

2d 26

Dd 26

DOKTORSKA DISERTACIJA  
Kontić Ing. Slobodana

PRILOG REŠENJU PROBLEMA POVEĆANJA  
TAČNOSTI, EFIKASNOSTI I DOMETA KOD  
GEODETSKIH MERENJA UPOTREBOM INFRA-  
CRVENIH SVETLOSTI

1. Osobine i prednost infracrvene nad običnom za oko vidljivom svetlošću.
2. Povećanje tačnosti kod preciznih merenja i smanjenje veličine refrakcije, upotrebom infracrvenih zraka za liniju vizure.
3. Povećanje efikasnosti i dometa upotrebom svetlosti većih talasnih dužina kod preciznih merenja (uglova, odsečaka).
4. Projekat i proračun durbina kod instrumenata za korišćenje infracrvenih zraka.
5. Literatura.



## 1.) Osobine i prednosti infracrvene sni običnom za oko vidljivom svetlošću

Jedna od najvećih teškoća koja se pojavljuje prilikom geodetskih merenja su nepovoljne vremenske prilike koje smanjujući vidljivost ometaju rad i smanjuju tačnost rezultata merenja, a samim tim i poskupljuju radove. One se mogu manifestovati preko magle ili smagalice, dima, slabe vidljivosti i mraka. U ovim slučajevima se ne mogu vršiti nikakva merenja. Ukoliko se merenja ipak izvrše ona su smanjive tačnosti, jer je prelamanje linije vizure (vidljive svetlosti) kroz vazdušne slojeve različitih gustina, na koje ona nailazi na svom putu, veoma veliko. Ako bi uspeali da pri merenju (opažanju pravca) postignemo da se vizura materijalizuje pomoću infracrvene svetlosti, onda bi uticaj gore navedenih uzroka bio sveden na vrlo malu veličinu, u odnosu na dosadašnje veličine tih uticaja. U tom slučaju merenja bi se mogla vršiti u svako doba dana i noći i pod gotovo svim atmosferskim uslovima. Zato, da vidimo najpre njihove osobine.

### 1.1) Osobine svetlosnih zraka

Sunčeve radijacije delimo na vidljive i nevidljive za naše oko. Ove radijacije, koje nam sunce šalje, poredjane su u odnosu na svoju talasnu dužinu  $\lambda$  u jednoj skali, i samo je jedan, jedanaesti deo te skale zahvaćen zracima koji su vidljivi za naše oko. Spektar vidljive svetlosti, čija se talasna dužina  $\lambda$  kreće od  $4 \times 10^2$  do  $7 \times 10^2$  nm, nailazi se na skali od ljubičaste do crvene boje, a ostale radijacije oko ovog dijapazona vidljivog spektra (čiji se izvestan deo može pod odredjenim uslovima učiniti vidljivim) su ultraljubičaste i infracrvene. Obe ove radijacije su nevidljive za naše oko pod normalnim uslovima ali se može učiniti vidljivim jedan njihov deo i mogu se proizvesti veštačkim putem.

Spektar radijacija sa talasnim dužinama većim od  $7 \times 10^2$  nm, a manjim od  $30 \times 10^2$  nm zove se bliska i dalja infracrvena svetlost. Ona je toplotnog karaktera i mnogo

prodornija od radijacija talasnih dužina manjih od:  $7 \times 10^2$  nm, vidi: /81/, /52-II/, /82-62/8-63/, /84-58/3/, /73/, /22/, /26/, /27/, /30/, /36/. Jedan deo infracrvene svetlosti do  $\lambda = 1.300$  nm može se pretvoriti u vidljive, za naše oko, zrake. Ovi infracrveni zraci, kao i vidljiva svetlost, imaju tu osobinu da se odbijaju od nekih tvrdih predmeta na koje pri svom putu nailidju, kao i da se prelamaju pod izvesnim uslovima, samo što je ugao, odnosno indeks njihovog prelamanja, mnogo manji od odgovarajućeg ugla prelamanja vidljivih svetlosnih zraka, tako da iste obrasce, koji važe za prelamanje i odbijanje vidljive svetlosti, uz neke male korekcije možemo koristiti, na primer, kod raznih optičkih proračuna. Ako bi ispred homogenog sunčevog spektra poredjali različite materijale, sa različitim gustinama i različitom homogenošću njihove strukture, kroz izvesne materijale homogen sunčev spektar bi prošao, ali bi po izlasku bio nehomogen i promenjenog pravca za svaku pojedinu talasnu dužinu. Kroz druge materijale jedan deo ovog spektra prošao bi sa promenjenim pravcem dok bi drugi bio njima odbijen ili upijen. Iz ispitivanja vršenih u raznim institutima i literature: /1A/, /4/, /11/, /26/, /30/, /34/, /36/, /41/, /45/, /56/, /69/, /70/w, /52-II/, /71/, /72/, /73/, /74/, /77/, /78/, /81/, /82/, /84/ i /85/, koju sam u ovoj studiji koristio vidi se da prolazak ili neprolazak, kao i veličina te promene pravca datih radijacija, predstavljaju funkciju talasne dužine samih radijacija i funkciju strukture materije kroz koju one treba da prodju na putu svoga prostiranja. Maksimalni mogući ugao prelamanja radijacije zavisi od indeksa prelamanja, pošto se ovaj sa porastom talasne dužine smanjuje, tako će inati veći ugao prelamanja, odnosno više će se lomiti zraci sa kraćim talasnim dužinama i obratno. Iz ovoga proizilazi da ako bi upotrebili zrake sa većim talasnim dužinama  $\lambda_i$  imali bi manje lomljenje zraka-vizure prilikom njenog prelaska kroz rezne gustine vazdušnih slojeva. Međutim, da bi mogli da koristimo ove zrake moramo najpre te nevidljive zrake pretvoriti u vidljive, tj. vidljive za čoveče oko. To pretvaranje nevidljivog spektra u vidljivi je ograničeno opet sa talasnom dužinom i zavisi od usavršenja izrade, hemijskog sastava materije, pretvarača, o čemu će biti reči u poglavlju 4. Iz sledećih ispitivanja se vidi zavisnost veličine indeksa prelamanja radijacija od talasnih dužina, kao i sastava sloja kroz koji one prolaze. S obzirom da možemo pretpostaviti da je i vazduh sastavljen od slojeva različite gustine i sastava, to svaki takav sloj možemo smatrati kao jedan odvojeni materijal koji će se ponašati kao i ove ispitivane, i koji će dati analogne rezultate. Ovaj podatak služiće kao osnova za izvođenje matematičkog obrasca za veličinu refrakcije.

1.2) O prolasku i veličini prelamanja zračenja

Analizirajući veličine indeksa prelamanja kao funkcije talasnih dužina, izvršenih ispitivanja citiranih u napred pomenutoj literaturi može se izvesti sledeći izvod: promena veličine upotrebljene talasne dužine od:  $\lambda_0 = 500$  n.m. do  $\lambda_i = 1.000$  n.m. indeksi prelamanja menjaju se za:

vazduh  $\Delta n = - 0,00013$  (pod normalnim uslovima)

litijum fluorid:  $\Delta n = - 0,00719$  ( $t = 23^\circ$ )

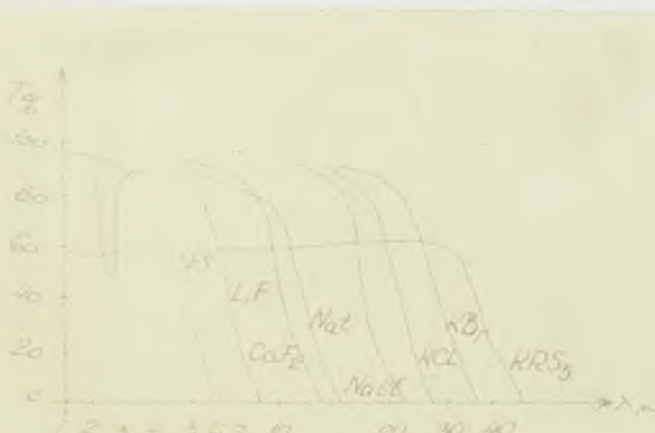
SFS1:  $\Delta n = - 0,07591$

Prirodni fluorit:  $\Delta n = - 0,0055$

Kron  $\Delta n = - 0,0156$

KRS-5  $\Delta n = - 0,1555$

Kao što se vidi, što je gušća sredina i veća mešavina raznih vrsta materijala za jednu istu veličinu  $\Delta \lambda_i$ , raste ogroman promena odgovarajuće veličine indeksa prelamanja. U ovim slučajevima upotrebom zračenja kraćih talasnih dužina dolazi do velikog prelamanja odgovarajućeg zračenja a u nekim slučajevima uopšte i ne dolazi do prelamanja zračenja. Tada dotične materije ili sredine postaju neprozračne za dotično zračenje. Do ovakvog zaključka je posebno lako doći ako se analiziraju dijagrami navedenih ispitivanja u /14/ i /34/ o propustljivosti zračenja raznih talasnih dužina. Specijalno je ovo dobro izraženo u podacima kod: /43/, /82-19<sup>52</sup>-2,3,5,8/, /87/ i /27/. Ilustracije radi evo nekih od tih dijagrama:



Sl. 11. Specijalna propustljivost materijala debljine 10mm



Sl. 12. Indeks prelamanja dotičnih materijala

Iz navedenih ispitivanja se vidi da se za pomenom talasne dužine od svega 100 nm, tj. upotrebom infracrvene svetlosti talasne dužine = 1000 nm tzv. bliske oblasti infracrvenog spektra, smanjuje indeks prelamanja od veličine: - 0,00545 pa do veličine: - 0,1555, a što izraženo u uglovnoj meri u zavisnosti od dužine, iznosi priličnu veličinu, Ilustracije radi navodim sledeći prosti primer: neka je gradijent promene indeksa prelamanja  $g = \frac{\Delta n}{\Delta D}$  tako iz formule u /46/ dolazimo da je ugao skretanja pravca , ako se promeni indeks prelamanja u tom pravcu na dužini od  $\Delta D = 100$  za  $n = 10^{-3}$  pri  $n = 1,003$  (za vazduh) dobija se:  $\varphi'' = \frac{d}{R} = \frac{d}{n} g \cdot \rho'$  kada uzmemo za  $d = 1000$  m dobijamo  $\varphi'' = 1996''$ ; ako uzmemo za  $\Delta n = 10^{-4}$  tada je:  $\varphi'' = 200''$ ; što je sasvim realna promena veličine indeksa prelamanja u vazduhu na dužini od  $\Delta D = 100$  m. Međutim, kod velikih temperaturnih gradijenata, iznad gradskih ili \* izpresecanih terena, ili zasnučenih raznica pritiska vazduha, ta promena je mnogo veća, a samim tim i skretanje pravca linije vizure mnogo veće.

Iz ovoga proizilazi da zbog tih raznorodnih uzroka i sastava vazdušnog sloja, kroz koji bi prolazila linija vizure, ne bi bili u stanju da se vidimo vizirani signal, ili bi ga videli sasvim slabo, što je nedovoljno za merenje usled poznatih grešaka. Upotrebom infracrvene svetlosti mi bi bili u stanju da povećamo domet vidjenja i oštrinu likova i sasvim normalno vršimo viziranje, a samim tim i merenje.

Iz navedenog računa i ispitivanja navedenog u napred pomenutoj literaturi kao i narednog poglavlja 1.3, proizilazi zaključak da se infracrvena svetlost prostire kroz atmosferu mnogo lakše i po kraćem optičkom putu od obične vidljive svetlosti.

Međutim, i infracrvena svetlost je pri svome kretanju kroz atmosferu donekle podvrgnuta izvesnom delovanju dva faktora, tačno određena ispitivanjem, o kojima ću nešto više reći u narednom izlaganju.

Prvi faktor: pojava izvesne apsorpcije koju vrši vodena para, ugljeni gasovi i druge prisese.

Drugi faktor: izvesna difuzija, mada mnogo manjeg intenziteta nego što je to slučaj sa običnom vidljivom svetlošću.

Spektar apsorpcije vodene pare čini da se kroz atmosferu pojavljuju tzv. prozori vrlo dobre pro- vidnosti. Ali, pojava apsorpcije je ipak sekundarnog karaktera u odnosu na pojavu delovanja difuzije. Difu- zija do koje dolazi u području infracrvenog spektra mnogo je slabija od difuzije do koje dolazi na području vidljive svetlosti, usled delovanja poznatog Lambertovog zakona po kome je difuzija manja ukoliko je talasna du- žina veća i obratno. Koristeći se i poznatom jednačinom Rayleigova, /46/,  $I = I_0 \frac{K \lambda^2}{\lambda^4}$  koja daje vezu između ra- sute snage prema upadnom fluksu, vidi se da je difuzija obrnuto proporcionalna četvrtom stepenu talasne dužine upotrebljenog zračenja. Tako se talasi sa kraćom talas- nom dužinom rasipaju znatno više od talasa sa većom ta- lasnom dužinom.

gde je:  $\lambda$  = ZAPREMINA RASIPAJUĆIH ČESTICA  
 $K$  = KONSTANTA  
 $\lambda_0$  = TALASNA DUŽINA

Zbog toga i infracrveno zračenje ima vrlo dobro prenoše- nje - prolazak u odnosu na vidljivo sa naše oko i za vreme magle, a pogotovu kroz prašinom i dimom zamućenu atmosferu i sumaglicu kada se inače prekida svaki rad sa običnom vidljivom svetlošću.

Sve ovo donekle zavisi od dimenzija čestica koje se nalaze u atmosferi, čije dimenzije se kreću od 100 nm pa do 1000 nm i mnogo više u zavisnosti od više uslova o kojima će u narednom izlaganju nešto reći.

Kada su oblaci suvi, kada je magla i dim, kao i po lepom vremenu, ispitivanjem /1A/, /5/, /26/, /82/, /84/, /36/, /45/, /30/, /13/, /73/, /56/, /60/, /78/, /89/, /34/ je ustanovljeno da su ove čestice i sitna koloidna prašina manjeg prečnika od 100 nm, čak i mnogo manje. Pod ovakvim uslovima, a na osnovu izvršenih ispitivanja, izlazi da je dozet infracrvene svetlosti 4 do 8 puta veći od dozeta vidljive svetlosti.

Iz ovoga proizilazi da rad sa običnom vidljivom svetlošću ima dva velika nedostatka:

- 1) znatno ograničenje dozeta vidljivosti usled magle, sumaglice, mraka, prašine, dima itd.

- 2) smanjenje potrebne tačnosti kod mernih podataka, usled mnogo većeg prelamanja vizure kroz različite vazdušne slojeve, kao i većih grešaka visiranja.

Povećanje daljine vidljivosti, povećanje radnog vremena i smanjenje grešaka usled refrakcije, može se postići ako se za rad upotrebe oni zraci koji se odlikuju velikom talasnom dužinom, mnogo većom nego što je to slučaj kod vidljivog zračenja. Zbog ovog, da pogledamo detaljnije njihov prolazak kroz atmosferu sastavljenu od svih realnih uslova koji se sreću u prirodi.

### 1.3) PROLAZAK INFRACRVIENE SVETLOSTI KROZ ATMOSFERU

#### 1.3.1) Sastav atmosfere

Atmosfera predstavlja jednu vrstu mase sastavljene od smese: gasova, vazduha, vode (u svim vidovima) i lebdećih čestica organskog i neorganskog porekla. Veličina tih čestica kreće se od: 100 nm do 500 nm. Glavni sastavni delovi prizemnog dela atmosfere su: azot 78,03%, kiseonik 20,95%; argon 0,93% i neznatna količina od svega 1,02%: vodonika, ugljene kiseline, neona, helijuma i kriptona /26/, /30/, /36/, /60/. Sastav vodene pare u vazduhu menja se u zavisnosti od niza spoljnih uzroka, u zavisnosti od temperature vazduha, atmosferskih prilika i pritiska. U nižim slojevima atmosfere - vazduha, uvek postoje izvesne količine stranih primesa koje mogu biti mnogo manje nego od kapljica vode. One se pojavljuju i ulaze u sastav atmosfere prilikom kondenzacije vodene pare i to u vidu čestica dima, prašine organskog ili neorganskog porekla ili bakterija.

Različiti stepen koncentracije retkih čestica do vodi do obrazovanja dima, susaglice, magle različite gustine, oblaka i kiše.

Zbog postojanja ovih primesa atmosfera postaje mutna i neprozirna ili poluprozirna za prolazak sunčevih ili veštačkim putem stvorenih radijacija.

Mnogo krupnije od napred navedenih čestica retko se sreću u atmosferi, zato što one zbog svoje veličine vrlo brzo padaju na zemlju. Nagomilavanje čestica veličine reda ispod 500 nm u vazduhu čini dim, dok krupnije čestice



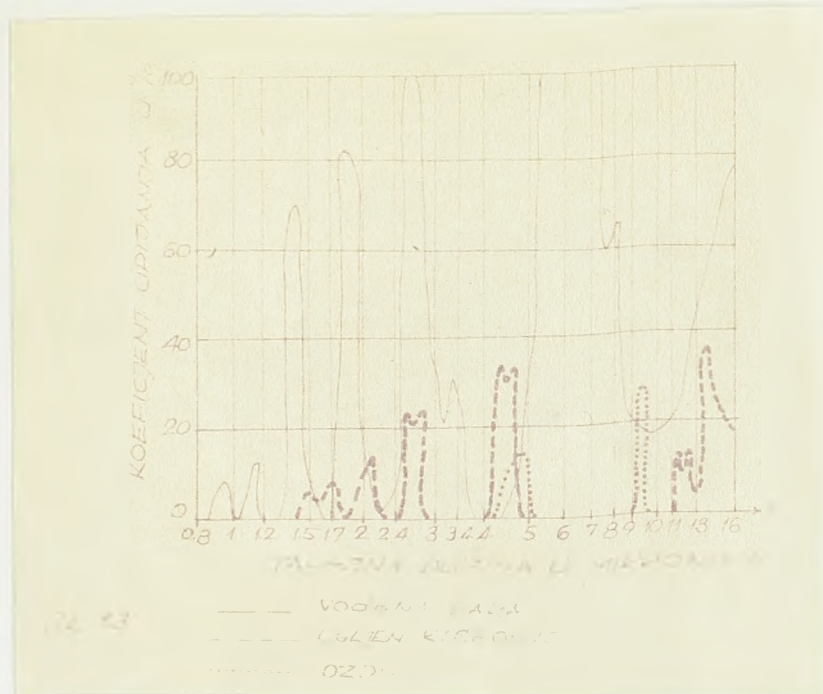
čine izmaglice i magle. Apsolutno čist vazduh nikada ne postoji. Glavni uzrok mutnoće atmosfere je zgušnjavanje vodene pare. Dok se vodena para nalazi u stanju gasa ona je prozračna kao i vazduh i tada utiče mnogo manje na prozračnost atmosfere. Kada pak vodena para počne da prelazi u vodu onda se u vazduhu nevidljive za čoveče oko postepeno počnu stvarati vodene kapi. I tada od poluprozračne ili prozračne atmosfere postaje matna atmosfera. Sitne i lake kapi mogu se dugo održati u vazduhu a da ne padnu i da se ne talože. Brzina njihovog padanja utvrđena ispitivanjem /26/, /30/ iznosi:  $v = 1,3 \cdot 10^6 r^2$  (cm/sek) gde je:  $r$  = radijus čestica u cm. Svetlost vidljiva za oko kao i infracrveni zraci pri svojem prolasku kroz atmosferu sreću na svom putu ove lebdeće čestice i delimično se od njih odbijaju, delimično bivaju njima upijena, a ostatak biva propušten. Veličina propuštene energije uglavnom zavisi od dimenzija tih čestica.

Kao rezultat ovoga, svetlost biva rasuta u raznim pravcima i zbog toga oslabljena, a dogodi se da čak i potpuno iščezne. Energiju prostirajuće i infracrvene svetlosti najjače oslabljuju čestice koje imaju dimenzije uporedive sa dimenzijama njihovih talasnih dužina. Ukoliko je po uporedjenju sa prečnikom lebdećih čestica u vazduhu veća talasna dužina, utoliko je manje rasipanje usled tih čestica, a samim tim biće i jasnija slika dobijena njima. Zbog toga se infracrveni zraci čija je talasna dužina mnogo veća od talasnih dužina obične vidljive svetlosti mnogo bolje prostiru kroz atmosferu i manje se lome prilikom svog prolaska kroz dim i redje magle.

### 1.3.2) Upijanje infracrvenih zraka

Infracrveni zraci prolazeći kroz zamućenu atmosferu i susrećući se na svom putu sa molekulima atmosferskih gasova, tvrdim česticama i kapima vode gube jedan deo svoje energije. Ukupni gubici energije sastoje se od gubitaka od upijanja i gubitaka od rasipanja. U čistom prozračnom vazduhu gubici izazvani upijanjem veoma su mali. Atmosfera upija različito infracrvene i vidljive zrake, jer se može dogoditi da izvesna sredina koja je prozračna za infracrvene zrake bude potpuno neprozračna za vidljive (što se vidi iz ispitivanja navedenih u poglavlju (1.2). Infracrvene zrake uglavnom najviše upijaju vodena para, ugljena kiselina i ozon. Ovo upijanje ima odabirajući karakter, tj.

zranci različitih talasnih dužina bivaju upijani na različiti način, što se dobro vidi iz eksperimentalno dobijenog (1.3) sledećeg dijagrama navedenog u: /13/, /26/, /36/:

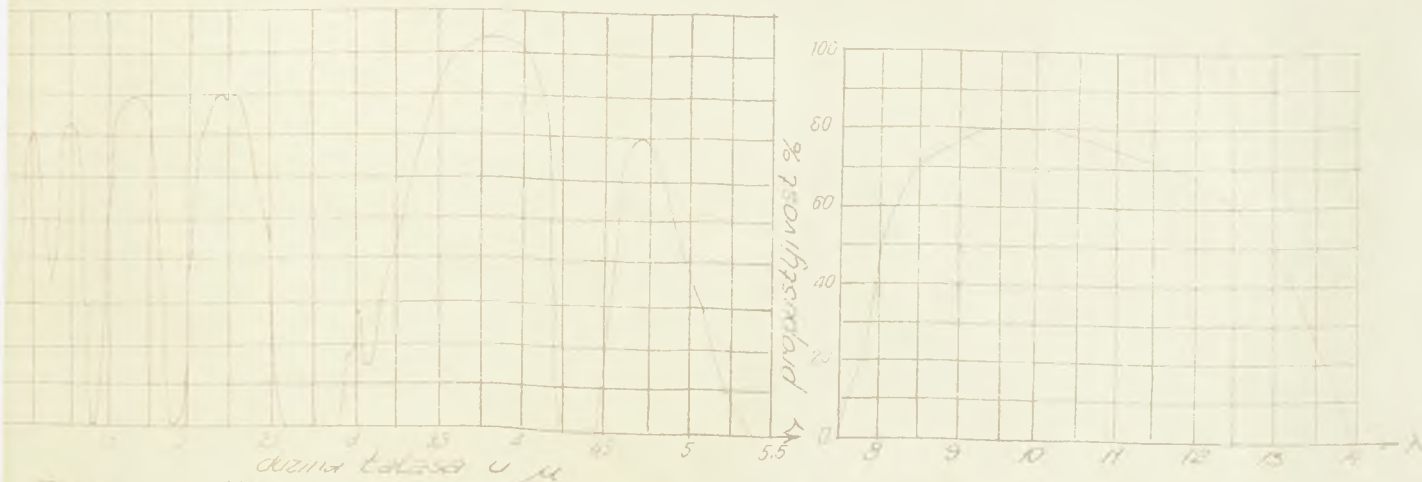


Stepen upijanja određuje se koeficijentom "K" koji karakteriše slabljenje radijacije samoga zraka p pri njegovom prolasku kroz neki sloj atmosfere, jedinične debljine. Za njegovo izračunavanje postoje više empiričkih i poluempiričkih obrazaca.

Kao što se iz dijagrama: 1.3 vidi, upijajuću sposobnost ozona možemo zanemariti, pošto je u nižim slojevima vazduha procenat njegovog učešća veoma mali, sem u izuzetnim prilikama, kao na prim er posle velikih električnih pražnjenja u vazduhu, odnosno posle velikih grmljavina i kiša. U tom slučaju zbog njegovog velikog povećanja treba izbegavati rad. Isto treba učiniti i prilikom merenja sa običnom vidljivom svetlošću, jer tako dobijeni rezultati nisu dobri (vidi diplomski rad autora). Ugljena kiselina ima veliku moć upijanja naročito u intervalu oko: 2050 nm; 2600 nm; 4300 i od 12800 do 17300 nm (pri čemu je 1 nm =  $1 \cdot 10^{-3}$  mikrona), ali u toj oblasti, za merenja koja bi se vršila u geodetskim svrhama, sa sadašnjom moći pretvarača slike, ne dolazi u obzir korišćenje tih talasnih dužina.

Vodena para ima zone upijanja sa maksimumom sa talasne dužine 940; 1130; 1470; 1890 nm i oblast od: 2510 do 3100 nm, tako da bismo ovde koristili prozor od 940-1130 nm u kome je dobra propustljivost za korišćenje radijacije.

