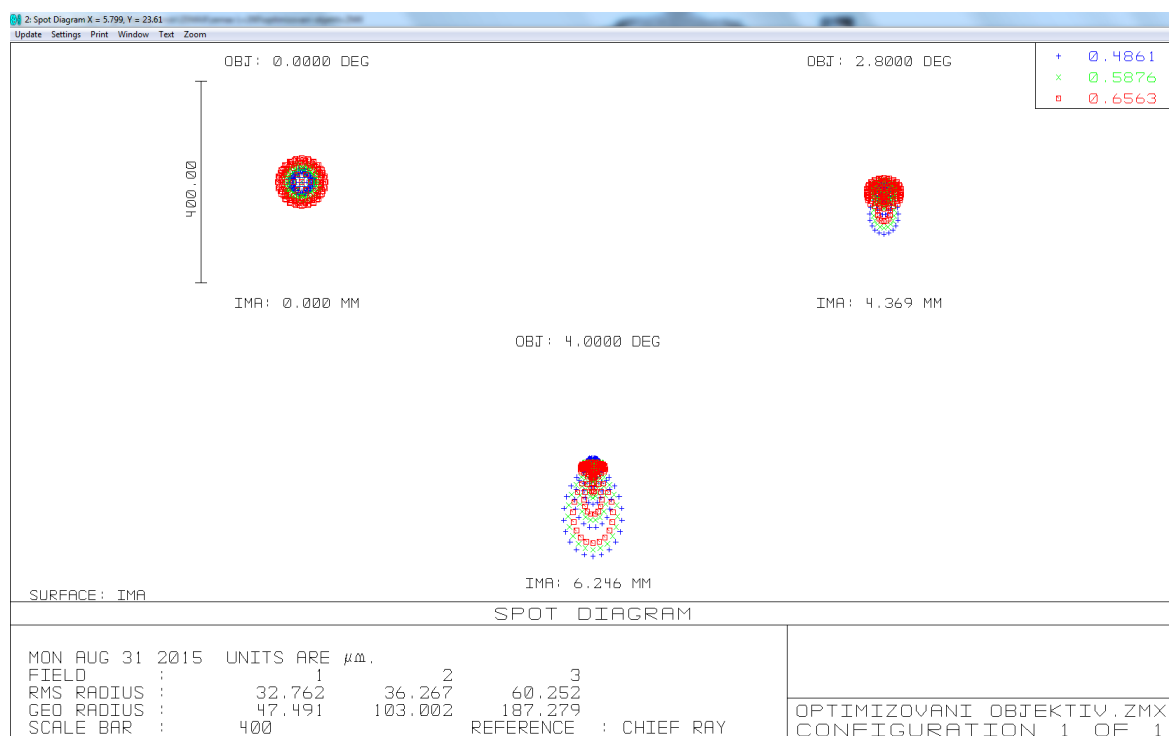


Слика 2. 15. Дефинисани подаци за оптимизовани објектив



Слика 2. 16. Цртеж оптимизованог објектива

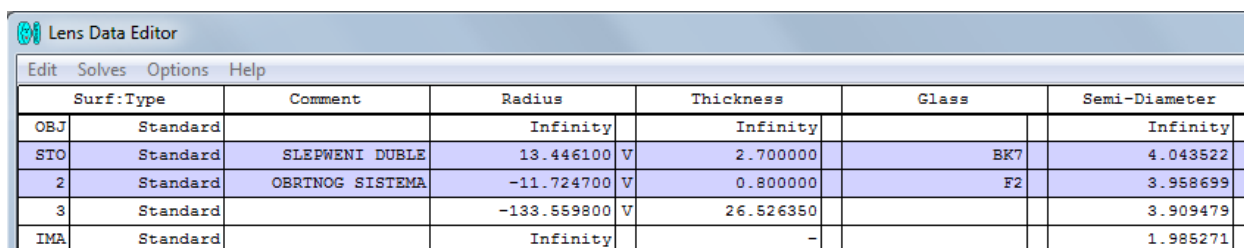
Слика 2.16 приказује зреке који пролазе кроз објектив и спајају се у жижној равни објектива. На слици 2.17 приказан је *Spot dijagram* оптимизованог објектива.



Слика 2. 17. Spot dijagram оптимизованог објектива

Пројектовање обртног система у програму ZEMAX

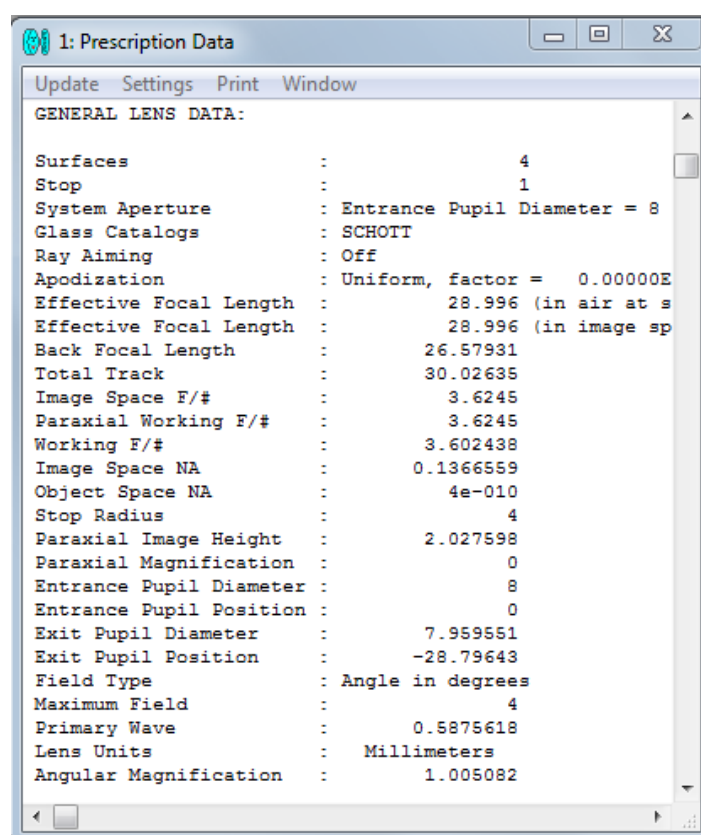
Поступак пројектовања је исти као и за објектив



Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity
STO	Standard	SLEPWENI DUBLE	13.446100 V	2.700000	BK7	4.043522
2	Standard	OBRTOG SISTEMA	-11.724700 V	0.800000	F2	3.958699
3	Standard		-133.559800 V	26.526350		3.909479
IMA	Standard		Infinity	-		1.985271

Слика 2. 18. Lens Data Editor за полазни обртни систем

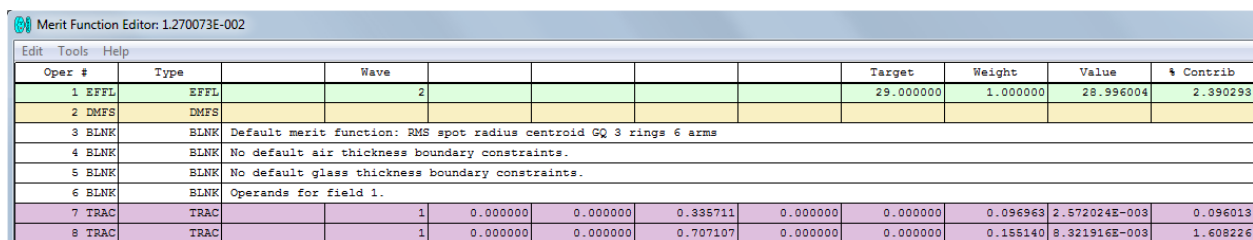
На сликама 2.18 и 2.19 је приказан изглед прозора Lens Data Editor са полазним подацима за полазни обртни систем и дефинисани подаци.



GENERAL LENS DATA:	
Surfaces	: 4
Stop	: 1
System Aperture	: Entrance Pupil Diameter = 8
Glass Catalogs	: SCHOTT
Ray Aiming	: Off
Apodization	: Uniform, factor = 0.00000E
Effective Focal Length	: 28.996 (in air at s
Effective Focal Length	: 28.996 (in image sp
Back Focal Length	: 26.57931
Total Track	: 30.02635
Image Space F/#	: 3.6245
Paraxial Working F/#	: 3.6245
Working F/#	: 3.602438
Image Space NA	: 0.1366559
Object Space NA	: 4e-010
Stop Radius	: 4
Paraxial Image Height	: 2.027598
Paraxial Magnification	: 0
Entrance Pupil Diameter	: 8
Entrance Pupil Position	: 0
Exit Pupil Diameter	: 7.959551
Exit Pupil Position	: -28.79643
Field Type	: Angle in degrees
Maximum Field	: 4
Primary Wave	: 0.5875618
Lens Units	: Millimeters
Angular Magnification	: 1.005082

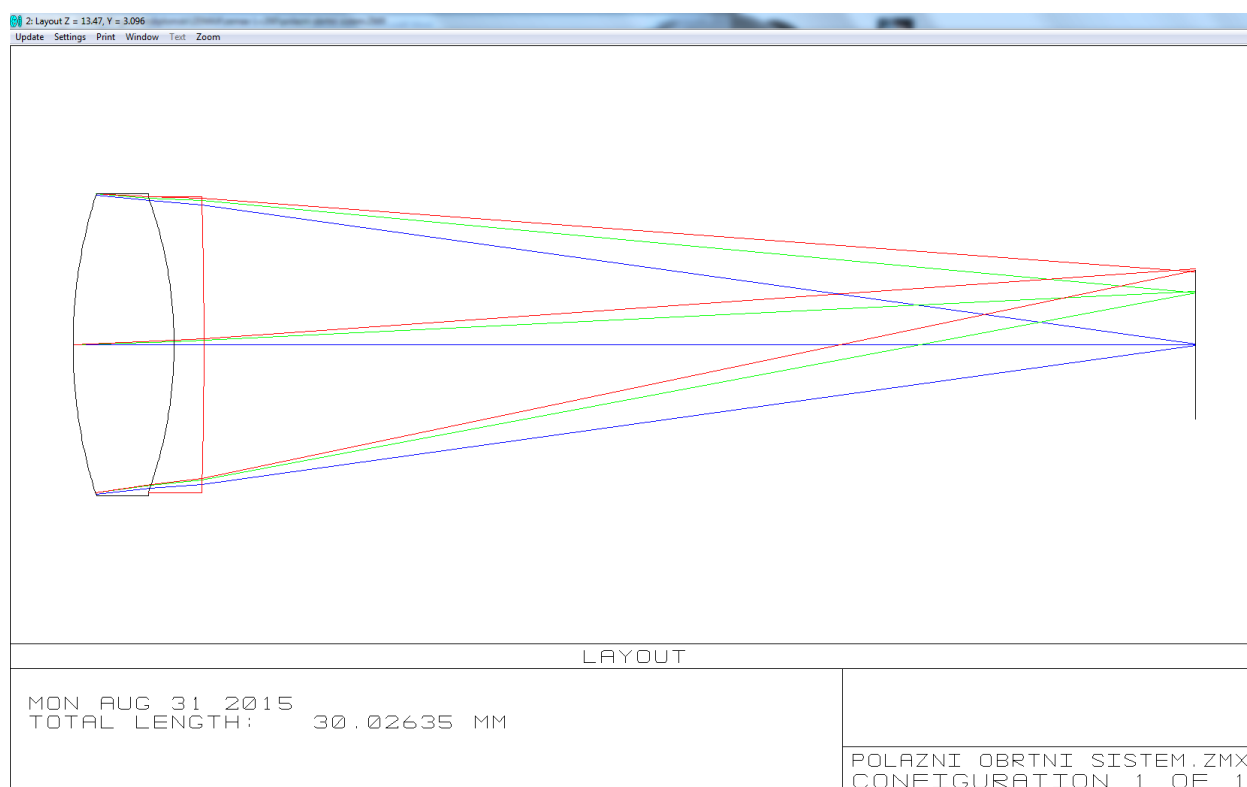
Слика 2. 19. Дефинисани подаци за полазни обртни систем

Након прегледа дефинисаних податак постављени су гранични услови као што је приказано на слици 2.20.



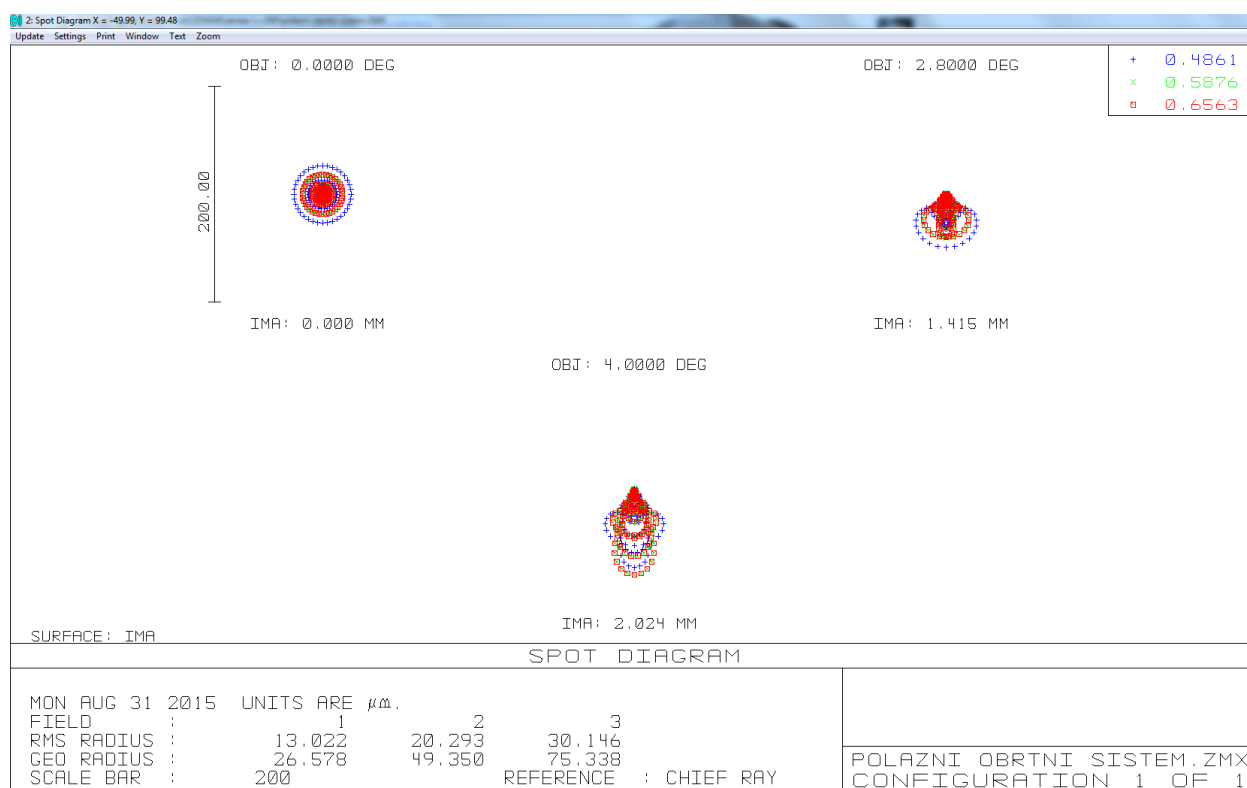
Oper #	Type	Wave	Target	Weight	Value	% Contrib
1	EFFL	2	29.000000	1.000000	28.996004	2.390293
2	DMFS					
3	BLNK		Default merit function: RMS spot radius centroid GQ 3 rings 6 arms			
4	BLNK		No default air thickness boundary constraints.			
5	BLNK		No default glass thickness boundary constraints.			
6	BLNK		Operands for field 1.			
7	TRAC	1	0.000000	0.000000	0.335711	0.096013
8	TRAC	1	0.000000	0.000000	0.707107	1.608226

Слика 2. 20. Гранични услови за полазни обртни систем



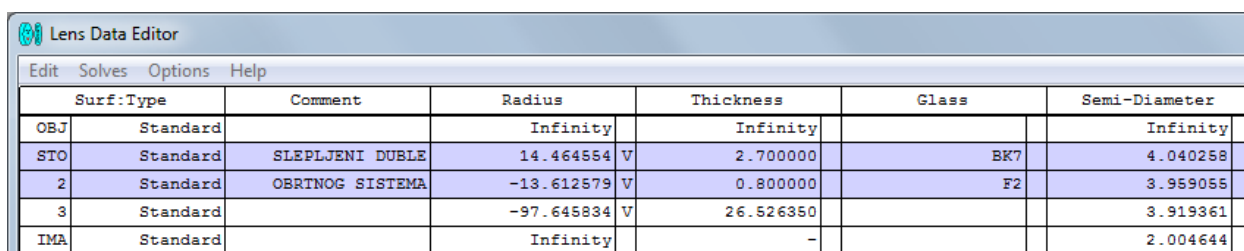
Слика 2. 21. Оптичка шема полазног обртног система

Слика 2.21 приказује оптичку шему слепљеног дублеа полазног обртног система, а на слици 2.22 је приказан *Spot Dijagram*.



Слика 2. 22. Spot Dijagram за полазни обртни систем

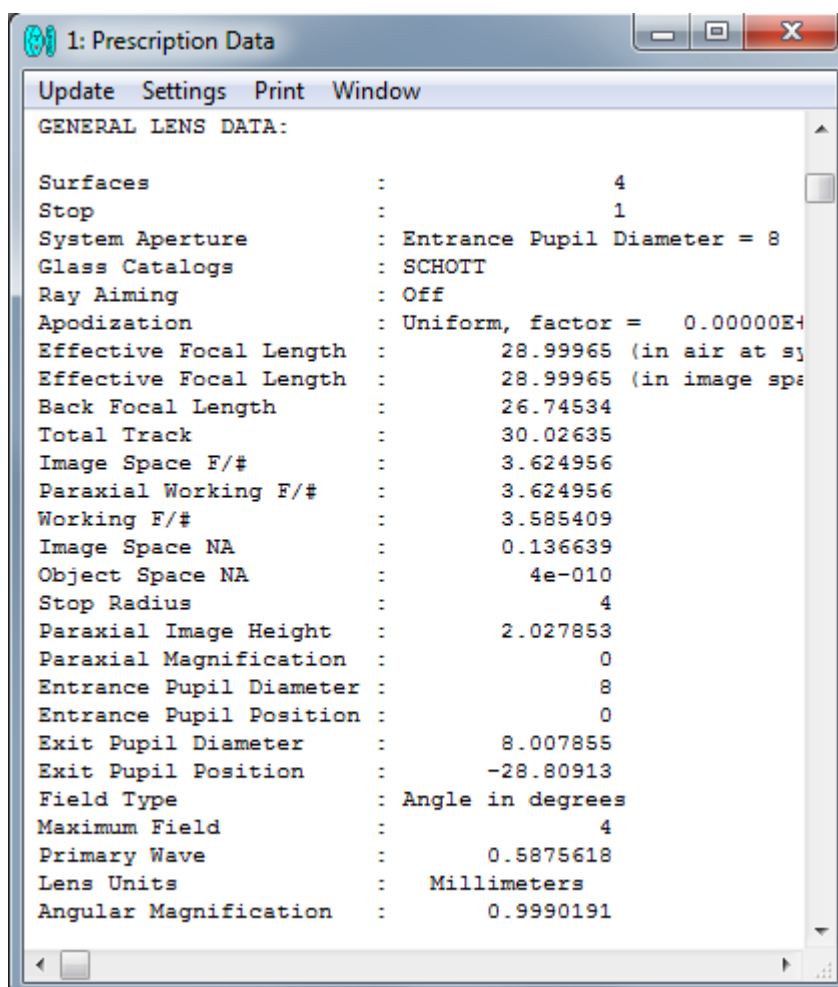
Након постављања полазног обртног система и анализе резултата извршена је оптимизација.



Lens Data Editor						
Edit Solves Options Help						
Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity
STO	Standard	SLEPLJENI DUBLE	14.464554 V	2.700000	BK7	4.040258
2	Standard	OBRINOI SISTEMA	-13.612579 V	0.800000	F2	3.959055
3	Standard		-97.645834 V	26.526350		3.919361
IMA	Standard		Infinity	-		2.004644

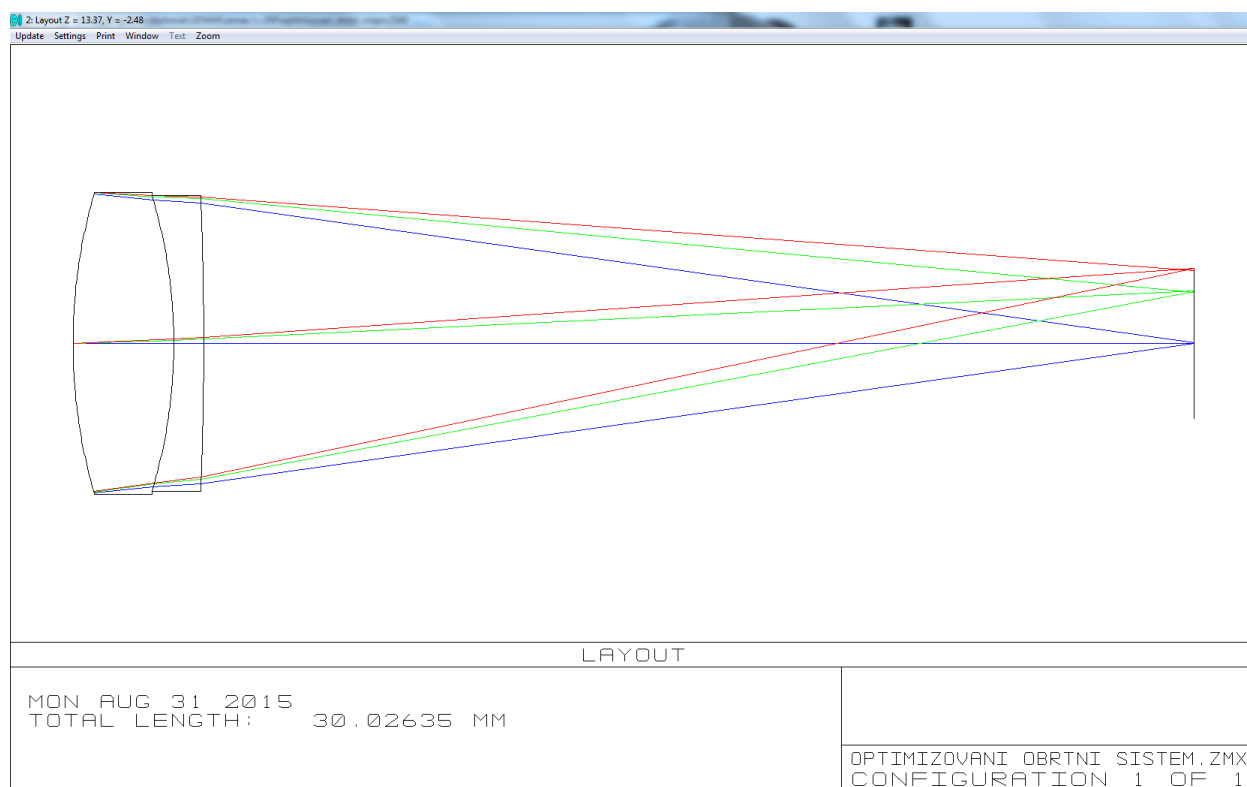
Слика 2. 23. Lens Data Editor за оптимизовани обртни систем

На сликам а 2.23 и 2.24 престављени су подаци добијени оптимизацијом.