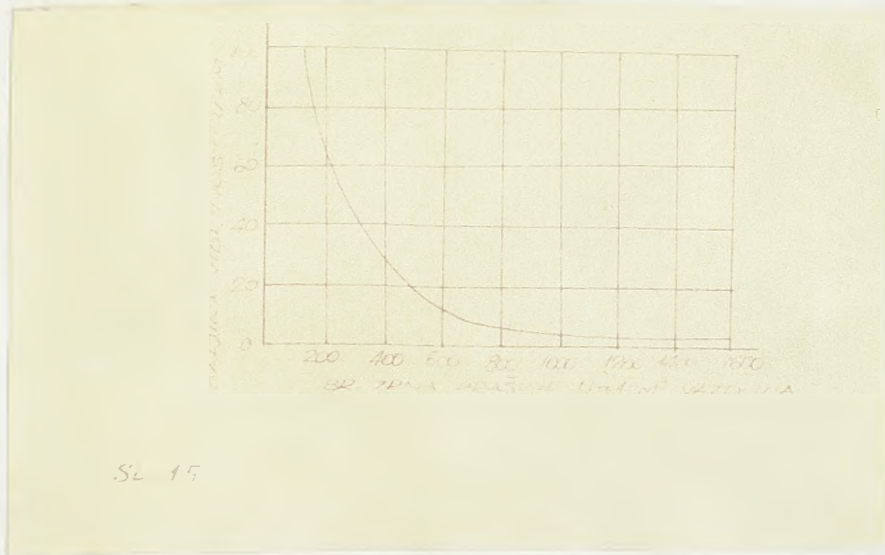
Svetlosno zračenje i infracrvena svetlost bivaju donekle uništavane od strane vodene pare, koja ima sposobnost intenzivnog upijanja u zonama različitih talasnih dužina. Ovo pokazuje da apsorpcija ima selektivni karakter, tj. ona se prostire na pojedine delove spektra, što je eksperimentalno ustanovljeno. To ne znači da u tim oblastima spektra uopšte ne prolazi zračenje ovih talasnih dužina, naprotiv ono postoji, ali biva u prisustvu navedenih prizema smanjeno u odnosu na svoju okolinu koja prodire sasvim neoslabljena. Uporedo sa zonama slabljenja postoje i zone potpunog propuštanja infracrvenih zraka u kojima njihova energija prolazi bez gotovo ikakvih gubitaka od strane upijanja. Na sledećem dijagramu: (1.4) dobro se vide te zone slabljenja svetloanih radijacija korišćenog iz: /85/, /14/, /13/, /36/.



*duzina talasa u  $\mu$*   
Zone propustljivosti IC zraka u atmosferi za rastojanje 1850m kod uzete debljine vodene pare jednake 17mm

Međutim, pored vodene pare u prizemnim slojevima atmosfere, jedan od glavnih uzroka njene zamućenosti i neprozračnosti (za običnu svetlost) su, kao što smo već rekli, sitna zrna prašine dignuta sa zemlje, dima, bakterija i raznih soli. Građevna prašina i dim, uglavnom su raspoređeni do visina od 500 do 700 m., sem u slučajevima jakih strujanja kada se penju i više. Kada se sumira uticaj

svih ovih uzroka onda se eksperimentalno /74/, /78/, dolazi do sledećeg dijagrama br. (1.5) o prozračnosti atmosfere kod prizemnih slojeva, kao funkcija broja tih prizema u njoj /1A/, /30/.



Na osnovu analize ispitivanja navedenih, u pomenatoj literaturi, izvodim zaključak da su ođlasti upijanja, odnosno dobre propustljivosti zraćenja, za navedena tri glavna faktora, pod normalnim uslovima ka- nje više konstantne.

### 1.3.3) Rasipanje zraćenja - gubljenje oštine likova

Pri prolasku kroz atmosferu vidljivi i infra- crveni zraci na svom putu sreću različite sitne čestice, prelamaju se ili dolazi do difrakcije. Kao posledica toga nastaje rasipanje i promena prvobitnog pravolinijskog pravca dotičnog zraćenja, izazivajući slabljenje oštine dobivenih likova pomoću dotičnog zraćenja.

Jeđan nađin da se objasni molekularno i geomet- rijsko rasipanje jeste atomska teorija pobuđivanja elek- trona koji se nalaze na najuđaljenijim <sup>ELEKTRONSKIM</sup> ljuskama. Pod dej- stvom zračne energije pođinju da osciluju spoljni elektroni atoma i molekula dotične sredine koji sada, svaki za sebe, postaju minijaturni zrađiocí raznih vrsta zraka. Zraci koje emituju pobuđjeni elektroni nazivaju se obiđno sekundarnim elektromagnetnim zracima, sa istom frekvencijom kao i prvo- bitni njihovi izazivađi. Ako je dotična sredina toliko optiđki nejednorodna, po sastavu ili gustini, onda će sva

zračna energija koja će dospeti u nju  $\frac{1}{2}$  biti upotreb-  
ljena na pobudjivanje spoljnih elektrona, atoma i mole-  
kula dotične sredine dovodeći do rasipanja iste. Ukup-  
no rasipanje može da bude toliko jako, da na putu, ku-  
da prolazi dotična zračna energija, ne ostane ništa od  
nje, (što se najčešće na putu), već se potpuno izvrši os-  
labljenje, odnosno gubljenje svetlosti. Onda se za tak-  
vu sredinu kaže da je neprozračna za dotične zrake ta-  
lasne dužine. Sredine sa ovakvim osobinama se nazivaju  
"mutne" i u ove sredine možemo ubrojati dim, prašinu,  
maglu, a one su najvažnija smetnja kod dosadašnjeg načina  
geodetskih merenja, ako se najđu na putu vizure.

Vazduh, koji u svakodnevnom životu zovemo  
"čistim", ipak rasipa donekle zračnu energiju. Kao cen-  
tri za rasipanje zračne energije su molekuli i razne čes-  
tice u njemu. Radi toplotnog kretanja molekula u vazdu-  
hu stvaraju se oblasti čije se gustine u toku vremena  
povećavaju ili smanjuju. Ova promena gustina automatski  
izaziva promenu indeksa prelamanja, a što izaziva rasi-  
panje svetlosnog zračenja i promenu pravca istog.

Imajući u vidu veličine čestice u momentu nji-  
hovog zračenja, u odnosu na talasnu dužinu dotičnog zra-  
čenja, rasipanje koje tada nastaje može se podeliti u tri  
vrste.

U prvu vrstu imamo takozvano "molekularno ra-  
sipanje" to je ona vrsta rasipanja kada su dimenzije čes-  
tica koje vrše dotično rasipanje zračne energije (svetlo<sup>sti</sup>)  
mnogo manjih dimenzija nego što su talasne dužine upot-  
rebljenog zračenja.

U drugu vrstu imamo takozvano "difrakciono  
zračenje" koje nastaje onda kada su dimenzije čestica,  
koje dovode do rasipanja dotičnog zračenja, reda veliči-  
ne talasnih dužina dotičnog zračenja.

I najzad, kod treće vrste rasipanja, koje se  
zove "geometrijsko rasipanje", nastaje slučaj kada su  
veličine čestica koje ga izazivaju mnogo veće od veli-  
čina talasnih dužina upotrebljenog zračenja.

Kod realnih uslova u atmosferi obično može da  
postoje sve tri vrste rasipanja, ali u vreme sezonskih  
geodetskih merenja, imajući u vidu napred izneto o sas-  
tavu atmosfere i dimenzijama čestica, može se izvući zak-  
ljučak da se u većini slučajeva radi o prvoj vrsti rasi-  
panja.

Saglasno teoretskom analiziranju došlo se i do eksperimentalnih rezultata da se uglavnom rasipanje zračne energije, od strane čestica u atmosferi kod ove prve dve vrste rasipanja, povinuje zakonu da je ono proporcionalno recipročnoj vrednosti četvrtog stepena dotične talasne dužine /1A/, /63/, /78/, /30/, /45/, /60/. Prema tome, sa smanjenjem talasne dužine rasipanje se povećava i obratno. Upoređujući u citiranoj literaturi eksperimentalne podatke, kao i postojeće empirijske formule: Keleja, Sulejkina i drugih, izlazi da najbolje odgovara formula br. (1.1), za računanje veličine rasipanja "R" zračne energije kod infracrvenog zračenja.

$$R = \frac{I^2 (n-1)^2}{N \lambda_c^4 r^2} (1 + \cos^2 \varphi) \text{----- (1.1)}$$

gde je: n = koeficijent prelamanja čestica materije,  
N = broj čestica u 1 m<sup>3</sup> dotične sredine,  
 $\lambda_c$  = talasna dužina u mikronima,  
r = rastojanje od rasipajuće sredine,  
 $\varphi$  = ugao između pravca padajućeg i rasipajućeg zraka.

Iz formule (1.1) vidi se preisućstvo upotrebe zračenja sa većom talasnom dužinom kod dugačkih vizura u cilju dobijanja oštih likova signala na koje se vizira. Odavde se vidi, da veličina kod prve vrste i donekle druge vrste rasipanja zavisi još i od ugla  $\varphi$  i od osobine sredine. Iz formule se vidi da što je kraća talasna dužina rasipanje je veće, i sa smanjenjem iste ono se povećava. Pošto infracrveni zraci imaju znatno veću, duplo i više, talasnu dužinu, u poredjenju sa običnim zracima to je i rasipanje kod njih mnogo manje. Ta veličina rasipanja je čak i 15 do 20 puta manja kod ovih infracrvenih zraka a što je potvrđeno i eksperimentalno. Pored napred navedenih posebno su to potvrdili i Bokini V.I. Černajev u /69/.

Ako posmatramo "difrakcione" i "delimično geometrijsko rasipanje" onda je vrlo teško teoretski doći do tačnog obrasca za veličinu toga rasipanja. Ovo zato što tada rasipanje koje nastupa ima veoma složen karakter. Za razliku od prve vrste rasipanja (molekularnog), koje se vrši simetrično u odnosu na glavni pravac zračenja u svim pravcima, kao i u odnosu na pravac upravan na ovaj, ovde se, uglavnom, ono vrši skmetrično samo u odnosu na prvobitni glavni pravac.

Kod difrakcionog i prve faze geometrijskog rasipanja pojavljuje se, za razliku od prve vrste (i kod nje pomenutih uzroka) više faktora koji utiču na veličinu i pravac rasipanja. Kao glavni, koji najviše utiču, su: veličina radijusa čestica koje vrše rasipanje, veličina talasnih dužina upotrebljenog zračenja, vrste čestica, odnosno materije od čega one vode poreklo, odnos s indeksa prelamanja čestica i vazduha i na kraju količina prisustva vodene pare na dotičnom mestu.

Ipak na osnovu eksperimenata navedenih u /62/, /63/, /26/ može se izvesti zaključak: da sa povećanjem talasne dužine i dimenzija čestica dolazi uglavnom do rasipanja koje se proteže i ima karakter pravca prostiranja prvobitnog zračenja, dok se energija, koja otpada na rasipanje u nasad, kao i u svim drugim pravcima (stranama), jako smanjuje težeći ka granici koja ne prelazi 16% od celokupno upalog zračenja. Već kod ovakvih slučajeva može se smatrati da nastupa geometrijsko rasipanje. Kod ove vrste rasipanja već se može reći da ono ne zavisi od svih ovih navedenih faktora, već se karakteriše samo dvema principijelnim osnovama: prvo, da veličina rasute energije ne zavisi od talasne dužine upotrebljenog zračenja upalog na dotičnu česticu i drugo, da energija zračenja odhačena (rasuta) u pravcu osnovnog (prvobitnog) zračenja je mnogo (20x) veća od energije rasute u suprotnu stranu. Bez obzira na sve ovo eksperimentalno je u utvrđeno mnogo bolje prolaženje dugačko talasnog zračenja u zamućenoj atmosferi.

Iz navedenih eksperimenata u: /63/, /26/, /62/ takođe se može potvrditi da dim neznatno slabi infracrvene zrake. Tako npr: na rastejanju od 10 km dužine, infracrveni zraci sa talasnom dužinom ispod 1500 na bivaju oslabljeni ne više od 0,21%.

Ako se radi u atmosferi zamućenoj dimom, kao što su gradski reoni, upotreba pribora, koji radi sa infracrvenom svetlošću talasnih dužina preko 1000 nm, daje povećanje u daljini vidjenja od 2 do 4 puta više nego što bi se dobilo sa priborom za posmatranje pomoću obične vidljive svetlosti. Tako je izučavanje /1A/, /30/, /45/, /36/, /73/, /82/, /84/ rasprostiranja različitih zraka pokazalo da su u blizini površine zemlje uslovi za rasprostiranje infracrvenih zraka mnogo bolji i povoljniji, nego za vidljive

zraka. Zato aparatura za posmatranje pomoću infra-  
crvenih zraka može u većini slučajeva obezbediti veće  
daljine vidjenja nego što se to može videti pomoću vid-  
ljive svetlosti. Ukupno slabljenje "J" infracrvenih  
zraka u nekom sloju atmosfere dužine x, izazvano rasipa-  
njem energije i njenim upijanjem, karakteriše se koe-  
ficientom slabljenja "K". Ovaj koeficijent jednak je  
običnom zbiru koeficijenta rasipanja i upijanja, a ko-  
ji su opet srazmerni recipročnoj vrednosti talasne du-  
žine. Obično se vrednost koeficijenta slabljenja može  
izračunati po sledećoj iz /82/ ili /1A/ formali: (1.2)  
(Bagera) J =

$$J = J_0 e^{-Kx} = J_0 e^{-\alpha(\alpha + R)x} \quad (1.2)$$

- gde je:  $J_0$  = intenzitet zračenja pre prolaska kroz  
sloj debljine x,  
J = isto posle prolaska kroz isti sloj,  
e = osnov prirodnog logaritma,  
K = koeficijent upijanja (apsorpcije),  
x = dužina sloja.

Koeficijent slabljenja svetlosti zbog rasipa-  
nja, na osnovu formule Hilberta /30/, što je i eksperimen-  
talno utvrđeno, može se računati po obrascu: (1.3).

$$\mathcal{L}_\lambda = \mathcal{L}_0 \left( \frac{0.55}{\lambda} \right)^4 \quad \text{gde je:}$$

$\mathcal{L}_0$  = koeficijent slabljenja za vidljivu svetlost talasne  
dužine  $\lambda_0 = 0.55 \text{ } \mu\text{m} = 550 \text{ nm}$ .

Što izlazi da je:  $\mathcal{L} = f \left( \frac{1}{\lambda} \right) \dots (1.4)$

i da "J" zavisi od talasne dužine upotrebljene svetlosti /  
opada sa porastom iste.

Takodje se vidi da intenzitet blago opada sa  
porastom debljine "x" ali da takodje opada i njegova vred-  
nost za istu vrednost "x", a za veće talasne dužine je  
mnogo veća nego za kraće. Iz ovoga izlazi da upotrebom  
svetlosti većih talasnih dužina dobijamo oštriju sliku-lik,  
a samim tim smanjujemo, pored ostalih grešaka navedenih u  
početku, i jednu vrlo veliku grešku kod preciznih merenja,  
a to je greška zbog viziranja. Navedeno u ovom poglavlju  
je posmatrano sa stanovišta da na putu svetlosti nisu pos-  
tojale veće količine magle, zato da vidimo šta nastupa ako  
se ona pojavi u većoj količini.



### 1.3.4) Prolazak infraervene svetlosti kroz magle

Uslovi prolaska infraervenih zraka kroz maglu nad kopnom razlikuju se bitno od uslova prolaska kroz maglu nad morskom površinom ili primorskom obalom /52-II/, /69/, /78/, /1A/, /82/, /62/, /63/. Sastav magle u gradovima, a naročito u velikim centrima, veoma se razlikuje od sastava magle u polju, van grada ili na nekom drugom mestu. Veoma se razlikuju i uslovi prolaska infraervenih zraka kroz maglu stvorenu prirodnim putem od magle stvorene veštačkim putem. Ovo zbog toga što su za kondenzaciju vodene pare, stvaranje magle, potrebne čestice kao jezgra (centri kondenzacije). Te čestice, koje se nalaze u atmosferi, različitog su porekla i veličine. Takva jezgra kondenzacije mogu biti čestice od vatre, dima, raznih materija, a takodje i joni atmosfere. Sve zavisi od mesta nad kojim se nalazi atmosfera. Broj tih jezgra u vazduhu je različit, a samim tim biće i različite veličine čestica kondenzovanih para, magle, sunaglice i dima. Iz više nezavisnih ispitivanja /1A/, /82/, /84/, /87/, /69/, /39/, /13/, /73/ ustanovljeno je da broj tih jezgra nad morskom površinom ne iznosi više od 100 do 150 u  $1 \text{ m}^3$ , dok nad velikim industrijskim centrima sa velikom zamućenošću iznosi i do 150.000 u  $1 \text{ m}^3$ . Pošto je broj kondenzacionih centara-jezgra u jednoj određenoj količini vazduha zavisan od veličine tih čestica koje se obrazuju prilikom kondenzacije vodene pare, onda će se kod velikog broja jezgra dobiti male čestice, čiji prečnici neće prelaziti  $5 \cdot 10^{-5} \text{ cm}$ , a što će atmosferu činiti providnijom.

Na osnovu rezultata ispitivanja (u napred citiranoj literaturi) prolaska infraervene svetlosti kroz prirodna maglu, došlo se do više tipova empiričkih formula za izračunavanje jačine zraka posle prolaska kroz slojeve magli debljine "x" i koeficijenta rasipanja u zavisnosti od veličine prečnika kapljica  $\rho$ . Ako obeležimo sa  $J_0$  jačinu svetlosnog zraka pre ulaska u sloj magle, onda njegova jačina "J" po izlasku iz maglenog sloja može da se izračuna /1A/ po obrascu

(1.5), gde je:

$$J = J_0 e^{-2.303 N \rho^2 K' x} \quad (16)$$

- $\rho$  = prečnik kapljica magle,
- $N$  = broj kapljica u  $1 \text{ m}^3$  magle,
- $e$  = osnova prirodnog logaritma,
- $K'$  = funkcija koja zavisi od prečnika kapljice i od talasne dužine.

čiju veličinu sa tri karakteristične veličine dimenzija kapljica magli navodim na slici: (1.6) iz: /26/.

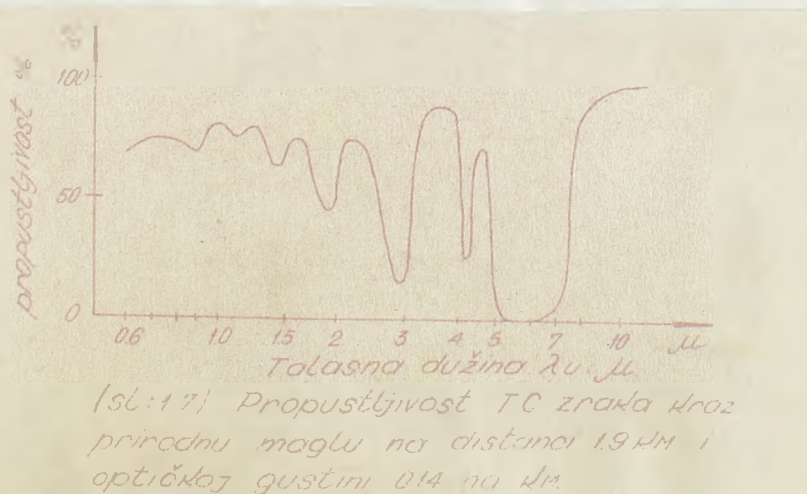
Analizirajući eksperimentom dobivene podatke i formulu (1.6) dolazimo do zaključka da najveće rasipanje kod magli dolazi onda kada je  $\lambda$  talasna dužina jednaka prečniku rasipajućih čestica. Uzimajući tri konstantne veličine za prečnik čestica  $\rho_c = 500 \text{ nm}$ ;  $\rho_c = 1000 \text{ nm}$ ;  $\rho_c = 2000 \text{ nm}$  dobijamo sledeći dijagram:



Iz dijagrama se vidi da bi kod gustih magli, čiji prečnik kapi prelazi 1 mikrona, trebalo koristiti svetlost talasnih dužina preko  $\lambda_c \gg 1$  mikrona da bi dobili što bolju prodornost i oštrinu lika, odnosno, da bi nam se povećala prozračnost.

Iz svega ovoga proizilazi zaključak da je rasipanje infracrvenih zraka talasnih dužina preko 0,9 mikrona znatno manje od rasipanja, za iste uslove, vidljive, svetlosti ako je veličina tih rasipajućih čestica reda 0,5 mikrona. Pored toga dolazi se do zaključka da prilikom prolaska infracrvene svetlosti kroz atmosferu sa smanjenom prozračnošću veliki i presudni značaj imaju veličine kapljica magli na koje ona nailazi.

Iz sledećeg dijagrama (1.7) i /13/ vidi se grafički izražena zavisnost propustljivosti kroz prirodnu maglu u zavisnosti od talasne dužine eksperimentalno dobijena.



Ispitujući prolazak infracrvenih zraka kroz veštačke magle, Anderson je istovremeno vršio eksperimente i sa vidljivim zracima i dobio zavisnost upijanja od koncentracije i veličine čestica magli.

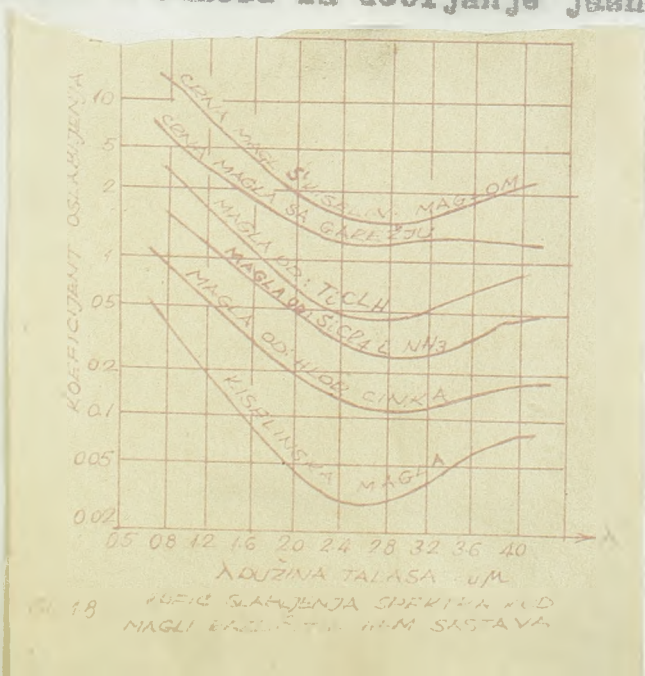
Pored njega i niz drugih ruskih, američkih, nemačkih stručnjaka, pa i naš Vojni institut, vršili su razna ispitivanja na ovom planu. Upoređujući dobijene rezultate iz citirane literature sastavio sam sledeću tabelu "prodornosti" zraka kroz veštačke magle za razne talasne dužine.

Prodornost u %

Tabela br. 2

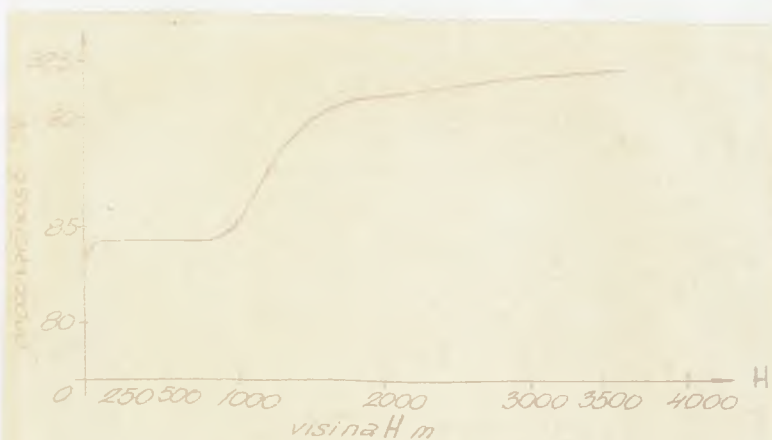
Talasna dužina $\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$	$\lambda$
$\lambda_i$ u mkr.	0,49	0,53	0,56	0,7	1,05-2,7
Vr.-magla				0,7-1,2	1,05-2,7
Kod sitnijih čestica	32%	32%	40%	44%	60%
Kod krupnijih čestica	40%	39%	38%	40%	50%
					78%

Iz ove tabele se vidi da je mnogo veća prodornost svetlosnih zraka sa većom talasnom dužinom što ide u prilog infracrvenim zracima. Pored ovoga vršeno je ispitivanje prolaska infracrvenih zraka kroz razne vrste veštački stvorenih magli u laboratorijama i dobijeni podaci, odnosno koeficijenti njihovog slabljenja u zavisnosti od talasnih dužina, naneti su na sledećem dijagramu br. 8 /86/, /69/, /74/, /36/, /39/, /34/, /1A/ za svaku vrstu magli posebno. Iz ovog dijagrama se jasno vidi da je povećanje koeficijenta slabljenja najviše za tzv. srednju zonu vidljivih zraka talasne dužine 0,55 mikrona. Ovaj koeficijent, međutim, opada sa povećanjem talasne dužine linearno, ali znatno u odnosu za dobijanje jasnoće lika.

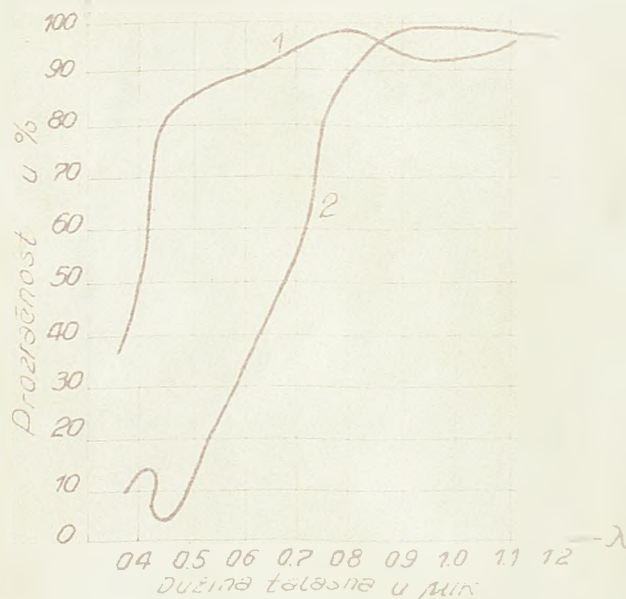


Kao što se vidi, najprozračnija za sve vrste talasa je tkzv. kiselinška magla, koja je isto tako najnepovoljnija kada je izmešana sa crnom maglom, koja se retko sreće u prirodi sama, osim iznad fabričkih reona i gradova.

Kao rezultat ispitivanja vršenih od strane raznoraznih autora, počev od američkih pa do naših stručnjaka, došlo se do opštog dijagrama br. (1.9) i (1.9a), koji nam ilustruju činjenicu da je u blizini zemljine površine atmosfera znatno prozračnija za infracrvene zrake nego za vidljive i da mnogo brže raste sa porastom nadmorske visine.



Sl. 1.9a. Zavisnost prozračnosti atmosfere za I.C. zrake od visine



Sl. 1.9. Prozračnost atmosfere na različite visine za IC zrake  
kriva 1.- visina 35 km.  
kriva 2.- visina do 2.5 km.

Kod slabo prozračne atmosfere, dima i lake magle, kada je daljina vidljivosti sa vidljive zrake znatno ispod 1.000 metara, infracrveni zraci sa talasnom dužinom od 0,9 - 1,2 mikrona prolaze izrazito bolje i lakše od vidljivih. Ovo se može objasniti time što je prečnik rasipajućih čestica u ovim uslovima znatno veći ili pak jednak talasnim dužinama vidljive svetlosti, a manji od talasnih dužina upotrebljenih infracrvenih zraka, tj. znatno manji od 1 mikrona.

Kod veštačkih magli kod kojih prečnik čestica obično ne prelazi 0,2 mikrona i koji je uvek manji od 1 mikrona, prolazak u infracrvenih zraka je znatno bolji i ide čak i do 20 i više puta, ali treba imati u vidu i to da se sa vremenom prečnik čestica veštačkih magli povećava, a što pogoršava prolazak svetlosti, specijalno iznad raznih industrijskih i naseljenih površina.

Kod kiša, kad prečnik čestica ide i preko 60 mikrona, infracrveni zraci ne bi trebalo da imaju neka naročita prednosti nad običnom vidljivom svetlošću (teoretski), ma da to kod preciznih merenja nije ni važno, jer se ona tada zbog velike promene indeksa prelamanja duž vizure i ne vrše radi refrakcije i njenog uticaja. Međutim, u praksi čitavim nizom ispitivanja navedenih u lit. na strani 1 utvrđen je dobar prolazak infracrvenih zraka dugih talasnih dužina, gde u osnovi ne bi trebalo da mogu proći zbog geometrijskog rasipanja. Ovo se objašnjava: 1) zavisnošću koeficijenta prelamanja odbijajućih čestica od talasne dužine svetlosnog zraka i 2) što u atmosferi u tom vremenskom periodu postoje, osim krupnih čestica uporedo u velikoj količini i male sitne, što ukupno čini atmosferu mnogo prozračnijom za dugačka talasna zračenje.

Analizirajući zaključke i dokaze navedene u odeljcima od: (1.1) pa zaključno sa (1.3.4), kod prolaska zračenje (linije vizure) kroz atmosferu, dolazi se do zaključka da pri prolasku svetlosnog zraka kroz atmosferu nastaje njegovo slabljenje usled prelaska jednog dela zračne energije u druge oblike energije, kao i do opadanja vrednosti indeksa prelamanja toga zračenja sa povećanjem talasne dužine. Pored ovoga, nastupa upijanje zračne energije, čak i ako se povinuje zakonitosti u izvesnim momentima odnovo, javlja se neka vrsta odabiranja za onu vrstu talasa čija se frekvencija u tim slučajevima javlja kao rezonanca sa molekulama dotičnih gasova koji ulaze u sastav atmosfere na dotičnom mestu prolaska tog zračenja. Najvećeg udela u tom odabirajućem upijanju zračnog talasa, u prvom redu, imaju mnogobrojni atomi molekula raznih gasova, a najviše vodene pare, ugljene kiseline, ozona i drugih primosa koje se u tom momentu nalaze prisutne na dotičnom mestu. Jer oni stvaraju razne vrste oscilatornih kretanja od kojih su neka kretanja slična kretanju atoma dotičnog zračnog (svetlosnog) na njihovom talasu. Temperatura vazduha je drugi glavni uzrok (kao posledica

meteoroloških uslova) koji utiče na veličinu upijanja i veličinu indeksa prelamanja dotičnog zračenja. Samim tim i na tačnost dobijenih merenja izvršenih materijalizovanjem linije vizure dotičnim zračenjem. Njena konstantnost, kao i raspodela, zavisa je od niza raznoraznih uticaja kao: od doba dana, godine, vremena, reljefa terena i obraslosti istog.

Upoređujući ispitivanja K. Bracksa, Jozefa Mitera /39/, P.V. Aggas Leppan-a /33/ i drugih, može se izvesti zaključak da obavezno iznad svakog terena postoje tkzv. labilni slojevi vazduha koji donekle prate linije terena, a čija temperatura opada se visinom, promenom položaja i ostalih napred navedenih uslova. Debljina ovog sloja, u kome dolazi do jakog povećanja i promene indeksa prelamanja, a samim tim i do ogromnih grešaka prilikom merenja, može se uzeti u proseku za evropski deo kopna da iznosi do 15 m /33/, /39/, dok se ona kreće od 10 do 35 m, a funkcija je pored svih ovih nabrojanih uslova još i od samog zračenja sunca. Iznad ovog labilnog sloja leži znatno deblji sloj vazduha manje više konstantne temperature. Za geodetska merenja je od naročite važnosti kada su ova oba vazдушna sloja naročito jako izražena i za vreme oblačnog i maglovitog vremena, što dovodi do jakog difuznog zračenja koje, kao što smo u prethodnom poglavlju videli, stvara veliki broj slojeva vazduha različitih unutrašnjih uslova izazivajući tako veliko lomljenje svetlosnog zraka (visure) pri njenom prolasku iz jednog sloja u drugi.

Od bitnog značaja za jačinu i veličinu stvaranja tih vazдушnih slojeva jeste kretanje vazduha - vetar koji dovodi do mešanja vazдушnih masa manjeg lomljenja svetlosnog zraka i obratno, jer prestanak vetra dovodi do ekstretnog formiranja temperaturnih slojeva. Imajući na umu napred navedene osobine infracrvenih zraka da vidimo sada kako će se to manifestovati na rezultate merenja ako ta merenja budemo vršili pomoću njih.

## 2. POVEĆANJE TAČNOSTI KOD PRECIZNIH MERENJA I SMANJENJE VELIČINE REFRAKCIJE UPOTREBOM INFRACRVENIH ZRAKA ZA LINIJU VIZURE

## 2.1) Prelamanje, funkcija talasne dužine

Pozmatrajući i analizirajući osnovni optički zakon možemo doći do sledećeg zaključka: pravac prelamanja svetlosnog zraka zavisi od indeksa prelamanja dotične sredine. Pošto se sredine kroz koje zrak prolazi neprekidno menjaju, to se menja i veličina indeksa prelamanja, a samim tim i putanja zraka.

Analizirajući formule Košija, Kristofela, Hortena i drugih, izlazi da najbolja formula (za geodetske svrhe) koja se može upotrebiti za računanje veličine indeksa prelamanja kod prolaska sunčevog zračenja kroz različite sredine ista Hartmanova:

$$n_{\lambda} = n_0 + \frac{c}{(\lambda - \lambda_0)^2} \quad (1)$$

gde su: "c" i " $\lambda_0$ " konstante koje se određuju empirijski, a mogu imati znak  $\pm$ .

$\lambda_0$  = talasna dužina za vidljivu svetlost

od:  $\lambda_0 = 550$  nm.

$n_0$  = indeks prelamanja za pod normalnih uslova za  $\lambda_0$ , čija se veličina po preporuci "MGCU" /39/ obično računa po obrascu:

$$n_0 = \left( 1 + \frac{294 \times 10^{-6} P_0}{760} \cdot \frac{1}{1 + \frac{t}{873}} \right) \quad (2)$$

gde je:  $P_0$  = atmosferski pritisak u odgovarajućem trenutku za koji se određuje "n",

t = temperatura u tom istom trenutku.

Iz navedenog obrasca (1) vidi se da je veličina indeksa prelamanja za odgovarajuću talasnu dužinu, funkcija talasne dužine, koja se smanjuje kada se ona povećava i obratno. Još drastičnije tu zavisnost, veličine indeksa prelamanja od upotrebene talasne dužine, izražava Kristofelova formula.

Kao što se vidi, pored zavisnosti od veličine upotrebene talasne dužine, indeks prelamanja je još zavisan i od momentalnih atmosferskih uslova, koje mi ne možemo menjati.

Zbog toga, u cilju smanjenja uticaja koji dolaze od promene indeksa prelamanja, a samim tim i grešaka usled njegove aproksimacije sa jednom srednjom vrednošću za vazduh, potrebno je upotrebiti zrake sa što većom talasnom dužinom. Tada će svi ostali članovi jednačine (1) i (2) osim prvog koji je jednak jedinici, da se osetno smanjuje i teže ka nuli.

(2.2) Povećanje dužine linije vizure kao funkcija talasne dužine

Da vidimo sada šta se dobija ako od jedne tačke  $P_0$  linija vizure ide kroz slojeve različite gustine do neke tačke  $P_K$ . Najkraći optički put bi vizura imala ako bi te dve tačke bile spojene pravom linijom i ako bi cela sredina između njih bila homogena. Samim tim i indeks prelamanja bi bio konstantna veličina. Pošto se to gotovo nikada ne dešava to će se linija vizure - zrak i lomiti i ići po nekoj izlomljenoj krivoj liniji, koja će odgovarati krivoj kakvu vidite na slici 1.



Kod ovoga slučaja će optička dužina puta zraka (vizure) u svakoj sredini biti jednaka:

$$\begin{aligned} d_1 &= \Delta S_1 n_1, \dots \\ d_2 &= \Delta S_2 n_2, \dots \quad (1.2) \\ &\vdots \\ d_k &= \Delta S_k n_k, \dots \end{aligned}$$

Ako se pretpostavi da je sredina od tačke  $P_0$  do tačke  $P_K$  sastavljena od bezbroj sredina sa stalno menjajućim indeksom prelamanja, to će ukupna dužina vizure "B", od tačke  $P_0$  do tačke  $P_K$ , biti jednaka sumi svih pojedinih dužina vizura kroz pojedine sredine, tj.:



biće:  $S = d_1 + d_2 + \dots + d_k \dots$  ili:

$$S = n_1 \Delta S_1 + n_2 \Delta S_2 + \dots + n_k \Delta S_k = \sum n_i \Delta S_i \dots (13)$$

Ho, ako se uzme da linija vizura - zrak ide po jednoj neprekidnoj krivoj liniji (A), kojom se može aproksimirati jednačina (13) dobija se:

$$S = \int_{P_0(A)}^{P_k} n ds \dots (14)$$

Zamenom vrednosti "n" sa vrednosti dobijenoj po Maksvelu, dobija se:

$$S = \int_{P_0}^{P_k} \frac{K \cdot T_i}{\lambda_i} ds = \frac{K \cdot T_i}{\lambda_i} S / P_0 \dots (15)$$

Ako se uzme put po nekoj drugoj krivoj liniji (B) koja takođe polazi iz tačke  $P_0$  i završava se u tački  $P_k$  dobija se:

$$S' = \int_{P_0(B)}^{P_k} \frac{K \cdot T_i'}{\lambda_i'} ds = \frac{K \cdot T_i'}{\lambda_i'} S / P_0 \dots (16)$$

Dužina puta  $S'$  bila bi utoliko veća ukoliko je:  $\lambda' < \lambda$  i obratno, jer su ostale veličine (pod pretpostavkom da su uzete u jednom istom momentu kroz sve vazdušne slojeve) za oba zraka skoro potpuno jednake i konstantne.

Tako je onda:

$$\int_{P_0(A)}^{P_k} \frac{ds}{\lambda_i} < \int_{P_0(B)}^{P_k} \frac{ds}{\lambda_i'} \dots (17)$$

za:  $\lambda_i > \lambda_i'$

Ovo nam još jednom dokazuje da upotrebom svetlosnih zraka sa većom talasnom  $\lambda_i$  dužinom od obične vidljive svetlosti, vizura će ići po kraćem putu, manje se lomiti i biti će manja greška kod vizure usled promene veličine indeksa prelamanja. Međutim, ne može se

neograničeno daleko ići u povećanju talasne dužine svetlosti zbog postojanja granične talasne dužine fotoelektričnog dejstva, usled čega se pri dosadašnjem razvitku tehnike i tehnologije materijala mogu koristiti samo talasne dužine svetlosti do 1,3 mikrona. Ali sa usavršavanjem i napretkom tehnike može se očekivati pomeranje te granice dalje ka 2 ili 3 mikrona, a možda čak i više što bi bilo veoma korisno za ovo merenje.

Analizirajući napred izvedene formule poglavlja 2, vidi se da veličina zakrivljenosti linije vizure, u odnosu na "idealni pravac" linije vizure (koji bi ona imala kada ne bi postojali navedeni uticaji na promenu pravca linije vizure) zavise od sledećih faktora:

- 1) od veličine same debljine slojeva vazdušnih kao i broja njihov<sup>og</sup> dužih kojih ona prolazi,
- 2) od veličine promene indeksa prelamanja "n",
- 3) od pravca linije vizure u odnosu na pravac pružanja vazdušnih masa (slojeva), i
- 4) od upotrebljenog svetlostnog zračenja za dobijanje likova viziranih predmeta, odnosno za ostvarenje linije vizure.

Ne ulazeći u prva tri činioca, koji ne zavise od mogućnosti operatora (tako da ih on ne može svojim zalaganjem kod merenja promeniti) možemo menjajući veličinu talasne dužine upotrebljenog svetlosnog zračenja, smanjiti osetno veličinu odstupanja realne linije vizure od idealne.

Kod povećanja talasne dužine da bi zadovoljili uslov (4), dolazimo u oblast primene čijske infracrvene svetlosti. Upotrebom iste kod merenja (opažanja uglova) doći će i do promene veličine indeksa tzv. refrakcije, o čemu će sada biti reči.

2.3) O veličini indeksa refrakcije vaz-  
duha kao funkciji talasne dužine

S obzirom da se sa povećanjem talasne dužine smanjuje veličina indeksa prelamanja <sup>0,36740</sup> to je potrebno uzeti popravku usled refrakcije kod merenja uglova preko koeficijenta refrakcije "K<sub>r</sub>", to treba najpre pokušati naći njegovu veličinu i u ovim slučajevima. Neka se kriva koja predstavlja kriva promene indeksa prelamanja (odnosno kriva koja predstavlja liniju upotrebljene vizure od stanice do neke tačke kroz vazdušne slojeve koji leže na tome pravcu) aproksimira sa nekom kružnom krivinom radijusa: "R<sub>v</sub>" za običnu, vidljivu za oko svetlost ( $\lambda_0 = 550$  nm). Na isti način kriva koja definiše liniju vizure ako se ( $\lambda_1 = 1200$  nm) upotrebi infracrvenu svetlost neka se aproksimira krivinom radijusa "R<sub>10</sub>".

Iz izvedenog u poglavlju (2.2) izlazi da je:  
 $R_{10} \gg R_v \dots (12)$ . Dešava se pak da je pod lošim atmo-  
sferskim uslovima  $R_{10} > 2R_v \dots (13)$ .

Ako se uzme da se može koeficijent refrakcije "K<sub>r</sub>" odrediti kao odnos radijusa R<sub>z</sub>, krivine zemljine, i radijusa R<sub>v</sub>, krivine linije vizure, tj.:

$$K_r = \frac{R_z}{R_v} \dots (14)$$

Kada u jednačinu (14) se unese vrednost za R<sub>z</sub> iz jednačine (12) ili (13) dobija se da je koeficijent refrakcije "K<sub>r</sub>" uvek mnogo manji, čak duplo i više, ako se upotrebi kod merenja infracrvena svetlost za materijalizovanje linije vizure, a ne obična, vidljiva za naše oko talasne dužine  $\lambda_0 = 550$  nm. Iz ovoga izlazi da će u tom slučaju i greške koje izaziva refrakcija u tim merenja rezultatima biti samim tim mnogo manje, a tačnost tih merenih veličina biće povećana. O samoj veličini refrakcije neće se govoriti, napomenuće se samo da je velika prednost ako se veličina greške refrakcije smanji za pola, kada veličina te greške može dostići i do 120 lučnih sekundi, a koeficijent K<sub>r</sub> = 3,0. (Vidi radove od: P.V. Angus - Leppan, Ph. D. B. Sc (Eng) Dipl. P.F.L.S.A. Department of Surveying, Universty of Natal "A study of refraction in the lower atmosphere").

Da bi kod merenja u geodetske svrhe sa sigurnošću predložili upotrebu infra crvene svetlosti da vidimo sada kako će se njena upotreba odraziti na efikasnost rada i donet viziranja.

### 3.) POVEĆANJE EFIKASNOSTI I DOMETA UPOTREBOM SVETLOSTI VEĆIH TALASNIH DUŽINA KOD PRECIZNIH MERENJA (UGLOVA, ODSEČAKA)

#### 3.1) Uticaoj zamućenosti atmosfere na tačnost i doba dana geodetskih merenja

Usled udaljenosti trigonometrijskih tačaka i atmosferskih prilika, često je potrebno za opažanje sa jedne tačke čekati više dana.

Poznato je da se kod preciznih uglovnih merenja pojavljuju razne smetnje pri viziranju. U ove smetnje na prvom mestu dolaze razne vrste magle, izmaglice, dima i druge zamućenosti atmosfere. Ove smetnje su jedan od glavnih uzroka otežanosti pa čak i prekida rada, ako se pojave na pravcu linije vizure.

Poznato je da se navedene smetnje u atmosferi najčešće pojavljuju baš u jutarnjim i predvečernjim časovima kada je najbolje vršiti precizna geodetska merenja. Nekoliko podataka koji to potvrđuju možemo naći u radovima /95/ i /96/.

Analizirajući najpovoljnija mesta za postavljanje geodetskih tačaka, dolazi se, nažalost, do zaključka da su to baš ona mesta koja su se u meteorološkom pogledu najpogodnija za stvaranje navedenih smetnji kod geodetskih merenja. Pored ovoga, često se zapaža iznad velikih gradova i naselja sa industrijskim objektima pojava jedne vrste kućaste izmaglice, zbog koje je tih dana vidljivost vrlo slaba.

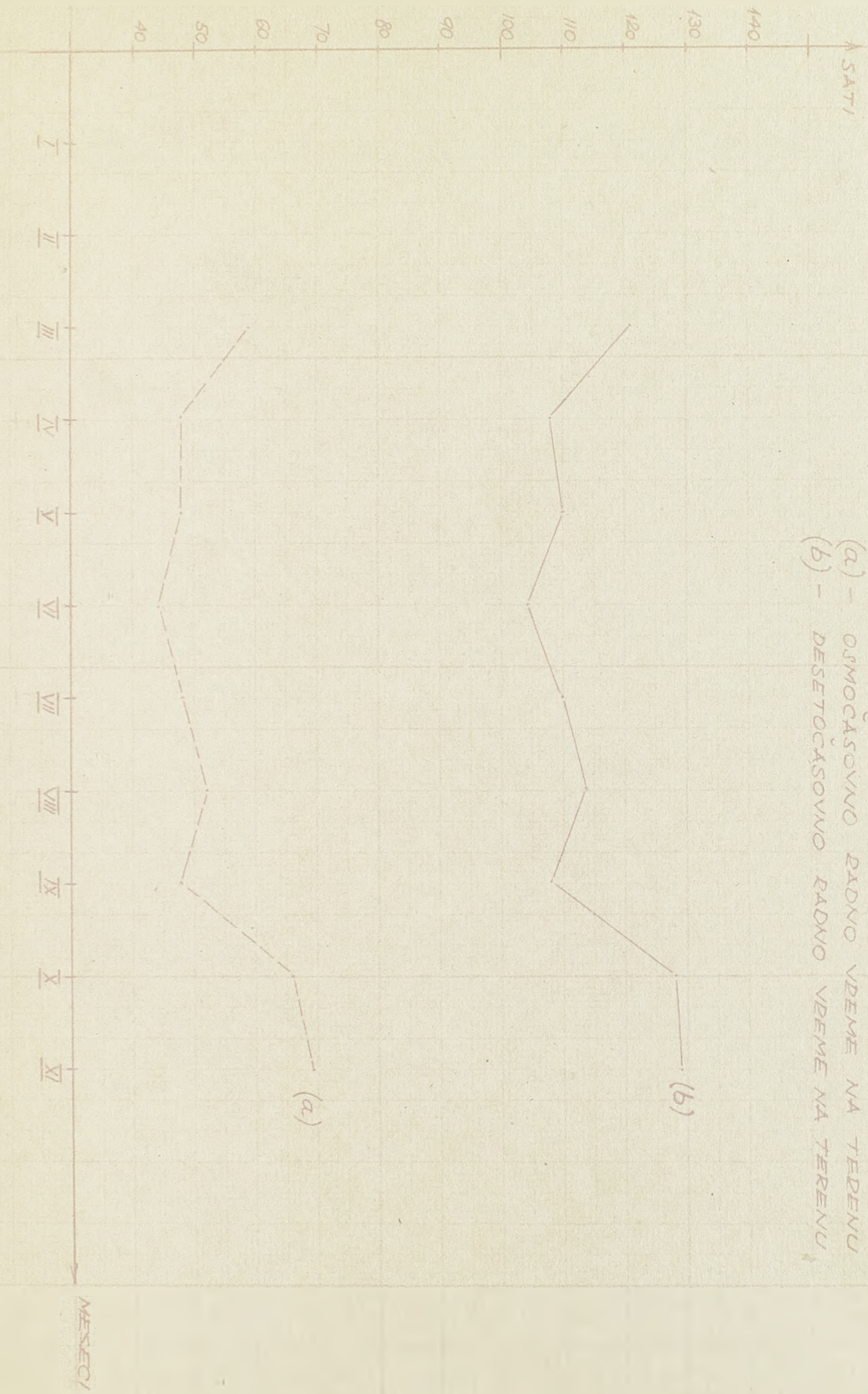
U meteorologiji se smatra da postoji magla samo tada, kada je vidljivost ispod 1 km. Međutim, kod merenja sa trigonometrijskih tačaka, čija se rastojanja kreću od 1 km pa do 100 km, stvarni uslovi pod kojim se više merenja su daleko nepovoljniji od onih koji se dobijaju obradom meteoroloških podataka.



# Jugoslavija - ravnicaarsko područje

## Dijagram prosečno izgubljenih sati po mesecima

(a) - OSMOČASOVNO RADNO VREMENE NA TERENU  
(b) - DESETOČASOVNO RADNO VREMENE NA TERENU



# Jugoslavija - planinsko područje

DIJAGRAM BR. 3.

## DIJAGRAM PROSEČNO IZGUBLJENIH SATI PO MESECIMA

- (a) OSMOČASOVNO RADNO VREME NA TEĐENU
- (b) DESETOČASOVNO RADNO VREME NA TEĐENU









Kod tih uslova, sa dosadašnjim priborima, često je nemoguće ili pak jako otežano merenje. Pri tome se tada pojavljuju velike greške u viziranju i usled refrakcije, što osetno smanjuje tačnost dobivenih rezultata merenja, ukoliko su ona izvršena.

Radi svega ovoga i taj broj nepovoljnih uslova za geodetska opažanja, u svakom slučaju, 6 veći je od onog broja koji se dobija obradom meteoroloških podataka o magli. Na osnovu ličnog zapažanja u toku nisa godina dolazi se do zaključka da se taj broj, dobiven obradom podataka o magli i zamućenosti atmosfere, mora povećati za oko 50% da bi se dobio broj dana nepovoljnih za geodetska merenja.

Na osnovu opažanja nekih vojnih stanica iz perioda 1948.-1958. godine i njihove interno izrađene karte vidljivosti u našoj zemlji navodi se sledeća karta br. 1.

Prilikom izrade ove karte pod pojmom slabe vidljivosti smatralo se ako je vidljivost u 7 časova bila manja od 4 km.

Kao što se napred videlo ovaj broj se mora povećati kada su u pitanju dužine veličine trigonometrijskih strana.

Napominje se da se podaci ne odnose na neka sistematska i za geodetske svrhe vršena opažanja. Ipak oni mogu dati približnu sliku o broju dana sa slabom vidljivosti u toku godine, odnosno, u toku sezone geodetskih merenja.