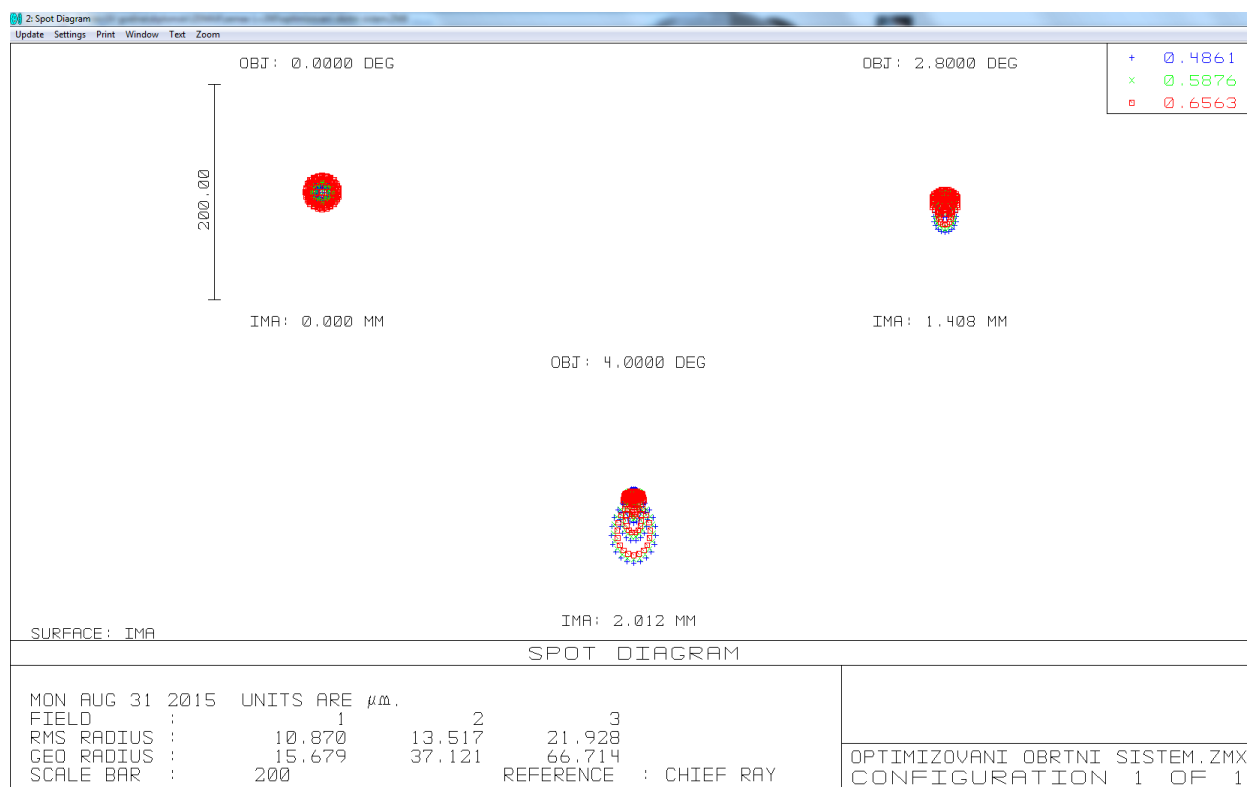
1: Prescription Data	
Update Settings Print Window	
GENERAL LENS DATA:	
Surfaces	: 4
Stop	: 1
System Aperture	: Entrance Pupil Diameter = 8
Glass Catalogs	: SCHOTT
Ray Aiming	: Off
Apodization	: Uniform, factor = 0.00000E+
Effective Focal Length	: 28.99965 (in air at sy
Effective Focal Length	: 28.99965 (in image spa
Back Focal Length	: 26.74534
Total Track	: 30.02635
Image Space F/#	: 3.624956
Paraxial Working F/#	: 3.624956
Working F/#	: 3.585409
Image Space NA	: 0.136639
Object Space NA	: 4e-010
Stop Radius	: 4
Paraxial Image Height	: 2.027853
Paraxial Magnification	: 0
Entrance Pupil Diameter	: 8
Entrance Pupil Position	: 0
Exit Pupil Diameter	: 8.007855
Exit Pupil Position	: -28.80913
Field Type	: Angle in degrees
Maximum Field	: 4
Primary Wave	: 0.5875618
Lens Units	: Millimeters
Angular Magnification	: 0.9990191

Слика 2. 24. Дефинисани подаци за оптимизовани обртни систем



Слика 2. 25. Оптичка шема оптимизованог обртног система

На сликама 2.25 и 2.26 приказани су оптичка шема и *Spot Dijagram* оптимизованог дублеа обртног система

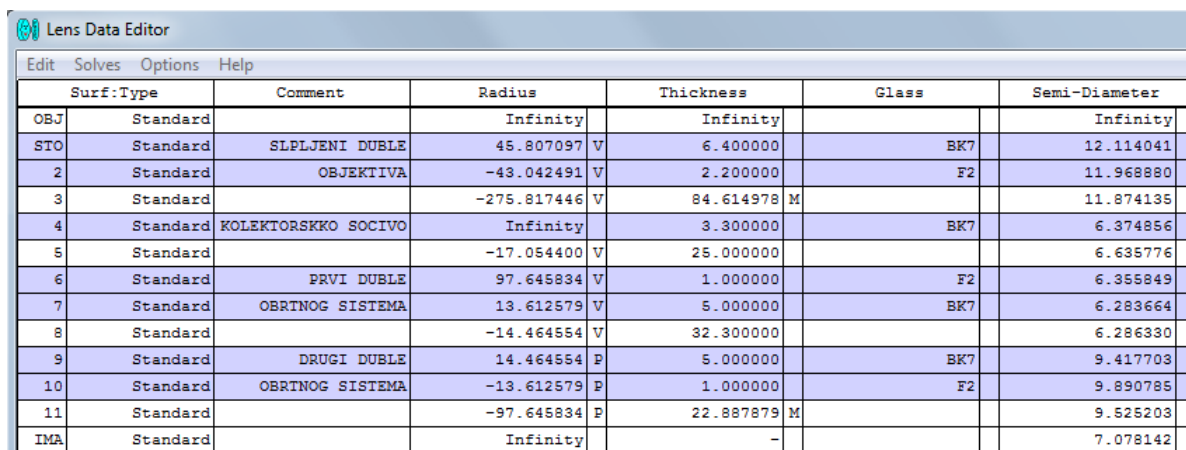


Слика 2. 26. Spot Dijagram за оптимизовани обртни систем

Пројектовање помоћног оптичког система у програму ZEMAX

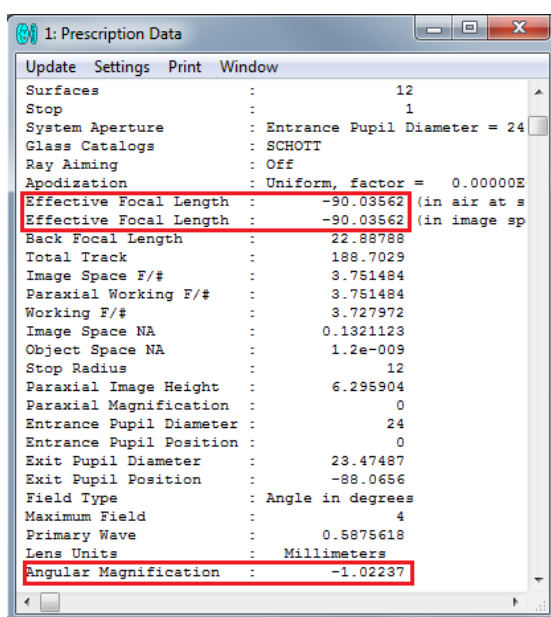
Помоћни оптички систем се састоји од дублеа објектива колекторског сочива и два дублеа обртног система. Тако да се приликом постављања уносе подаци из оптимизованог дублеа објектива и обртног систем и конструктивни подаци колекторског сочива. Да би се добили бољи резултати равна површина колекторског сочива се поставља у параксијалној жижијој равни објектива, то се ради подешавањем на *Marginal Ray Height* = 0. Приликом постављања помоћног оптичког система мора се водити рачуна о томе да апсолутна вредност жижије дужине помоћног оптичког система мора бити приближно једнака апсолутној вредности жижије дужине објектива, то се ради мењањем растојања између колекторског сочива и првог дублеа обртног система док се не добије жељена вредност жижије дужине помоћног оптичког система. И још се може јавити попречно увећање обртног система које у овом случају треба да буде -1, то се регулише променом растојања између дублеа обртног система. Резултати се прате у *Prescription Data* прозору.

Пошто је габаритни прорачун дао минималну дебљину сочива обртног система она је повећана ради бољих резултата са 2,7 на 5 милиметра за сабирно сочиво и са 0,8 на 1 милиметар за расипно сочиво.



Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity
STO	Standard	SLPLJENI DUBLE	45.807097 V	6.400000	BK7	12.114041
2	Standard	OBJEKTIVA	-43.042491 V	2.200000	F2	11.968880
3	Standard		-275.817446 V	84.614978 M		11.874135
4	Standard	KOLEKTORSKKO SOCIVO	Infinity	3.300000	BK7	6.374856
5	Standard		-17.054400 V	25.000000		6.635776
6	Standard	PRVI DUBLE	97.645834 V	1.000000	F2	6.355849
7	Standard	OBRTNOG SISTEMA	13.612579 V	5.000000	BK7	6.283664
8	Standard		-14.464554 V	32.300000		6.286330
9	Standard	DRUGI DUBLE	14.464554 P	5.000000	BK7	9.417703
10	Standard	OBRTNOG SISTEMA	-13.612579 P	1.000000	F2	9.890785
11	Standard		-97.645834 P	22.887879 M		9.525203
IMA	Standard		Infinity	-		7.078142

Слика 2. 27. Прозор Lens Data Editor са унетим подацима



1: Prescription Data	
Update Settings Print Window	
Surfaces	: 12
Stop	: 1
System Aperture	: Entrance Pupil Diameter = 24
Glass Catalogs	: SCHOTT
Ray Aiming	: Off
Apodization	: Uniform, factor = 0.00000E
Effective Focal Length	: -90.03562 (in air at s
Effective Focal Length	: -90.03562 (in image sp
Back Focal Length	: 22.88788
Total Track	: 188.7029
Image Space F/#	: 3.751484
Paraxial Working F/#	: 3.751484
Working F/#	: 3.727972
Image Space NA	: 0.1321123
Object Space NA	: 1.2e-009
Stop Radius	: 12
Paraxial Image Height	: 6.295904
Paraxial Magnification	: 0
Entrance Pupil Diameter	: 24
Entrance Pupil Position	: 0
Exit Pupil Diameter	: 23.47487
Exit Pupil Position	: -88.0656
Field Type	: Angle in degrees
Maximum Field	: 4
Primary Wave	: 0.5875618
Lens Units	: Millimeters
Angular Magnification	: -1.02237

Слика 2. 28. Дефинисани подаци са обележеним вредностима о којима треба водити рачуна приликом уноса података

Гранични услови се постављају за попречно увећање, жижну дужину помоћног оптичког система, жижну дужину објектива и за минималну периферну дебљину сочива.

Oper #	Type	Wave	Target	Weight	Value	% Contrib
1	AMAG	2	-1.000000	1.000000	-1.022370	2.683593E-003
2	EFFL	2	-90.000000	1.000000	-90.035622	6.804790E-003
3	EFFL	1	90.000000	1.000000	89.998949	5.926490E-006
4	MNEG	1	1.800000	1.000000	1.800000	0.000000
5	MNEG	4	1.500000	1.000000	-2.745718	96.669969
6	DMFS					
7	BLNK					
8	BLNK					
9	BLNK					
10	BLNK					
11	TRAC	1	0.000000	0.000000	0.335711	0.000000
12	TRAC	1	0.000000	0.000000	0.707107	0.000000

Слика 2. 29. Гранични услови за помоћни оптички систем

Након задавања граничних услова помоћни оптички систем је оптимизован.


 Lens Data Editor

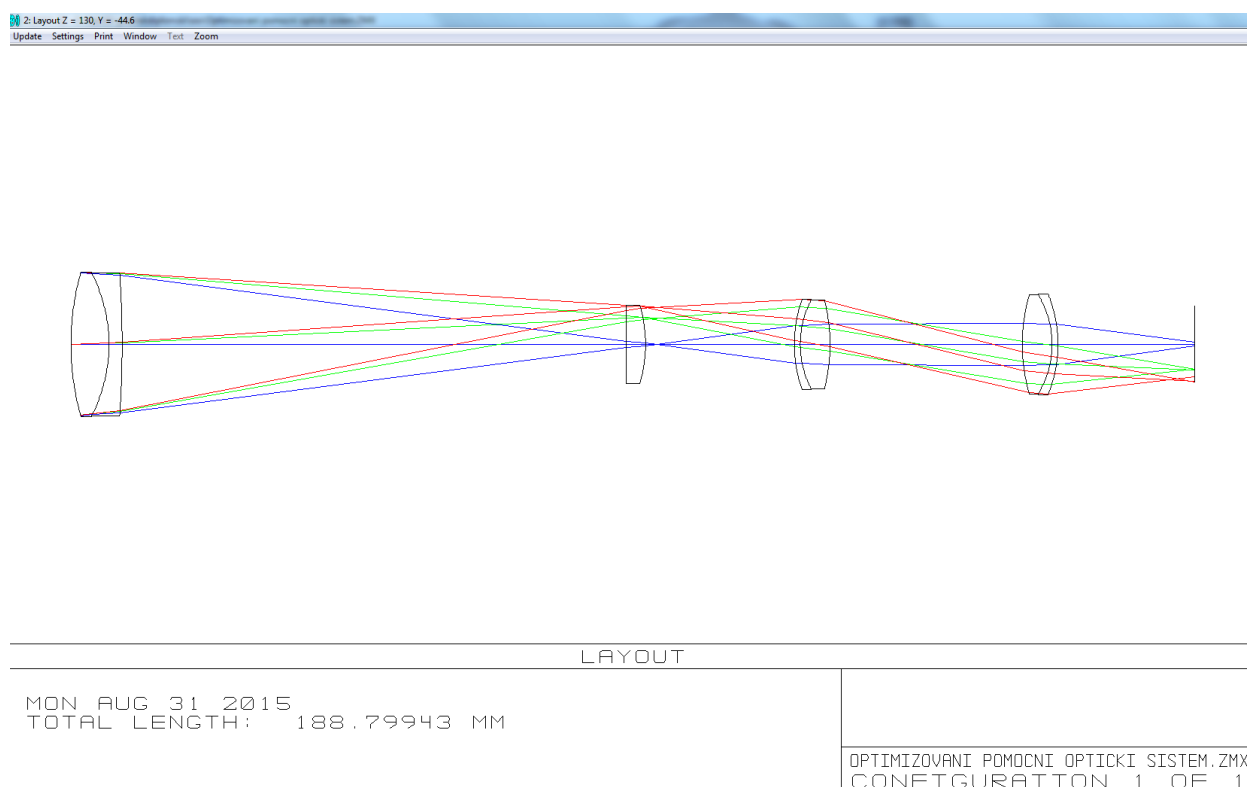
Edit Solves Options Help							
Surf:Type		Comment	Radius	Thickness		Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity		Infinity		Infinity
STO	Standard	SLPLJENI DUBLE	44.501042	V	6.400000	BK7	12.117587
2	Standard	OBJEKTIVA	-26.167221	V	2.200000	F2	12.027688
3	Standard		-179.374805	V	84.625916	M	11.966201
4	Standard	KOLEKTORSKKO SOCIVO	Infinity		3.300000	BK7	6.612802
5	Standard		-23.117159	V	25.000000		6.515187
6	Standard	PRVI DUBLE	22.344301	V	1.000000	F2	7.632301
7	Standard	OBRITNOG SISTEMA	16.095157	V	5.000000	BK7	7.480404
8	Standard		-29.710097	V	32.300000		7.314168
9	Standard	DRUGI DUBLE	29.710097	P	5.000000	BK7	8.286115
10	Standard	OBRITNOG SISTEMA	-16.095157	P	1.000000	F2	8.355573
11	Standard		-22.344301	P	22.973513	M	8.493960
IMA	Standard		Infinity		-		6.380746

Слика 2. 30. Прозор Lens Data Editor за оптимизовани помоћни оптички систем

На сликама 2.30 и 2.31 су представљени подаци добијени оптимизацијом.

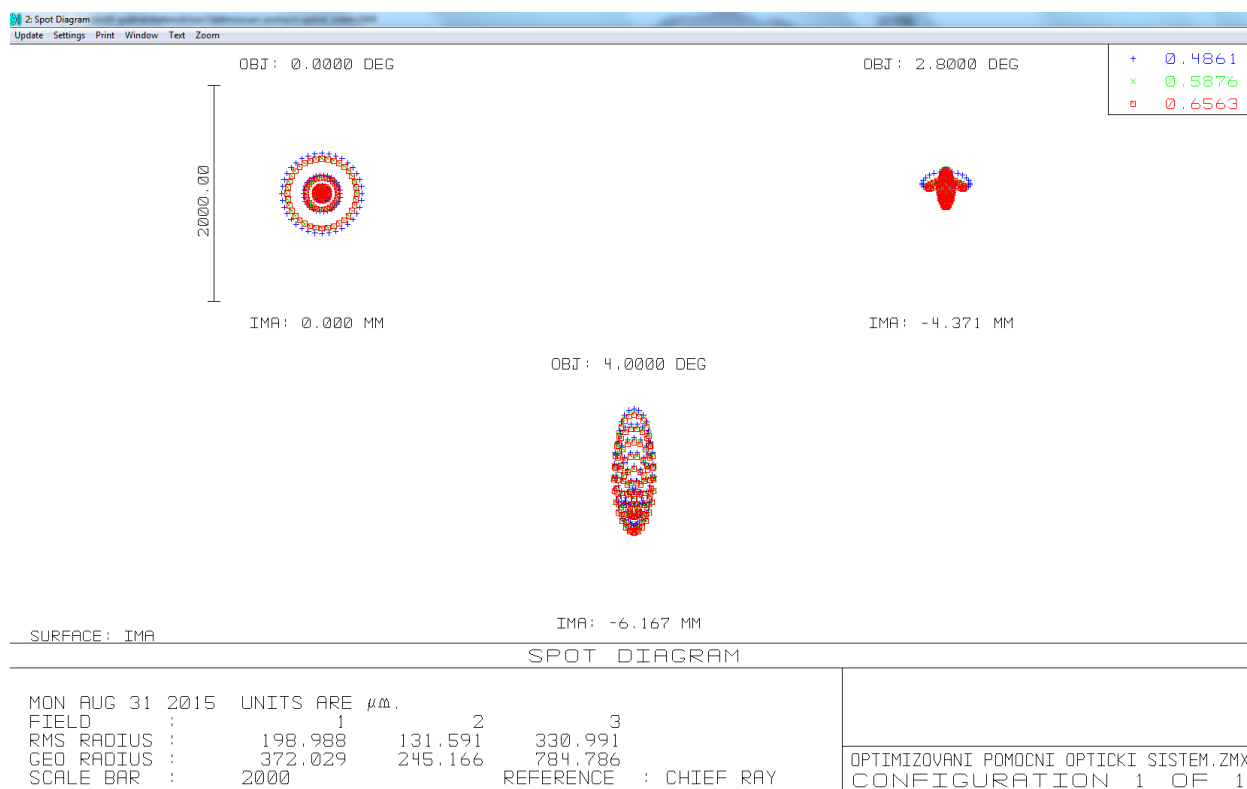
GENERAL LENS DATA:	
Surfaces	: 12
Stop	: 1
System Aperture	: Entrance Pupil Diameter = 24
Glass Catalogs	: SCHOTT
Ray Aiming	: Off
Apodization	: Uniform, factor = 0.00000E+0
Effective Focal Length	: -90.00157 (in air at sys
Effective Focal Length	: -90.00157 (in image spac
Back Focal Length	: 22.97351
Total Track	: 188.7994
Image Space F/#	: 3.750065
Paraxial Working F/#	: 3.750065
Working F/#	: 3.815631
Image Space NA	: 0.1321615
Object Space NA	: 1.2e-009
Stop Radius	: 12
Paraxial Image Height	: 6.293523
Paraxial Magnification	: 0
Entrance Pupil Diameter	: 24
Entrance Pupil Position	: 0
Exit Pupil Diameter	: 22.47111
Exit Pupil Position	: -84.26815
Field Type	: Angle in degrees
Maximum Field	: 4
Primary Wave	: 0.5875618
Lens Units	: Millimeters
Angular Magnification	: -1.068038

Слика 2. 31. Дефинисани подаци за оптимизовани помоћни оптички систем



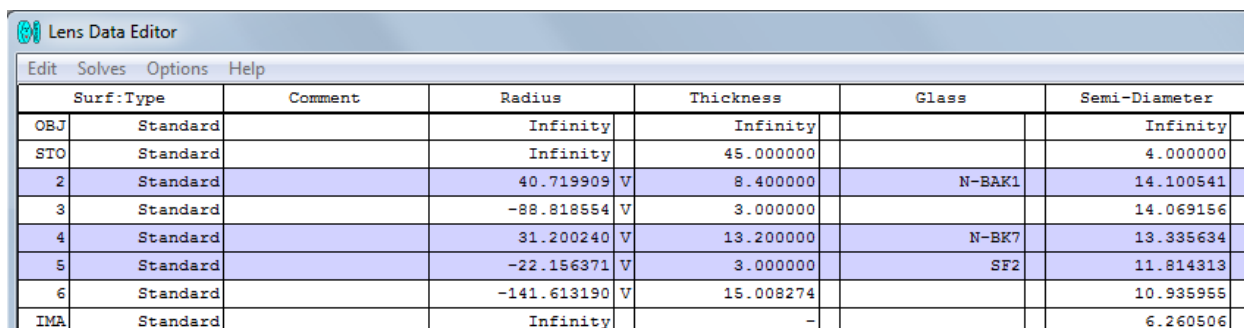
Слика 2. 32. Оптичка шема оптимизованог помоћног система

На слици 2.32 је приказан ток зрака кроз оптимизовани помоћни оптички систем, а на слици 2.33 *Spot Diagram* оптимизованог помоћног оптичког система.

Слика 2. 33. *Spot Diagram* оптимизованог помоћног оптичког система

Пројектовање телескопског система у програму ZEMAX

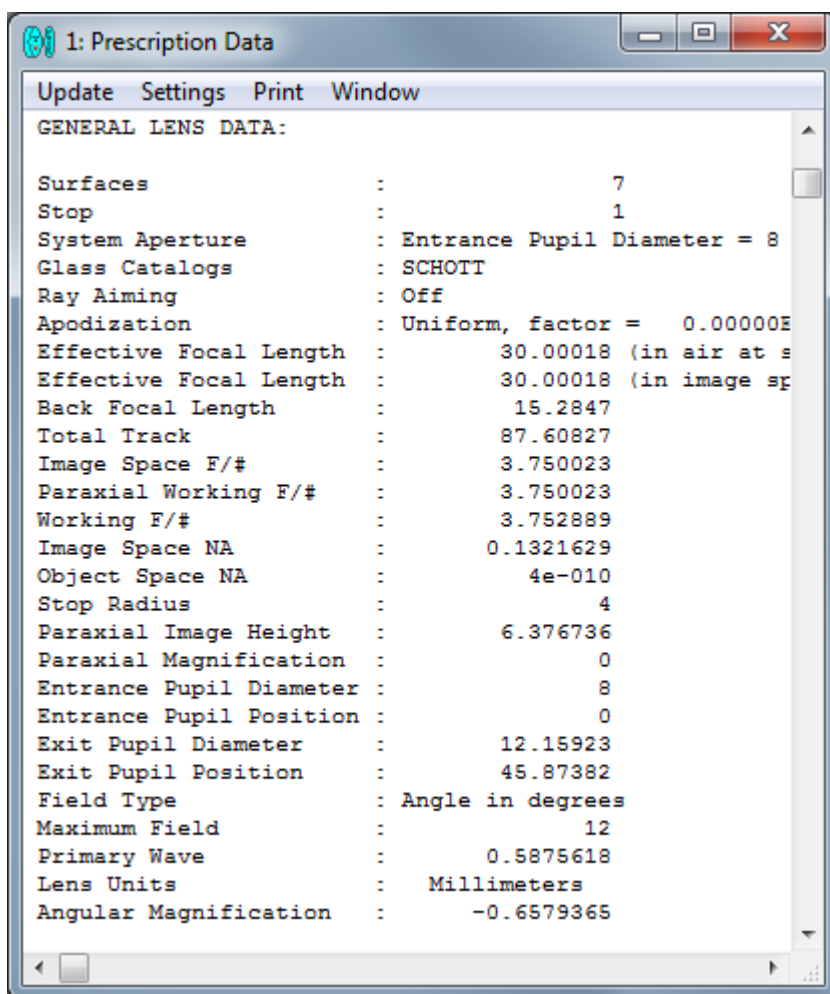
Пројектовање телескопског система у програму ZEMAX се ради тако што се на оптимизовани помоћни оптички систем додају кончаница и окулар. Пошто се окулар усваја за овај телескопски систем усвојен је окулар који је коришћен и за нишан DIN M21. Окулари се прорачунавју у супротном смеру од хода зрака па се подаци уносе обрнутим редом.



Surf:Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard	Infinity	Infinity		Infinity
STO	Standard	Infinity	45.000000		4.000000
2	Standard	40.719909 V	8.400000	N-BAK1	14.100541
3	Standard	-88.818554 V	3.000000		14.069156
4	Standard	31.200240 V	13.200000	N-BK7	13.335634
5	Standard	-22.156371 V	3.000000	SF2	11.814313
6	Standard	-141.613190 V	15.008274		10.935955
IMA	Standard	Infinity	-		6.260506

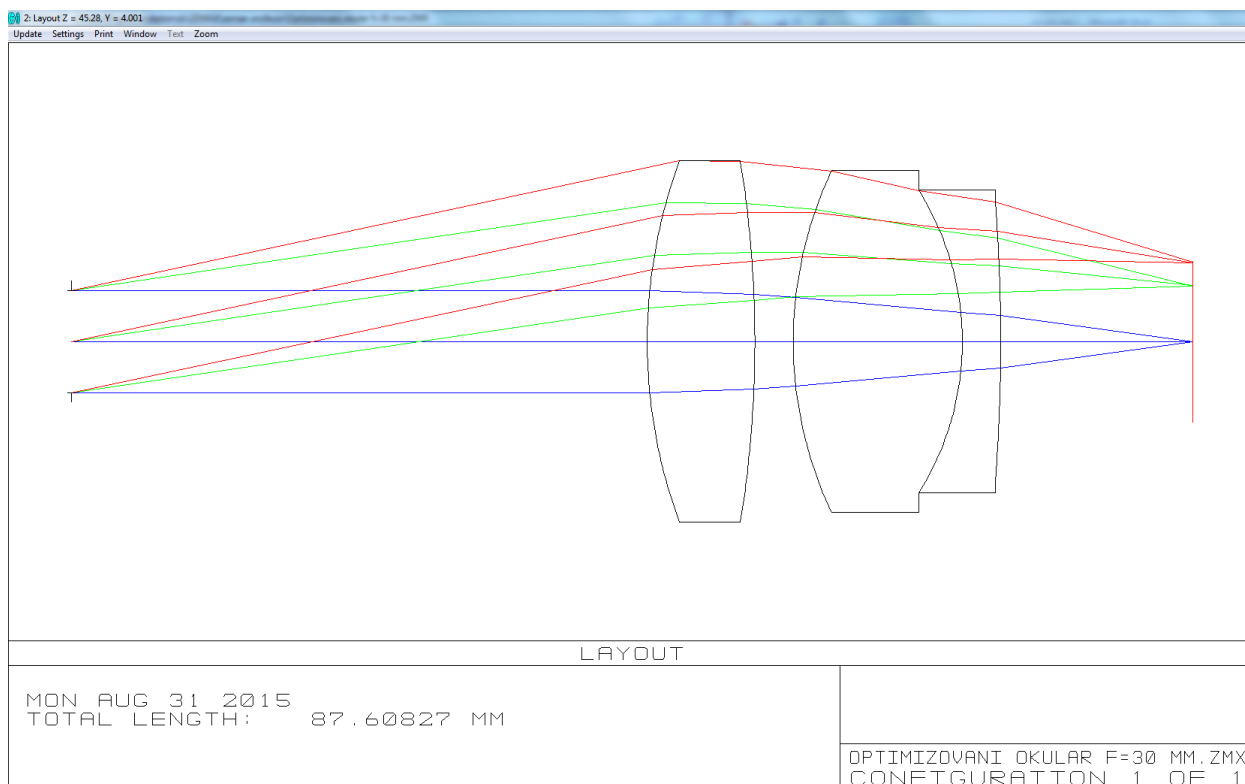
Слика 2. 34. Прозор Lens Data Editor за окулар

На слици 2.34 је престављен изглед прозора Lens Data Editor за окулар, а на слици 2.35 су престављени дефинисани подаци за окулар.



GENERAL LENS DATA:	
Surfaces	: 7
Stop	: 1
System Aperture	: Entrance Pupil Diameter = 8
Glass Catalogs	: SCHOTT
Ray Aiming	: Off
Apodization	: Uniform, factor = 0.000000
Effective Focal Length	: 30.00018 (in air at s
Effective Focal Length	: 30.00018 (in image sp
Back Focal Length	: 15.2847
Total Track	: 87.60827
Image Space F/#	: 3.750023
Paraxial Working F/#	: 3.750023
Working F/#	: 3.752889
Image Space NA	: 0.1321629
Object Space NA	: 4e-010
Stop Radius	: 4
Paraxial Image Height	: 6.376736
Paraxial Magnification	: 0
Entrance Pupil Diameter	: 8
Entrance Pupil Position	: 0
Exit Pupil Diameter	: 12.15923
Exit Pupil Position	: 45.87382
Field Type	: Angle in degrees
Maximum Field	: 12
Primary Wave	: 0.5875618
Lens Units	: Millimeters
Angular Magnification	: -0.6579365

Слика 2. 35. Ддефинисани подаци за окулар



Слика 2. 36. Оптичка шема окулара

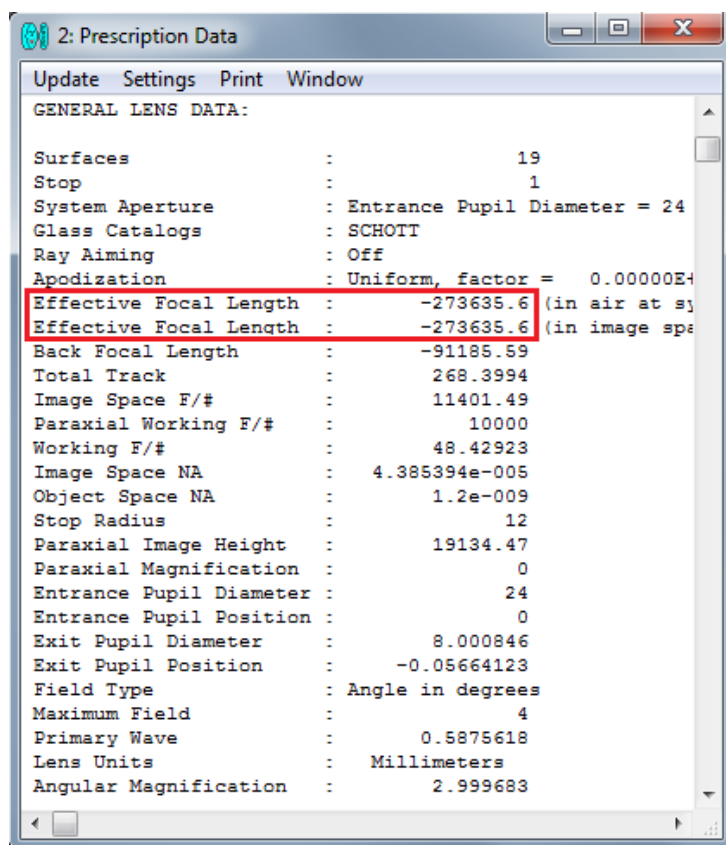
Пошто у теорији телескопски системи имају бесконачно велику жижну дужину, програм *ZEMAX* то приказује као број реда величина неколико десетина хиљада милиметара па и више. То се постиже мењањем растојања између кончанице и окулара док се не добије највећа апсолутна вредност жижне дужине телескопског система.

Пошто програм *ZEMAX* може да ради само са оптичким системима који имају коначну жижну дужину, телескопски систем мора да се трансформише у оптички систем. То се ради уврштавањем параксијалне равни иза задње преломне површине окулара.

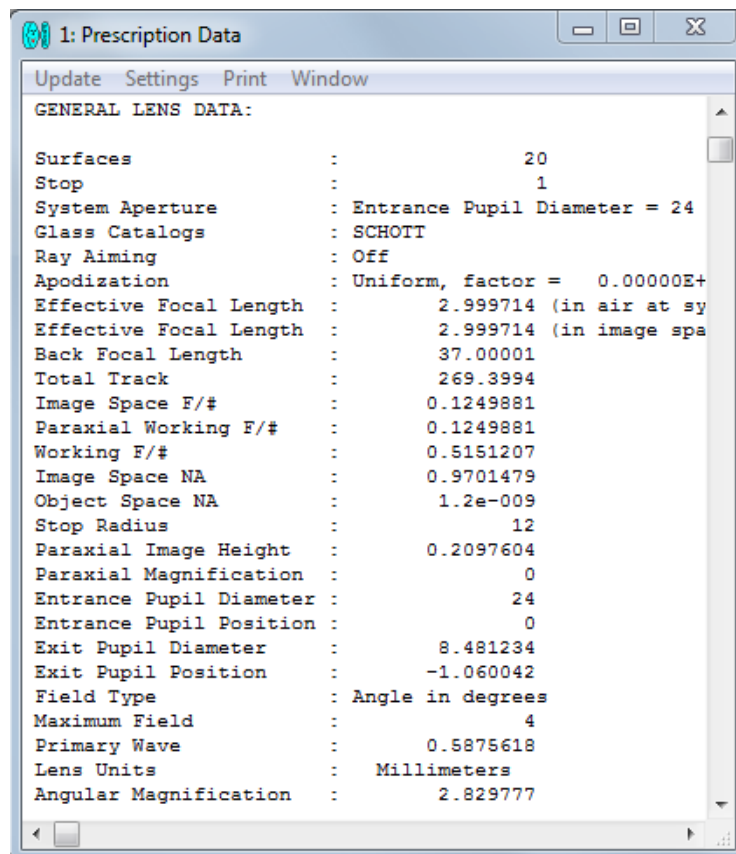
Lens Data Editor						
Edit Solves Options Help						
Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity
STO	Standard	SLEPLJENI DUBLE	44.501042 V	6.400000	BK7	12.117587
2	Standard	OBJEKTIVA	-26.167221 V	2.200000	F2	12.027688
3	Standard		-179.374805 V	84.625915 M		11.966201
4	Standard	KOLEKTORSKO SOCIVO	Infinity	3.300000	BK7	6.612802
5	Standard		-23.117159 V	25.000000		6.515187
6	Standard	PRVI DUBLE	22.344301 V	1.000000	F2	7.632301
7	Standard	OBRINOG SISTEMA	16.095157 V	5.000000	BK7	7.480404
8	Standard		-29.710097 V	32.300000		7.314168
9	Standard	DRUGI DUBLE	29.710097 P	5.000000	BK7	8.286115
10	Standard	OBRINOG SISTEMA	-16.095157 P	1.000000	F2	8.355573
11	Standard		-22.344301 P	22.973513 M		8.493960
12	Standard	KONCANICA	Infinity	2.000000	BAK4	6.380746
13	Standard		Infinity	14.000000		6.612958
14	Standard	DUBLE KOLEKTORA	141.613190 V	3.000000	SF2	9.238745
15	Standard	OKULARA	22.156371 V	13.200000	N-BK7	9.652686
16	Standard		-31.200240 V	3.000000		10.877759
17	Standard	OCNICA OKULARA	88.818554 V	8.400000	N-BAK1	10.975522
18	Standard		-40.719909 V	36.000000		10.761679
19	Paraxial			1.000000		5.824415
IMA	Standard		Infinity	-		0.221375

Слика 2. 37. Прозор *Lens Data Editor* за полазни телескопски систем

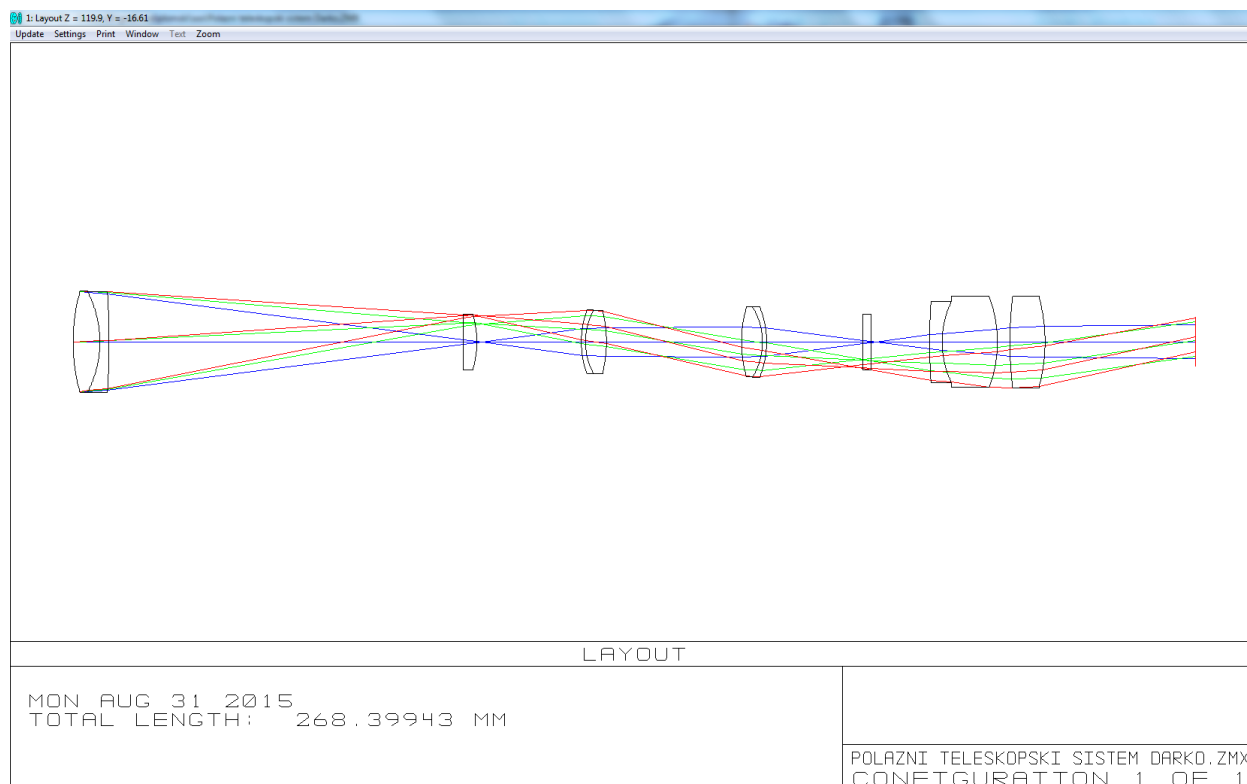
На сликама 2.38 и 2.39 приказани су *Prescription Data* прозори са дефинисаним подацима без уврштене параксијалне равни и са уврштеном паракслијалном равни.



Слика 2. 38. Дефинисани подаци без уврштене параксиалне равни

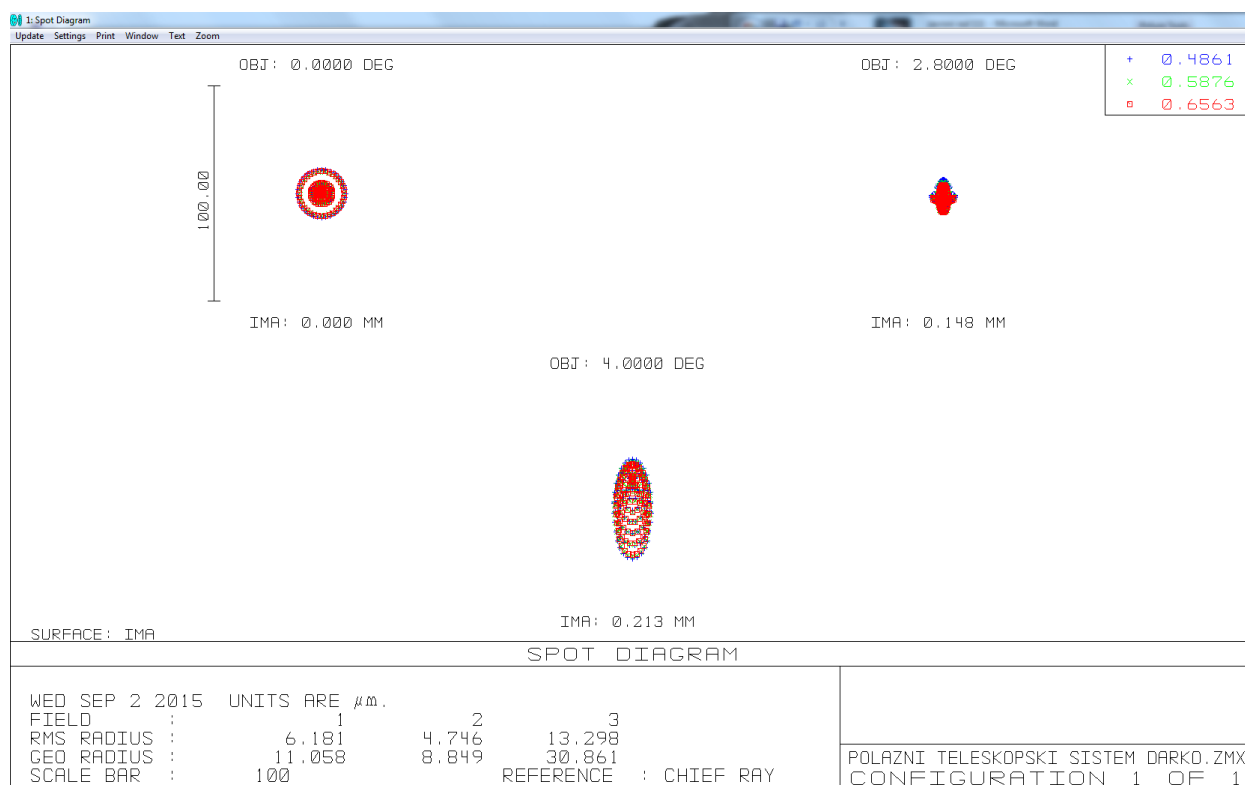


Слика 2. 39. Дефинисани подаци са уврштеном параксијалном равни



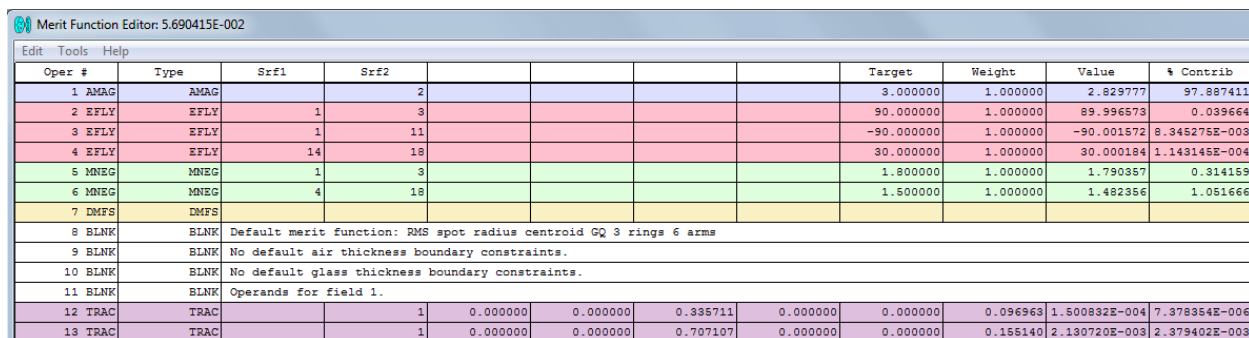
Слика 2. 40. Оптичка шема полазног телескопског система

Слика 2.40. приказује зраке који се укрштају на површини колекторског сочива, затим паралелни пролазе кроз обртни систем и опет се укрштају на површини кончанице и на крају излазе паралелни кроз окулар при проласку кроз телескопски систем. На слици 2.41 приказан је *Spot Diagram* ползног телескопског система.