### 3.2) Izgubljeno vreme

Na osnovu /96/ i karata vidljivosti u toku godine, odnosno, jedne sezone u kojoj se vrše razna geodetska merenja, konstruisao sam navedene dijagrame o veličini izgubljenih sati (u toku svakog pojedinog meseca), zbog nemogućnosti vršenja preciznih merenja uglova, sa običnim do sada upotrebljivanim priborima. Kod konstrukcije tih dijagrama uzimao sam da se radi osmočasovno u toku dana i desetčasovno, što je slučaj kod svih zapadnih zemalja kao i velikog broja istočnih. Pored toga i kod nas u toku sezone merenja, koja obično počinje od marta pa ponekad traje i do kraja novembra, kod svih vrsta terenskih radova, a specijalno kod preciznijih merenja radi se u toku celog dana (10 časova) sa prekidom, u vremenskom periodu kada je slaba vidljivost i nemogućnost dobrog viziranja. Tako da se ustvari može uzeti, a što sam ja i upotrebio, da se u toku jednog radnog dana na terenu radi - izgubi u merenju bez obzira da li je sve vreme efektivno ili ne, ne sedam, osam, već deset i više časova što za jedan mesec iznosi priličnu količinu. Pri ovome nisu iz računa izostavljene dane kao što su nedelje ili drugi praznici zato što u napred navedenim danima sa maglom i slabom vidljivošću o tim danima nije vođeno računa, a i teško bi bilo izvršiti njihovo izdvajanje i dalje računanje bez njih, broja dana slabe ili potpune nevidljivosti u toku meseca.

Pomoću napred naertanih dijagrama br: 1, 2, 3, 4 i 5 mogu se dobiti sledeća tabela br. 9 o veličini broja izgubljenih časova za svaki mesec, ukupno u toku sezone terenskih radova:

Izgubljeno časova prosečno za Jugoslaviju:

Tabela br. 9

Mesec	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Svega
Časova	139	116	110	111	113	122	128	148	145	1.172

Prosečno za Norvešku

Časova	114	104	114	104	121	121	132	135	139	1.084
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------

Prosečno za Zapadnu Nemačku

Časova	142	104	128	108	121	132	132	138	150	1.190
--------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------

Prosečno za Istočnu Nemačku sa karte 1.360

Ali ovom broju časova mora se dodati bar još 10% časova izgubljenih usled nevidljivosti koja dolazi zbog raznih vrsta dima, prašine i izmaglica. Tada se dobija sledeća približna slika o veličini izgubljenih časova kod opažanja na terenu zbog atmosferskih uzroka:

Jugoslavija	1.172 časa + 10%	=	1.350 časa /po sezoni
Norveška	1.084 časa + 10%	=	1.250 " "
Zapadna Nemač.	1.190 časa + 10%	=	1.370 " "
Ist.Nemačka	1.360 časa + 10%	=	1.650 časa /po jednoj sez.

### 3.3) Povećanje ekonomičnosti

Kao što se vidi ovo nije mala veličina. Sve ovo dovodi do smanjenja učinka rada na terenu, svake ekipe i poskupljenje radova, a uz to povlači povećanje izdataka za izvršenje određenih, potrebnih geodetskih merenja. Ovo bi se ogromno smanjilo, kada bi se konstruisao takav instrument koji bi mogao koristiti za definisanje linije vizure, u optičkom smislu, svetlosne zrake sa što dužim talasnim dužinama, nego što ih imaju obični za oko vidljivi zraci. Takvi svetlosni zraci ne bi trebalo da imaju talasnu dužinu kraću od 0,95 mikrona u krajnjem slučaju. Kao što se iz prethodnih poglavlja videlo, oni imaju mnogo prodorniju moć u odnosu na obične svetlosne zrake talasnih dužina 0,55 mikrona. Pored toga, za njih obične magle, izmaglice, razni dimovi i prašine ne predstavljaju zastor kroz koji oni ne bi mogli proći, već naprotiv vidljivost je normalna, kao što je lepo vreme za običnu vidljivu svetlost. Količina

koja se dobija i za koliko bi se povećala ekonomičnost kod takvih radova, pod pretpostavkom da se izima za radni dan desetčasovno vreme u toku dana, kod opažanja uglova (trijangulacije) videće se iz narednog računa. Napominje se da kod preciznijih uglovnih merenja, normalno radno vreme u toku jednog lepog i pogodnog dana za opažanje iznosi od 5 časova ujutro do 9 časova pre podne i posle podne od 16 časova pa do 19 časova; što ukupno za jedan radni dan iznosi: 7 časova/1 dan. Ovo, radi toga, što u intervalu od 9 časova pre podne pa do 16 časova po podne sa običnom vidljivom svetlošću jako se slabo vide likovi koji se viziraju, te se čine velike greške usled terestričke refrakcije. Ovo sve otpada, pod uslovom da radimo sa infracrvenom svetlošću i odgovarajućim priborom, a traži se da se postigne tačnost koju očekujemo kod opažanja vidljivom svetlošću pod najpovoljnijim uslovima merenja.

Medjutim, ako bi vršili merenje priborom kojeg bi nazvali "priborom infracrvenim", pod tim istim uslovima radni dan ne bi iznosio (zbog objektivno navedenih uslova) manje od 6 časova, već normalno 10 ili čak i više, ako to zahteva potreba. Sa njim ne bi trebalo vršiti prekid rada od 9 do 16 časova ili čak i više.

Zaključak je znači taj da radeći sa ovakvim priborima dolazi do povećanja produktivnosti rada, što opet sazo po sebi povlači veću ekonomičnost kod izvršenja određenog merenja. Imajući ova dva faktora automatski iz njih proizilazi i treći kod takvog rada povećava se rentabilnost izvršenog merenja pomoću upotrebljenog novog pribora. Sve će ovo sazo po sebi izazvati i promenu načina merenja, kao i smanjenje broja merenja neke veličine, koja su do sada upotrebljavana, da bi se dobila tražena tačnost. Ovo će samim tim samo povećati ekonomičnost i smanjiti cenu učinjenog rada, a izazvati povećanje rezultata rada u jedinici vremena, odnosno u toku jednog dana. Samim tim će doći do uštede u vremenu, koje je planirano po starom načinu rada, da bi se završio jedan određeni zadatak.

Uzimajući ova dva faktora dolazi se i do trećeg - time će doći i do uštede u sredstvima koja su bila planirana za stari način rada. Medjutim, može se postaviti pitanje da li će taj novi pribor biti skuplji kod nabavke i da li će za njegovo održavanje u toku rada biti potrebni veći

materijalni troškovi? Na to se dobija odgovor iz sledeće računice. Pri serijskoj izradi i prodaji takvih pribora njihova cena neće se mnogo razlikovati od cene odgovarajućih pribora (po tačnosti koju daju) kod sadašnjeg merenja. Njihovo maksimalno povećanje moglo bi da se kreće: do 10% od sadašnje stare cene, što u odnosu na njihove prednosti i rok amortizacije nije skoro nikakvo povećanje. Što se tiče troškova prilikom rada za njihovo održavanje, tu se samo pojavljuje akumulator od 6A kao jedan dodatni deo u odnosu na stare pribore i njegovo punjenje čiji rok trajanja iznosi 4 godine, a cena koštanja vrlo mala. Što u odnosu na uštedu u vremenu i cenu koštanja izvršenog rada iznosi oko nekoliko promila, odnosno, što gotovo i nema nikakvog uticaja na smanjenje ekonomičnosti ovoga pribora.

Ovaj instrument, kakav se predviđa za opažanje sa infracrvenom svetlošću, pravaca i uopšte za precizna merenja uglova spada u vrstu instrumenata kakvi su "Vild T<sub>2</sub> i T<sub>1</sub>", "Gais-002" ili "Penel"-sekundni, čiji troškovi kupovine u proseku za našu zemlju iznose 1.750.000.- dinara. Uzimajući u obzir da povećanje cene, zbog ušetanja elektronskog transformatora u durbin, tog novog instrumenta za opažanje sa svetlošću većih talasnih dužina, iznosi do 150.000 dinara maksimum, tako će njegova maksimalna kupovna cena za našu zemlju iznositi do 1.900.000.- dinara.

Prosečni vek trajanja starijih tipova nernih instrumenata predviđao se 10 godina i stopom otpisa od 10%. Međutim, kod sadašnjih novih instrumenata sa poboljšanjem vrste materijala i napretkom tehnike izrade instrumenata prema analizama izvršenim iz više raznih instituta, fakulteta i preduzeća vidi se da se slobodno može uzeti da minimalan vek upotrebe tih novijih vrsta teodolita i nivela bude 15 godina što povlači stopu otpisa na 6,8%.

Ako se uzme da jedna merna ekipa, kod na kakvog merenja na terenu, mora imati minimalni sastav ekipe 1 + 2, odnosno o jednog visokokvalifikovanog stručnjaka i dva radnika, iz napred navedenog obračuna se vidi da taj jedan stručnjak u toku jedne godišnje sezone rada na terenu uštedi, ako bi vršio merenja sa tim novim instrumentom koji koristi infracrvenu svetlost, minimum:

1 stručnjak uštedi oko: 1000 časova za 1 sezonu  
2 radnika " oko: 2000 " "

Ako se upita koliko će ovakva jedna ekipa, vršeci merenje na terenu u toku jedne (godine) sezone sa priborom pomoću korišćenja infracrvene svetlosti uštedeti zajednici, to će se dobiti sledeća vrednost: neka u proseku ima 1.000 časova neproaktivnih u toku jednogodišnje sezone za jednu ekipu, ako bi ona radila sa stariim priborom i pomoću obične sa oko vidljive svetlosti, onda će biti:

Ušteda na ličnim dohotcima:

za: 1 visokokv.struč. 1.000 x satnica njegova  
2 nekvalif.radn. 1.000 x satnica njihova

Odnosno: jedna ekipa od 1 + 2 uštediće u zavisenosti od njihove satnice, veličinu koliku bi skoro primila pod ranijim uslovima za 3/4 sezone rada.

Znači da samo jedna ekipa uštedi u toku jedne sezone osetnu sumu dinara zajednici. Pošto uvek ima više terenskih ekipa onda se vidi da nije to mala količina, što dokazuje ogromnu prednost ovog novog pribora. Odnosno, ova ekipa može da uradi u toku jedne sezone gotovo isto što bi uradile dve druge ekipe za 12 meseci po efektu rada i troškovima sa njih učinjenim u odgovarajućoj ustanovi.

Što se pak tiče amortizacije, uzevši napred iz prakse utvrđeno da sadašnji (stari) instrumenti koštaju 1.750.000.- din. sa stopom otpisa od 10% godišnje, tj. 175.000.- dinara, dok će ovi novi instrumenti koštati maksimalno 1.900.000.- din. sa stopom otpisa od 6,8% (jer će trajati duže) = 132.000.- din. dobiće se razlika od + 43.000.- Medjutim, ovo ne mora da bude tačno, jer to njihovu prednost nešto naročito ne povećava u odnosu na napred navedeno, mada uvećava pozitivno, i onako njihovu veću prednost u ekonomičnosti. Ovo samo dovodi do veće produktivnosti dotične ekipe koja radi sa njima, što povećava veću rentabilnost te grupe za preduzeće ili ustanovu u kojoj ona radi.

### 3.4) Ukupne uštede

Analizirajući sve ovo dobijaju se sledeće uštede ako se radi na terenu sa ovom novom vrstom instrumentata, ne uzimajući u obzir i povećanje tačnosti dotičnih merenja:

3.4.1) Produženje radnog dana na terenu, što dovodi do skraćivanja radne sezone i nezadržavanja stručnih lica na terenu. Smanjenje troškova za angažovanje figuranata i dnevnica stručnom osoblju. Ova ušteda proračunata u današnjim (1963. godine) dinarima iznosi samo po jednom stručnjaku, koji bi radio na terenu, oko 1.300.000.- dinara za jednu sezonu.

3.4.2) Pored uštede na ličnim dohodcima, privredna organizacija štedi i na troškovima poslovanja koji se ogledaju u tome, što je iznos amortizacije manji usled toga, što se vek trajanja tih novih vrsta instrumenata produžava.

3.4.3) Sem ovih dvaju elemenata, produžavajući vreme rada na terenu u toku dana sa tim novim instrumentima, u uslovima u kojima sadašnji instrumenti nisu mogli raditi, ekipe koje rade na terenu obavljaju znatno veći posao u toku dana i sezone, što omogućava da se smanji broj ekipa od ranijih 3 na sadašnje 2, i broj instrumenata od ranije potrebnih 3 sada na 2. Ovo povlači ogromne uštede kako na ličnim dohodcima odgovarajuće privredne organizacije tako isto i na troškovima poslovanja, materijalnim izdacima oko nabavke ranije većeg broja instrumenata.

Samim tim, povlači i pojeftinjenje tih do sada jako skupih geodetskih merenja, što opet sa sobom povlači pojeftinjenje svih ostalih tehničkih radova koji su vezani za ove geodetske radove.

Pored svega ovog, kod preciznih merenja, i merenja koja se vrše u naučne svrhe, a na koja se odvajaju ogromni izdaci, ovo bi se veoma mnogo odrazilo i na smanjenje predviđenih investicija za izvođenje tih radova. Sem ovih čisto geodetskih radova trebalo bi da se upotrebe infracrveni zraci i kod fotogrametrijskog snimanja što



bi ogromno povećalo uštede u tačnosti samih tih radova, odnosno skoro u istom, ako ne i u većem procentu što bi se odrazilo kako u ekonomičnosti tako isto i u povećanju tačnosti i radnog vremena. Kao što se vidi, prednost je osjetna u ekonomičnosti, ali da vidimo kako je sa ukupnim dometa vidjenja pomoću ovog pribora.

### 3.5) Daljina dometa

Daljina, na kojoj se priborom za korišćenje infracrvene svetlosti za ostvarenje vizure može da se vizira oštro signal, zavisi prvo i od same vrste signala. Ako je signal piramida ili heliotrop, koji će emitovati izvor infracrvene svetlosti, onda to utiče na daljinu dometa, jer se u prvom slučaju vizira, odnosno u durbinu, pojavljuje lik tepiramide (signala) a u drugom slučaju samo okrugao svetli krug.

Pored ovoga, na daljinu dometa mnogo utiču i mnogobrojni parametri kao što su: jačine izvora zračenja, stepen apsorbovanja i rasipanja dotičnog zračenja od strane sredine kroz koje prolazi linija vizure osjetljivosti prijemnika itd. Što se tiče jačine izvora zračenja, u ovom slučaju primene infracrvenog zračenja ne dolazi mnogo u obzir taj faktor, jer predviđa se (što će biti više reči u poglavlju 4) kao njihov izvor: korišćenje sunčevih radijacija, a u posebnim slučajevima njihovo pojačanje veštačkim putem.

O apsorbovanju i rasipanju zračne energije već je bilo dosta reči i to je razjašnjeno.

Osetljivost prijemnika je veoma važan faktor, možda čak i primarni. Kao primer može se navesti iz eksperimenta utvrđeni odnos da ako je pretvarač slike osjetljiviji 5 puta od nekog normalnog, čiju osjetljivost možemo smatrati za jedinicu, onda pri potpuno istim uslovima rada,

za isti domet rada, potrebno je ovom prvom pretvaraču (osetljivijem) 4-5 puta slabiji izvor energije.

Sam ovih navedenih činjenica, imajući u vidu zakon da intenzitet zračenja na nekoj talasnoj dužini koja odgovara maksimalnom zračenju za dotičnu temperaturu raste sa petim stepenom apsolutne temperature zračioca, te jačina dobivenih radijacija od sunčevog spektra biće u svakom slučaju veća od one kojih drugih dobivenih od veštačkih izvora.

Postoje više raznoraznih formula, dobivenih empiričkim putem, za računanje daljine dometa, ali kod naših geodetskih pribora najbolje će da odgovara formula dobivena ispitivanjem Američke Vojno-inženjerijske laboratorije /82/, a koja glasi:

$$D = 3,57(\sqrt{h} + \sqrt{H}) \text{ KM}$$

gde je: D - daljina dometa (vidjenja) durbina-pribora u KM  
h - visina pribora nad zemljom na od usvojene NIVOSKE površine  
H - nadzemna visina signala na koji se vizira u: na od iste usvojene NIVOSKE površine.

Slična formula o dometa sa vidljivom svetlošću kod geodetskih durbina (pribora) postoji, samo što se veličina "D" za potpuno iste uslove dobija uvek mnogo manja.

Iz ovih svih činilaca vidi se očigledna prednost upotrebe i svetlosne zrake većih talasnih dužina. Međutim, do sada nije ništa rečeno o samom izvoru i optimalnom iskorišćenju tih svetlosnih zraka većih talasnih dužina, zato će nešto i o tome sada biti navedeno.

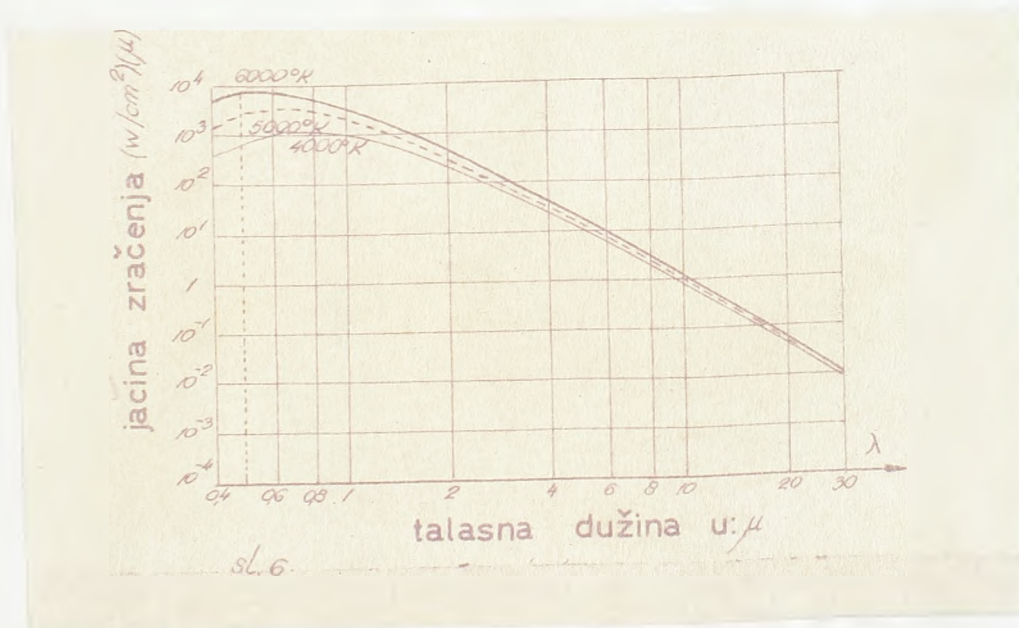
### 3.6) Optimalno korišćenje infracrvenog zračenja sunčevog spektra kod geodetskih merenja pomoću pretvarača slike

Još u prethodnim poglavljima je napomenuto da će se kao izvor za potrebno infracrveno zračenje kod geodetskih merenja po danu u većini slučajeva koristiti sunce jer ono predstavlja izvanredan izvor ove vrste zračenja.

Koristeći se "Wien"-ovim zakonom raspodele energije, predstavljeni na dijagramu br. 6 za temperature koje odgovaraju suncu, vidi se da je najveća količina zračne energije dobijana od sunca na površini naše zemlje u predelu talasnih dužina od 0,6 - 1,4  $\mu$ . Za temperaturu sunca

dospelu na granicu atmosfere ( $5000^{\circ}\text{K}$ ) optimum je na:  $0,60 \mu - 0,7 \mu$ .

Poznato je da veličina zračne energije dospela na površinu zemlje zavisi od: geografske širine mesta posmatranja, doba dana i godine i što je najvažnije od atmosferskih uslova. Na osnovu ispitivanja više autora, između ostalih i /13/, /73/, /1A/, ta količina se kreće u granicama od 36% do 42% ukupne količine sunčevog zračenja, za interval od  $0,7 - 1,4 \mu$ . Analizirajući procentualni odnos ukupno emitovane energije od sunca kao crnog tela, u funkciji od talasne dužine i temperature, vidi se da na delu skale  $\lambda = 0,7$  do  $\lambda = 1,4 \mu$  postoji maksimalno procentualno zračenje. Ta količina zračenja po /13/ i /73/ iznosi oko 38% celokupnog zračenja.



Na osnovu ovoga, može se uzeti da za korišćenje zračenje infracrveno zračenje kod naših merenja biti veličina zračenja  $Z = 38\%$ . Ovde "38" predstavlja konstantnu zračenja, čija je veličina  $= 1,96 \text{ kcal/cm}^2 \text{ min.}$ , odnosno  $z = 51,913 \times 10^6 \text{ i } \mu\text{W/cm}^2 \dots (1).$

S druge strane, na osnovu podataka merenja jačine zračenja /93/ za istu oblast infracrvenog bliskog područja, može se uzeti da je prosečna vrednost direktnog zračenja od strane sunca na zemljinu površinu (posle prolaska kroz sloj atmosfere) jednaka:  $0,70 \text{ kcal/cm}^2 = 48,79 \times 10^6 \mu\text{W/cm}^2 \dots (2).$

Analizirajući podatke merenja zračenja sunca /93/ vidi se da veličina zračenja ne zavisi mnogo od doba godine, već uglavnom od atmosferskih uslova i debljine "optičke mase" (doba dana).

Upoređujući (1) i (2) može se videti da gubitak energije za oblast 0,7-1,4 $\mu$  usled upijanja i zamućenosti "mase atmosfere" kreće se i do 30-40% od ukupno dospеле energije sunca na granicu atmosfere. Ipak, uzimajući i prosečnu minimalnu vrednost veličine zračenja za ovaj deo spektra 0,25 kcal/cm<sup>2</sup> = 17,425 x 10<sup>6</sup>  $\mu$ W/cm<sup>2</sup>, biće dovoljno za dobijanje oštre i dobre slike, pomoću uglavnom sada u upotrebi pretvarača slike. Potrebne podatke za njih, dobivene ispitivanjem u V.T.I navodi se u sledećoj tabeli, koja to potvrđuje.

Na osnovu ispitivanja u /92/ mogu se navesti sledeće prosečne vrednosti, potrebne zračne energije za pojedine vrste pretvarača slike:

Tip cevi	Potrebna prosečna minimalna energija: $\mu$ W/cm <sup>2</sup> za razlaganje od 4 lin/mm	Potrebna prosečna energija: $\mu$ W/cm <sup>2</sup> za razlaganje od 20 lin/mm
PS-1	$2,10 \times 10^{-3}$	$400 \times 10^{-3}$
RCA	$0,20 \times 10^{-3}$	$90 \times 10^{-3}$
RCA-6032	$1,24 \times 10^{-3}$	$320 \times 10^{-3}$
SSSR	$0,25 \times 10^{-3}$	$91 \times 10^{-3}$

Može se uzeti sa dovoljno rezerve da je potrebna prosečna energija za razlaganje od 20 lin/mm oko  $200 \times 10^3 \mu$ W/cm<sup>2</sup> mada je kod novijih tipova pretvarača, ta veličina uvek znatno manja.

Ako se uzme da je za maksimalno razlaganje kod nekih cevi potrebna veličina od  $500 \times 10^{-3} \mu$ W/cm<sup>2</sup>, vidi se da je to tako mala veličina u odnosu na veličinu sa kojom se raspolaže, uz uslov da se koristi sunce kao izvor energije, šako da uopšte ne dolazi u pitanje nemogućnost aktiviranja fotokatode.

Kod našeg slučaja, mogu se koristiti obrasci iz /82/ za izračunavanje gustine zračne energije pale na fotokatodu pretvarača slike kod nekog optičkog uređaja.

Kod ovog obrasca je uzeto u obzir gubljenje energije usled povećanja rastojanja u zavisnosti od veličine cilja-signal i podataka objektiva.

$$P_{FK} = \frac{K_T \cdot K_P \cdot K_A \cdot D}{4(f/D)^2 \cdot u} \quad (3)$$

- gde je:  $K_T$  = koeficijent propustljivosti optičkog sistema,  
 $K_A$  = " " " " atmosfere,  
 $K_P$  = koeficijent apsorpcije (refleksije) cilja signala,  
 $P_u$  = gustina zračne energije koja pada na površinu sen cilja,  
 $D$  = otvor objektiva (optičkog sistema),  
 $f$  = fokusno rastojanje objektiva.