Слика 2. 41. Spot Diagram полазног телескопског система

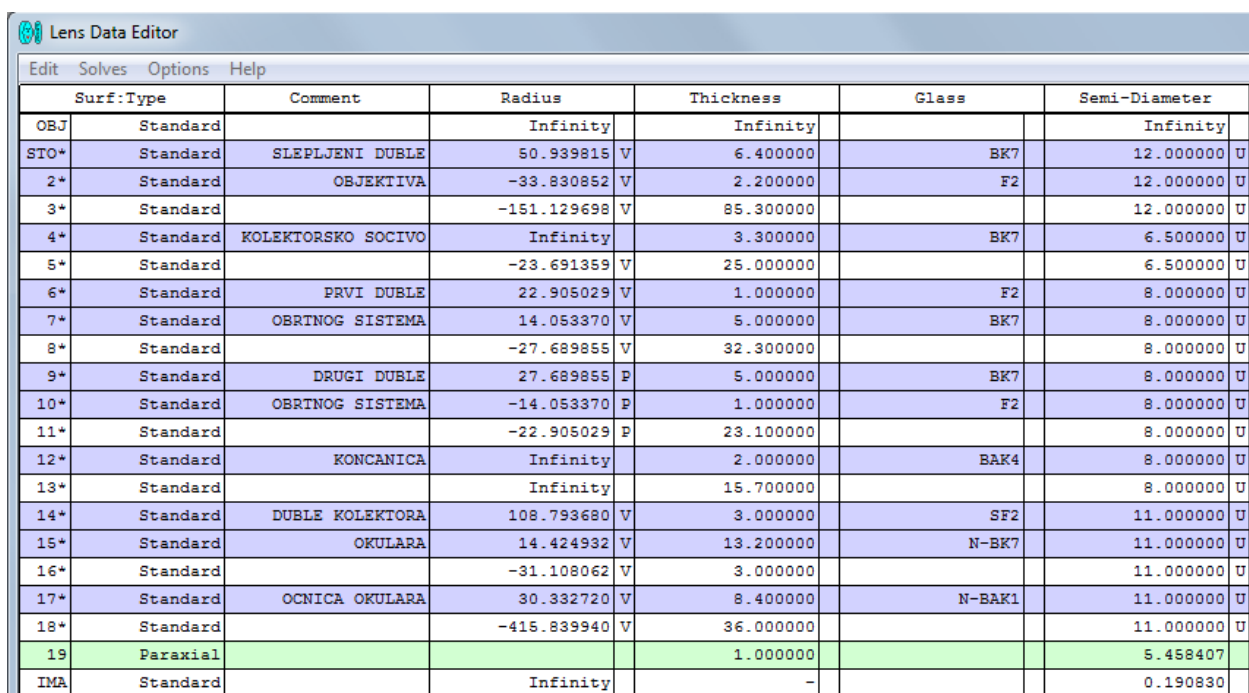
Постављају се гранични услови за увећање телескопског система, жижду дужину објектива, жижду дужину помоћног оптичког система, жижду дужину окулара и за минималну периферну дебљину сочива.



Oper #	Type	Srf1	Srf2	Target	Weight	Value	% Contrib
1	AMAG		2	3.000000	1.000000	2.829777	97.887411
2	EFLY	1	3	90.000000	1.000000	89.996573	0.039664
3	EFLY	1	11	-90.000000	1.000000	-90.001572	8.345275E-003
4	EFLY	14	18	90.000000	1.000000	90.000184	1.143145E-004
5	MNEG	1	3	1.800000	1.000000	1.790357	0.314159
6	MNEG	4	18	1.500000	1.000000	1.482356	1.051666
7	DMFS						
8	BLNK	Default merit function: RMS spot radius centroid GQ 3 rings 6 arms					
9	BLNK	No default air thickness boundary constraints.					
10	BLNK	No default glass thickness boundary constraints.					
11	BLNK	Operands for field 1.					
12	TRAC		1	0.000000	0.000000	0.335711	0.000000
13	TRAC		1	0.000000	0.000000	0.707107	0.000000

Слика 2. 42. Гранични услови за оптимизацију телескопског система

Након задавања граничних услова врши се оптимизација телескопског система.



Surf:Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard	Infinity	Infinity		Infinity
STO*	Standard	50.939815 V	6.400000	BK7	12.000000 U
2*	Standard	-33.830852 V	2.200000	F2	12.000000 U
3*	Standard	-151.129698 V	85.300000		12.000000 U
4*	Standard	Infinity	3.300000	BK7	6.500000 U
5*	Standard	-23.691359 V	25.000000		6.500000 U
6*	Standard	22.905029 V	1.000000	F2	8.000000 U
7*	Standard	14.053370 V	5.000000	BK7	8.000000 U
8*	Standard	-27.689855 V	32.300000		8.000000 U
9*	Standard	27.689855 P	5.000000	BK7	8.000000 U
10*	Standard	-14.053370 P	1.000000	F2	8.000000 U
11*	Standard	-22.905029 P	23.100000		8.000000 U
12*	Standard	Infinity	2.000000	BAK4	8.000000 U
13*	Standard	Infinity	15.700000		8.000000 U
14*	Standard	108.793680 V	3.000000	SF2	11.000000 U
15*	Standard	14.424932 V	13.200000	N-BK7	11.000000 U
16*	Standard	-31.108062 V	3.000000		11.000000 U
17*	Standard	30.332720 V	8.400000	N-BAK1	11.000000 U
18*	Standard	-415.839940 V	36.000000		11.000000 U
19	Paraxial		1.000000		5.458407
IMA	Standard	Infinity	-		0.190830

Слика 2. 43. Прозор Lens Data Editor за оптимизовани телескопски систем

Након извршене оптимизације слободни светлосни отвори се заокружују на цели број.

Након прегледа добијених података увидели смо да је растојање излазне пупиле 36 милиметара, што је премало за овакав тип нишана. [23]

2.4. Други покушај

Пошто у предходном покушају нисмо успели да добијемо одговарајући телескопски систем, покушаћемо са променом комбинације стакла у дублеима објектива и обртног система. Одабарана је комбинација Crown стакла BK7 који има индекс преламања $n_1=1.5168$ и Abbeov број $v_1=64.17$ и Flint стакла SF2 које има индекс преламања $n_2=1.64769$ и Abbeov број $v_2=33.85$ из Schott-овог каталога. Пошто у габаритном прорачуну и прорачуну колекторског сочива ништа није мењано у табелама 2.6 и 2.7 биће престављени само конструктивни подаци објектива и обртног система.

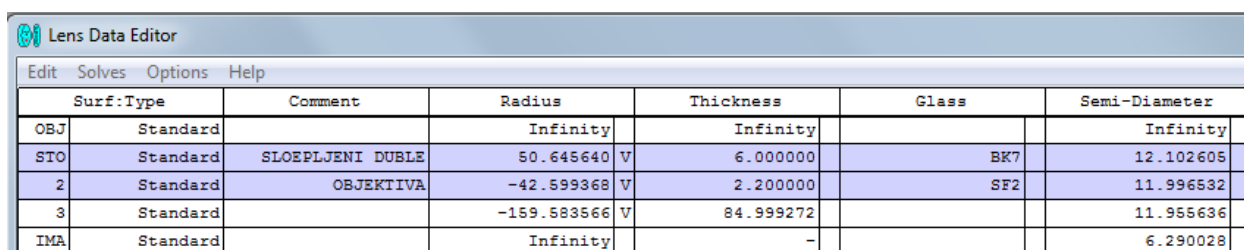
Табела 2. 6. Конструктивни подаци за дубле објектива

r	d	стакло	h_{max}
46.9418		ваздух	12
-39.5308	6	BK7	12
-187.4821	2,2	SF2	12

Табела 2. 7. Конструктивни подаци за дубле обртног система

r	d	стакло	h_{max}
15.1257		ваздух	4
-12.5719	2.5	BK7	4
-59.5671	0.8	SF2	4

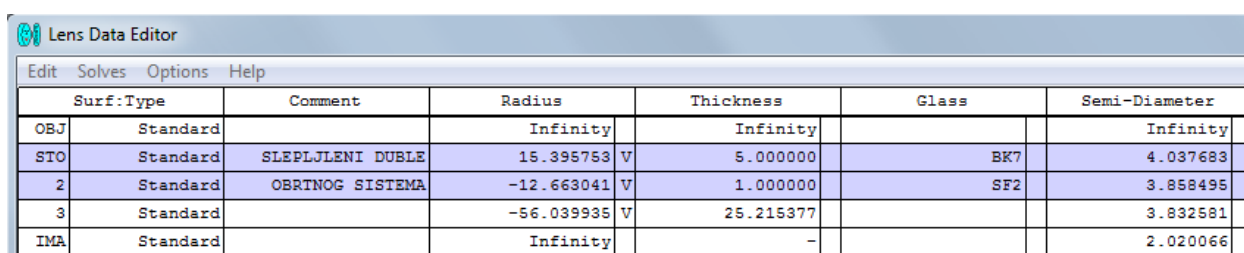
Пошто је у предходном делу детаљно описан рад у програму ZEMAX, у наставку биће престављени само основни подаци потребни за следећи корак у пројектовању.



Lens Data Editor						
Edit Solves Options Help						
Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity
STO	Standard	SLOEPLJENI DUBLE	50.645640 V	6.000000	BK7	12.102605
2	Standard	OBJEKTIVA	-42.599368 V	2.200000	SF2	11.996532
3	Standard		-159.583566 V	84.999272		11.955636
IMA	Standard		Infinity	-		6.290028

Слика 2. 44. Прозор Lens Data Editor за оптимизовани објектив

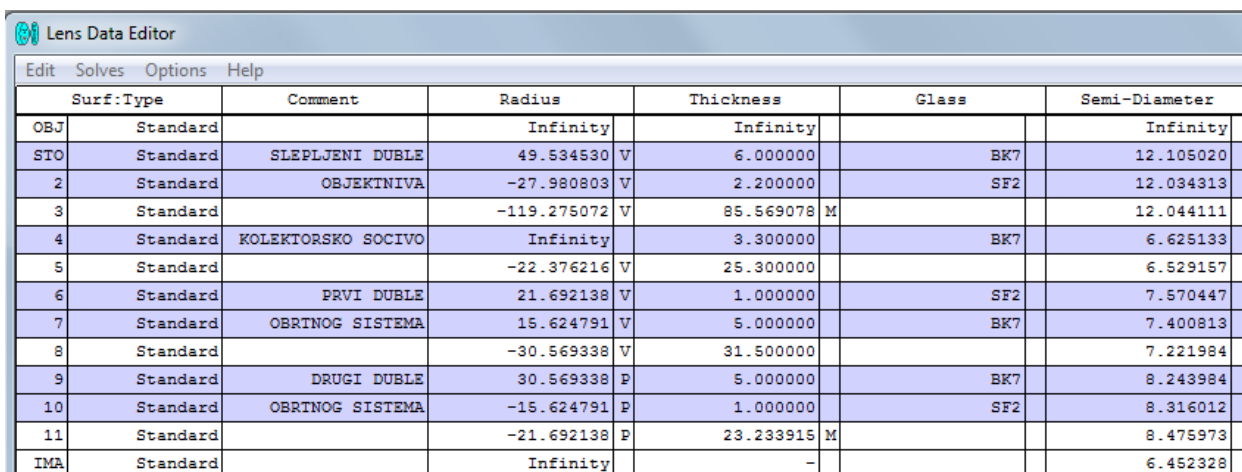
Пошто су дебљине сочива од 2,5 и 0,8 милиметра код обртног система премале, повећане су на 5 и 1 милиметар.



Lens Data Editor						
Edit Solves Options Help						
Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity
STO	Standard	SLEPLJENI DUBLE	15.395753 V	5.000000	BK7	4.037683
2	Standard	OBRINOG SISTEMA	-12.663041 V	1.000000	SF2	3.858495
3	Standard		-56.039935 V	25.215377		3.832581
IMA	Standard		Infinity	-		2.020066

Слика 2. 45. Прозор Lens Data Editor за оптимизовани обртни систем

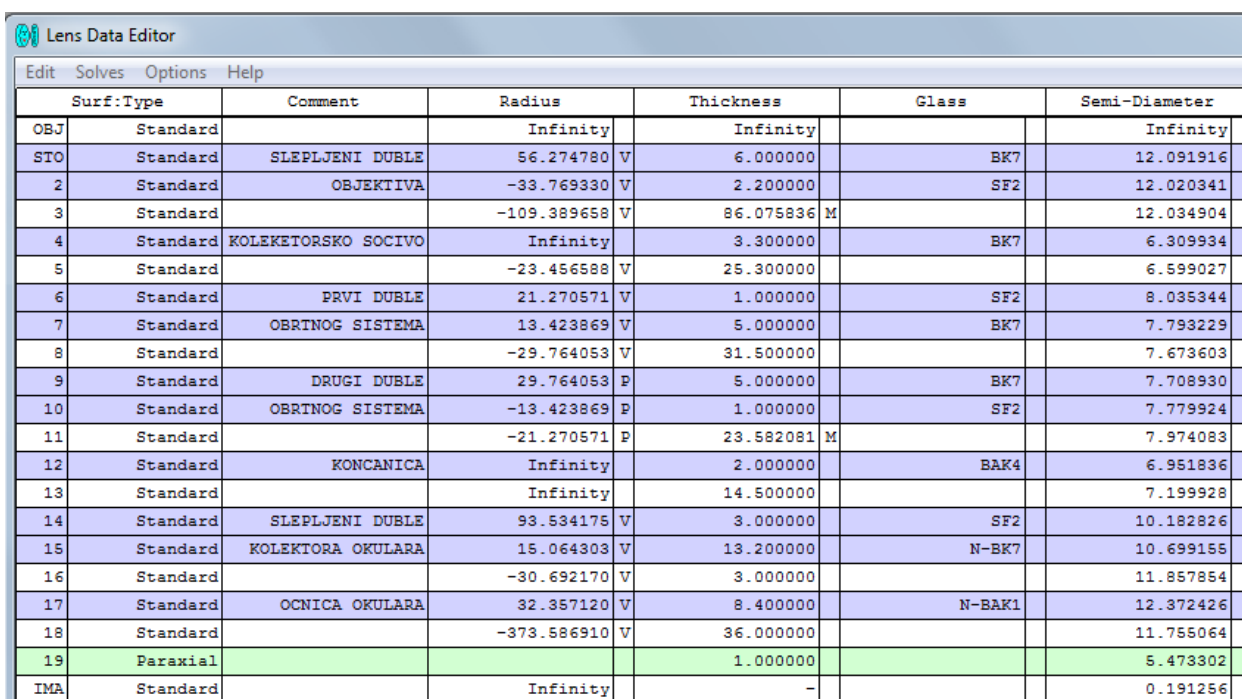
Постављање помоћног оптичког система урађено је на начин који је описан у предходном делу рада и онда је оптимизован.



Lens Data Editor						
Edit Solves Options Help						
Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity
STO	Standard	SLEPLJENI DUBLE	49.534530 V	6.000000	BK7	12.105020
2	Standard	OBJEKTIVNA	-27.980803 V	2.200000	SF2	12.034313
3	Standard		-119.275072 V	85.569078 M		12.044111
4	Standard	KOLEKTORSKO SOCIVO	Infinity	3.300000	BK7	6.625133
5	Standard		-22.376216 V	25.300000		6.529157
6	Standard	PRVI DUBLE	21.692138 V	1.000000	SF2	7.570447
7	Standard	OBRITNOG SISTEMA	15.624791 V	5.000000	BK7	7.400813
8	Standard		-30.569338 V	31.500000		7.221984
9	Standard	DRUGI DUBLE	30.569338 P	5.000000	BK7	8.243984
10	Standard	OBRITNOG SISTEMA	-15.624791 P	1.000000	SF2	8.316012
11	Standard		-21.692138 P	23.233915 M		8.475973
IMA	Standard		Infinity	-		6.452328

Слика 2. 46. Прозор Lens Data Editor за оптимизовани помоћни оптички систем

Поступак постављања телескопског система и његова оптимизација је исти као у предходном случају.



Lens Data Editor						
Edit Solves Options Help						
Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity
STO	Standard	SLEPLJENI DUBLE	56.274780 V	6.000000	BK7	12.091916
2	Standard	OBJEKTIVA	-33.769330 V	2.200000	SF2	12.020341
3	Standard		-109.389658 V	86.075836 M		12.034904
4	Standard	KOLEKTORSKO SOCIVO	Infinity	3.300000	BK7	6.309934
5	Standard		-23.456588 V	25.300000		6.599027
6	Standard	PRVI DUBLE	21.270571 V	1.000000	SF2	8.035344
7	Standard	OBRITNOG SISTEMA	13.423869 V	5.000000	BK7	7.793229
8	Standard		-29.764053 V	31.500000		7.673603
9	Standard	DRUGI DUBLE	29.764053 P	5.000000	BK7	7.708930
10	Standard	OBRITNOG SISTEMA	-13.423869 P	1.000000	SF2	7.779924
11	Standard		-21.270571 P	23.582081 M		7.974083
12	Standard	KONCANICA	Infinity	2.000000	BAK4	6.951836
13	Standard		Infinity	14.500000		7.199928
14	Standard	SLEPLJENI DUBLE	93.534175 V	3.000000	SF2	10.182826
15	Standard	KOLEKTORA OKULARA	15.064303 V	13.200000	N-BK7	10.699155
16	Standard		-30.692170 V	3.000000		11.857854
17	Standard	OCNICA OKULARA	32.357120 V	8.400000	N-BAK1	12.372426
18	Standard		-373.586910 V	36.000000		11.755064
19	Paraxial			1.000000		5.473302
IMA	Standard		Infinity	-		0.191256

Слика 2. 47. Прозор Lens Data Editor за оптимизовани телескопски систем

На основу прегледа података добијених оптимизацијом приказаних на слици 2.47 закључујемо да је растојање излазне пупиле од 36 милиметара премало за овакав тип нишана.

2.5. Трћи покушај

Пошто промена комбинације стакла није дала жељене резултате, одлучено је да се повећа жижна дужина окулар са 30 на 40 милиметара и укупна дужина телескопског система са 200 на 230 милиметара. У табели 2.8 престављени су резултати габаритног прорачуна, а у табелама 2.9, 2.10 и 2.11 конструктивни подаци објектива, обртног система и колекторског сочива.

Табела 2. 8. Резултати габаритног прорачуна

f'_{ob}	120 mm	d_{obs}	14.0313 mm	$\tan \omega_{obs}$	0.2931
D_u	24 mm	у св. вред.	14 mm	$\tan \omega_{ok}$	0.2223
$2m$	16.8 mm	f'_{ks}	28.9916 mm	S'_{Fok}	30 mm
f'_{obs1}	-148.187	у св. вред.	29 mm	m_2	2.1724
f'_{obs2}	28.3128	D_{ks}	16.7824 mm	D_{ko}	34.6860 mm
у св. вред.	29 mm	у св. вред.	17 mm	у св. вред.	35 mm
$D_{ob} = D_u$	24 mm	$\tan \omega'$	-0.20978	p'	71.8549 mm
D_{obs}	5.8 mm	D_k	16.782 mm	D_{oo}	35.747 mm
у св. вред.	6 mm	у св. вред.	17 mm	у св. вред.	36 mm

Табела 2. 9. Конструктивни подаци за дубле објектива

r	d	стакло	h_{max}
62.5891		ваздух	12
-53.6030	5	BK7	12
-254.9495	2.2	SF2	12

Пошто је у габаритном прорачуну добијено да је пречник обртног система 6 милиметара, што је доста мање од осталих сочива одлучено је да се пречник обртног система изједначи са пречником колекторског сочива тј. повећа на 17 милиметара.

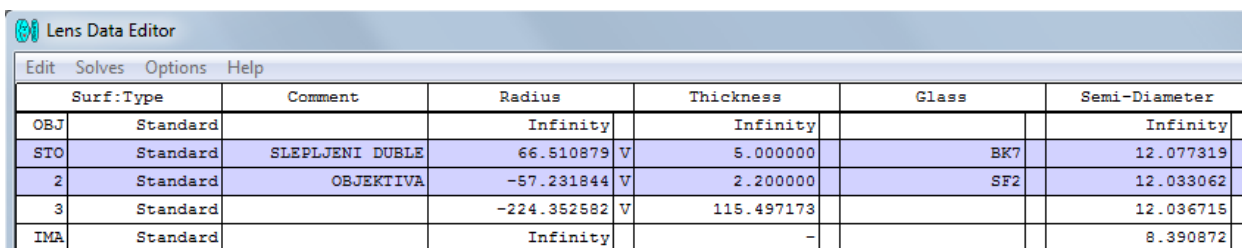
Табела 2. 10. Конструктивни подаци за дубле обртног система

r	d	стакло	h_{max}
15.1257		ваздух	8,5
-11,2421	7	BK7	8,5
-52,4845	1,5	SF2	8,5

Табела 2. 11. Конструктивни подаци за колекторско сочиво

r	d	стакло	h_{max}
0		ваздух	8.5
14.9872	4.7	BK7	8.5

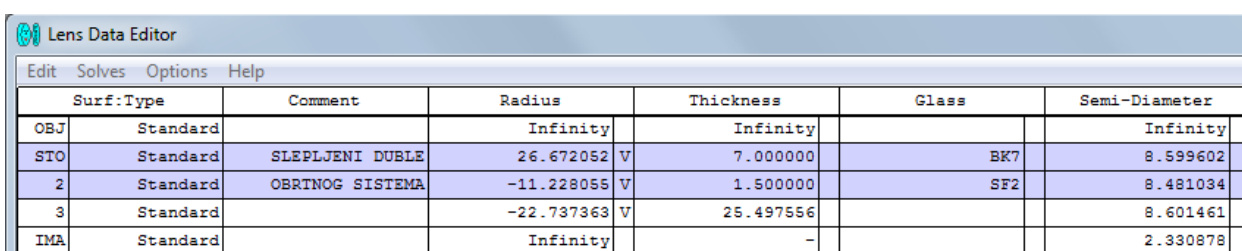
Пошто је у предходном делу детаљно описан рад у програму ZEMAX, у наставку биће престављени само основни подаци потребни за следећи корак у пројектовању.



Lens Data Editor						
Edit Solves Options Help						
Surf:	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity
STO	Standard	SLEPLJENI DUBLE	66.510879 V	5.000000	BK7	12.077319
2	Standard	OBJEKTIVA	-57.231844 V	2.200000	SF2	12.033062
3	Standard		-224.352582 V	115.497173		12.036715
IMA	Standard		Infinity	-		8.390872

Слика 2. 48. Прозор Lens Data Editor за оптимизовани објектив

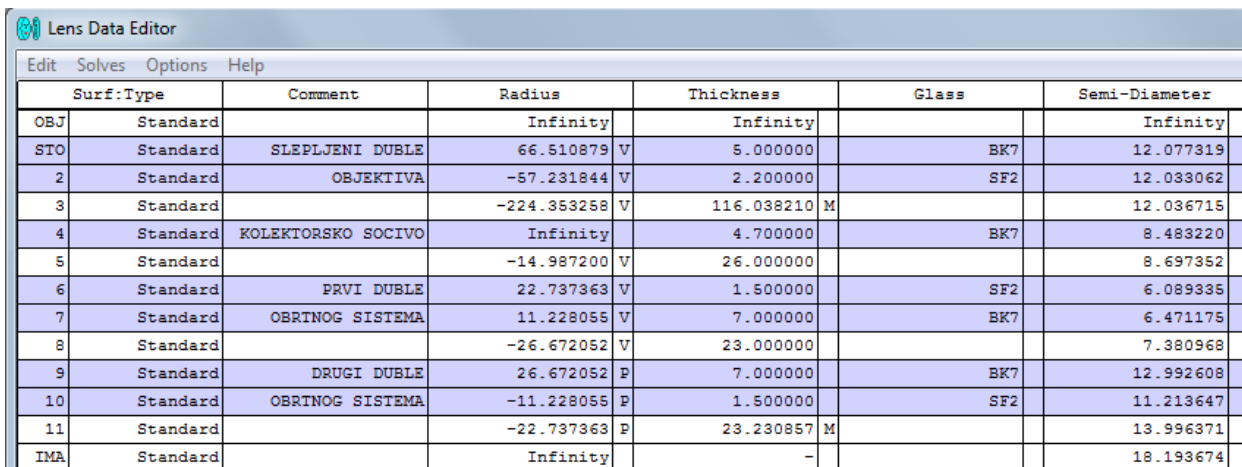
На слици 2.48 приказани су резултати добијени оптимизацијом објектива постављеног на већ описани начин.



Lens Data Editor						
Edit Solves Options Help						
Surf:	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity
STO	Standard	SLEPLJENI DUBLE	26.672052 V	7.000000	BK7	8.599602
2	Standard	OBRTNOG SISTEMA	-11.228055 V	1.500000	SF2	8.481034
3	Standard		-22.737363 V	25.497556		8.601461
IMA	Standard		Infinity	-		2.330878

Слика 2. 49. Прозор Lens Data Editor за оптимизовани обртни систем

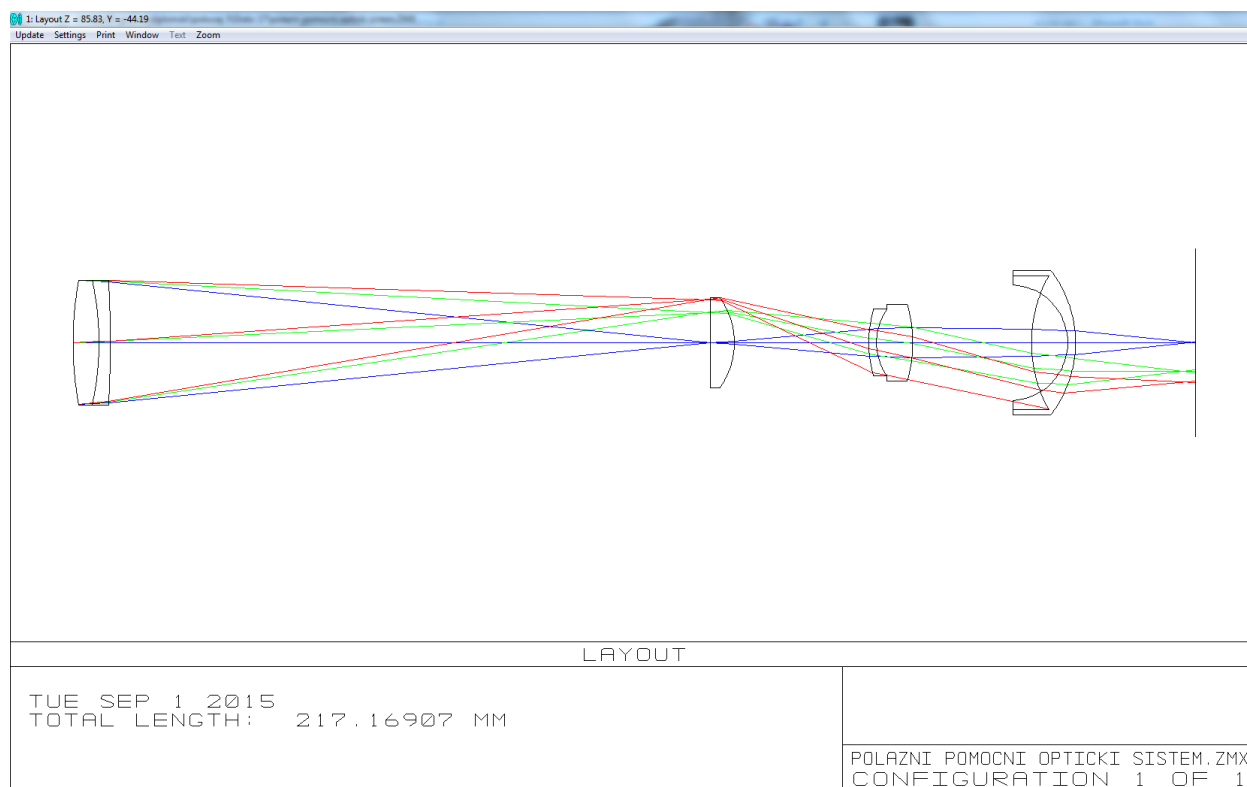
На слици 2.49 приказани су резултати добијени оптимизацијом обртног система постављеног на већ описани начин, а слика 2.50 приказје полазни помоћни оптички систем.



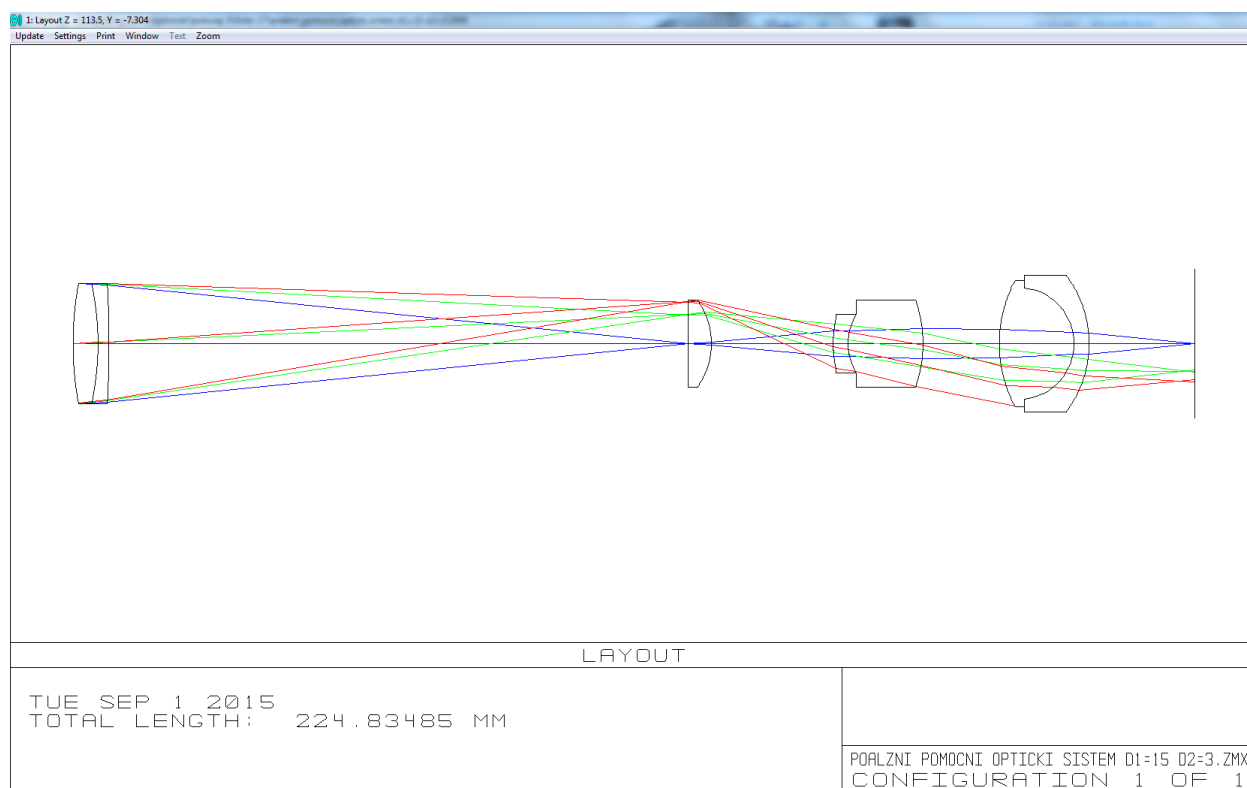
Lens Data Editor						
Edit Solves Options Help						
Surf:	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity
STO	Standard	SLEPLJENI DUBLE	66.510879 V	5.000000	BK7	12.077319
2	Standard	OBJEKTIVA	-57.231844 V	2.200000	SF2	12.033062
3	Standard		-224.353258 V	116.038210 M		12.036715
4	Standard	KOLEKTORSKO SOCIVO	Infinity	4.700000	BK7	8.483220
5	Standard		-14.987200 V	26.000000		8.697352
6	Standard	PRVI DUBLE	22.737363 V	1.500000	SF2	6.089335
7	Standard	OBRTNOG SISTEMA	11.228055 V	7.000000	BK7	6.471175
8	Standard		-26.672052 V	23.000000		7.380968
9	Standard	DRUGI DUBLE	26.672052 P	7.000000	BK7	12.992608
10	Standard	OBRTNOG SISTEMA	-11.228055 P	1.500000	SF2	11.213647
11	Standard		-22.737363 P	23.230857 M		13.996371
IMA	Standard		Infinity	-		18.193674

Слика 2. 50 Прозор Lens Data Editor за ползни помоћни оптички систем

Приликом прегледа цртежа примећене су грешке на дублеима обртног система, решавање тог проблема је покушано повећањем периферне дебљине сочива, али пошто су радијуси веома мали, што доста отежава производњу и веома доприноси повећању аберације, што програму ZEMAX онемогућује прорачун и он пријављује грешку. Оптичке шеме, помоћног оптичког система и помоћног оптичког система са повећаном периферном дебљином сочива, су приказани на сликама 2.51 и 2.52. Због тога је овај покушај не прихватљив.



Слика 2. 51. Оптичка шема помоћног оптичког система



Слика 2. 52. Оптичка шема помоћног оптичког система са повећаном периферном дебљином сочива

2.6. Четврти покушај (успешан)

На основу проблема насталих у предходном покушају уочено је да је угао видног поља велики, па је угао видног поља са 8 степени смањен на 7 степени.

Габаритни прорачун

Полазни податци

Телескопско увећање $\Gamma = 3 \times$

Угао видног поља $2\omega = 7^\circ$

Пречник излазне пупиле $D_{iz} = 8 \text{ mm}$

Жижна дужина окулара $f'_{ok} = 40 \text{ mm}$

Попречно увећање обртног система $\beta_{obs} = -1$

Дужина телескопског система $L = 230 \text{ mm}$

Дозвољено винјетирање 30 %, односно $k = 0.3$

$$f'_{ob} = \frac{-\Gamma \cdot f'_{ok}}{\beta_{obs}} = \frac{-3 \cdot 40}{-1} = 120 \text{ mm.}$$

$$D_u = \Gamma \cdot D_{iz} = 3 \cdot 8 = 24 \text{ mm.}$$

$$2 \cdot m = (1 - k) \cdot D_u = (1 - 0.3) \cdot 24 = 16.8 \text{ mm.}$$

$$D_{ob} = D_u = 24 \text{ mm.}$$

$$f'^2_{obs} \cdot \frac{(1-k) \cdot D_u}{f'^2_{ob} \cdot \tan \omega} + f'_{obs} \cdot (\beta_{obs} - 1) + L - (f'_{ob} + f'_{ok}) = 0$$

$$f'^2_{obs} \cdot \frac{(1-0.3) \cdot 24}{75 \cdot \tan(-3.5^\circ)} + f'_{obs} \cdot (-1 - 1) + 230 - (120 + 40) = 0$$

$$-0.0191 \cdot f'^2_{obs} - 2 \cdot f'_{obs} + 70 = 0$$

$$f'_{obs1} = 27.688 ; f'_{obs2} = -132.538$$

$$\text{Усваја се } f'_{obs} = 28 \text{ mm.}$$

$$D_{obs} = D_{ob} \cdot \frac{f'_{obs}}{f'_{ob}} = 24 \cdot \frac{28}{120} = 5.6 \text{ mm}$$

$$\text{Усваја се } D_{obs} = 6 \text{ mm}$$

$$d_{obs} = -\frac{(1-k)}{\tan \omega} \cdot D_u \cdot \left(\frac{f'_{obs}}{f'_{ob}}\right)^2 = -\frac{(1-0.3)}{\tan(-3.5^\circ)} \cdot 24 \cdot \left(\frac{28}{120}\right)^2 = 14.955 \text{ mm}$$

$$\text{Усваја се } d_{obs} = 15 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{f'_{ks}} = \frac{1}{f'_{ob}} \cdot \left(1 + \frac{p}{f'_{ob}}\right) + \frac{1}{f'_{obs}} \cdot \left(1 - \frac{d_{obs}}{2 \cdot f'_{obs}}\right) = \frac{1}{120} \cdot \left(1 + \frac{0}{120}\right) + \frac{1}{28} \cdot \left(1 - \frac{15}{2 \cdot 21}\right)$$

$$f'_{ks} = 29.0012 \text{ mm}$$

$$\text{Усваја се } f'_{ks} = 29 \text{ mm}$$

$$D_{ks} = -2 \cdot f'_{ob} \cdot \tan \omega = -2 \cdot 120 \cdot \tan(-3.5^\circ) = 14.6790 \text{ mm}$$

Усваја се пречник колектора $D_{ks} = 15 \text{ mm}$. Ради лакше уградње сочива у тело нишанске справе усваја се да је пречник колектора једнак пречнику дублеа обртног система $D_{ks} = D_{obs} = 15 \text{ mm}$.

$$\tan \omega' = \Gamma \cdot \tan \omega = 3 \cdot \tan(-3.5^\circ) = -0.1835$$

$$D_k = -2 \cdot f'_{ok} \cdot \tan \omega' = -2 \cdot 40 \cdot (-0.1835) = 14.679 \text{ mm}$$

Усваја се $D_k = 15 \text{ mm}$

$$\tan \omega_{obs} = \frac{D_{ks}}{2 \cdot f_{obs}} = \frac{15}{2 \cdot 28} = 0.2679$$

$$\tan \omega_{ok} = -\frac{D_k - d_{obs} \cdot \tan \omega_{obs}}{2 \cdot \beta_{obs} \cdot f_{obs}} = -\frac{15 - 15 \cdot 0.2679}{2 \cdot (-1) \cdot 28} = 0.1961$$

$$|S_{Fok}| = S'_{Fok} = 0.75 \cdot f_{ok} = 0.75 \cdot 40 = 30 \text{ mm}$$

$$m_2 = \frac{(1-k) \cdot D_{obs} \cdot S_{Fok}}{2 \cdot \beta_{obs} \cdot f_{obs}} = \frac{(1-0.3) \cdot 15 \cdot 30}{2 \cdot (-1) \cdot 28} = 5.625 \text{ mm}$$

$$D_{ko} = D_k - 2 \cdot S'_{Fok} \cdot \tan \omega_{ok} + 2 \cdot m_2 = 15 - 2 \cdot 30 \cdot 0.1961 + 2 \cdot 5.625 = 38.0165 \text{ mm}$$

Усваја се $D_{ko} = 38 \text{ mm}$

$$p' = S'_{Fok} - \left(\beta_{obs} \cdot f'_{obs} + \frac{d_{obs}}{2} \right) \cdot \frac{f'^2_{ok}}{\beta_{obs} \cdot f'_{obs}} 30 - \left(-1 \cdot 28 + \frac{15}{2} \right) \frac{40^2}{(-1 \cdot 28)^2} = 71.837 \text{ mm}$$

$$D_{oo} = (1-k) \cdot D_{iz} - 2 \cdot p' \cdot \tan \omega' = (1-0.3) \cdot 8 - 2 \cdot 71.837 \cdot (-0.1835) = 31.962 \text{ mm}$$

Да би механички део конструкције окулара био једноставнији, усваја се да колектор и очница окулара имају исти пречник $D_{ko} = D_{oo} = 38 \text{ mm}$.

Пројектовање сочива

Полазни подаци за објектив

Жижна дужина објектива $f' = f'_{ob} = 120 \text{ mm}$

Слободан светлосни отвор $D = D_{obs} = 24 \text{ mm}$

Индекс преламања за „Crown“ стакло „BK7“ $n_1 = 1.5168$

Abbeов број за „Crown“ стакло „BK7“ $v_1 = 64.17$

Индекс преламања за „Flint“ стакло „SF2“ $n_2 = 1.64769$

Abbeов број за „Flint“ стакло „SF2“ $v_2 = 33.85$

Додатак за уградњу помоћу прстена 2 mm

Периферна дебљина сабирног сочива $t = 1.8 \text{ mm}$

$$\Phi_1 = \frac{v_1}{v_1 - v_2} = \frac{64.17}{64.17 - 33.85} = 2.1164$$

$$\Phi_2 = 1 - \Phi_1 = 1 - 2.1164 = -1.1164$$

$$a = 1 + 2 \cdot \Phi_1 \cdot \left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right) + \frac{2}{n_2} = 1 + 2 \cdot 2.1164 \cdot \left(\frac{1}{1.5168} - \frac{1}{1.64769} \right) + \frac{2}{1.64769} = 2.4355$$

$$b = \frac{3}{n_1 - 1} \cdot \Phi_1^2 - \frac{3}{n_2 - 1} \cdot \Phi_2^2 - 2 \cdot \Phi_2 =$$

$$= \frac{3}{1.5168 - 1} \cdot 2.4355^2 - \frac{3}{1.64769 - 1} \cdot (-1.1164)^2 - 2 \cdot (-1.1164) = 22.4616$$

$$c = \frac{n_1}{(n_1 - 1)^2} \cdot \Phi_1^3 + \frac{n_2}{(n_2 - 1)^2} \cdot \Phi_2^3 + \frac{n_2}{n_2 - 1} \cdot \Phi_2^2 =$$

$$= \frac{1.5168}{(1.5168 - 1)^2} \cdot 2.1164^3 + \frac{1.64769}{(1.64769 - 1)^2} \cdot (-1.1164)^3 + \frac{1.64769}{1.64769 - 1} \cdot (-1.1164)^2 = 51.5437$$

$$Q_{1/2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-22.4616 \pm \sqrt{22.4616^2 - 4 \cdot 2.4355 \cdot 51.5437}}{2 \cdot 2.4355}$$

$$Q_1 = -4.2944 ; Q_2 = -4.9281$$

$$W_1^\infty = -\frac{a+1}{2} \cdot Q_1 + \frac{\Phi_2 - b}{3} = -\frac{2.4355+1}{2} \cdot (-4.2944) + \frac{(-1.1164) - 22.4616}{3} = -0.4826$$

$$W_1^\infty = -\frac{a+1}{2} \cdot Q_1 + \frac{\Phi_2 - b}{3} = -\frac{2.4355+1}{2} \cdot (-4.9281) + \frac{(-1.1164) - 22.4616}{3} = -0.6060$$

Пошто је $|W_1^\infty| < |W_2^\infty|$ усваја се вредност *Abbeove* инваријанте $Q = Q_1 = -4.2944$

$$D_{meh} = D + 2 = 24 + 2 = 26 \text{ mm}$$

$$d_1 = \frac{D_{meh}^2}{4f'_{ob}} \cdot \Phi_1 + t = \frac{26^2}{4 \cdot 120} \cdot 2.1164 + 1.8 = 4.9806 \text{ mm}$$

Усваја се $d_1 = 5 \text{ mm}$

$$d_2 = \frac{D_{meh}}{12} = \frac{26}{12} = 2.1667 \text{ mm}$$

Усваја се $d_2 = 2,2 \text{ mm}$

$$\sigma_1 = 0$$

$$\sigma_2 = \left(1 - \frac{1}{n_1}\right) \cdot Q + \Phi_1 = \left(1 - \frac{1}{1.5168}\right) \cdot (-4.2944) + 2.1164 = 0.6532$$

$$\sigma_3 = \left(1 - \frac{1}{n_2}\right) \cdot Q + \Phi_1 = \left(1 - \frac{1}{1.64769}\right) \cdot (-4.2944) + 2.1164 = 0.4283$$

$$r_1 = \frac{n_1 - 1}{n_1 \cdot \sigma_2} \cdot f'_{ob} = \frac{1.5168 - 1}{1.5168 \cdot 0.5408} \cdot 120 = 62.5891 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} r_2 &= \frac{n_2 - n_1}{n_2 \cdot \sigma_3 - n_1 \cdot \sigma_2} \cdot (f'_{ob} - d_1 \cdot \sigma_2) = \\ &= \frac{1.64769 - 1.5168}{1.64769 \cdot 0.4283 - 1.5168 \cdot 0.6532} \cdot (120 - 5 \cdot 0.6532) = -53.6030 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_3 &= \frac{1 - n_2}{1 - n_2 \cdot \sigma_3} \cdot (f'_{ob} - d_1 \cdot \sigma_2 - d_2 \cdot \sigma_3) = \\ &= \frac{1 - 1.64769}{1 - 1.64769 \cdot 0.4283} \cdot (120 - 5 \cdot 0.6532 - 2.2 \cdot 0.4283) = -254.9495 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$h_{max} = \frac{D}{2} = \frac{24}{2} = 12 \text{ mm}$$

Табела 2. 12. Конструктивни подаци за пројектовани слепљени дубле објектива

r	d	стакло	h_{max}
62.5891		ваздух	12
-53.6030	5	BK7	12
-254.9495	2.2	SF2	12

Полазни подаци за обртни систем

Жижна дужина објектива $f' = f'_{obs} = 28 \text{ mm}$

Слободан светлосни отвор $D = D_{ob} = 15 \text{ mm}$

Индекс преламања за „Crown“ стакло „BK7“ $n_1 = 1.5168$

Abbeов број за „Crown“ стакло „BK7“ $v_1 = 64.17$

Индекс преламања за „Flint“ стакло „SF2“ $n_2 = 1.64769$

Abbeов број за „Flint“ стакло „SF2“ $v_2 = 33.85$

Додатак за уградњу помоћу прстена 1.5 mm

Периферна дебљина сабирног сочива $t = 1.5 \text{ mm}$

$$\Phi_1 = \frac{v_1}{v_1 - v_2} = \frac{64.17}{64.17 - 33.85} = 2.1164$$

$$\Phi_2 = 1 - \Phi_1 = 1 - 2.1164 = -1.1164$$

$$a = 1 + 2 \cdot \Phi_1 \cdot \left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right) + \frac{2}{n_2} = 1 + 2 \cdot 2.1164 \cdot \left(\frac{1}{1.5168} - \frac{1}{1.64769} \right) + \frac{2}{1.64769} = 2.4355$$

$$b = \frac{3}{n_1 - 1} \cdot \Phi_1^2 - \frac{3}{n_2 - 1} \cdot \Phi_2^2 - 2 \cdot \Phi_2 =$$

$$= \frac{3}{1.5168 - 1} \cdot 2.4355^2 - \frac{3}{1.64769 - 1} \cdot (-1.1164)^2 - 2 \cdot (-1.1164) = 22.4616$$

$$c = \frac{n_1}{(n_1 - 1)^2} \cdot \Phi_1^3 + \frac{n_2}{(n_2 - 1)^2} \cdot \Phi_2^3 + \frac{n_2}{n_2 - 1} \cdot \Phi_2^2 =$$

$$= \frac{1.5168}{(1.5168 - 1)^2} \cdot 2.1164^3 + \frac{1.64769}{(1.64769 - 1)^2} \cdot (-1.1164)^3 + \frac{1.64769}{1.64769 - 1} \cdot (-1.1164)^2 = 51.5437$$

$$Q_{1/2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{-22.4616 \pm \sqrt{22.4616^2 - 4 \cdot 2.4355 \cdot 51.5437}}{2 \cdot 2.4355}$$

$$Q_1 = -4.2944 ; Q_2 = -4.9281$$

$$W_1^\infty = -\frac{a+1}{2} \cdot Q_1 + \frac{\Phi_2 - b}{3} = -\frac{2.4355+1}{2} \cdot (-4.2944) + \frac{(-1.1164) - 22.4616}{3} = -0.4826$$

$$W_1^\infty = -\frac{a+1}{2} \cdot Q_1 + \frac{\Phi_2 - b}{3} = -\frac{2.4355+1}{2} \cdot (-4.9281) + \frac{(-1.1164) - 22.4616}{3} = -0.6060$$