Na osnovu ispitivanja navedenih u /1A/, /13/, kao i prvog i drugog dela ovoga rada, može se uzeti da se veličina  $K_A$  kreće za ovaj deo spektra kod trenutka (geodetskih opažanja u granicama od 0,9-0,7)

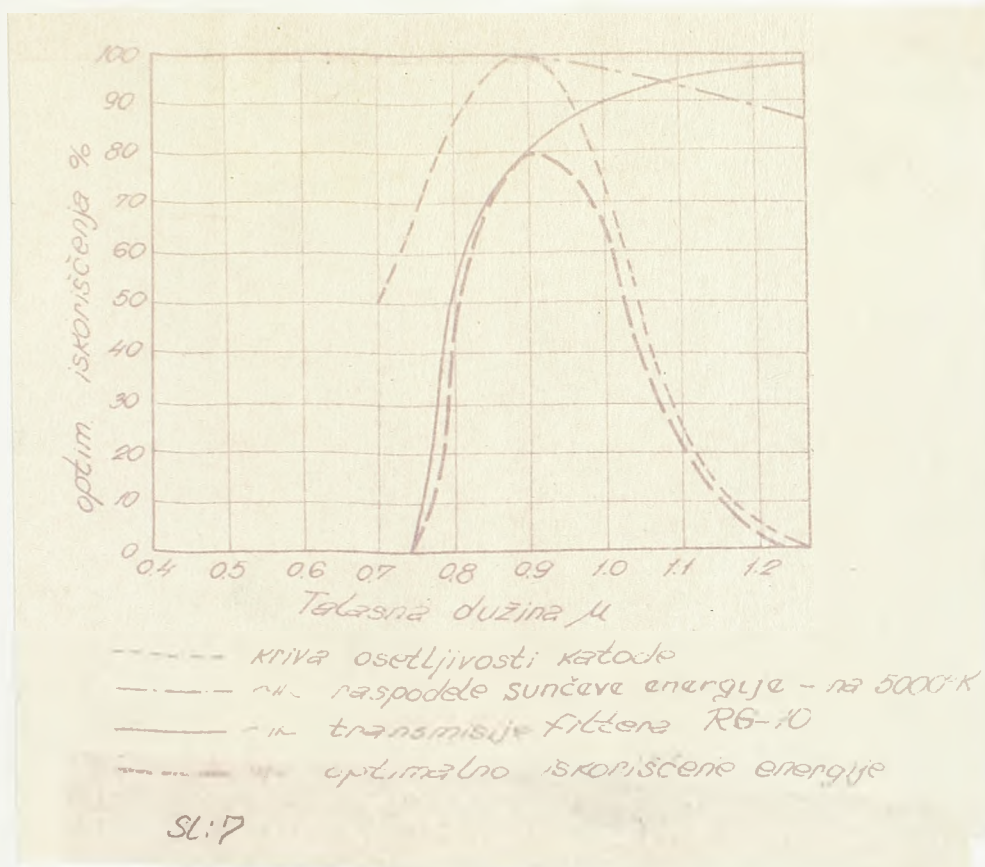
Uzimajući kao cilj (signale) na koji će se vršiti viziranje, uređaj izradjen na principu "crnih ogledala", može se uzeti da će biti za njih  $K_P = 1$ , vidi /82-58/3/.

Za naš slučaj, veličina  $u$  imenitelju jednačine (3) biće približno = 100, tako da će biti:

$$P_{FK} = 0,006 P_u \quad (4)$$

Uzimajući za  $P_u = 48,79 \times 10^6 \text{ w/cm}^2$ , kao i da približno stalna gustina zračne energije pada na signal, onda gustina zračne energije pale na fotokatodu (odnosno na liku signala koji se stvara na prednjoj površini katode) biće uvek dovoljna za izazivanje razLAGANJA.

Optimalna količina (kroz filter postavljen ispred fotokatode) propuštene, odnosno, pale zračne energije na fotokatodu, može se dobiti iz dijagrama br. 7.



Na sl. 7 uzeto je da je kriva promene zračne energije proporcionalna krivoj sa dijagrama br. 6 za  $T = 5000 \text{ K}$ , i da je veličina pale zračne energije na filter za  $\lambda = 0,8 \mu$  jednaka 100%. Ovo je uzeto zato, što veličini zračenja sunca na površini zemlje, najbolje odgovara ova kriva, jer temperatura sunca pre prolaska kroz atmosferu je približno ekvivalentna  $5000 \text{ K}$ .

Iz rezultujuće krive korienog dejstva pretvarača, filtera i upotrebljene zračne energije, a imajući u vidu vrednosti iz jednačine (4) i podatke u tabeli br. 1 izlazi da će koristeći sunce kao izvor zračenja biti uvek dovoljno zračne energije, koja će biti u stanju da izazove maksimalno razlaganje kod upotrebljenog pretvarača.

Analizirajući dokaze i zaključke navedene i izvedene u glavama 1, 2 i 3, proizilazi zaključak da bi trebalo kod preciznih geodetskih merenja u cilju povećanja tačnosti i pojeftinjenja radova meriti se svetlošću što većih talasnih dužina. Međutim, da bi se moglo raditi sa takvom svetlošću, mora se kod odgovarajućih instrumenata (teodolita) imati specijalni durbin. Ovaj durbin će se osetno razlikovati po svom sastavu i konstrukciji od dosadašnjih durbina. Zbog toga da se ra vidi kakav treba da bude i šta mora imati taj duribn da bi napravili njegov projekat i proračun.

#### 4. PROJEKT I PRORAČUN MERSINA KOD INSTRUMENTATA ZA KORIŠĆENJE INFRACRVENIH ZRAKOVA

##### 4.1) Granica upotrebljivosti zračne energije

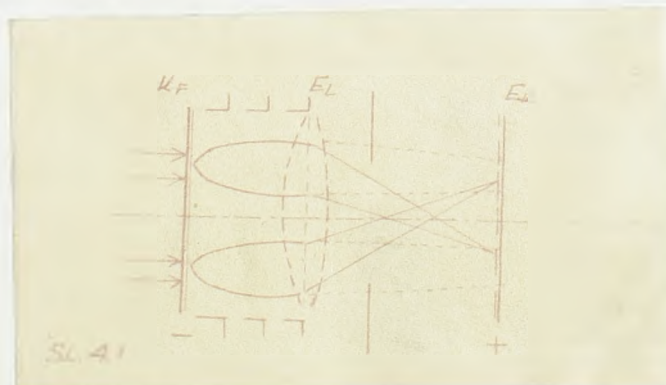
Ako se kod meranja sa upotrebom zračenja većih talasnih dužina od obične svetlosti, upotrebe sunčeve (ili veštačkih puteva stvorene) radijacije sa što većim talasnim dužinama, može se zapitati zašto se ne upotrebe one svetlosne radijacije koje imaju najveću moguću talasnu dužinu  $\lambda$ . Kao razlog nemogućnosti upotrebe radijacija sa najvećom, pa čak i preko 1,4 mikrona, talasnom dužinom do danas je uglavnom to što se nije pronašao takav materijal (hemijski sastav) koji bi se upotrebljavao kod izrade tog pomoćnog uređaja za pretvaranje nevidljivih radijacija u vidljive. Odnosno, zbog postojanja tzv. "granične talasne dužine foto efekta".

##### 4.2) Elektronsko-optički pretvarači slike

Uređaj pomoću koga se vrši pretvaranje nevidljivog za naše oko zračenja u vidljivo, zove se elektronsko - optički pretvarač. Najpre da ukratko iznesemo princip njegovog rada koji se danas najbolje i najviše upotrebljava u ovoj tehnici.

Princip rada se zasniva na pojavi spoljnog efekta fotokatodnog sloja i katodne luminescencije fluorescentnog ekrana, koji se ostvaruje u jednom staklenom sudu, obično cilindru, sa dva dna u kome se mora stvoriti visoko vakuumsko stanje, veličine od  $10^{-4}$  do  $10^{-5}$  cm živinog stuba. Međutim, na osnovu analize ispitivanja /66/, /76/, /79/, /80/, /85/, /90/, /91/, /92/, kao i prvog dela ovog rada, a u vezi prolaska zračenja kroz vazduh, vidi se da i na takav način stvoreno vakuumsko stanje nije dobro, već se mora poboljšati što je moguće više, tako da bude minimalno reda  $10^{-8}$  mm živinog stuba. Ovo zato što i pri vakuumskom stanju od  $10^{-4}$  mm živinog stuba ipak prestaje unutar suda dovoljan broj čestica molekula vazduha koji smanjuju intenzitet fotoelektronske struje i onečaju pravolinijsko kretanje fotoelektrona stvarajući sumove a ovo opet sve utiče na oštrinu i intenzitet lika, dobijenog pomoću njih.

Na jednom od ova dva dna (koji se okreće ka objektivu) sa unutrašnje strane se mora naneti poluprozračni fotokatodni sloj (obično se od srebra sa oko 40 mikrona debljine srebrooksida i cezija). Na taj način se stvara fotokatoda. Na drugom dnu koji se mora nalaziti dijametralno od prvog, nanosi se fluorescirajući materijal (koji se radi obično od veštačkog vilenita, čija se boja svetljenja poklapa sa maksimalnom osetljivošću oka) i na taj način ono se pretvara u anodu. Između ova dva dna (elektrode) mora se veštačkim putem stvoriti visoki napon koji pomaže i ubrzava kretanje fotoelektrona od katode ka anodi. U momentu kada padne neko zračenje na fotokatodu i na njoj stvori nevidljivi elektronski lik izazivajući emisiju fotoelektrona, koji bivaju ubrzani od strane veštačkim putem stvorenog električnog polja između elektroda i padajući na anodu izazivaju njeno svetljenje. Na ovakav način nevidljivo zračenje koje pada na katodu postaje vidljivo na anodi - ekranu. Jačina svetljenja ekrana zavisi od jačine izvora (broja elektrona koji padaju na ekran u jedinici vremena) i brzine elektrona koji padaju na ekran. Brzina elektrona može se odrediti putem znanja razlike potencijala koji je dejstvovao na elektrone prilikom njihovog kretanja u ubrzavajućem polju, a može se izraziti i na sledeći način  $\frac{1}{30} v = 593\sqrt{U}$ . U zavisnosti od brzine fotoelektrona na njihovom putu, zavisi i oštrina slike koju oni stvaraju na ekranu, jer kod manjih brzina dolazi do njihovog rasipanja pri njihovom kretanju od jedne elektrode do druge. U slučaju da je stvoreno električno polje u unutrašnjosti preobrazivača duž celog svoga toka istoznačno, onda će i fotoelektroni koji izlaze iz foto katode, zbog različite njihove početne brzine,  $v_0$ , ići jednako ubrzano ka ekranu, ali ne po pravoj liniji i međusobno paralelni jedan drugom, već po nekoj vrsti parabola, sl. 4.1, čija su temena u tačkama izlaza na foto katodi. Zbog ovoga, padajući na ekran oni neće padati u tačkama spregnutim sa odgovarajućim na fotokatodi, i neće davati tačkaste linikove tačkaka, već u obliku nekakvih krugova i kvareći na taj način oštrinu slike smanjujući oslobodjavajuću sposobnost toga preobrazivača.





Da bi se ovo donekle, ako ne sasvim, otklonilo, treba stvoriti promenljivo električno polje što veće jačine s tim da taj porast polja ne bude skokovit odjednom, već ravnomernog porasta od fotokatode ka ekranu. Ovo zato što bi promena brzine fotoelektrona od početne  $v_0$  ka nekoj ogromnoj  $v$  (maks), dovela do naglih promena pravaca njihovog haotičnog kretanja. Ravnomerno povećavanje električnog polja može se ostvariti ukretanjem niza elektronskih sočiva između fotokatode i anode /koja će dejstvovati na fotoelektrone, ubrzavajući ih ravnomerno i usmeravajući ih ka ekranu/, i dijafragmi (koje će vršiti odabirajući ulogu kod anodova fotoelektrona).

Postoji više predloga za način računanja dijametra "D" tih krugova rasipanja, ali na osnovu analize /11/, /14/, /19/, /20/, /21/, /24/, /26/, /30/, /31/, /36/, /38/, /65/, /66/, /80/, /90/, /91/, /92/, i njihovih upoređenja predložili bi sledeći obrazac koji bi najbolje odgovarao, i to za slučaj prostog preobrazivača samo sa dvema elektrodama:

$$D = 2d.K \frac{V_0}{U} = K \frac{1200d}{\sqrt{U}} \dots (4.10)$$

i za slučaj više elektrodnog preobrazivača:

$$D' = d.K \frac{V_0}{U} = K \frac{600.d}{\sqrt{U}} \dots (4.11)$$

gde je:

$$K = \gamma \frac{\Gamma}{2\Gamma + 1} \dots (4.12)$$

$v_0$  - početna brzina fotoelektrona u voltima;

$U$  - razlika potencijala između fotokatode i anode (ubrzavajući potencijal);

$d$  - razmak između elektroda u cm (od fotokatode do ekrana);

$\Gamma$  - elektronskooptičko uvećanje preobrazivača, koje doprinosi povećanju osetljivosti pretvarača ( $\Gamma < 1$ );

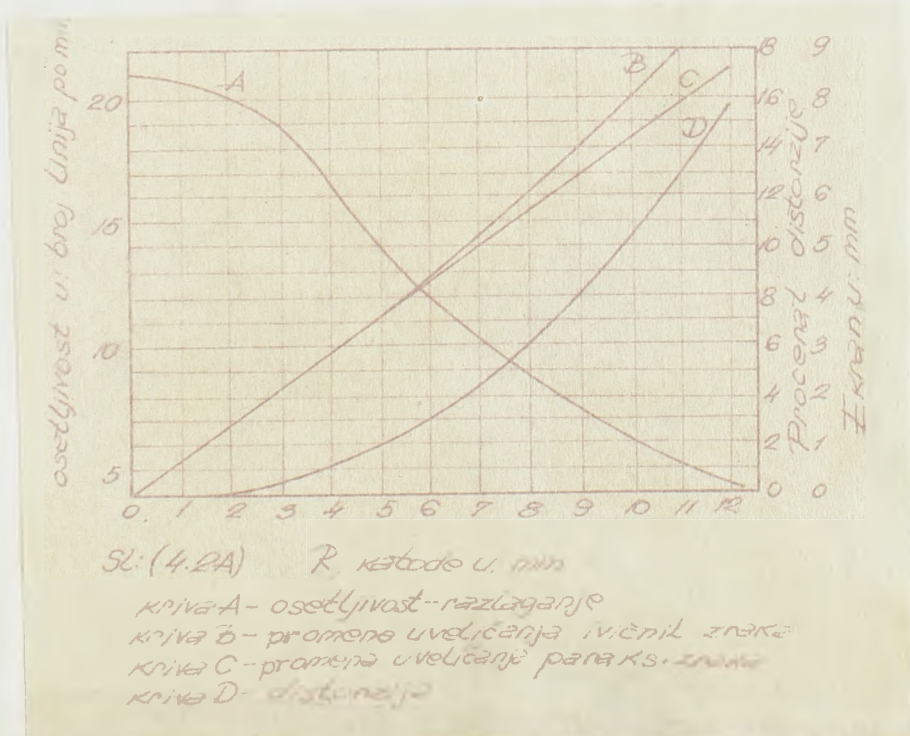
$\gamma$  - koeficijent koji zavisi od vrste materijala od koga je izrađen preobrazivač, od napona stvorenog u preobrazivaču i još niza drugih faktora, kao što je veličina distorzije, a koji se mora odrediti eksperimentalno za svaki tip preobrazivača posebno i koji se kreće u granicama od:  $0 < \gamma \leq 1$

Analizom ovih formula vidi se da prečnik rasipajućeg kruga lika tačke zavisi: (1) od razmaka "d" između elektronskog (nevidljivog) i vidljivog lika kod preobrazivača duplo povećavajući se duplo kod običnog dvoelektrodnog preobrazivača; (2) od toga da li preobrazivač daje vidljivi lik iste veličine, kao što je nevidljivi elektronski lik na fotokatodi stvoren povećan ili smanjen; (3) od količnika između početne brzine  $v_0$  fotoelektrona (sa kojom oni izleću iz fotoelektrode) i ubrzavajućeg potencijala  $U$  stvorenog u unutrašnjosti preobrazivača, i 4) od sastava, veličine zrnaca i vrste materije od koga je izrađen preobrazivač. O ovome ću kasnije više reći na osnovu podataka u navedenoj literaturi i ispitivanja nekih vojnih instituta koje sam delimično dobio i obradio.

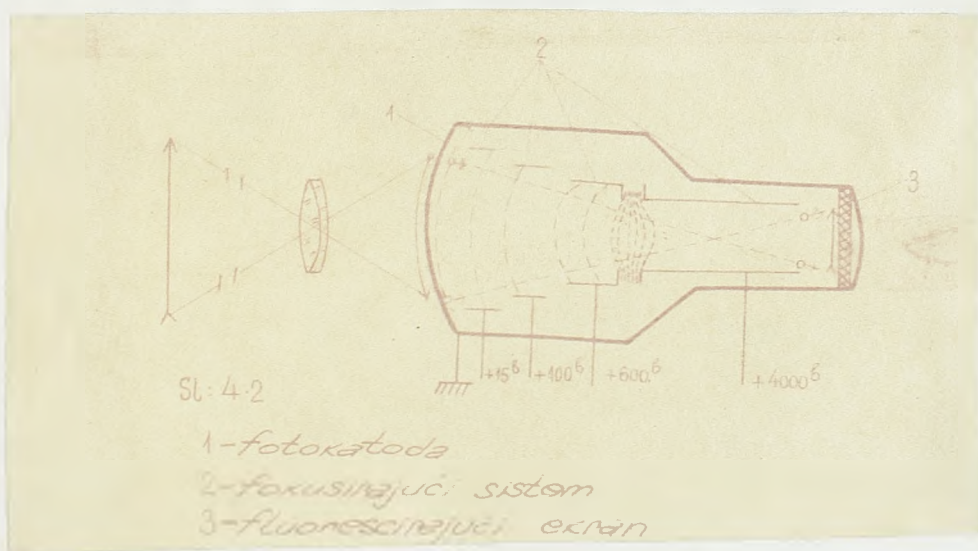
Da bi se smanjio dijametar "D" tih krugova rasipanja, odnosno da bi tačkica na fotoelektrodi odgovarala tačkici na ekranu, mora se smanjiti razmak između njih, što je otežano zbog same tehnološke izradje jednorodnog, po celoj svojoj površini, fotokatode preobrazivača, kao i zbog u tom slučaju, nastupanja tkzv. "proboja" ekrana od strane fotoelektrona, a samim tim i kvaranja celoga sistema. Međutim, tada bi došlo, sa povećanjem napona između elektroda a smanjenjem njihovog razmaka, do stvaranja suprotnog zaslepljenja, do stvaranja tkzv. "parazitnog" fona, na fotokatodi od strane svetljenja na ekranu, tj. stvaranja sopstvene emisije na fotokatodi. Sve ovo bi još uticalo i na smanjenje oslobađajuće sposobnosti samog preobrazivača. No, sve ovo uveliko otpada prilikom upotrebe višeelektrodnih preobrazivača kod kojih se može dobiti ne samo lik razmere 1 : 1, već umanjen ili uvećan lik. Mnogo povoljnije je, smatram, upotrebljavati smanjenje likova zato što tada mora doći do povećanja oštrine likova radi porasta gustine izvora fotoelektrona, a samim tim i jačine svetljenja ekrana, jer se ustanovilo da je jačina dobijenog lika na ekranu obrnuto proporcionalna kvadratu uvećanja. Sam ovoga kod višeelektrodnih preobrazivača, slika dobijena na ekranu je mnogo jasnija od slike dobijene običnim svetlosnim zracima pri normalnim uslovima. Mišljenja sam da treba vršiti izradu fotoelektroda sfernoga oblika, prečnika, kojib bi približno aproksimirao krivu preostalih aberacija optičkog sistema, pomoću koga se stvara lik na fotokatodi. Ovo bi dovelo i do smanjenja distorzije, a samim tim i do povećanja moći razlaganja sistema i povećanja kvaliteta slike na ekranu. Centar tih sfera mogao bi biti okrenut u

onom pravcu u kom se nalazi i centar aproksimirajuće krive preostalih aberacija optičkog sistema.

Kao što je već napomenuto, oštrina i kvalitet slike optičkih uređaja (durbina) su od presudnog uticaja na tačnost merenih podataka, dok oštrina likova dobivenih pomoću pretvarača slike uglavnom zavisi od njegove moći razlaganja. Razlaganje je pak kod svih pretvarača slike ograničeno: veličinom preostalih grešaka aberacije optičke sisteme, distorzijom samog pretvarača, rasipanjem svetlosti (veličinom prečnika  $D$ ), strukturom ekrana i veličinom "šumova". Razlaganje se menja duž površine katode, opadajući od centra ka periferiji, kao i distorzija što se menja (sl. 4.2a). Da bi se izbegle ili smanjile veličine i uticaj grešaka aberacija na moć razlaganja, a da se ne bi radile fotokatoda i ekran sfernog oblika, potrebno je upotrebiti "nitne površine" kod izrade pretvarača /98/. Na taj način će se dobiti u smanjenju, ako ne i potpunom odstranjenju uticaja distorzije i drugih grešaka aberacije i povećanju razlaganja. Smanjenju "šumova" doprineće povećanje vakuumske stanja u pretvaraču. Primenom više elektronskih fokusirajućih sočiva doći će do povećanja razlaganja za račun slabljenja distorzije i do smanjenja rasipanja svetlosti na ekranu. I na kraju, zahvaljujući mogućnosti dobijanja veličine "koeficijenta pretvaranja" manjeg od jedinice, možemo pojačati povećanje oštrine likova u odnosu na oštrinu likova pod normalnim uslovima, povećavajući na taj način i tačnost viziranja.



Pored napred navedenog, analizom formula za prečnik kruga rasipanja, kao i eksperimentalnih podataka navedenih u navedenim literaturama, dolazi se do zaključka da kod svih dobro izabranih parametara nekog preobrazivača njegova moć razlaganja -  $K$  (to je najmanji ugao pod kojim se mogu još uvek jasno razlikovati kao dve odvojene tačke na ekranu, dve razmaknute tačke na foto katodi) je manja od snopova fotoelektrona van osnih nego kod paraksijalnih zraka, tj. nije iste veličine u celom vidnom polju ekrana. Na sledećoj slici 4.2 vidi se šematski izgled jednog pretvarača koji predlažem da se upotrebi kod izrade durbina koga bi upotrebljavali kod geodetskih instrumenata. Po sebi se razume da bi njegove dimenzije morali približno da saobrazimo sa dimenzijama koje odgovarajuće fabrike koriste kao uslove da prečnici sfera elektroda budu date za svaku vrstu objektiva posle njihoveg proračuna.



Mada je izrada višeelektrodnih preobrazivača komplikovanija, oni se zbog svog, napred navedenog, ogromnog preimućstva nad dvoelektrodnima, uglavnom sada i upotrebljavaju, pa bih, kao što sam i napred naveo, njih preporučio kao najpogodnije pri upotrebi kod svih geodetskih instrumenata.

#### 4.2.1) Karakteristike pretvarača slike i durbina

Kao prvi osnovni uslov kod pretvarača slike, uređaja bez koga se ne mogu zamisliti pribori koji treba da koriste navidljive sa oko zrake, jeste njegova efektivnost  $E$ . Pogodniji, bolji i ekonomičniji su oni pretvarači kod kojih je  $E \geq 1$ . Međutim, kod instrumeta kao što su i geodetski durbini, gde se traži što oštija slika, važniji je drugi uslov da bude što je moguće bolje ispunjen, uslov što veće moći razlaganja upotrebljenog pretvarača. Ovaj uslov se obično izražava brojem linija  $N$  po 1 mm na ekranu, koje se odgovarajućim okularom mogu jasno razlikovati. Širina linije, (prečnik tačkice) koja se može jasno razlikovati, određuje moć razlaganja celog sistema. Postoje više različitih, ali u suštini istih obrazaca za određivanje tačnosti, odnosno broja linija koje daje neki pretvarač slike, naravno pola eksperimentalno dobivenih. Jedna od takvih je /82/:

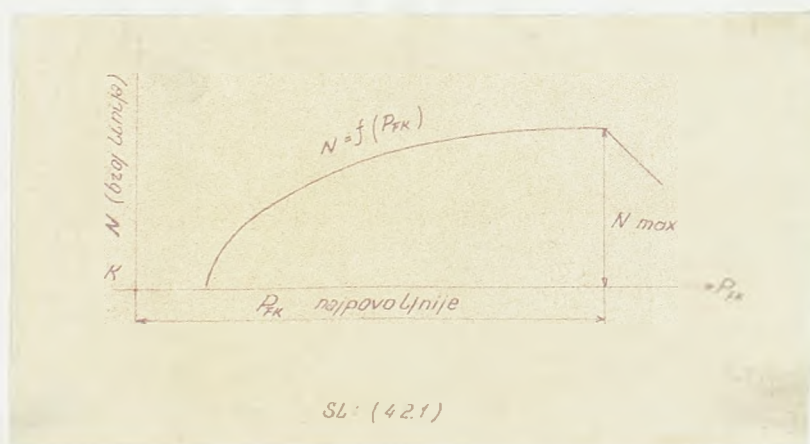
$$N = \frac{1}{f \cdot \operatorname{tg} \alpha'} \dots (4.13)$$

gde je:  $f$  = žižina daljina objektiva  
 $L'$  = moć razlaganja sistema.

Ova je formula za broj linija dobro razloženih na 1 mm dovoljno tačna, ako je objektivi sistema objektiva dobro korigovana, a okular dovoljnog uvećanja, a tim, da ne bude okular većeg uvećanja od nominalnog, jer bi došlo do uočavanja na slici strukture, zrnaca ekrana. Međutim, ako je dobro proračunati optički sistem-objektiv, skoro uvek će se desiti da je moć razlaganja, odnosno širina linija koje objektiv stvara na fotokatodi, manja od širine linija koje može da razloži pretvarač, tako da se može uzeti da je moć razlaganja (kod budućih geodetskih) durbina jednaka moći razlaganja upotrebljenog pretvarača.

Kao što se u prethodnom poglavlju je videlo, moć razlaganja, a samim tim i tačnost pretvarača, zavisi, izmedju ostalog, najviše od strukture ekrana, tj. od veličine zrnaca i od gustine zračne energije pale na fotokatodi. Ovo znači, da se pri određenoj gustini zračne energije može razložiti samo određeni broj linija na ekranu po 1 milimetru, odnosno linije određene širine odgovaraju svakoj veličini pale na fotokatodu zračne energije. Međutim, eksperimentalno je utvrđeno da što je ekran pretvarača sitnosraštiji i osetljiviji, to je za razlaganje određene širine "X" linije potrebna manja gustina zračne energije. Da bi se na ekranu mogle oštro da razlože linije

odredjenih širina, treba da širina linija koje objektiv daje na fotokatodi ne bude manja od granične koju može da rasloži dotični pretvarač. Zatim da gustina upale zračne energije na fotokatuđu bude dovoljno velika, da bi se dobile linije potrebne širine. Kod poznate vrednosti uglovnog razlaganja, odredjenih vrsta pretvarača, menjanjem sistema objektiva ustanovljeno je /82/, da je  $x = K.f. \operatorname{tg} \alpha$  tj. upravno srazmerno žižinoj daljini objektiva i moći razlaganja. Isto tako došlo se do zaključka da je gustina zračne snage na slici pri tome obrnuto srazmerna kvadratu relativnog otvora dotičnog sistema. Zavisnost između broja linija "N" rasloženih po 1 mm i potrebne gustine zračne energije, mora se za svaku vrstu pretvarača slike ustanoviti eksperimentalno, ali sve te krive su međusobno slične i imaju oblik parabole, što se vidi iz sledeće slike 4.2.1 iz eksperimenta u VTF-/82/, /83/.