Пошто је $|W_1^\infty| < |W_2^\infty|$ усваја се вредност Abbeове инваријанте $Q = Q_1 = -4.2944$

$$D_{meh} = D + 2 = 15 + 1.5 = 16.5 \text{ mm}$$

$$d_1 = \frac{D_{meh}^2}{4f'_{ob}} \cdot \Phi_1 + t = \frac{16.5^2}{4 \cdot 28} \cdot 2.1164 + 1.5 = 6.6446 \text{ mm}$$

Усваја се $d_1 = 6.7 \text{ mm}$

$$d_2 = \frac{D_{meh}}{12} = \frac{16.5}{12} = 1.3750 \text{ mm}$$

Усваја се $d_2 = 1.4 \text{ mm}$

$$\sigma_1 = 0$$

$$\sigma_2 = \left(1 - \frac{1}{n_1} \right) \cdot Q + \Phi_1 = \left(1 - \frac{1}{1.5168} \right) \cdot (-4.2944) + 2.1164 = 0.6532$$

$$\sigma_3 = \left(1 - \frac{1}{n_2}\right) \cdot Q + \Phi_1 = \left(1 - \frac{1}{1.64769}\right) \cdot (-4.2944) + 2.1164 = 0.4283$$

$$r_1 = \frac{n_1-1}{n_1 \cdot \sigma_2} \cdot f'_{ob} = \frac{1.5168-1}{1.5168 \cdot 0.5408} \cdot 28 = 14.6041 \text{ mm}$$

$$r_2 = \frac{n_2-n_1}{n_2 \cdot \sigma_3 - n_1 \cdot \sigma_2} \cdot (f'_{ob} - d_1 \cdot \sigma_2) =$$

$$= \frac{1.64769-1.5168}{1.64769 \cdot 0.4283 - 1.5168 \cdot 0.6532} \cdot (28 - 6.7 \cdot 0.6532) = -10.8630 \text{ mm}$$

$$r_3 = \frac{1-n_2}{1-n_2 \cdot \sigma_3} \cdot (f'_{ob} - d_1 \cdot \sigma_2 - d_2 \cdot \sigma_3) =$$

$$= \frac{1-1.64769}{1-1.64769 \cdot 0.4283} \cdot (28 - 6.7 \cdot 0.6532 - 1.4 \cdot 0.4283) = -50.7847 \text{ mm}$$

$$h_{max} = \frac{D}{2} = \frac{15}{2} = 7.5 \text{ mm}$$

Табела 2. 13. Конструктивни подаци за пројектовани слепљени дубле обртног система

r	d	стакло	h_{max}
14.6041		ваздух	7.5
-10.8630	6.7	BK7	7.5
-50.7847	1.4	SF2	7.5

Полазни подаци за колекторско сочиво

Жижна дужина објектива $f' = f'_{ks} = 29 \text{ mm}$ Слободан светлосни отвор $D = D_{ks} = 15 \text{ mm}$ Индекс преламања за „Crown“ стакло „BK7“ $n_1 = 1.5168$ Abbeов број за „Crown“ стакло „BK7“ $v_1 = 64.17$ Периферна дебљина сабирног сочива $t = 1.5 \text{ mm}$

$$r_{ks} = f'_{ks} \cdot (n - 1) = 29 \cdot (1.5168 - 1) = 14.9872 \text{ mm}$$

$$d_{ks} = t_{ks} + r_{ks} - \sqrt{r_{ks}^2 - \left(\frac{D_{ks}}{2}\right)^2} = 1.5 + 14.9872 - \sqrt{14.9872^2 - \left(\frac{15}{2}\right)^2} = 3.5116 \text{ mm}$$

Усваја се $d_{ks} = 3.6 \text{ mm}$

Половина слободног светлосног отвора

$$h_{max} = \frac{D}{2} = \frac{15}{2} = 7.5 \text{ mm}$$

Табела 2. 14 Конструктивни подаци за пројектовано колекторско сочиво

r	d	стакло	h_{max}
0		ваздух	7.5
14.9872	3.6	BK7	7.5

Пројектовање телескопског система у програму ZEMAX

Поступком који је описан и више пута приказан у раду дошло се до података потребних за пројектовање телескопског система. За окулар усвојен је окулар коришћен на нишану *DIN M21*.

Lens Data Editor							
Edit Solves Options Help							
Surf.Type		Comment	Radius		Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity		Infinity		Infinity
STO	Standard	SLEPLJENI DUBLE	59.170686	V	5.000000	BK7	12.076173
2	Standard	OBJEKTIVA	-40.034544	V	2.000000	SF2	12.017654
3	Standard		-224.981641	V	115.707736	M	12.007025
4	Standard	KOLEKTORSKO SOCIVO	Infinity		4.700000	BK7	7.415662
5	Standard		-14.968506	V	26.000000		7.423964
6	Standard	PRVI DUBLE	26.637957	V	1.000000	SF2	4.052571
7	Standard	OBRITNOG SISTEMA	12.240558	V	8.000000	BK7	4.289063
8	Standard		-23.798788	V	20.000000		5.699857
9	Standard	DRUGI DUBLE	23.798788	P	8.000000	BK7	10.311270
10	Standard	OBRITNOG SISTEMA	-12.240558	P	1.000000	SF2	10.311011
11	Standard		-26.637957	P	23.181863	M	10.698102
12	Standard	KONCANICA	Infinity		2.000000	BAK4	6.936696
13	Standard		Infinity		25.500000		6.939806
14	Standard	SLEPLJENI DUBLE	-652.940000	V	3.900000	SF2	10.327482
15	Standard	KOLEKTORA OKULARA	28.351000	V	10.900000	BK7	10.862028
16	Standard		-38.420000	V	3.900000		11.771240
17	Standard	OCNICA OKULARA	34.837000	V	7.800000	BAK1	12.060455
18	Standard		Infinity		56.000000		11.443860
19	Paraxial				1.000000		9.550043
IMA	Standard		Infinity		-		0.174761

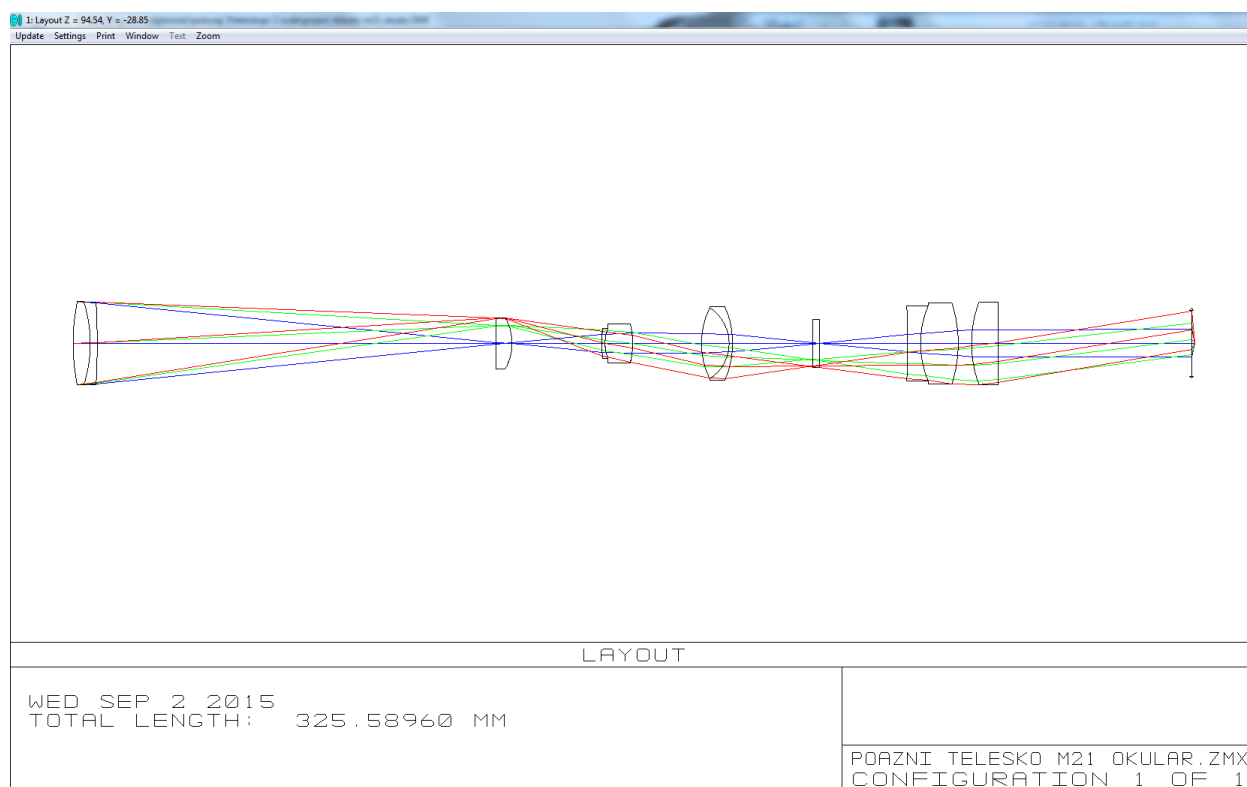
Слика 2. 53. Lens Data Editor прозор са подацима за полазни телескопски систем

Приликом постављања полазног телескопског система водило се рачуна да жижна дужина има што већу вредност пре уврштавања параксијалне равни.

1: Prescription Data	
Update Settings Print Window	
GENERAL LENS DATA:	
Surfaces	: 19
Stop	: 1
System Aperture	: Entrance Pupil Diameter = 24
Glass Catalogs	: SCHOTT
Ray Aiming	: Off
Apodization	: Uniform, factor = 0.00000E+
Effective Focal Length	: 41414.38 (in air at sy
Effective Focal Length	: 41414.38 (in image spa
Back Focal Length	: 13957.39
Total Track	: 324.5896
Image Space F/#	: 1725.599
Paraxial Working F/#	: 1725.599
Working F/#	: 179.9583
Image Space NA	: 0.0002897544
Object Space NA	: 1.2e-009
Stop Radius	: 12
Paraxial Image Height	: 2533.012
Paraxial Magnification	: 0
Entrance Pupil Diameter	: 24
Entrance Pupil Position	: 0
Exit Pupil Diameter	: 8.055965
Exit Pupil Position	: 0.02229286
Field Type	: Angle in degrees
Maximum Field	: 3.5
Primary Wave	: 0.5875618
Lens Units	: Millimeters
Angular Magnification	: 2.979159

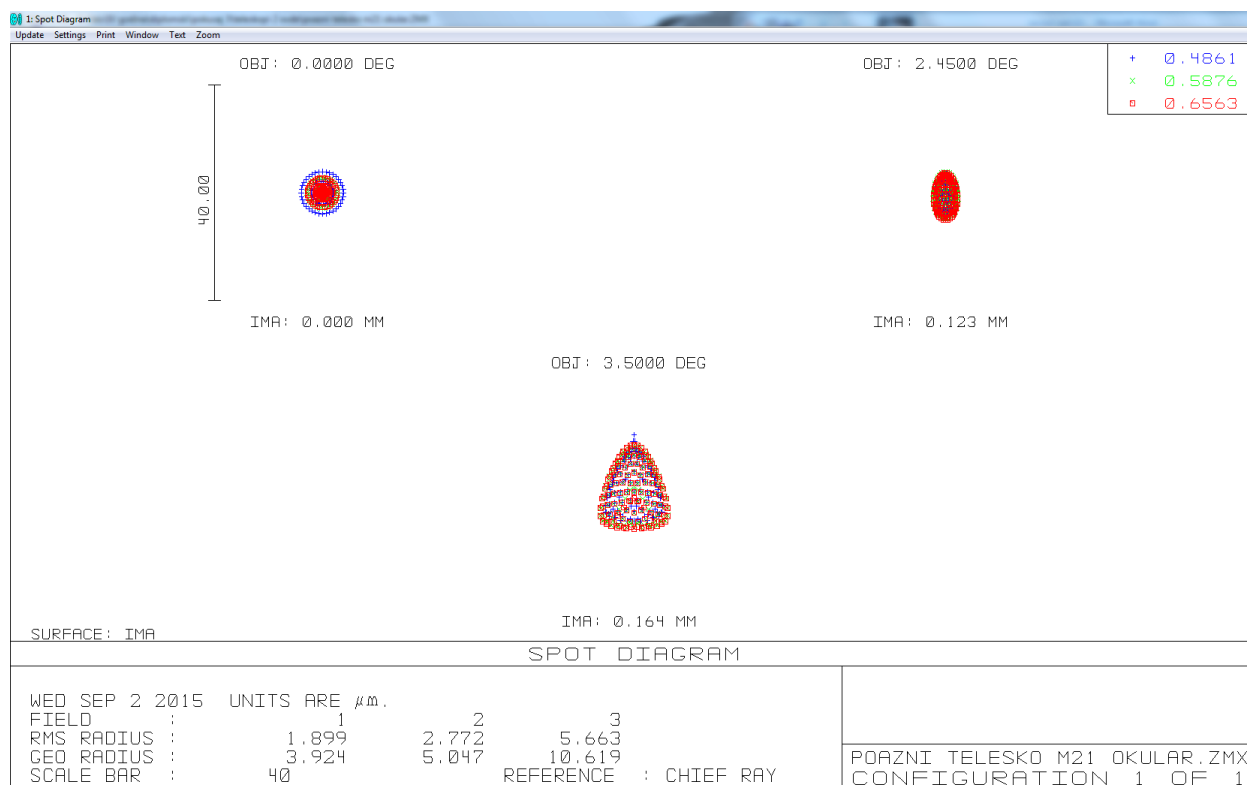
Слика 2. 54. Дефинисани подаци пре уврштавања параксијалне равни

Након прегледа оптичке шеме и *Spot Dijagrama* приказаним на слици 2.55 и 2.56 постављени су гранични услови.



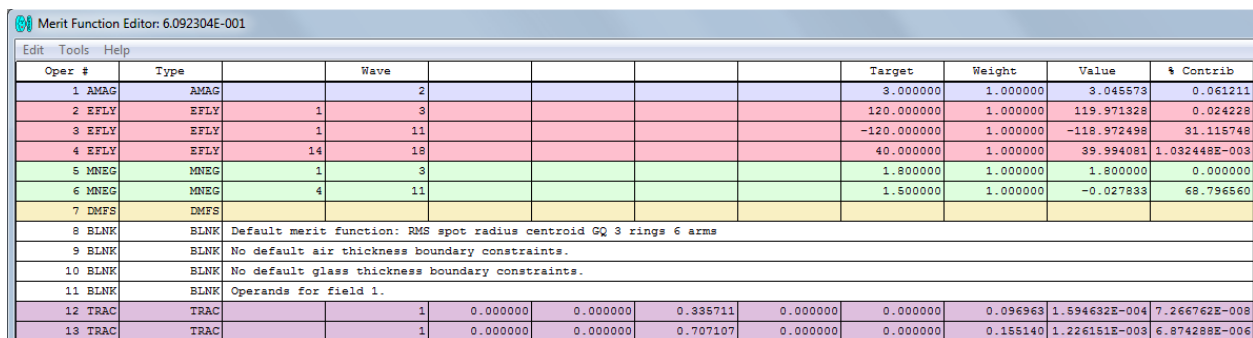
Слика 2. 55. Оптичка шема полазног телескопског система

На оптичкој шеми се види ток зрака кроз телескопски систем који паралелни излазе кроз окулар телескопског система.



Слика 2. 56. Spot Dijagram полазног телескопског система

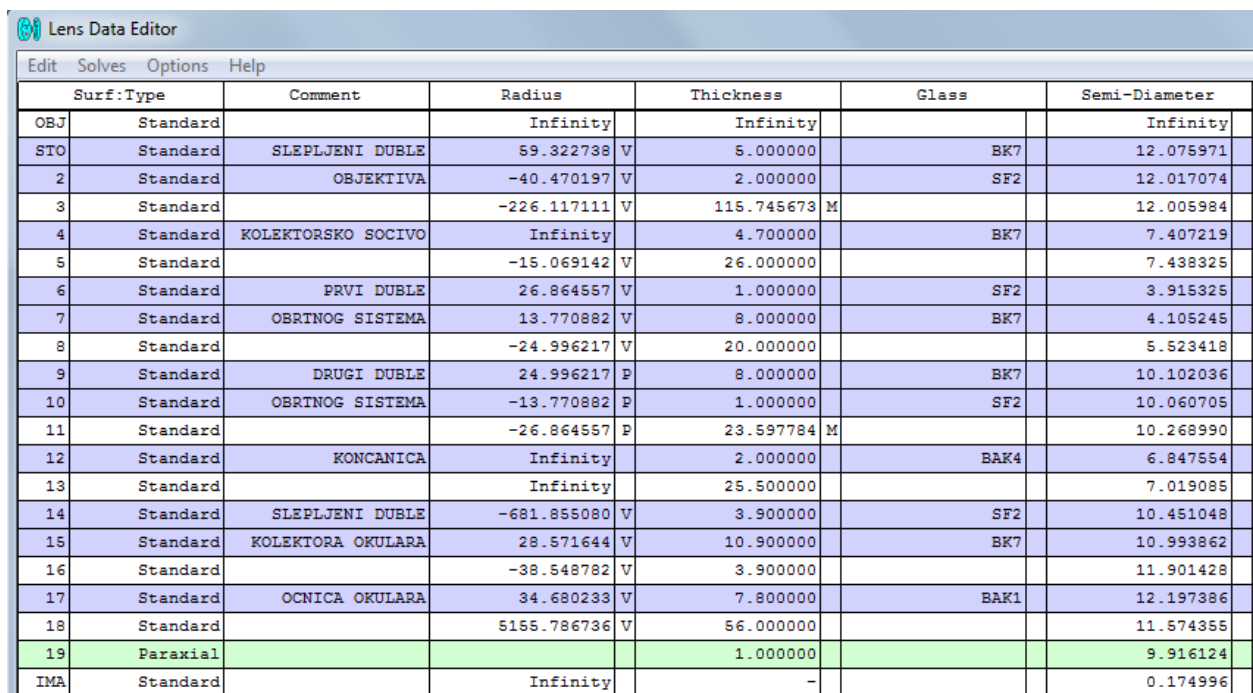
За гарничне услове је задато: увећање телескопског система, жижна дужина објектива, жижна дужина помоћног оптичког система, жижна дужина окулара и минималне периферне дебљине сочива.



Oper #	Type	Wave	Target	Weight	Value	% Contrib
1	AMAG	2	3.000000	1.000000	3.045573	0.061211
2	EFLY	3	120.000000	1.000000	119.971328	0.024228
3	EFLY	11	-120.000000	1.000000	-118.972498	31.115748
4	EFLY	18	40.000000	1.000000	39.994081	1.032448E-003
5	MNEG	3	1.800000	1.000000	1.800000	0.000000
6	MNEG	11	1.500000	1.000000	-0.027833	68.796560
7	DMFS					
8	BLNK		Default merit function: RMS spot radius centroid GQ 3 rings 6 azms			
9	BLNK		No default air thickness boundary constraints.			
10	BLNK		No default glass thickness boundary constraints.			
11	BLNK		Operands for field 1.			
12	TRAC	1	0.000000	0.000000	0.335711	0.000000
13	TRAC	1	0.000000	0.000000	0.707107	0.000000

Слика 2. 57. Гранични услови полазног телескопског система

После постављања граничних услова извршена је оптимизација, добијени подаци приказани су на слици 2.58.



Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity
STO	Standard	SLEPLJENI DUBLE	59.322738	V	BK7	12.075971
2	Standard	OBJEKTIVA	-40.470197	V	SF2	12.017074
3	Standard		-226.117111	V		12.005984
4	Standard	KOLEKTORSKO SOCIVO	Infinity		BK7	7.407219
5	Standard		-15.069142	V		7.438325
6	Standard	PRVI DUBLE	26.864557	V	SF2	3.915325
7	Standard	OBRINOI SISTEMA	13.770882	V	BK7	4.105245
8	Standard		-24.996217	V		5.523418
9	Standard	DRUGI DUBLE	24.996217	P	BK7	10.102036
10	Standard	OBRINOI SISTEMA	-13.770882	P	SF2	10.060705
11	Standard		-26.864557	P		10.268990
12	Standard	KONCANICA	Infinity		BAK4	6.847554
13	Standard		Infinity			7.019085
14	Standard	SLEPLJENI DUBLE	-681.855080	V	SF2	10.451048
15	Standard	KOLEKTORA OKULARA	28.571644	V	BK7	10.993862
16	Standard		-38.548782	V		11.901428
17	Standard	OCNICA OKULARA	34.680233	V	BAK1	12.197386
18	Standard		5155.786736	V		11.574355
19	Paraxial			1.000000		9.916124
IMA	Standard		Infinity	-		0.174996

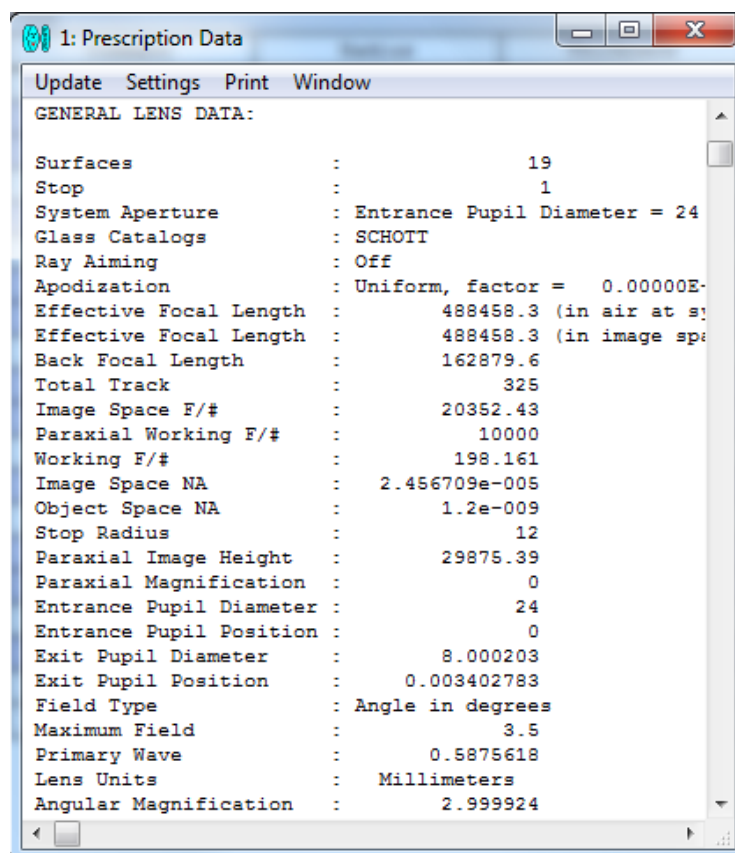
Слика 2. 58. Lens Data Editor прозор са подацима добијених оптимизацијом

На основу података приказаних на слици 2.58 растојање излазне пупиле телескопског система 56 милиметара што је прихватљива вредност за овакав тип нишана. Након тога урађено је заокруживање вредности периферне дебљине сочива и раздаљине између сочива, као и вредности пречника светлосног отвора на једну децималу због технолошке документације и каснијег технолошког поступка израде сочива, а и конструкције механичких делова оптичког нишана као што су кућиште и механизми за померање кончанице и окулара ради прилагођавања оптичког нишана оку стрелца. Подаци са заокруженим вредностима су приказани на слици 2.59.

Lens Data Editor						
Edit Solves Options Help						
Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Semi-Diameter
OBJ	Standard		Infinity	Infinity		Infinity
STO*	Standard	SLEPLJENI DUBLE	59.322738 V	5.000000	BK7	12.000000 U
2*	Standard	OBJEKTIVA	-40.470197 V	2.000000	SF2	12.000000 U
3*	Standard		-226.117111 V	115.700000		12.000000 U
4*	Standard	KOLEKTORSKO SOCIVO	Infinity	4.700000	BK7	7.500000 U
5*	Standard		-15.069142 V	26.000000		7.500000 U
6*	Standard	PRVI DUBLE	26.864557 V	1.000000	SF2	9.000000 U
7*	Standard	OBRITNOG SISTEMA	13.770882 V	8.000000	BK7	9.000000 U
8*	Standard		-24.996217 V	20.000000		9.000000 U
9*	Standard	DRUGI DUBLE	24.996217 P	8.000000	BK7	9.000000 U
10*	Standard	OBRITNOG SISTEMA	-13.770882 P	1.000000	SF2	9.000000 U
11*	Standard		-26.864557 P	23.600000		9.000000 U
12*	Standard	KONCANICA	Infinity	2.000000	BAK4	7.000000 U
13*	Standard		Infinity	25.500000		7.000000 U
14*	Standard	SLEPLJENI DUBLE	-681.855080 V	3.900000	SF2	12.000000 U
15*	Standard	KOLEKTORA OKULARA	28.571644 V	10.900000	BK7	12.000000 U
16*	Standard		-38.548782 V	3.900000		12.000000 U
17*	Standard	OCNICA OKULARA	34.680233 V	7.800000	BAK1	12.000000 U
18*	Standard		5155.786736 V	56.000000		12.000000 U
19	Paraxial			1.000000		9.921483
IMA	Standard		Infinity	-		0.174885

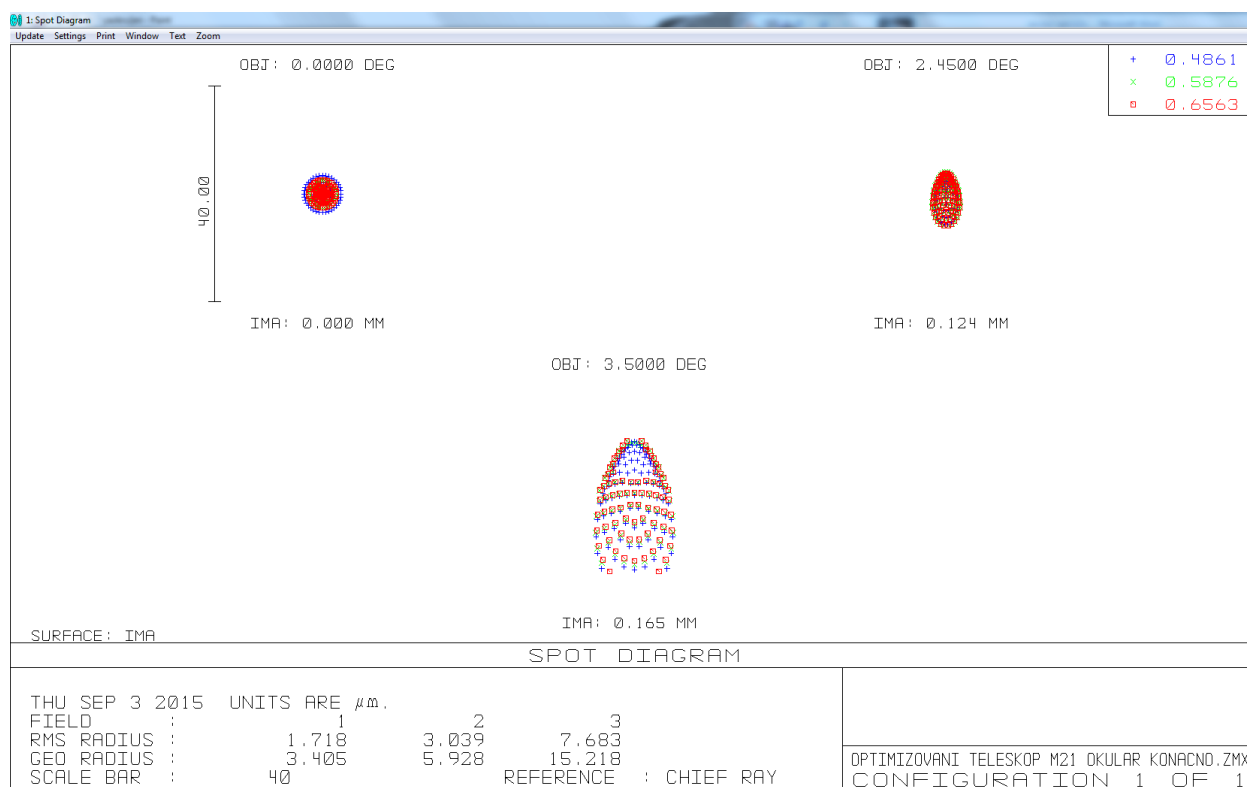
Слика 2. 59. Lens Data Editor прозор заокруженим вредностима

На слици 2.60 приказани су дефинисани подаци на којима се види да је након оптимизације жижна дужина телескопског система повећана преко десет пута и сад је 488458,3 милиметра што је стварно добар резултат.



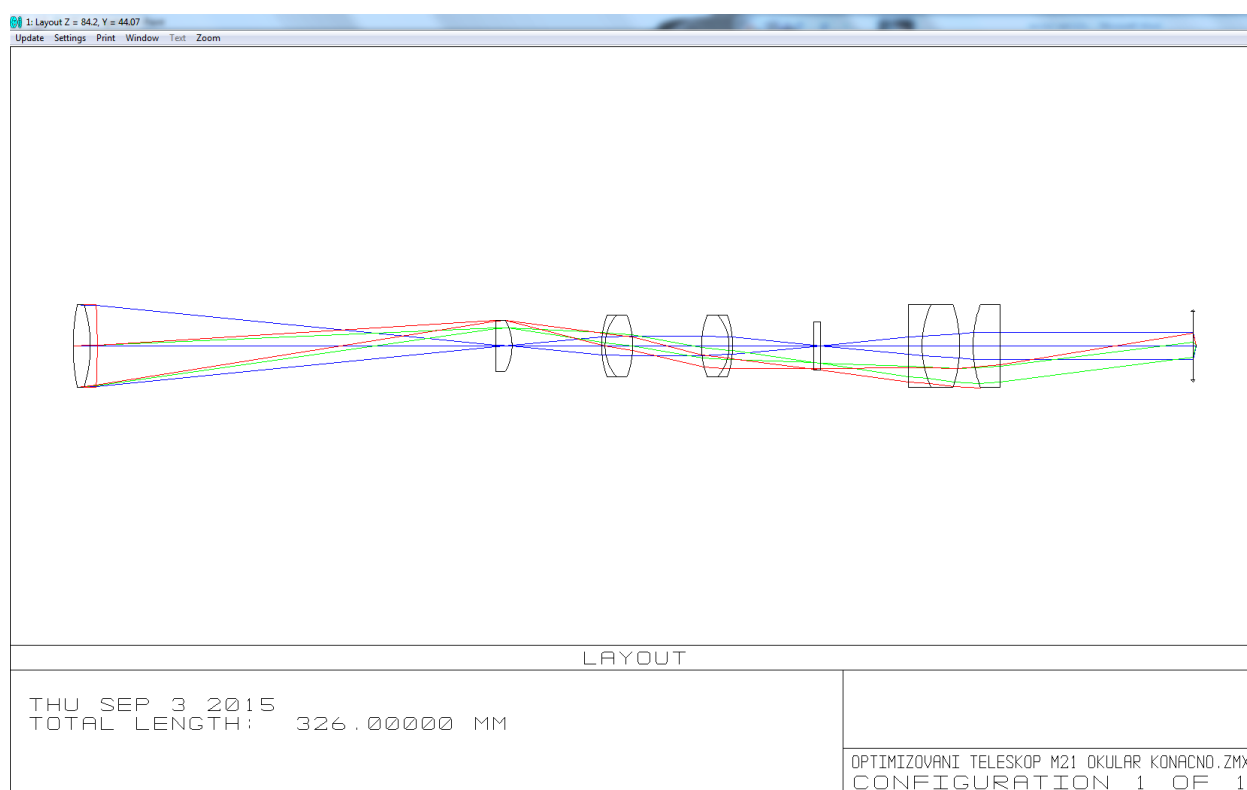
Слика 2. 60. Дефинисани подаци за оптимизовани телескопски систем

Преглед оцене квалитете пројектованог телескопског система помоћу *Spot Dijagrama* који је приказан на слици 2.61.



Слика 2. 61. Spot Dijagrama за оптимизовани телескопски систем

И на крају је на слици 2.62 приказана оптичка шема пројектованог телескопског система.



Слика 2. 62. Оптичка шема прихватљивог решења телескопског система

2.7. Упоредна анализа усвојеног телескопског система са већ постојећим решењима

У табели 2.15 биће престављени тактичко технички подаци пројектованог телескопског система и неких од постојећих решења оптичких нишана приказаних у тачки 1 овог рада.

Табела 2. 15. Приказ тактичко техничких података

	Јед.	Пројектовани телескопски систем	<i>CP1 prismatic scope</i>	<i>Specter M145</i>	<i>Spector OS 3.0</i>	<i>Sight Pro PTS1</i>	<i>3x25 QR-TS</i>	<i>Spitfire 3xPrism Scope</i>	<i>ПО 4x24 П</i>	<i>S330P 3x Ultra compact</i>
Приказан у табели			1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
Увећање		3 x	3 x	3,4 x	3,1 x	3 x	3 x	3 x	4 x	3 x
Угао видног поља	°	7	6	8	6	7	6	6	12	Нема податка
Удаљеност ока	mm	56	82	70	66	80	89	79	42	75
Пречник објектива	mm	24	32	28	Нема податка	32	25	30	21	30
Излазни отвор	mm	8	10.6	8,5	8	13	8,25	Нема податка	6	Нема податка
Дужина	mm	269	146	182	135	115	143	140	186	127

На основу података престављених у табели 2.15 видимо да пројектовани телескопски систем не одступа од већ постојећих оптичких нишана по већини упоредних параметара, једино одступање је мало већа дужина.

Упоредна анализа квалитета лика који формира пројектовани телескопски систем урађена је са оптичким нишаном *DIN M21*.

Табела 2. 16. Упоредна анализа квалитета пројектованог лика

	Пројектовани телескопски систем		<i>DIN M21</i>	
	<i>RMS</i>	<i>GEO</i>	<i>RMS</i>	<i>GEO</i>
	[mrad]	[mrad]	[mrad]	[mrad]
На оси	1.718	3.405	0.291	0.538
На $0,7 \cdot \omega_{max}$	3.039	5.928	3.153	6.606
На ω_{max}	7.683	15.218	5.167	11.078

На основу података приказаних у табели 2.16 видимо да пројектовани телескопски систем има нешто лошије резултате од постојећег оптичког нишана *DIN M21*.

3. ТЕХНОЛОШКА ДОКУМЕНТАЦИЈА

У овај тачки рада престављени су оптички цртежи сваког сочива и склопни цртежи дублеа са дефинисаним оптичким толеранцијама као и цртеж целог телескопског система са приказанм периферним дебљинама оптичких елемената и растојањима између њих. Пошто у Србији не постоји стандард који дефинише оптичке толеранције, користе се немачки *DIN 3140* стандард који уводи следеће конструктивне толеранције и означава их редним бројевима:

- Са 1 означени су мехури
- Са 2 означени су власови у стаклу
- Са 3 означене су грешке налегања
- Са 4 означено је центрирање
- Са 5 означене су површинске грешке
- Са 6 означени су напони у стаклу

Мехури су шупљине у материјалу, најчешће су кружног облика, сви оштро ограничени укључци у стаклу могу се сматрати мехурима. Ознака мехура је $1 / A \times S$, где је A количина мехурова, а S степенски број који означава величину мехура.

Под површинским грашкама се подразумевају недостаци фине структуре површине оптичког елемента. Ту спадају окрзотине, рисеви, власови, јамице, флеке и расечени мехури. Ознака површинских грешака је $5 / A \times S$ где је A количина грешака, а S степенски број који означава величину.

Под грешком у налегању подразумева се одступање оптичке површине од површине контролног елемента, односно калибра. Одступање је одређено количином и начином сврставања интерференционих пруга које настају када се растојање ових површина промени за више од половине таласне дужине.

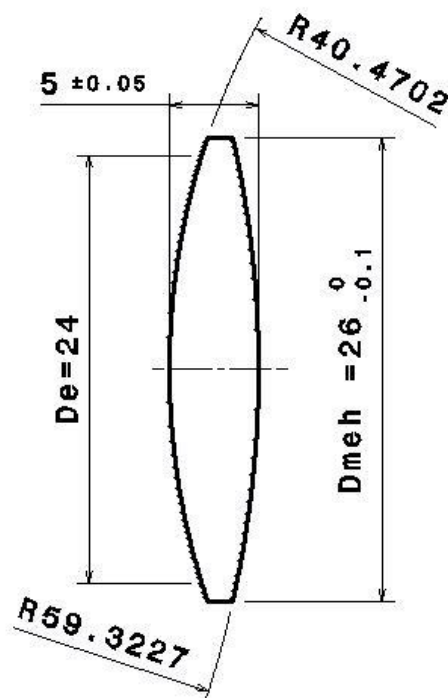
Зависно од врсте одступања грешке налегања могу бити:

- Грубе $3 / A (-)$, где је A максимално дозвоњени број пруга.
- Закономерне $3 / A (B)$ -, где је B гранична вредност за максималну дозвољену разлику између броја пруга у два међусобно управна правца.
- Фине $3 / A (B) C$ где је C гранична вредност за дозвољене фине грешке налегања у десетим деловима растојања пруга.

Толеранција дебљина оптичког елемента се креће од 0,1mm за прецизне елементе па на више.

Толеранције центрирања су:

- толеранције пречника оптичког елемента који би требало да буду од +0,0 до -0,3 mm или уже.
- Толеранције поклапања оптичке осе са механичком осом, означена је карактеристичним бројем 4 и максималном дозвољеном вредности угла између оса која се даје у угаоним минутима. [1]

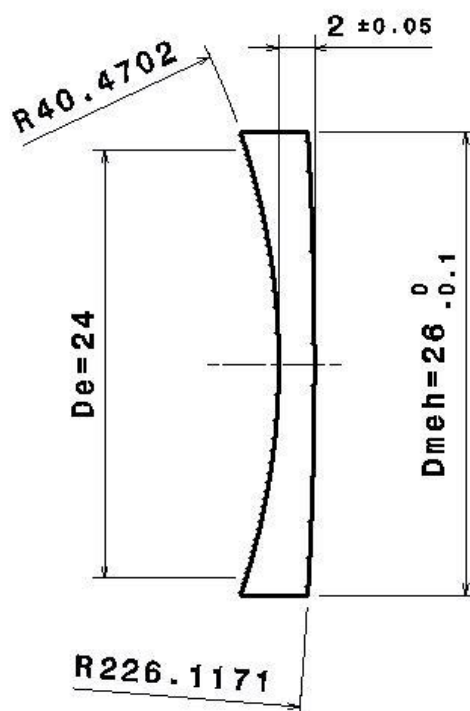


DIMENZIJE U MILIMETRIMA

LEVA POVRŠINA	MATERIJAL	DESNA POVRŠINA
R=40.4702 D _e =24 3/3(0.5) 4/0.005 5/2x0.1 6/	STAKLO: BK 7 n= 1.5168 v=36.37 0/ 1/3x0.0025 2/2	R=59.3227 D _e =24 3/3(0.5) 4/0.005 5/2x0.1 6/

CRTEŽ PO ISO 10110 STANDARDU

DATUM	RAZMERA	CRTAO	ODOBRIO	
3.09.2015	3:1	Sreten Tokić	prof. Darko Vasiljević	
NASLOV				
SABIRNO SOČIVO OBJEKTIVA				PROJEKTOVANI TELESKOPSKI SISTEM
CRTEŽ BR.				
1/13				

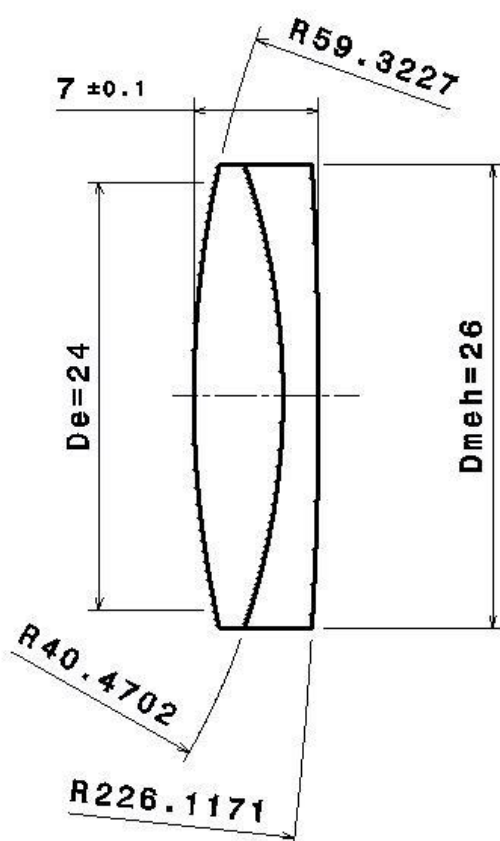


DIMENZIJE U MILIMETRIMA

LEVA POVRŠINA	MATERIJAL	DESNA POVRŠINA
$R=24,4702$ $D_e=24$ $3/3(0.5)$ $4/0.005$ $5/2 \times 0.1$ $6/$	STAKLO: SF 2 $n=1.64769$ $v=33.85$ $0/$ $1/3 \times 0.0025$ $2/2$	$R=226,1171$ $D_e=24$ $3/3(0.5)$ $4/0.005$ $5/2 \times 0.1$ $6/$

CRTEŽ PO ISO 10110 STANDARDU

DATUM	RAZMERA	CRTAO	ODOBRIO	
3.09.2015	3:1	Sreten Tokić	prof. Darko Vasiljević	
NASLOV				
RASIPNO SOČIVO OBJEKTIVA				PROJEKTOVANI
CRTEŽ BR.				TELESKOPSKI SISTEM
2/13				

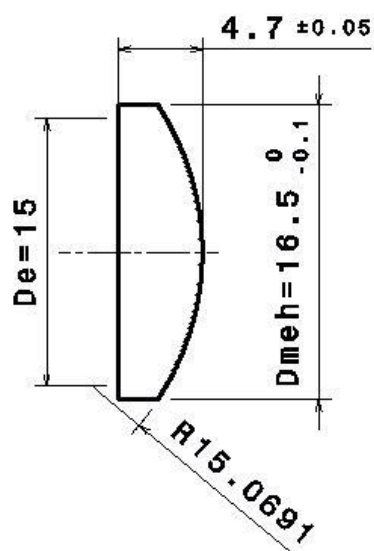


DIMENZIJE U MILIMETRIMA

LEVA POVRŠINA	MATERIJAL 1	SREDNJA POVRŠINA	MATERIJAL 2	DESNA POVRŠINA
R=59.3227 D _e =24 3/3(0,5) 4/0,005 5/2x0,1 6/	STAKLO: BK 7 n ₁ =1,5168 v ₁ =64,17 0/ 1/3X0,0025 2/2	R=40.4702 D _e =24 3/3(0,5) 4/0,005 5/2x0,1 6/	STAKLO: SF2 n ₂ =1,647699 v ₂ =33,85 0/ 1/3x0,0025 2/2	R=226.1171 D _e =24 3/3(0,5) 4/0,005 5/2x0,1 6/

CRTEŽ PO ISO 10110 STANDARDU

DATUM	RAZMERA	CRTAO	ODOBRIO	
3.09.2015	3:1	Sreten Tokić	prof. Darko Vasiljević	
NASLOV				
DUBLE OBJEKTIVA				PROJEKTOVANI TELESKOPSKI SISTEM
CRTEŽ BR.		3/13		

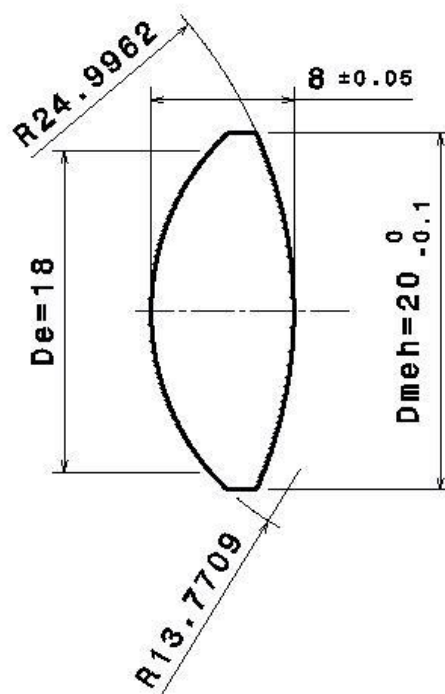


DIMENZIJE U MILIMETRIMA

LEVA POVRŠINA	MATERIJAL	DESNA POVRŠINA
$R =$ $D_e = 15$ $3/3(0.5)$ $4/0.005$ $5/2 \times 0.1$ $6/$	STAKLO: BK 7 $n = 1.5168$ $v = 36.37$ $0/$ $1/3 \times 0.0025$ $2/2$	$R = 15.0691$ $D_e = 15$ $3/3(0.5)$ $4/0.005$ $5/2 \times 0.1$ $6/$

CRTEŽ PO ISO 10110 STANDARDU

DATUM	RAZMERA	CRTAO	ODOBRIO	
3.09.2015	3:1	Sreten Tokić	prof. Darko Vasiljević	
NASLOV				
KOLEKTORSKO SOČIVO				PROJEKTOVANI
CRTEŽ BR.				TELESKOPSKI SISTEM
4/13				