Iz slike se vidi da što je N veće, potrebno je i da gustina zračne energije bude veća, međutim, to će biti samo do određene granice najekonomičnije i najpovoljnije za dotičnu vrstu pretvarača pri kojoj on najbolje radi (tj. do minimalne širine linije), dok će dalje dolaziti do pada N pri povećanju  $P_{FK}$ . Veličina upadne zračne energije na fotokatodi  $x$ -računa se od strane raznih autora na razne načine, a jedan od obrazaca je sledeći /82/:

$$P_{FK} = \frac{P_u \sqrt[3]{Kk}}{4 \left(\frac{f}{D}\right)^2}$$

gde je:  $f$  = fokalna daljina objektiva,  
 $D$  = otvor objektiva

$K_k = K_r \cdot K_p \cdot K_a$  = koeficijenti: refleksija, propustljivosti sistema objektivna i koeficijent propustljivosti atmosfere;

$P_u$  = gustina zračne energije koju zrači cilj.

Međutim, kao što je već navedeno, kada se radi po danu sa dnevnom sunčevom infra crvenom zračnom energijom, ovo ne treba računati, zato što tada pada dovoljna količina zračne energije za sa koju vrstu pretvarača slike. Tada se uvek možemo računati da je fotokatoda dobila onaj potrebni za nju maksimum  $P_{pk}$ , pri kome ona daje najmanju širinu linija, odnosno najveću moć razlaganja.

Od više raznih tipova pretvarača slika, koji se u svetu proizvode navode se sledeći u tabeli br. 1, kao najpogodniji predstavnici svih ostalih. Naravno, do karakteristike ruskih, nije se moglo doći, mada oni u literaturi navode da proizvode takvu vrstu pretvarača sa moći razlaganja  $N = 100$  linija po 1 mm i više, što je moguće, posebno upotrebom nitne optike za izradu ekrana, a što potvrđuju i rezultati ispitivanja u Vojno inženjersko-eksperimentalno laboratoriji SAD /92/.

Podaci: Tip:	S A D.		ZAPADNEM	JUGOSLAV
	6929	6914	AEG	PS-2
Dužina pretvarača: mm	58	75	160	74
Maks. prečnik fotokatode: mm	34-20	48-25	80-30	48-25
Radni napon na fokus. ekranu: volti	12000	16000	6000	16000
Uveličanje: x	0.75-0.85	0.76	0.65	0.70-0.85
Moć razlaganja u centru: lin/mm	25-40	25-40	40	25
Način fokusiranja:	elektrostat.	elektrostat.	elektrostat	elektrostat
Težina: grama	38	74	120	75
Prosečna struja fotokatode: $\mu A$	0.35	0.35		0.07
Osetljivost fotokatode $\mu W / \text{površini}$	30	30-40	25	30-40
Granična osetljivost fotokatode $\lambda: \mu \text{kr.}$	1.3	1.2	1.3	1.2
Max spektralne osetljivosti na $\lambda: \mu$	0.8-0.9	0.8-0.9	1.0	0.8-0.9
Minim faktor svetlos. pretvaranja:	10	15		10

Na osnovu studije napred citirane literature kao i /21/ i ispitivanja celokupnog optičkog sistema sa pretvaračem slike zajedno, izlazi da je:

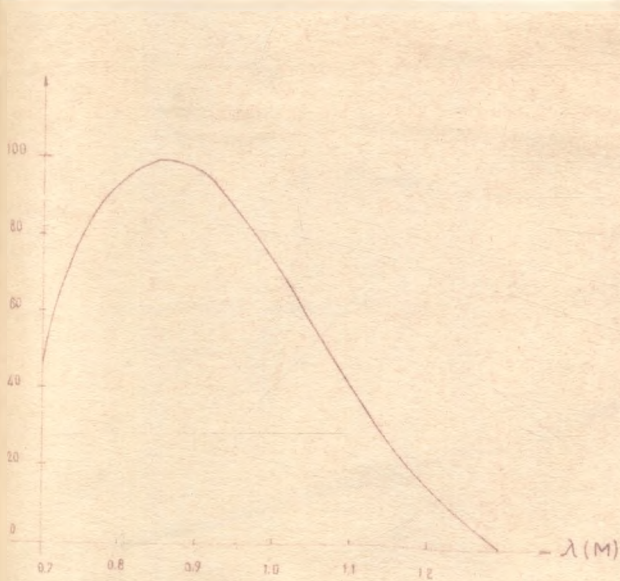
1) Intenzitet svetljenja ekrana srazmeran fotostruji katode pretvarača slike;

2) Efektivno iskorišćena zračna energija utoliko je veća ukoliko je više zahvaćeno od krive osetljivosti fotokatode (pretvarača slike), sa krivom propustljivosti upotrebljenog filtera. Međutim, upotrebom prirodne, sunčeve infracrvene zračne energije, slika će biti uvek dovoljno oštra.

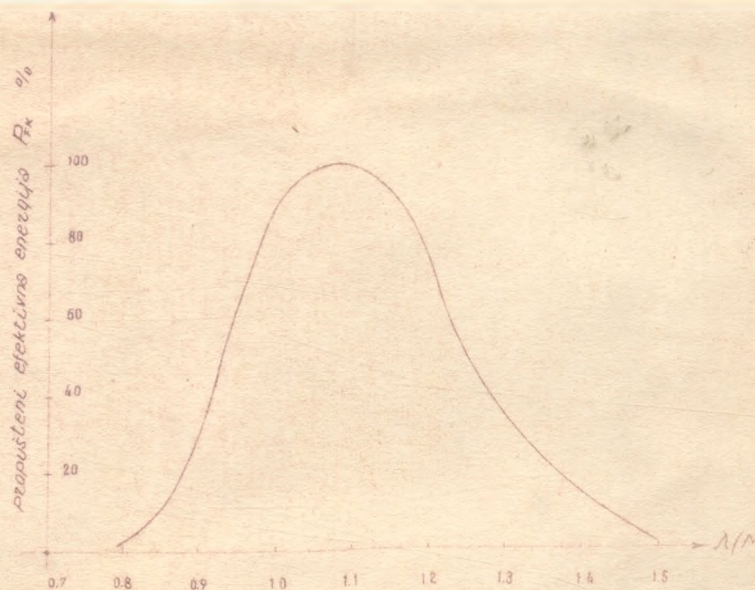
3) Merilo ukupne korisne zračne energije može se uzeti površina zahvaćena krivom (kao produktom od krive propustljivosti infracrvenog filtera i krive spektralne osetljivosti fotokatode) i apsolutnom osom (vidi sl. 4.2.1.1).

4) Idealan infracrveni filter bio bi onaj koji bi imao pravougaonu karakteristiku propustljivosti.

5) U najvišoj meri zavisi od propustljivosti (odnosno od nagiba) krive koja karakteriše određeni infracrveni filter, koliki će deo pale na njega zračne energije biti propuštan i iskorišćen.



kriva osetljivosti nekih  
fotokatoda pretvarača slike



kriva korišćenja  $P_k$



6) Tačnost viziranja, izuzimajući poznate uzroke u geodeziji, u vezi ličnih grešaka, grešaka viziranja i drugih uslova koji dolaze od atmosfere, kod rada sa infracrvenim zracima zavisiće još i od sledećih uzroka:

- 6.1) od jačine zračne energije koja dolazi odbijena od cilja, na koji se vizira;
- 6.2) izbora oblika i moći reflektovanja, površine cilja;
- 6.3) dimenzije i udaljenosti cilja;
- 6.4) bleska terena ispred cilja;
- 6.5) kontrasta između cilja i pozadine iza njega;
- 6.6) položaja sunca-cilj instrument;
- 6.7) karakteristika upotrebljenog sistema za viziranje;
- 6.8) i od osvetljenosti same okoline posmatrača.

7) Za razliku od drugih tipova durbina, kvalitet durbina za viziranje pomoću infracrvene svetlosti uglavnom je funkcija sledećih faktora: koeficijenta refleksije i apsorpcije (palih na otpički sistem infracrvenih zraka) tog optičkog sistema, relativnog otvora objektiva, spektralne osetljivosti fotokatode, moći razlaganja, efektivnosti pretvarača slike i od nominalne snage upotrebljenog okulara, koja je opet zavisna od ukupnog potrebnog uvećanja sistema.

#### 4.2.1.1) Vek trajanja pretvarača slike

Što se pak tiče veka trajanja pretvarača slike, na osnovu ispitivanja /59/ došlo se do rezultata da ako se koristi prirodna energija koju daje po danu sunce, onda je njihov vek mnogo duži nego kada se koristi veštačka svetlost. Bez toga, u zavisnosti od same tehnološke izrade cevi u pretvaraču, svaka ima svoje posebne osobine u odnosu na vek trajanja, tako da se na neke kaže da su neograničenog veka, inače do sada izrađivani i meni poznati pretvarači slike mogu da traju i preko 1.000 časova. Ipak sa napretkom tehnike izrade i njihovim usavršavanjem mora se produžiti njihov vek možda i na vek amortizacije instrumenta, tako da se neće morati često vršiti njihova zamena.

#### 4.2.1.2) Izbor pretvarača slike

Imajući na umu sve napred navedene o moći razlaganja pretvarača, kao i veličinu uvećanja okulara, na osnovu ukupnog uvećanja celog optičkog sistema da se vidi sada kolika treba da bude minimalna širina linije  $N$  za ovaj tip durbina, koji se predviđa da se upotrebljava kod geodetskih instrumenata. Na osnovu izabratog uvećanja durbina da bude oko 35 x, do 40 x, i za izabrata (vidi poglavlje 4.4) veličine širine daljine objektiva i okulara, a imajući na umu potrebnu moć razlaganja, izlazi da treba da bude uvećanje okulara od 25 x-30x. S obzirom da oko može jasno razlagati veličinu od 0,1 mm do 0,15 mm, to izlazi da minimalna širina linija na ekranu treba da iznosi 0,035 do 0,060 mm, odnosno broj linija na jednom milimetru treba da se kreće od 17 do 26. Da bi se ovaj uslov zadovoljio nije problem izabrati pretvarač slike, jer i najslabiji pretvarači mogu ga zadovoljiti, a pogotovu oni bolji kod kojih se kreće  $N=30$  do  $N=80$  i više linija po 1 milimetru. Međutim, izradom novih tipova pretvarača sa upotrebom "nitnih ploča" za fotokatuđu i ekran na osnovu /85/, /91/ moguće je dobiti moć razlaganja i od  $N=200$  do 500 lin./mm. Upotrebom staklenih niti kod pretvarača slike ne samo što bi se omogućila ogromna tačnost viziranja i oštrina likova, već i mogućnost eliminiranja svih preostalih grešaka aberacije sistema objektiva, a posebno krivine lika.

#### 4.2.1.3) Napajanje preobrazivača

Za napajanje strujom mogu se upotrebiti baterijski akumulatori od 6 volti napona, koji se pomoću specijalne konstrukcije, prekidača i uveličavajućeg transformatora, pretvara u konstantnu struju visokog napona i do 20.000 volti. Isti ovakvi akumulatori se mogu koristiti i kao izvori za napajanje strujom u slučaju da se upotrebljava reflektor pomoću koga bi se vršilo osvetljavanje predmeta (signala, letvi) infracrvenim zračenjem.

U poslednje vreme a verovatno da će se i u budućnosti upotrebljavati visokovoltne atomske baterije (akumulatori), čiji će vek trajanja biti skoro veći (preko 20 godina) koje su veoma male težine i dimenzije, kao i niza drugih prednosti nad ovim dosadašnjim.

#### 4.3) Reflektori sa izvorima infracrvene svetlosti

Kao što je u početku ovoga rada navedeno, glavni izvor svih svetlosnih radijacija, pa i infracrvenih, jeste sunce. Međutim, ako se prilikom naših merenja - opažanja radi o jako dugačkim vizurama, gde se vrši viziranje na svetlosne signale prilikom noćnog rada, ili ako prilikom gustih magli želimo da pojačamo jašinu lika opažanog predmeta (signala) upotrebom malih reflektora koji emituju infracrvene zrake osvetljavajući vizirane predmete, tada se mora uzeti kao izvor tih infracrvenih zraka neki od sledećih izvora uzeštenih u žiži ogledala dotičnog reflektora ili heliotropa. Ti izvori, u vidu raznih oblika lampi, mogu biti: 1) toplotnog zračenja, 2) elektroluminescentnog zračenja, 3) kombinovanog prvog i drugog tipa i na kraju 4) elektromagnetni izvori infracrvenog zračenja.

Na osnovu analize karakteristika /7/, /11/, /13/, /26/, /25/, /29/, /30/, /36/, /45/, /57/, ovih evih tipova pojedinih vrsta lampi, za naše geodetske radove, predlažu se "živine lampe" vrlo velikog pritiska. Ovo zato što analizirajući dijagrame i karakteristike velikog dela do sada izrađjivanih izvora (lampi) infracrvenog kratkotalnog zračenja, došlo se do zaključka da ova vrsta izvora ima veliku dužinu trajanja, lakoću izrade i veliku čvrstinu materijala u odnosu na druge, kao i dobru spektralnu karakteristiku odredjenog, neprekidnog zračenja spektra. Ove lampe imaju veliki koeficijent korisnog dejstva i one su oko 2,5 puta ekonomičnije od skoro svih ostalih, recimo volframbnih, pri istim uslovima napsajajja. Osim toga ove lampe imaju prirodno hladjenje, lako su za transport i upotrebu. Smatra se nepotrebnim da ovde za sve vrste izvora navode se podaci i dijagrami njihovih osobina da ne bi rad samo povećavao.

#### 4.4) Izbor i proračun otvora objektiva "D" i uvećanja durbina "U" za tanki sistem

Pošto će objektiv durbina služiti za dobijanje stvarnog lika na fotokatodi, koji će posmatrač gledati kroz okular uvećanog na ekranu (anodi), to će se on karakterisati njegovim fokusnim rastojanjem, dijametrom,

svetlosnim otvorom, relativnim otvorom, uvećanjem i vidnim poljem. U vezi napred rečenog i izvedenog, a i iz sledećih uslova u vezi veličine grešaka aberacije i oštine likova (o kojima će u ovom poglavlju: (4.4) i biti reči) kod objektiva, izlazi da ovi tipovi objektiva, koji će se morati upotrebiti za opažanja u geodeziji sa infracrvenom svetlošću, moraju zadovoljiti dva osnovna zahteva: 1) što prostija konstrukcija (manji broj sočiva) i 2) što bolji kvalitet dobijenih likova na ekranu u blizini optičkog centra (radi što tačnijeg viziranja, odnosno što manjih grešaka viziranja). S obzirom da objektivi ove vrste ne moraju imati veliko vidno polje, već najviše par stepeni, nepotrebno je vršiti koaplifikaciju kod proračuna u vezi potpunog odstranjenja i korekcije grešaka aberacije sferne i hromatične viših redova ( petog i više), kao i grešaka astigmatizma, krivine površine lika, distorzije i hromatične aberacije uvećanja. Ovo zato, što će se pri upotrebi ovih objektiva pri viziranju služiti isključivo samo oblašću oko optičkog centra sa takozvanim paraksijalnim zracima. Zato je tada glavna briga da likovi signala, na koje se bude viziralo, budu u toj paraksijalnoj oblasti odnosno da su aberacije svedene na minimum. Međjutim, baš u tom delu, napred navedene aberacije (krivina polja, distorzija, hromatična aberacija uvećanja) tako su male u odnosu na tačnost viziranja i pretvarača da ih možemo zanemariti. Jer, kao što će se iz narednog izlaganja i analize videti astigmatizam i krivina polja međusobno su povezani i proporcionalni prvom stepenu ugla otvora (vidnog polja), koji je za ove svrhe kod geodetskih durbina uopšte veoma mali (a posebno za paraksijalne zrake) s obzirom na velike žižine daljine sistema objektiva. Zato je potrebno, da se kod ovakvih geodetskih durbina prilikom proračuna tih optičkih sistema najviše pažnje posveti odstranjenju sferne aberacije, kome i hromatične aberacije položaja, što povlači i zadovoljenje sinusnog uslova.

Pored ovoga, iz /2/, /8/, /9/, /15/ obrazaca za računanje veličine aberacija (po Zajdelu) vidi se da je dovoljno za ovakve durbine samo aberacije nižeg (prvog i trećeg) reda odstraniti, jer su preloani uglovi: „i” i „i” tako mali kod viziranja signala, koji se nalaze praktički uvek na velikim odstojanjima od durbina, tako da ne dolazi u obzir da se računaju aberacije viših redova, jer ovi uglovi su veličine par stepeni. Sem ovoga, pošto se kod izrade

objektiva za opažanje se infracrvenim zracima moraju upotrebiti materijali koji odbijaju vidljive za oko zrake, a pošto takvi materijali imaju velike indekse prelamanja, i ta okolnost ide u prilog svemu ovome, jer smanjenjem krivine prelaznih površina, odnosno povećanjem indeksa prelamanja materijala, od koga su izradjena sočiva, dolazi do smanjenja aberacije a sa tim i redukcija aberacija višeg reda.

Pošto se po Zagđelu obično računaju približne veličine aberacija III reda optičkih sistema, da bi naš sistem dobro korigovali, za talasnu dužinu  $\lambda = 10\mu$  na da vidimo šta ćemo morati kod njega dobro korigovati a šta ne, tako da korekcijom ove prve veličine bude i ova druga svedena na najmanju veličinu zanemarljivu u odnosu na tačnost koja se zahteva od rada sa tim sistemom.

U izrazima za računanje komponentata aberacije /52/ javljaju se kao glavni izrazi Seidelove sume", koje su funkcije tzv" koeficijenta površina.

$$S_I = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=k} Q_{xi}^2 \Delta \frac{1}{n_i s_i}$$

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=k} Q_{si} \Delta \frac{1}{n_i s_i}$$

$$S_{II} = S_I + IS$$

$$S_{III} = S_I + 2IS + \frac{1}{2} I^2 \rho$$

$$S_{IV} = \sum_{i=1}^{i=k-1} \frac{\rho_i}{n_{i+1}}$$

$$S_{V} = S_I - 3IS + \frac{1}{2} I^2 \rho + S_{IV}$$

$$S_{Ix} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=k} Q_{xi}^2 \Delta \frac{1}{n_i x_i}$$

$$I = \frac{n_k(x_k - s_k)}{x_1 s_1} ; S_{sin} = \frac{U_p}{2n_p} \left( \frac{w_1}{e^2} S_{II} - \frac{1}{x_p s_p} S_I \right)$$

---(4.4.1)

Ako se želi da greška u sfernoj aberaciji za paraksijalne zrake bude jednaka ili bliska nuli, onda se mora prva suma jednačine (4.4.1) izjednačiti sa nulom, tj.  $S_I = 0 \dots (4.4.2)$ .

Međutim, ako se želi još i "koma" odstraniti mora se onda i suma  $S_{II}$  jednačine (4.4.1) svesti na nulu, tj.  $S_{II} = 0 \dots (4.4.3)$ .

Da bi bila zadovoljena jednačina (4.4.3) mora da bude  $I \cdot S = 0 \dots (4.4.4)$  zato što je već iz jednačine (4.4.2)  $S_I = 0$ . Pošto ova veličina ulazi u sumu  $S_{III}$ , gde je već  $S_I = 0$ , onda mora biti i  $2IS = 0 \dots (4.4.5)$ , a obzirom da je veličina  $I \approx 0 = (4.4.6)$  za zrake kod kojih je  $S_I = -\infty$ , a pošto je to slučaj kod geodetskih merenja onda je  $\tilde{z}$ :

$$\frac{1}{2} I^2 \varphi = 0 \dots (4.4.7)$$

Imajući u vidu jednačine od (4.4.2) do (4.4.7) izlazi da je onda i  $S_{III}$  kod zadovoljenja pratećih uslova tako mala veličina, da je praktički  $S_{III} = 0 \dots (4.4.8)$ .

Analizirajući sada veličinu  $S_{IV}$  koja se može napisati u obliku:

$$S_{IV} \approx \sum_{i=1}^{K-1} \varphi_i \sum_{l=1}^{K-1} \frac{1}{n_{i,l}} \approx \varphi \frac{N}{n} \approx 0,008 \text{ mm}$$

gde je  $N$  = broj sredina kroz koje prolazi zrak u sistemu objektivna, a taj je veličina kod našeg slučaja, i uopšte kod durbina na geodetskim instrumentima, manja od 0,008 mm, odnosno, vidi se da će ona biti utoliko manja ukoliko su indeksi odgovarajućih sočiva veći, a "jačina" sočiva suprotnih znakova i njihove žiže veće, što je kod ovog slučaja baš potrebno. Kasnije će se to i dokazati.

Zadovoljenje pak sinusnog uslova u jednačini (4.4.1), koji daje savršene likove elementarnih površina u blizini optičke osevine sistema, biće ispunjeno ako je zadovoljena jednačina (4.4.2) i (4.4.3). Pošto je već unapred postavljen uslov da moraju biti ove dve jednačine = 0 izlazi da će u tom slučaju biti zadovoljen i ovaj sinusni uslov. Međutim, kada se radi o predmetu u beskonačnosti onda zadnja formula jednačine (4.4.1) dobija sledeći oblik:

$$\delta_{sin} = \frac{\delta f'}{f'_0} = \frac{\delta s'}{s'_0 x'_0} \dots (4.4.11)$$

$$s'_0 \rightarrow -\infty$$

odnosno uslov izoplanetizma biće:  $\eta_{\infty} = \frac{df' - \delta s'}{f_0'}$   
 (4.4.1.1a) ... jer je vrlo mala razlika  
 između  $-f_0$  i  $(X_0' - S_0')$  tj.  $-f_0 \approx (X_0' - S_0')$

da bi bio zadovoljen ovaj uslov treba da bude  $f' - f_0' \approx \bar{f}' - S_0'$   
 a što se postiže ako su zadovoljene jednačine (4.4.2)  
 i (4.4.3). Tako da u zoni gde je postignuto da je  $\delta s' \approx df' \approx 0$   
 ovaj uslov je potpuno zadovoljen i postoje izoplanetične  
 površine likova.

Tako, izlazi, da će sa odstranjenjem sferne  
 aberacije i kome kod geodetskih instrumenata za opažanje  
 udaljenih ciljeva biti veoma male veličine greške asti-  
 igmatizma i krivine površina likova. Tađa su likovi oštri  
 u odnosu na ove aberacije u Zajdelovoj oblasti.

Pod uslovom da su navedeni uslovi ispunjeni,  
 ili neki bar delimično, a imajući na umu osobinu i podatke  
 sistema koji predstavlja objektiv durbina za opažanje  
 sa infracrvenim zracima (u narednom poglavlju izvodi se  
 proračun), da vidimo kako će se ponašati veličina greške  
 distorzije kod takvog objektiva.

U sumi  $S_{\Sigma}$ , koja karakteriše veličinu distorzije,  
 prvi član  $S_I$  već pojedinačni (4.4.2) otpada, drugi član je  
 takođe iz jednačine (4.4.4) jednak nuli, zato što ako je  
 $IS = 0$  onda mora biti i  $3IS = 0$  . . (4.4.1c). Treći član  
 $\frac{1}{2} I^2 \varphi$  je isti kao i kod greške astigmatizma gde je po jednačini  
 (4.4.7) jednak nuli, ili bar tako mala i zanemarljiva veli-  
 čina za slučajeve objektiva za durbine. Tako, praktično,  
 izlazi da je veličina greške distorzije zavisana od veličine  
 krivine polja. Pošto je po jednačini (4.4.9) našlo se ko-  
 lika može da bude ista, i da je za paraksijalnu oblast i  
 zrake koji dolaze iz velike daljine ona tako mala, te je  
 se za naše slučajeve može skoro zanemariti. Što se pak  
 tiče veličine  $S_{I,x}$ , tj. veličine greške sferne aberacije u  
 izlaznoj pupili, za slučaj objektiva za durbine kod kojih  
 je postavljen uslov da zraci dolaze iz + beskonačnosti pa-  
 ralelni optičkoj osi, ta veličina otpada jer je  $x_f = s_f = \infty$  pa  
 se ceo izraz svodi na:

$$\sum_{Ix} \rightarrow 0$$

$$\lim_{x_f, s_f \rightarrow -\infty} \dots \dots \dots (4.4.11)$$

Pošto se kod opažanja neće koristiti zraci strogo određene talasne dužine  $\lambda$ , već za ovu konstrukciju od 900 na dođ 1200 na, onda mora se videti kako će se odraziti i šta se mora uraditi da bi greška, koja će se pojaviti, a koja je ekvivalentna grešci hromatičke aberacije u vidljivoj svetlosti, bila svedena na minimum.