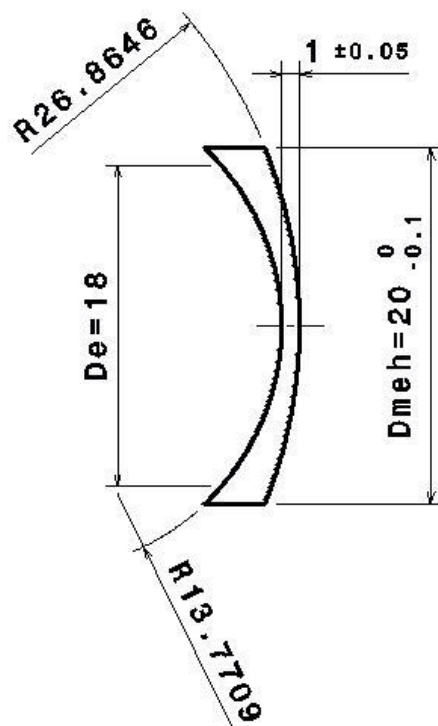


DIMENZIJE U MILIMETRIMA

LEVA POVRŠINA	MATERIJAL	DESNA POVRŠINA
$R=13.7709$ $D_e=18$ $3/3(0.5)$ $4/0.005$ $5/2 \times 0.1$ $6/$	STAKLO: BK 7 $n=1.5168$ $v=36.37$ $0/$ $1/3 \times 0.0025$ $2/2$	$R=24.9962$ $D_e=18$ $3/3(0.5)$ $4/0.005$ $5/2 \times 0.1$ $6/$

CRTEŽ PO ISO 10110 STANDARDU

DATUM	RAZMERA	CRTAO	ODOBRIO	PROJEKTOVANI TELESKOPSKI SISTEM
3.09.2015	3:1	Sreten Tokić	prof. Darko Vasiljević	
NASLOV				
SABIRNO SOČIVO OBRTNOG SISTEMA				PROJEKTOVANI TELESKOPSKI SISTEM
CRTEŽ BR.		5/13		

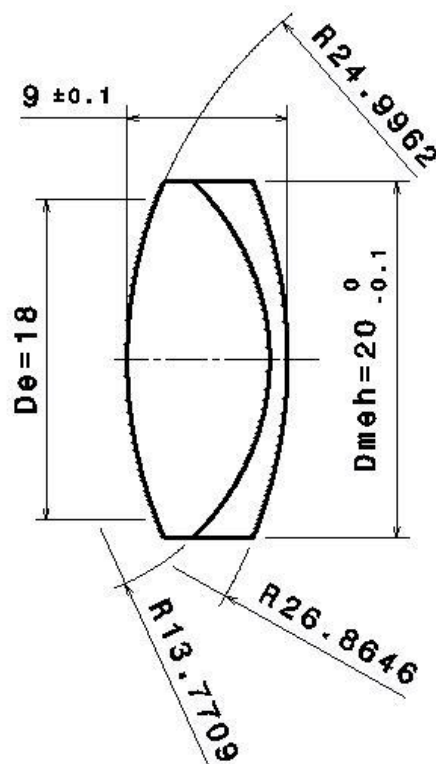


DIMENZIJE U MILIMETRIMA

LEVA POVRŠINA	MATERIJAL	DESNA POVRŠINA
R=13.7709 D_e=18 3/3(0.5) 4/0.005 5/2x0.1 6/	STAKLO: SF 2 n=1.64769 v=33.85 0/ 1/3x0.0025 2/2	R=26.8646 D_e=18 3/3(0.5) 4/0.005 5/2x0.1 6/

CRTEŽ PO ISO 10110 STANDARDU

DATUM	RAZMERA	CRTAO	ODOBRIO	
3.09.2015	3:1	Sreten Tokić	prof. Darko Vasiljević	
NASLOV				
RASIPNO SOČIVO OBRTNOG SISTEMA				PROJEKTOVANI
CRTEŽ BR.				TELESKOPSKI SISTEM
6/13				

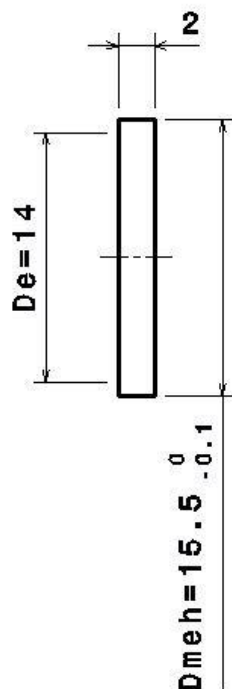


DIMENZIJE U MILIMETRIMA

LEVA POVRŠINA	MATERIJAL 1	SREDNJA POVRŠINA	MATERIJAL 2	DESNA POVRŠINA
R=24.9962 D _e =18 3/3(0,5) 4/0,005 5/2x0,1 6/	STAKLO: BK 7 n ₁ =1,5168 v ₁ =64,17 0/ 1/3X0,0025 2/2	R=13.7709 D _e =18 3/3(0,5) 4/0,005 5/2x0,1 6/	STAKLO: SF2 n ₂ =1,647699 v ₂ =33,85 0/ 1/3x0,0025 2/2	R=26.8646 D _e =18 3/3(0,5) 4/0,005 5/2x0,1 6/

CRTEŽ PO ISO 10110 STANDARDU

DATUM	RAZMERA	CRTAO	ODOBRIO	
3.09.2015	3:1	Sreten Tokić	prof. Darko Vasiljević	
NASLOV				
DUBLE OBRTNOG SISTEMA				PROJEKTOVANI TELESKOPSKI SISTEM
CRTEŽ BR.				
7/13				

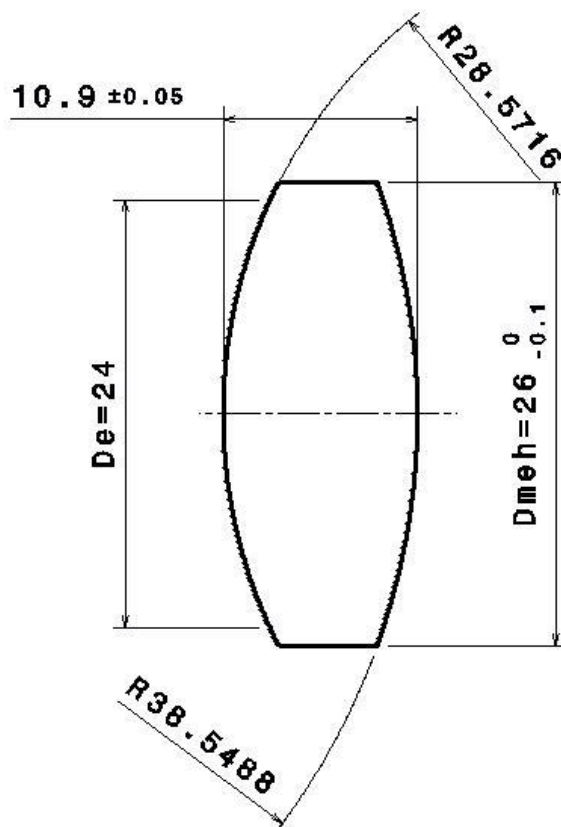


DIMENZIJE U MILIMETRIMA

LEVA POVRŠINA	MATERIJAL	DESNA POVRŠINA
R= D_e=14 3/3(0.5) 4/0.005 5/2x0.1 6/	STAKLO: BAK 4 n=1.568830 v=56.13 0/ 1/3x0.0025 2/2	R= D_e=14 3/3(0.5) 4/0.005 5/2x0.1 6/

CRTEŽ PO ISO 10110 STANDARDU

DATUM	RAZMERA	CRTAO	ODOBRIO	
3.09.2015	3:1	Sreten Tokić	prof. Darko Vasiljević	
NASLOV				
KONČANICA				PROJEKTOVANI
CRTEŽ BR.				TELESKOPSKI SISTEM
8/13				

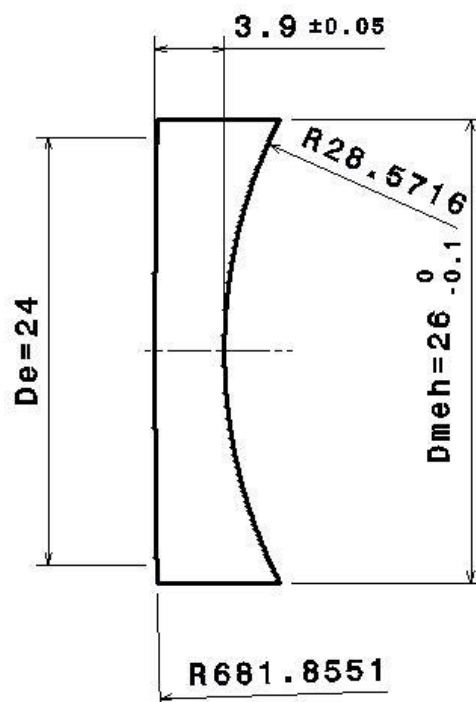


DIMENZIJE U MILIMETRIMA

LEVA POVRŠINA	MATERIJAL	DESNA POVRŠINA
R=28.5716 D _e =24 3/3(0.5) 4/0.005 5/2x0.1 6/	STAKLO: BK 7 n= 1.5168 v=36.37 0/ 1/3x0.0025 2/2	R=38.5488 D _e =24 3/3(0.5) 4/0.005 5/2x0.1 6/

CRTEŽ PO ISO 10110 STANDARDU

DATUM 3.09.2015	RAZMERA 3:1	CRTAO Sreten Tokić	ODOBRIO prof. Darko Vasiljević	
NASLOV SAB. SOČIVO KOLEKTORA OKULARA				PROJEKTOVANI TELESKOPSKI SISTEM
CRTEŽ BR. 9/13				

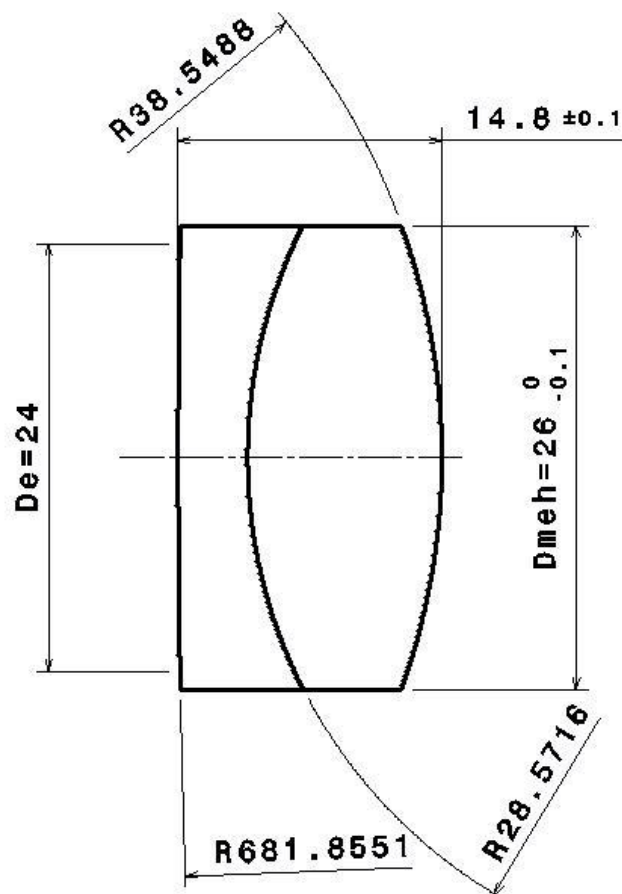


DIMENZIJE U MILIMETRIMA

LEVA POVRŠINA	MATERIJAL	DESNA POVRŠINA
R=681.8551 D _e =24 3/3(0.5) 4/0.005 5/2x0.1 6/	STAKLO: SF 2 n=1.64769 v=33.85 0/ 1/3x0.0025 2/2	R=28.5716 D _e =24 3/3(0.5) 4/0.005 5/2x0.1 6/

CRTEŽ PO ISO 10110 STANDARDU

DATUM	RAZMERA	CRTAO	ODOBRIO	PROJEKTOVANI TELESKOPSKI SISTEM
3.09.2015	3:1	Sreten Tokić	prof. Darko Vasiljević	
NASLOV				
RAS. SOČIVO KOLEKTORA OKULARA				PROJEKTOVANI TELESKOPSKI SISTEM
CRTEŽ BR.		10/13		

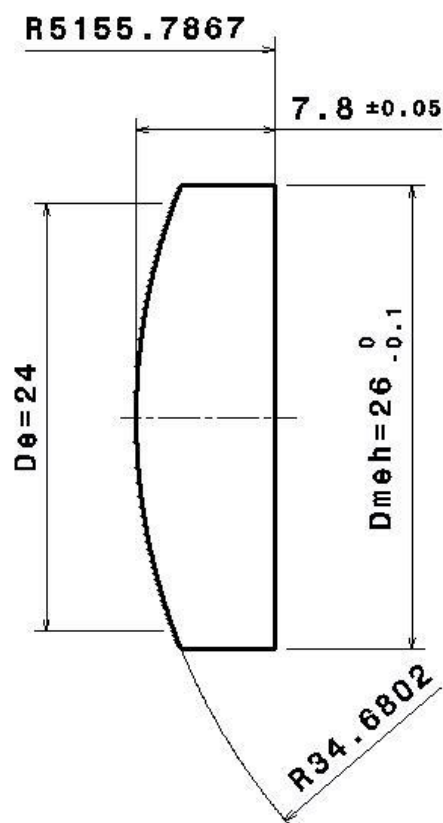


DIMENZIJE U MILIMETRIMA

LEVA POVRŠINA	MATERIJAL 1	SREDNJA POVRŠINA	MATERIJAL 2	DESNA POVRŠINA
R=681.8551 D _e =24 3/3(0,5) 4/0,005 5/2x0,1 6/	STAKLO: SF 2 n ₁ =1,164769 v ₁ =33.85 0/ 1/3X0,0025 2/2	R=28.5716 D _e =24 3/3(0,5) 4/0,005 5/2x0,1 6/	STAKLO: BK 7 n ₁ =1,5168 v ₁ =64,17 0/ 1/3X0,0025 2/2	R=38.5488 D _e =24 3/3(0,5) 4/0,005 5/2x0,1 6/

CRTEŽ PO ISO 10110 STANDARDU

DATUM	RAZMERA	CRTAO	ODOBRIO	
3.09.2015	3:1	Sreten Tokić	prof. Darko Vasiljević	
NASLOV				
DUBLE KOLEKTORA OKULARA				PROJEKTOVANI TELESKOPSKI SISTEM
CRTEŽ BR.		11/13		

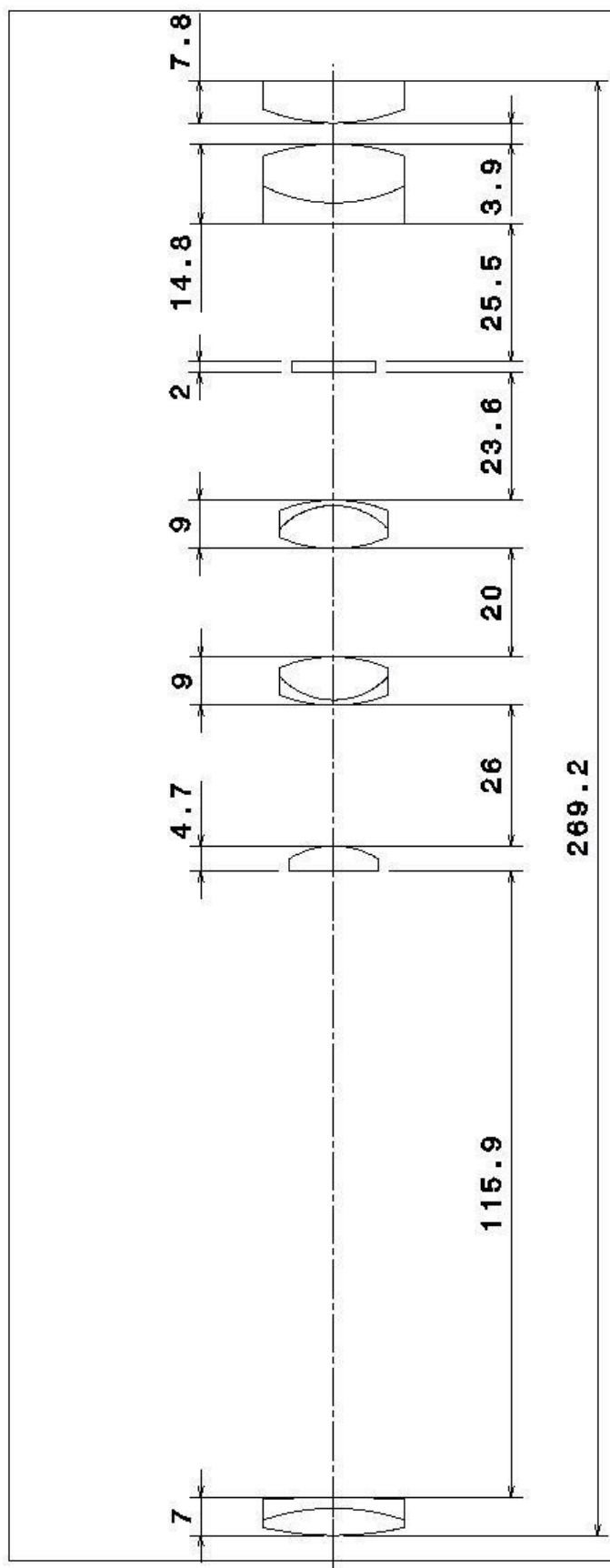


DIMENZIJE U MILIMETRIMA

LEVA POVRŠINA	MATERIJAL	DESNA POVRŠINA
R=34.6802 D _ø =24 3/3(0.5) 4/0.005 5/2x0.1 6/	STAKLO: BAK 1 n=1.5725 v=57.55 0/ 1/3x0.0025 2/2	R=5155.7867 D _ø =24 3/3(0.5) 4/0.005 5/2x0.1 6/

CRTEŽ PO ISO 10110 STANDARDU

DATUM	RAZMERA	CRTAO	ODOBRIO	
3.09.2015	3:1	Sreten Tokić	prof. Darko Vasiljević	
NASLOV				
OČNICA OKULARA				PROJEKTOVANI TELESKOPSKI SISTEM
CRTEŽ BR.		12/13		



CRTEŽ PO ISO 10110 STANDARDU

DATUM	RAZMERA	CRTAO	ODOBRIO
3.09.2015	1:1	Sreten Tokić	prof. Darko Vasiljević
NASLOV	TELESKOPSKI SISTEM		
CRTEŽ BR.	13/13		
PROJEKTOVANI			TELESKOPSKI SISTEM

ЗАКЉУЧАК

У раду је поред приказа неких од савремених оптичких нишана са тактичко техничким и конструкционим карактеристикама приказана и упорена анализа из које се види:

- да се увећање оптичких нишана креће од 3 до 4 пута,
- да се угао видног поља креће од 6 до 12 степени,
- да се удаљеност ока од окулара креће од 42 до 89 милиметара,
- да се величина излазног отвора креће од 6 до 13 милиметара,
- да се дужина оптичких нишана креће од 115 до 186 милиметара,
- да се тежина оптичких нишана креће од 380 до 700 грама,
- да је температурни опсег од -20 до 50 степени целзијуса.

На основу те анализе су усвојени полазни подаци за пројектовање телескопског система, чији је поступак приказан, и кроз неколико варијација дошло се до прихватљивог решења телескопског система који је усвојен.

Усвојен телескопски систем се по својим тактичко техничким карактеристикама битно не разликује од већ постојећих оптичких нишана те врсте. Што се квалитета лика који формира тиче дао је сасвим задовољавајуће резултате што га карактерише као погодног како за војну тако и за цивилну употребу.

Приказани поступак, прорачуна, постављања оптичких компоненти и телескопског система, као и његова оптимизација у програму *ZEMAX*, примењив је и за пројектовање било ког Кеплеровог телескопског система са сочивним обртним системом.

На основу приказане технолошке документације са задатим толеранциским мерама може се пројектовати технолошки поступак за производњу оптичких компоненти. Као и за пројектовање механичких делова оптичког нишана као што су кућиште и покретни склопови за померање кончанице и окулара ради подешавања нишана.

Литература

- [1] др. Дарко Васиљевић дипл. инж. *Опички уређаји и оптоелектроника*, уџбеник, Машински факултет Београд 2005
- [2] др. Дарко Васиљевић дипл. инж и мр. Јанез Глобић дипл. инж. *Савремени оптички нишани пешадиских аутоматских пушака*, научно техничка информација, Београд 2004
- [3] https://www.sigsauer.com/upFiles/CmsContent/documents/CP1_PrismaticScope8500857_HR%20copy.pdf (јул 2015)
- [4] <http://imageck.com/389537006-sig-sauer-cp1-prismatic-scope.html> (јул 2015)
- [5] <http://www.sportsmansguide.com/product/index/sig-sauer-tactical-cpi-ar-15-prismatic-sight-black?a=1312974> (јул 2015)
- [6] <http://www.armament.com/specter-m145-0> (јул 2015)
- [7] https://www.simmonsle.com/cart/home/product_details/261/specter_m145.html (јул 2015)
- [8] <http://www.webyshops.com/brand/Elcan-Specter-Scopes-brand/ELCAN-M145-3-4x-Optical-Sight-M4-Reticle-Torque-Knob-Mount-ELCM145M4.html> (јул 2015)
- [9] <http://www.armament.com/specter-3x-optical-sight-0> (јул 2015)
- [10] <http://www.opticsplanet.com/elcan-specter-combat-optical-system-3x-illuminated-crosshair-reticle-with-rapid.html> (јул 2015)
- [11] <http://thegunstore.ca/shop/product/elcan-specter-combat-optical-system-3x-illuminated-crosshair-reticle-with-rapid-aiming-atos3-0a2/> (јул 2015)
- [12] <http://www.policeone.com/police-products/firearms/accessories/articles/7273801-Konus-SightPro-PTS1-An-excellent-choice-for-the-patrol-carbine/> (јул 2015)
- [13] <http://www.midwayusa.com/product/637974/konus-sightpro-pts1-prism-sight-30mm-tube-3x-32mm-red-green-and-blue-illuminated-ballistic-reticle-with-integral-weaver-style-mount-matte> (јул 2015)
- [14] <http://www.benel.eu/webshop/riflescopes/red-dot-riflescope/konus-red-dot-riflescope-sightpro-pts1.html> (јул 2015)
- [15] <https://usarmorment.com/ior-qrts-3x25-30mm-compact-illuminated-cqb-reticle-p-1565.html>
- [16] <https://www.outdoorsbay.com/product/valdada-3x25-30mm-qr-ts-bdc-223-scope-illuminated-cqb-reticle> (јул 2015)
- [17] <http://www.vortexoptics.com/product/vortex-spitfire-3x-prism-scope-with-ibr-556b-moa-reticle> (јул 2015)
- [18] https://www.sniper-as.de/product/VORTEX/Spitfire_3x_Prism_Scope/id/20846 (јул 2015)
- [19] <http://www.sportsmansguide.com/product/index/vortex-3x32mm-spitfire-waterproof-red-dot-tactical-sight?a=1722818> (јул 2015)
- [20] <http://russianoptics.net/PO4x24P.html> (јул 2015)
- [21] http://belomo.by/en/catalog/optical-and-optoelectronic-products/pricely_opticheskie_dlya-strelkovogo_oruziya/po_4_24p (јул 2015)
- [22] <http://www.monstrumtactical.com/3x-ultra-compact-prism-scope-black.html> (јул 2015)
- [23] др. Дарко Васиљевић дипл. инж. и др. Богдан Недић дипл. инж. *Пројектовање телескопских система*, дело у штампи, Универзитет у Крагујевцу