Pošto je to oblast bliska vidljivom delu spektra a osobine i zakoni prelamanja o kojima je u poglavlju (1) ovoga rada govoreno, važe i kod ovih zraka, sa izuzetkom manjeg lomljenja, to se mogu koristiti formule Zajdelove za slučaj hromatične aberacije.

Obrazac za slučaj kada je predmet u beskonačnosti za podužnu hromatičku a beraciju glasi:

$$ds'_{hr} = - \frac{f'}{n} \cdot S_I^{hr} \quad (4.4.12)$$

$$\text{gde je: } S_I^{hr} = \sum_{i=1}^k \left( \frac{h_i}{h_1} \right)^2 Q_{s_i} \Delta \frac{\delta n}{n} \quad (4.4.13)$$

ili za na koji položaj predmeta:

$$ds'_{hr} = - \frac{\alpha' \cdot \delta p^2}{n_p} S_I^{hr} \quad (4.4.14)$$

Pošto je debljina sočiva obzirom na njihovu žižinu daljinu mala, može se uzeti prostiji obrazac koji važi za tanki optički sistem. Tada važi formula:

$$\left. \begin{aligned} S_I^{hr} &= \sum_{i=1}^k \left( \frac{h_i}{h_1} \right)^2 \frac{\varphi_i}{V_i} \\ \text{gde je: } V_i &= \frac{n_i - 1}{\delta n_i} \end{aligned} \right\} \quad (4.4.15)$$

Da bi se veličina hromatičke aberacije položaja, koja je u našem slučaju ipak važna (s obzirom da likovi treba da padaju u ravni fotokatode), što je moguće više uzanjala, mora se veličina indeksa prelamanja povećati i veličina zbira  $S_I^{hr}$  izborom elemenata sočiva sveati na minimalnu veličinu. Veličina druge greške, tj. hromatičke razlike likova, odnosno hromatičke razlike uvećanja za ove upotrebljene uslove, može se izračunati po obrascu (4.4.16):

$$S_{II}^{hr} = \sum_{i=1}^k \frac{h_i y_i}{h_1 y_1} \frac{\varphi_i}{V_i} \quad (4.4.16)$$

Ona je za naše radove neuticajna, ali za naše uslove rada može se sa dovoljnom aproksimacijom uzeti da su veličine  $h_1$ ,  $y_1$ ,  $h_1$  i  $y_1$  male tako da njihovi proizvodi teže nuli. Osim toga, je:  $\frac{\varphi_i}{V_i}$  jako mala tako da  $S_{II}^{hr}$  teži nuli. Iz toga sledi da se može  $S_{II}^{hr}$  kod proračuna ovog tipa objektiva zanemariti. I, ak, i kada to ne bi bilo zadovoljeno, za slučaj bliskih sočiva ili sočiva koja se dodiruju,



može se dovoljnom aproksimacijom da uzme da je  $h_1 = h_1$  i  $Y_1 = Y_1$  . . . (4.4.17), pa kada se upotrebe u jednačini (4.4.15) dobija se obrazac skoro potpuno identičan obrascu (4.4.15) za podužnu hromatičku aberaciju. I kada se sada postavi i zadovolji uslov, prilikom izbora i proračuna elemenata sistema objektivna, da je  $S_I^{hr} = 0$ , to je onda i  $S_{II}^{hr} = 0$  (4.4.18).

Za proračun objektivna kod šurcina, može se uzeti kod prve aproksimacije da je:  $S_I = 0$ ,  $S_{II} = 0$ ,  $S_I^{hr} = 0$ , tako da u tom slučaju dobijaju se veoma jednostavni obrasci iz kojih dalje mogu se dobiti lako uslovne jednačine za proračun parametara objektivna.

Kod proračuna ovog tipa objektivna, a imajući u vidu za kakvu svrhu opažanja on mora biti osposobljen (s obzirom na traženu tačnost dotičnih merenja uslova) moramo se poći od osnovnog zahteva da on daje potrebnu moć razlaganja.

Ovaj zahtev nam u isto vreme određuje i sve ostale uslove, pođ uslovom da su kod takvog, objektivna korigovane sve potrebne (ili na minimum svedene) napred navedene aberacije. Ovo samo, sa određeni položaj predmeta (u našem slučaju za  $S = -\infty$ ). Pošto se kod naših opažanja (sa ovakvom vratom instrumenata) neće opažati jako bliske tačke, već udaljene počev od 0,1 km i više, potrebno je korekciju vršiti za beskonačno daleki predmet. Jer iz iskustva i uporedjenja raznih proračuna objektivna /2/, /8/, /9/, /15/, /17/, /32/, /37/, /44/, /48/, /52/ izlazi da je objektivni čiji se relativni otvor kreće u granicama od 1 : 3, 5 do 1 : 6, a žižina daljina od  $f = 100$  mm do  $f = 250$  mm, imaju sferne aberacije od 0,05 do 0,1 mm, što je takođe u dozvoljenim granicama za naše radove, dok su kod većih žižinih daljina te greške još i manje. Isto ovo važi i za hromatičku aberaciju položaja, dok koma ne dostiže veću vrednost od 0,01 mm (sve je ovo kod fino korigovanih objektivna).

Pošto ove pomenute greške, ukoliko predju određenu granicu u veličini, utiču na oštrinu slike, a koja opet zavisi i od difrakcije odgovarajućeg sistema, to moramo kod proračuna objektivna poći i od toga zahteva da i taj uticaj ne predje određenu minimalnu veličinu.

S obzirom da u vidljivoj svetlosti, kao i u bliskoj infracrvenoj oblasti spektra, fotoprijemnici svetlosnog zračenja poseduju sposobnost razlikovanja dveju bližih tačaka, ako je njihovo međusobno rastojanje veličine nekih desetak mikrona pa i manje, ne može se zahtevati od sistema za opažanje sa infracrvenim zracima u geodetskim merenjima, da poseduju neku veću moć razlaganja mada oštrina likova ne bi bila mnogo veća, jer bi to samo komplikovalo njihov proračun i gubitak svetlosti kod likova. Na taj način, mogu se upotrebiti mnogo prostiji sistemi sa objektivima. Pošto je moć razlaganja ograničena difrakcijom svetlosti, onda i stepen toga ograničenja zavisi od dijametra optičkog sistema i od upotrebene talasne dužine, pa i ta dva elementa moraju se uzeti u obzir kod našeg proračuna. Viziranje sa potrebnom tačnošću moguće je ako lik cilja nije manji od granice moći razlaganja dotičnog durbina. Iz toga izlazi da bi se mogle oštro razlikovati dve odvojene tačke potrebo je da bude njihov međusobni razmak toliki da bi se njihovi difrakcioni likovi stvoreni na ekranu pretvarača slike mogli razlikovati kao dve odvojene tačke.

Ovo će se ostvariti onda kada maksimalna osvetljenost lika prve tačke padne na minimalnu osvetljenost lika druge tačke, koji se na ravni ekrana predstavljaju u vidu malih svetlećih (krugova) diskova. Isto će biti zadovoljeno onda kada bude zadovoljena jednačina (4.4.2c), koja nam daje veličinu potrebnog razmaka između centara ta dva diska, odnosno između maksimuma njihove osvetljenosti da bi se te dve tačke mogle oštro razlikovati. Ako se taj razmak izrazi u radijanima i obeleži se sa  $\alpha'$  biće:

$$\alpha' \geq \frac{1020\lambda c}{D}$$

Kao što je poznato, recipročna vrednost ovog ugla zove se moć razlaganja i vidi se da je ona utoliko veća ukoliko je talasna dužina manja, a veći prečnik objektiva. Mada kod geodetskih durbina i nije potrebna neka ogromno velika moć razlaganja, ali da bi je u ovom slučaju učinili što većom, moramo se povećati dijametar  $D$  objektiva, odnosno uvećanje. No ipak, treba imati na umu da se sa povećanjem uvećanja objektiva ne postiže naročito mnogo, jer se time samo povećavaju dimenzije centralnih difrakcionih krugova, a ne i likovi tačaka na koje se vizira. Zbog ovoga, kod izbora prečnika otvora objektiva mora se koristiti obrazac (4.4.2c), kao izvesno početno merilo.

• druge strane uzimajući za najmanju vrednost ugla, polja vida običnog mensaružanog oka  $\alpha$ , koja se kreće oko  $60''$  možemo izračunati veličinu ugla razlaganja optičkog sistema po obrascu:

$$\varphi = K \frac{\alpha}{U}$$

gde je:  $K \geq 1$  a zavisi od dotične vrste sistema i materijala od koga je on izrađen.

Iz formula (4.4.20) i (4.4.21), a uzimajući kod toga da treba da bude moć razlaganja objektiva oko  $2''$ , dobija se veoma prost, približan obrazac, ali za praksu dovoljno tačan (4.4.22).

$$D = 1,5U \dots \dots \dots (4.4.22)$$

gde jeuzeto da je:

- D - dijametar objektiva u mm,
- U - uvećanje durbina.

Ovde je uzeto za srednju talasnu dužinu  $1000 \text{ nm}$ , a  $K = 1,2$ . Vodeći računa o potrebnoj tačnosti viziranja, moći razlaganja šepčiča kod fovea oka, kao i potrebnom prosečnom uvećanju kod durbina za precizno merenje uglova u geodetske svrhe, koje se  $\acute{e}$  kreće oko  $40x$ , izlazi da je  $D \approx 60 \text{ mm}$ .

Kao što smo videli u poglavlju (4.2.1) da bi ovo bilo zadovoljeno mora u tom slučaju okular imati potrebno nominalno uvećanje, oko  $30x$ . Polazeći od formule za nominalno uvećanje okulara:

$$U_{ok} = \frac{250}{f_{ok}}$$

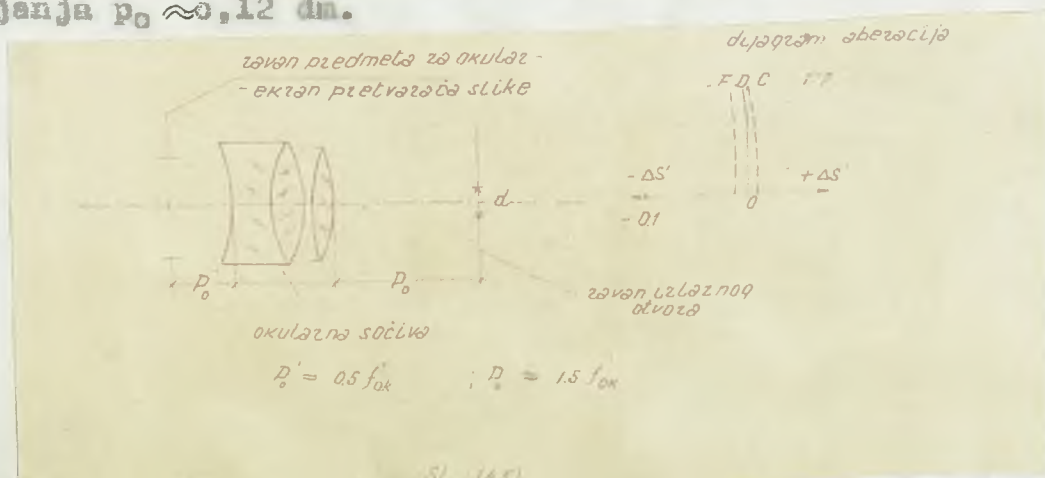
dobijamo da u tom slučaju treba da je  $f_{ok} = 8,4 \text{ mm}$ . Ovo je i prosečna veličina fokalnih daljina okulara kod geodetskih durbina instrumenata za precizno merenje. Uzimajući za  $U=40x$  i  $D=60 \text{ mm}$  izlazi da veličina  $D'$ - izlazne pupile treba da bude  $= 1,5 \text{ mm}$ . Ova veličina se poklapa sa veličinom izlazne pupile kod izabratog okulara u narednom poglavlju (4.5). Ona se smatra u praksi, za normalne dnevne svetlosne uslove /37/, i najracionalnijom.

U slučaju rada u noćnim uslovima, potrebno je izvršiti zamenu okulara sa znatno većom izlaznom pupilom, što će dovesti do smanjenja, uvećanja ali zato imaćemo ipak dobru svetlosnu moć sistema.

Možda je malo velik dijametar objektiva, ali poznato je da što je on veći, veća je osvetljenost lika kod slabih osvetljenosti predmeta, što izaziva zamaranje oka operatatora, povlačeći manju tačnost viziranja. Zatim kod slabih svetlosnih prilika može se izvršiti zamena okulara sa većom izlaznom pupilom, što poboljšava u tim uslovima tačnost viziranja i ispravno u tom slučaju postavljanje oka.

#### 4.5) Izbor okulara i mesta končanice

Kod ovog tipa instrumenta trebalo bi upotrebiti okular sa "iznetom pupilom" (sl. 4.5). Ovo zato što se ovaj tip okulara /37/ upotrebljava gde su potrebni specijalni i jaki okulari, a fokusno rastojanje da im se kreće od 3,5 mm do 10 mm. Kod njega je "radno rastojanje  $p_0$ " jako povoljno i može se postići koliko je poželjno. Sem toga, nema veliki broj sočiva (svega 3), tako da se neće gubiti mnogo od svetlosne jačine lika predmeta. Kod vrlo malih žižnih daljina okulara upotrebom ovog tipa postiže se veličina  $p_0$  i do  $p_0 = 114\% f'_{ok}$ , tako da je vrlo povoljan položaj oka posmatrača kod rada sa njima. I ako je veoma prosta konstrukcija ovog okulara, ipak se postiže skoro idealna ispravljena sferna aberacija i koma, veoma mali hromatizam i astigmatizam, skoro potpuno ravno polje, ali malo veća distorzija po ivici. Ona ne pretstavlja u proseku neku znatnu veličinu, kada je u pitanju ďurbin za viziranje. Baš postojanje izvesne distorzije kod okulara odgovara dubbinama sa pretvaračem slike, jer nam to omogućava da dobro korigujemo distorziju koja se kao (jedina od grešaka aberacija) pojavljuje u dovoljnom stepenu u polju ekrana pretvarača slike. Smatra se da je veoma povoljna osobina ovog okulara i ta što je ukupna dužina njegova jako mala, smanjujući ukupnu dužinu ďurbina na taj nađin. Tako npr. za  $f_{ok} = 0,10$  da odstojanje od prednje žižine ravni okulara u kojoj treba da se postavi ravan ekrana pretvarača slike pa do izlaznog otvora iznosi  $\approx 0,25$  dm, pri čemu je veličina radnog odstojanja  $p_0 \approx 0,12$  dm.



Na osnovu svih ovih osobina, trebalo bi upotrebiti takav okular da kod izrade durbina za geodetska merenja pomoću infraerene svetlosti. Jer, uopšte, kod geodetskih instrumenata se traži dosta veliko uvećanje (i svetlosno jaki durbini), a dobro odstranjenje sverne aberacije, hromatizma i kome. Polje vida ovog okulara kreće se u granicama od  $45^\circ$  do  $50^\circ$ .

Veličina izlazne pupile određuje se po obrascu  $d = f_{ok} \cdot A$ , (gde je:  $A$  = realativni otvor objektiva) pa je  $d = 8,4 \cdot 0,171 = 1,55$  mm, što se poklapa sa traženom i dugo ispitivanom najracionalnijom /37/, /48/ izlaznom pupilom. Veličina pupile <sup>de</sup> koje su došli optičari dugogodišnjim ispitivanjem i praksom smatra se kao najbolja i najracionalnij-a ako se kreće u granicama od 1,5 do 2 mm.

Što se tiče pak položaja končanice kod ovog tipa instrumenata, treba specijalnim tehničkim postupkom da se izradi vizirni krst (končanica) sa spoljne strane anode slikovnog pretvarača. Sa time je paralaksa svedena na minimum koji je zavisán samo od debljine stakla anode. Ovo zato, što kada bi ona bila ugravirana na njejoj fotokatodi, koja treba da bude sfernog oblika i koja treba da aproksimira površinu sa minimalnim aberacijama objektivnog sistema, lik njen, stvoren sistemom okulara bio bi deformisan sa unošenim svim tim preostalim greškama aberacije objektiva. Ovo bi smanjivalo mogućnost dobrog navođenja likova kod viziranja. Zatim, ugraviranjem končanice na ravan fotokatore smanjuje se površina sa koje fotoelektroni treba da izlaze, i to baš kod onog najglavnijeg dela, u centru preobrazivača, smanjujući na taj način jasnoću likova dobivenih na ekranu. Sve bi ovo otpalo u slučaju kada bi se ona ugravirala na ekranu (i to na strani ka okularu).

#### 4.6) PRORAČUN SISTEMA OBJEKTIVA

##### 4.6.1) Proračun osnovnih elemenata za tanki sistem

Pošto je već u prethodnom poglavlju izračunato i izabrato da treba kod ovog tipa durbina da je  $f_{ok} = 8,4$  mm i usvojeno da napred sračunato uvećanje bude  $D = 40$ , dobija se da onda mora biti  $f_{obj} = 350$  mm. Ova veličina za ovaj slučaj durbina, predstavlja odstojanje od druge glavne ravni celokupnog optičkog sistema objektiva  $H'$  pa do prednje površine fotokatore preobrazivača koji je nepomičan i nalazi se u durbinu.

U ovom slučaju, da bi vršili poništavanje paralakse, odnosno, uvek jasno gledali likove viziranih predmeta, trebalo bi ili prijemnik zračne energije (elektronski preobrazivač) premeštati u zavisnosti od udaljenosti ciljeva ili pak imati dimenzije osjetljive površine fotokatode jednake dimenzijama prvog objektivnog sočiva, što bi jako smanjivalo oštrinu likova, povećalo aberacije i šumove prijemnika.

Da bi se sve ovo izbeglo i imali nepokretan preobrazivač slike (ma da za slučajevne opažanja kod ove vrste instrumenata to pomeranje ne bi iznosilo neku veliku vrednost) mora se umetnuti dodatno sočivo, fokusirajuće. Ono će smanjiti dimenzije osjetljive površine, likove cilja uvek upravljati tako, da oni padaju na površinu fotokatode. Sem toga, odstraniće sve greške koje se izazivaju povećanjem površine fotokatode. Blagodareći njemu, u stanju smo da celo primljeno zračenje upravimo na fotokatodu. Ovo sočivo može biti napravljeno od jednog ili više sočiva, ali za nas je (ako imamo u vidu zakone o gubitku zračne energije - svetlosti sa povećanjem broja preloanih površina i dužine puta kroz razne sredine) od vidnog interesa da ono bude što prostije i po mogućstvu tanje, ili da bude jedno jedino sočivo. Naravno, da ga pri proračunu sistema treba uklopiti zajedno, tj. ceo sistem sočiva objektiva i njega treba računati kod otklanjanja aberacija kao jednu celinu.

Neka prvo sočivo, objektivno sočivo, za prvo vreme bude se smatralo kao jedno sočivo - jedan sistem, čija je žižina daljina  $f_1$  i  $f_1'$ , i neka je žižina daljina ovoga fokusirajućeg sočiva  $f_2$  i  $f_2'$ . Neka žižina daljina celog sistema zajedno bude  $f_0$  i  $f_0'$  a koja je napred sračunata i uzeta da iznosi  $f_0' = 350 \text{ mm} = 3,50 \text{ dm}$ .

Ovo fokusirajuće sočivo moraže se nalaziti na odstojanju  $e_0$ , kada je predmet u  $S_0 = -\infty$ , a na odstojanju  $e_1$  kada je predmet na nekom konačnom odstojanju  $S_1 = +3 \text{ m}$  od prvog sočiva objektiva, a tim da to odstojanje "e" uvek mora biti manje od žižine daljine prvog objektivnog sočiva, tj. da je  $e < f_1'$ . . . (4.6.1)

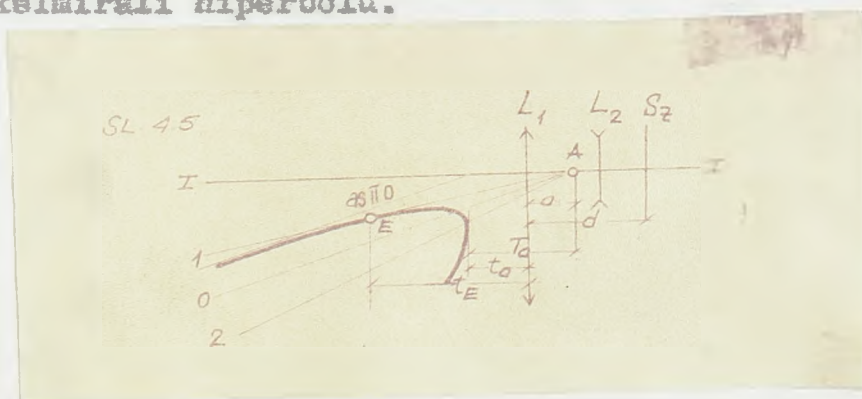
Veličina pomeranja fokusirajućeg sočiva, kada se predmet nalazi na nekom konačnom odstojanju  $S_1$  i na  $S_0 = +\infty$  od objektiva mora se naći po jednačini:

$$\Delta e = e_1 - e_0 \dots (4.6.2)$$

Da ne izvodi se dokaz, već samo da konstatuje se, da ovo fokusirajuće sočivo mora biti negativno, radi dobijanja veće žižne daljine  $f_0$ , a što kraće ukupne dužine durbina, manjeg relativnog otvora i manjih grešaka aberacije. Pošto je to jedna vrsta teleobjektiva, kod koje u  $F'$  zadnjoj ekvivalentnoj žiži celog sistema objektiva mora se smestiti ravan fotokatode, a  $H'$  biće njegova zadnja glavna tačka, to kontruktivna dužina "d" od prednjeg objektivnog sočiva, odnosno, od zadnje glavne ravni čvrstog objektiva do prednje ravni fotokatode mora biti konstantne dužine, tj.  $d = \text{konstanta} \dots (4.6.3)$ . Da bi isprobali brzinu i lakoću kod proračuna sistema, računanje osnovnih elemenata sistema objektiva vršeno je po već poznatim "stariim" načinima, već po Roelofovoj novo razradjenoj metodi. L. Fialovskog /16/ sredinom ovog načina određivanja osnovnih elemenata i pojedinih njenih metoda aproksimacije linije vizure, dolazi se do sledećeg (4.6.a) dijagrama za veličinu grešaka u dužini:  $\Delta t$  upotrebom odgovarajuće metode aproksimacije.

Kod proračuna osnovnih elemenata sistema objektiva po ovom navedenom načinu, kombinavane su tzv. metode "3" i "1", za koje se njihove osobine vide na dijagramu 4.6.1.

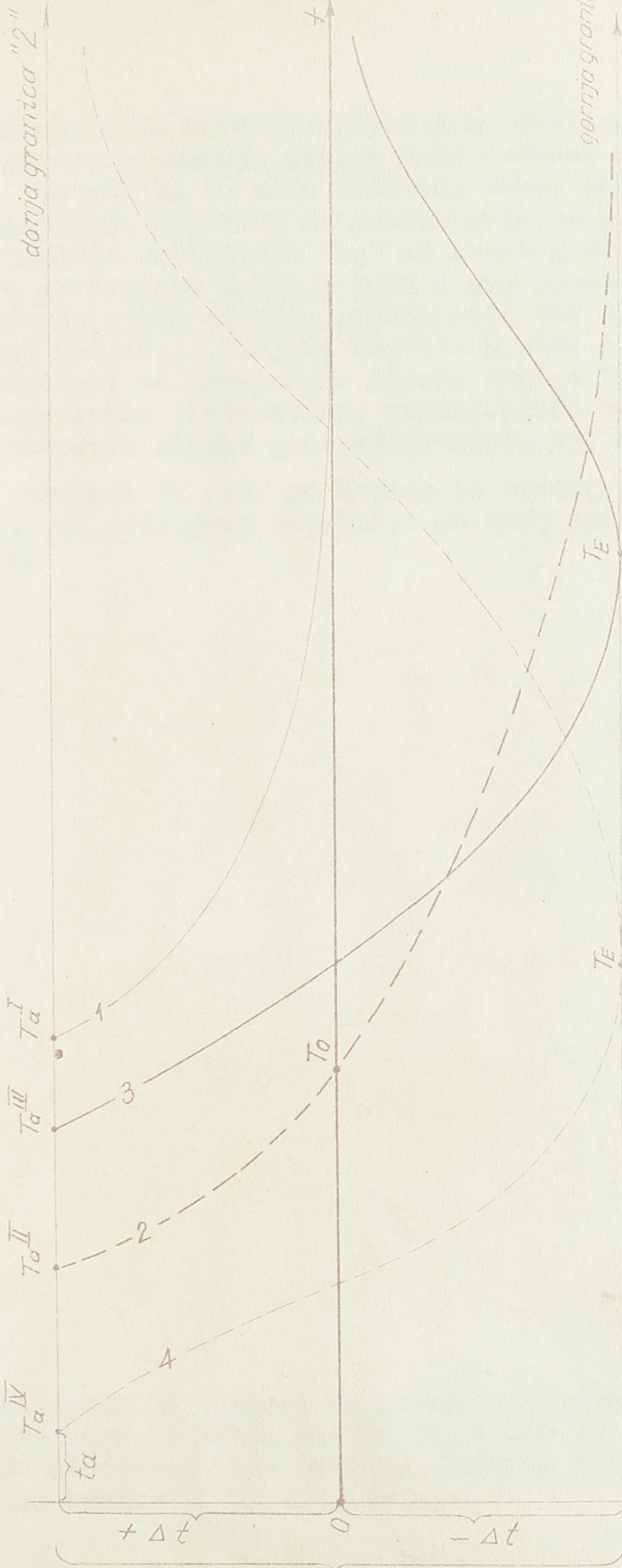
Ovde se kao osnovni zahtev postavlja da: hiperbola linije viziranja dodiruje "negativni granični pravac" pogreške, a da su njene asimptote paralelne sa nultom (pomoćnom) aproksimirajućom pravom OA sl. /4.6), kojom smo aproksimirali hiperbolu.



Kod ovog načina proračuna još jedan postavljeni zahtev je zadovoljen da analaktička tačka "A" leži na vertikalnoj "Z" osi koja prolazi kroz središnju tačku instrumenta.

Kod ove vrste instrumenata koja se predviđa, tj.

Dijagram br. = (4.6.1)



$T_E$  - tačke dodira hiperbole linije vizure sa negativnom granicom "1"

Kriva 1 je za:  $AS = A0; \gamma'' = 0; \Delta t = +; z = \frac{f_0}{k}; \gamma'' = 2'' = + \Delta t_{max} u; T_0$

Kriva 2 je za:  $AS = \gamma''; \Delta t = \pm; \Delta t = 0 u; T_0; z = \frac{f_0}{k} \delta_1; T_a^{II} \ll T_a^I; \Delta t_{max} u = -\infty$

Kriva 3 je za:  $AS \parallel A0; \Delta t = \pm; \Delta t_{max} = u; T_E; z = \frac{f}{k}$

Kriva 4 je za:  $AS \parallel \gamma''; \Delta t = \pm; \Delta t_{max} u; T_0; z = \frac{f_0}{k} \delta_2; \Delta t_{max} u; T_E, \infty$

Oblast tolerancije greške usled aproksimacije linije vizure sa pravom



kod instrumenata za merenje uglova a ne dužina, nije bitno da greška u merenju dužine bude svedena na "minimalnu", jer oni za to neće služiti. Takav uslov ni je mi postavljan, već samo da greška koja se postiže kod određivanja odstojanja " $t_f$ " od čvrstog objektivnog sočiva, pa do dodirne tačke E bude u granicama  $B_1 = b_2 = \pm 1''$ , mada će njena najveća greška biti kod donje granice merenog područja, imajući najveću grešku + 1.0. Zatim će se smanjivati sa povećanjem merene dužine idući preko nule ka negativnim vrednostima, približujući se ponevo nali za vrednosti bliske gornjoj granici, tj.  $T_b = \infty$

Obrasci iz /16/ po kojima su vršeni prethodni aproksimativni proračuni objektivna po ovoj metodi bili su sledeći:

$$t' = \frac{t f_1}{t - f_1} \quad \text{-----} \quad (4.6.4)$$

$$z' = \frac{y f_1}{t - f_1} \quad \text{-----} \quad (4.6.5)$$

$$\frac{z}{z'} = \frac{d - e}{t - e} \quad \text{-----} \quad (4.6.5a)$$

$$e = \frac{-t z f_1 + y f_1 d}{-t z + y f_1 + z f_1} \quad \text{-----} \quad (4.6.6)$$

za  $t = \infty$  je:

$$e_0 = f_1 + f_2 - \frac{f_1 f_2}{f_0} \quad \text{-----} \quad (4.6.7)$$

$$f_2 = \frac{-f_1 f_0 (d - f_1)}{(f_0 - f_1)^2} \quad \text{-----} \quad (4.6.8)$$

gde je:

- t = odstojanje od signala do prvog objektivna, sočiva  $L_1$ .
- t' = odstojanje od prvog sočiva objektivna  $L_1$  do lika signala stvorenog ovim sočivom, kada ne bi postojalo drugo sočivo  $L_2$  za fokusiranje.

- $y$  = veličina predmeta (signala) na koji se vizira.
- $z$  = razmak konaca kod končanice
- $f_0$  = zajednička ekvivalentna žižina daljina objektivna i fokusirajućeg sočiva
- $e$  = razmak između nepokretnog sistema sočiva  $L_1$  - objektivna i fokusirajućeg sočiva  $L_2$

iz jednačine  $\frac{1}{f_2} = \frac{1}{e-t'} + \frac{1}{d-e} \dots (4.6.9)$

izveden je (uprostivši za računanje razmaka "e") obrazac:

$$Ae^2 - Be + c = 0$$

gde je:

$$A = +1 \dots (4.6.10)$$

$$B = + (d+t')$$

$$C = /d \cdot t' + f_2(d-t')/$$

$$\text{to je: } e = \frac{B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2} \dots (4.6.11)$$

Dalje iz /16/ imamo jednačine za računanje vrednosti  $f_1$  uz zadovoljenje napred postavljenih zahteva:

$$f_1 = \bar{f}_1 - \frac{F(\bar{f}_1)}{F'(\bar{f}_1)} \dots (4.6.12)$$

( $f_1 = \bar{f}_1$ )

gde je:

$$F(\bar{f}_1) = D_6 \bar{f}_1^6 + D_5 \bar{f}_1^5 + D_4 \bar{f}_1^4 + D_3 \bar{f}_1^3 + D_2 \bar{f}_1^2 + D_1 \bar{f}_1 + D_0 \dots (4.6.13)$$

$$\frac{dF(\bar{f}_1)}{df_1(f_1 = \bar{f}_1)} = F'(\bar{f}_1) = 6D_6 \bar{f}_1^5 + 5D_5 \bar{f}_1^4 + 4D_4 \bar{f}_1^3 + 3D_3 \bar{f}_1^2 + 2D_2 \bar{f}_1 + D_1 \dots (4.6.14)$$

dok su veličine konstantni date sledećim izrazima uz uslove zadovoljenja jednačine:

$$b_1^2 - 4A_1 C_1 = 0 \quad \dots \quad (4.6.15)$$

$$A_1 t^2 + B_1 t + C_1 = 0 \quad \dots \quad (4.6.15)$$

$$a_3 = b_1 (1 - b_1)$$

$$a_2 = -db_1 (1 - b_1)$$

$$a_1 = -f_0^2 (1 - b_1) \quad \dots \quad (4.6.17)$$

$$a_0 = f_0^2 \Delta (1 - b_1)$$

$$b'_3 = -ab_1(1 - 2b_1) + b_1(d - 2f_0)$$

$$b'_2 = -adb_1(2b_1 - 1) + 2f_0^2$$

$$b'_1 = f_0^2 / b_1 (d - a) - 2d /$$

$$b'_0 = a \cdot d f_0^2 b_1$$

$$C_3 = ab_1(2f_0 - b_1 a - d) - f_0 \quad \dots \quad (4.6.17)$$

$$C_2 = d(a^2 \cdot b_1^2 + f_0^2)$$

$$C_1 = -adf_0^2 \cdot b_1$$

i veličine velikih konstanti:

$$D_6 = b_3^2 - 4a_3 C_3$$

$$D_5 = 2(b_3 b'_2 - 2a_3 C_2 - 2a_2 C_3)$$

$$D_4 = 2b'_3 b'_1 + b_2^2 - 4(a_3 C_1 + a_2 C_2 + a_1 C_3)$$

$$D_3 = 2(b'_3 b'_0 + b'_2 b'_1 - 2a_2 C_1 - 2a_1 C_2 - 2a_0 C_3) \quad \dots \quad (4.6.18)$$

$$D_2 = b_1^2 + 2b_2 b'_0 - 4a_1 C_1 - 4a_0 C_2$$

$$D_1 = 2(b'_1 b'_0 - 2a_0 C_1)$$

$$D_0 = b_0^2$$

$$A_1 = a_3 f_1^3 - a_2 f_1^2 + a_1 f_1 + a_0$$

$$B_1 = b_3 f_1^3 + b_2 f_1^2 + b_1 f_1 + b_0 \quad \dots \quad (4.6.19)$$

$$C_1 = c_3 f_1^3 + c_2 f_1^2 + c_1 f_1$$

Pri čemu je približna vrednost za  $\bar{f}_1$  računavata po /15/ obrascu:

$$\bar{f}_1 = \frac{a f_0 + d f_0 - a d + \sqrt{(a f_0 + d f_0 - a d)^2 - 4 a d f_0 (2 f_0 - a - d)}}{2 (2 f_0 - a - d)} \quad \dots \quad (4.6.20)$$

Ako je zadovoljen postavljeni uslov da asimp-  
tota "hiperbole vizirne linije" i uzeti nulti pravac  
"AO" budu paralelni, odnosno, da su tangenci njihovih pra-  
vaca jednaki, onda odstojanje  $L$ , između konaca končani-  
ca (ako ih ona ima) mora biti jednako "K"-tom delu cele-  
kupne žižine daljine sistema -  $f_0$ , tj.  $L = \frac{2a}{K}$

Veličina  $d$  onje granice mernog područja vizi-  
ranja,  $t_a$ , koja u isto vreme predstavlja i odstojanje od  
preseka hiperbole sa pozitivnim pravcem granične greške  
(odnoeno najmanja udaljenost predmeta na koju se vizira,  
od centra instrumenta,  $t_{a-min.}$ , a zavisna je od: "K"-na-  
jmanjeg odstojanja između pokretnog sočiva-fokusirajućeg  
i ravni fotokatode), računata je po formuli:

$t_a = t_a - a \dots (4.6.21)$  pri čemu je veličina "ta" una-  
pred zadana a i računata sa kontrolu po formuli:

$$K = d - e(\cos \alpha) \dots (4.6.22)$$

$$t_{a-min} = \frac{(f_1 + d) - A}{d - (f_1 + \Delta)}$$

$$\text{gde je: } \Delta = \frac{e^2}{K - f_2} \dots (4.6.23)$$

a veličine grešaka po obrascima:

$$b_1 = \left(1 - \frac{D}{1000}\right) f_0 \dots (4.6.24)$$

$$b_2 = \left(1 + \frac{P}{1000}\right) f_0$$

Kod ovih veličina vrednost "a" je odstojanje od  
analitičke tačke "A" do prvog objektivnog sočiva sistema.

Na osnovu ovih navedenih obrazaca i već unapred postavljenih veličina i uslova, vršeno je računanje (veličina) - osnovnih elemenata optičkog sistema:

$f_1$ ;  $f_2$ ;  $a$ ;  $e$ ;  $e_1$ ;  $e_2$ ;  $t$ ;  $T_a$ ; i iz niza izvršenih kombinacija računanja, navedimo odabrane sledeće veličine:

1-a kombinacija

$f_0 = 4,00 \text{ dm}$

$f_0 = \infty$

$d = 2,00$

$a = -1,00$

$b_1 = b_2 = +1,00; \quad P/1000 = 0$

$a_3 = a_2 = a_1 = a_0 = 0$

$b_3' = -7,00$

$B_3 = 49,00$

$F(\bar{f}_1) = \pm 0,00$

$b_2' = +34,00$

$B_2 = -476,00$

$b_1' = -16,00$

$d_4 = 1380,00$

$F'(f_1) = +0,05$

$c_3 = -23,00$

$D_3 = -640,00$

za:  $(f_1 = \bar{f}_1)$

$c_2 = +34,00$

$D_2 = -1920,00$

$c_1 = +32,00$

$D_1 = +1.024,00$

$b_0 = -32,00$

$D_0 = -1024,00$

iz ovoga izlazi da je:

$f_1 = \bar{f}_1 = 1,5803 \text{ dm}$

$f_2 = -0,45312 \text{ a po metodi "1", } t_{\min} = 36,90 \text{ dm odnosno:}$

$T_a(\min) = 3,90 \text{ m}$

$f_0 = -\infty$

za:  $t = +\infty$

$e = 1,30623 \text{ dm}$

za:  $t = 10 \text{ m}$

$t_{10}^0 = 1,60971 \text{ dm; } e_2 = 1,33645 \text{ dm}$

za:  $t = 3 \text{ m}$

$e_3 = 1,4124 \text{ dm}$

pa je:  $\Delta e = e_3 - e_\infty = +0,1062 \text{ dm}$

Posle ovog računanja, menjajući osnovne elemente "d", "f" i "a", izračunati su ostali potrebni elementi sistema (da ne navodimo računanja koja su dosta glomazna) koji se iz sledeće tabele 2 mogu videti:

Tabela br. 2

Kombin.	I	II	III	IV	V	VI	dm
$f_0$ :	+ 4,000	+ 4,000	+ 3,500	3,500	3,500	3,500	dm
$d$ :	2,000	2,500	2,000	2,250	2,500	2,500	dm
$a$ :	- 1,000	- 1,500	- 1,000	- 1,000	- 1,000	- 2,000	dm
$f_1$ :	+ 1,5803	+ 2,209	+ 1,6316	+ 1,907	+ 2,123	1,7207	dm
$f_2$ :	- 0,4531	- 0,802	- 0,603	- 0,9022	- 1,477	- 1,4826	dm
$e_0$ :	1,3062	1,850	1,3098	1,496	1,542	0,9670	dm
$e_1$ :	1,4124	2,120	1,4935	1,672	1,710	0,7474	dm
$\Delta e$ :	+ 0,1062	0,270	0,1837	0,176	0,168	0,2196	dm

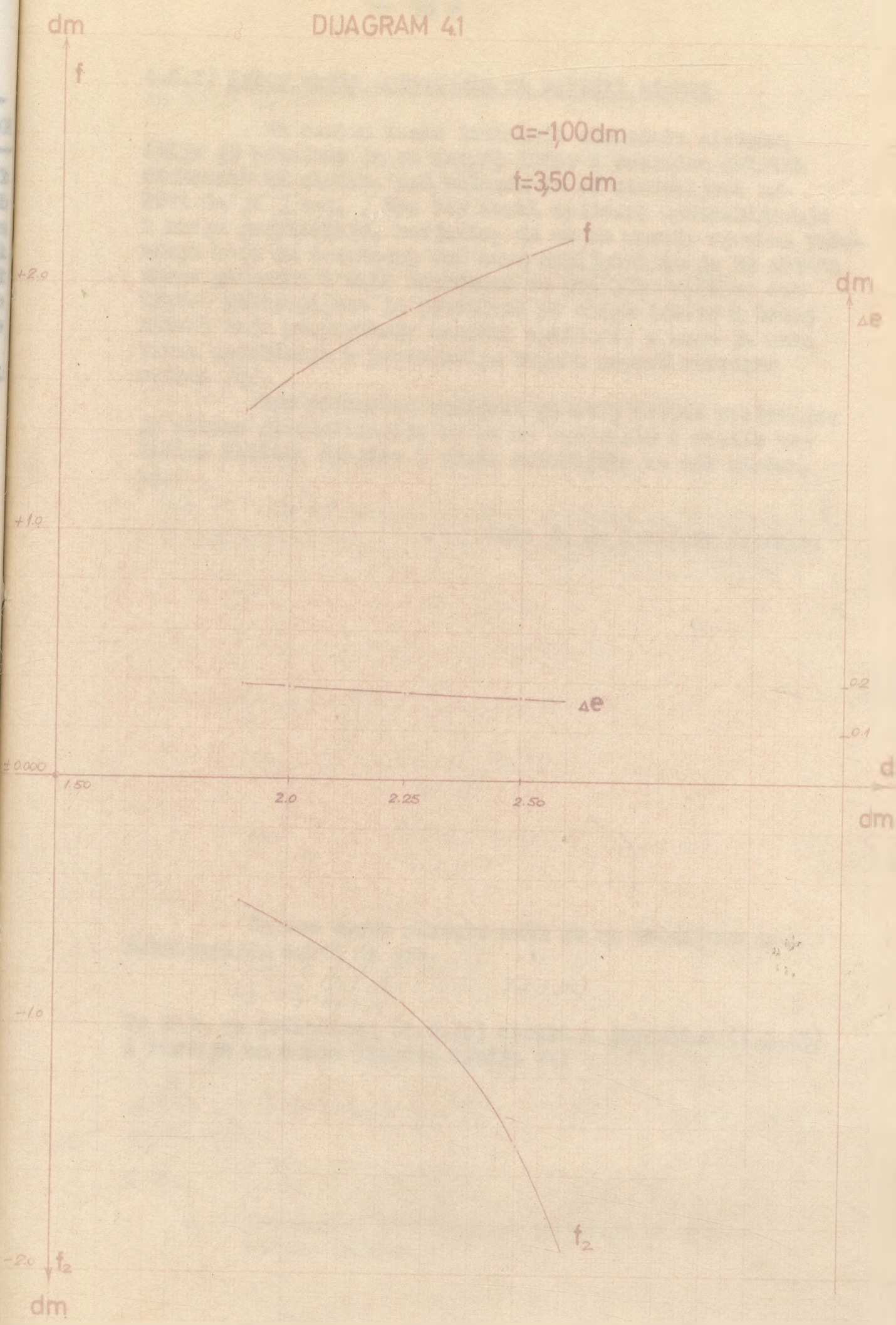
Vodeći računa o tome, da se ina što kraća dužina durbina, a da pri tom ipak budu zadovoljeni uslovi za uvećanje durbina i drugi uslovi u vezi aberacije i otvora durbina odlučeno je da se uzme za veličinu žižine daljine  $f = 3,50$  dm. Pošto se obično uzima veličina "a"  $0 < a < -1,0$  dm, (a i vodeći računa o samoj dužini durbina i položaju  $Z$  ose, ne bi trebalo da "a" bude veća od  $-1,00$  dm). to je odlučeno sa  $a = -1,00$  dm. Analizirajući kombinacije III, IV i V usvojeno je za dalje računanje kombinacija "IV" jer se veličina  $f_1$  (IV) od  $f_1$  (V) samo malo razlikuje, tako da se kod daljih računanja ne dobija nešto naročito povećanjem  $f_1$  sa tako malom veličinom  $\Delta f_1$ , dok se dobija: u veličini skraćivanja dužine durbina  $\Delta d$ , pomeranju fokusirajućeg sočiva  $\Delta e$  i žiži  $f_2$  drugog sočiva. Kada se usvoji kombinacija "IV", ipak su veličine  $f_1'$  i  $f_2'$  sasvim podjednake i realne, imajući na umu veličine dijametara ta dva sočiva.

Ali se uzme da su veličine "f" i "a" konstantne i jednake  $f_0 = 3,50$  a  $a = -1,00$ , na sledećem dijagramu (4.1) se vide promene veličina  $f_1'$ ,  $f_2'$  i  $\Delta e$ , u zavisnosti od promene veličine "d", tj. odstojanja od prvog sočiva objektiva do ravni fotokatode. One ne bi trebalo da je mnogo veće od 2,0 dm, jer ispravna konstrukcija dugačkog durbina. Sa ovakvog dijagrama se za jednu podjednaku izabranu veličinu mogu odmah dobiti i sve ostale veličine.

DIAGRAM 41

$a = -100 \text{ dm}$

$t = 3,50 \text{ dm}$



4.6.2) Isbor vrste materijala za optički sistem

Na osnovu ovako izabranih elemenata sistema, dalje je pokušano da se izvrši izbor i proračun ostalih elemenata za sistem, pod uslovom da su zadovoljeni uslovi da je  $\sum \frac{1}{f_p} = 0$ ,  $\sum \frac{1}{f_z} = 0$  što ruski optičari upotrebljavaju i mnogo preporučuju, međutim, da se ne navode ogromna računanja koja su izvršena, već samo zaključak da je ta metoda veoma glomazna i vrlo nepodesna za proračun sistema ove vrste, pristupljeno je proračunu po mnogo lakšoj i bržoj metodi koju preporučuju nemački optičari, a koja je neka vrsta uprošćenja i predstavlja dopuna napred nevedene metode /2/.

Pre proračuna radijusa po ovoj metodi postavljen je uslov aproksimacije da bi se računale i dobile veličine žižinik daljina i vrste materijala za ceo sistem, tj.:

$$S_I^{hr} = 0 \quad i \quad S_{II}^{hr} = 0$$

tako da se dobijaju formule:

$$S_I^{hr} = 0 \quad (4.6.25) \quad \text{odnosno da je}$$

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{f_p} + \frac{1}{f_z} - \frac{d}{f_p \cdot f_z} \quad (4.6.26)$$

$$\frac{f_z}{f_p} = - \frac{\omega_z}{\omega_p} \quad (4.6.27)$$

$$\omega_z = \frac{1}{v_z} = \frac{n_z(\lambda_1) - n_z(\lambda_2)}{n_z(\lambda_0) - 1} \quad (4.6.28)$$

$$\omega_p = \frac{1}{v_p} = \frac{n_p(\lambda_1) - n_p(\lambda_2)}{n_p(\lambda_0) - 1} \quad (4.6.29)$$

Za ovu vrstu sistema može se sa dovoljnom aproksimacijom uzeti da je:

$$S_I^{hr} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{h_i}{h_1} \right)^2 \frac{\varphi_i}{v_i} \quad (4.6.30)$$

to kada se jednačina (4.6.30) uvrti u jednačinu (4.6.25) i razvije na svoje članove dobija se:

$$\varphi_p \omega_p + \varphi_z \omega_z + \left( \frac{h_1}{h_1} \right)^2 \varphi_2 \omega_2 = 0 \quad (4.6.31)$$



uz uslov da je  $h_1 \approx h_2 \approx 1$  ..... (4.6.32)

Pošto je za slučaj kada se sočiva dodiruju u jedna-  
čini (4.6.26) treći član:  $\frac{d}{f_0 f_2} = 0$  ..... (4.6.33) tada se  
dobija da je:

$$\varphi_2 = \varphi_1 - \varphi_p \text{ ..... (4.6.34)}$$

odnosno dobija se obrazac za računanje veličine " $\varphi_p$ " prvog  
sočiva kod objektiva, kada su poznate već unapred odre-  
đene veličine  $f_1, f_2, e_0$ , za razne vrste optičkog mate-  
rijala:

$$\varphi_p = - \left\{ \frac{\left(\frac{h_3}{h_1}\right)^2 \varphi_2 \omega_2 + \varphi_1 \omega_2}{\omega_p - \omega_2} \right\} \text{ ..... (4.6.35)}$$

pri čemu se koeficijent  $\left[\frac{h_3}{h_1}\right]^2$  može izračunati po vrlo  
prostom obrascu, a koji glasi:

$$\left(\frac{h_3}{h_1}\right) = (1 - r_1 e_0 \varphi_1) \text{ ..... (4.6.36)}$$

Dok su ostale veličine potrebne za izračunava-  
nje radijusa sistema računate po formuli 2/:

$$\bar{A}_i = \left(\frac{n_i}{n_i-1}\right)^2 \varphi_i^3 + \frac{3n_i+1}{n_i-1} \varphi_i^2 \varphi_i + \frac{3n_i+2}{n_i} \varphi_i \varphi_i^2 - \varphi_i \left\{ \frac{2n_i+1}{n_i-1} \varphi_i^2 + \frac{4(n_i+1)}{n_i} \varphi_i \varphi_i \right\} + \varphi_i \frac{2n_i+2}{n_i} \varphi_i \text{ ..... (4.6.37)}$$

$$\bar{B}_i = - \frac{n_i}{n_i-1} \varphi_i^2 - \frac{2n_i+1}{n_i} \varphi_i \varphi_i + \varphi_i \frac{n_i+1}{n_i} \varphi_i \text{ ..... (4.6.39)}$$

gde je:

$$\sum A_v = \sum_{i=1}^k \left(\frac{h_i}{h_1}\right)^4 \bar{A}_i$$

$$\sum B_v = \sum_{i=1}^k \left(\frac{h_i}{h_1}\right)^2 \bar{B}_i + \sum_{i=1}^k \left\{ \left(\frac{h_i}{h_1}\right)^4 \bar{A}_i \sum_{\mu=2}^k \frac{h_\mu}{h_{\mu-1}} \frac{h_i}{h_\mu} e'_{\mu-1} \right\} \text{ ..... (4.6.40)}$$

uz uslov da je:  $\bar{G}_i = \bar{G}_1 + \sum_{i=1}^{k-1} \varphi_i \text{ ..... (4.6.41)}$

$$Z_1 = \frac{\sum B}{\sum A} \text{ ..... (4.6.42)}$$

$$(\sum B)^2 = \sum A (\sum \Gamma + \frac{1}{3} \sum P) \text{ ..... (4.6.43)}$$

$$\sum P = \sum (\varphi_i/n) ; \sum \Gamma = \sum \varphi \text{ ..... (4.6.44)}$$

gde se veličine:  $A_1; B_1; \Gamma_1$  i  $P_1$  zovu specifični parci-  
jalni koeficijenti površina.

I to:

$A_1$  = parcijalni koeficijent površine za grešku  
otvora (sfernu);

$E_1$  = parcijalni koeficijent površina za asimetrične greške (za komu);

$\sqrt{I_1}$  = parcijalni koeficijent za astigmatizam;

$P_1$  = parcijalni koeficijent za <sup>KRIVINU</sup> polja slike (Pecvalova suma).

Pa kada ovi parcijalni koeficijenti iščezavaju ili postaju unapred određene male sume, odnosno pojedino izabere veličine, tada iščezavaju Sajdelove sume. Aberacije u oblasti Sajdelovog dotičnog optičkog sistema tada su ili = 0 ili veličine reda koji se zanemaruje. Tada su i preostale greške aberacija jako male veličine. Ovdje je  $E_1$  = veličina koja određuje položaj prirodne blende od ravni računanja glavnoga zraka. Tako putem umetanja u sistem dijafragme i posebnim ovičenjem sočiva saštinski je uvek moguće učiniti glavni zrak snopa takvim da u tom slučaju za ceo snop iščezne neka Sajdelova suma, što znači da bar jedna aberacija lika iščezne. Iščezavanjem jedne aberacije povlači smanjenje ostalih i lakše njihovo svodjenje na veličine koje su zanemarljive.

Postavljanjem uslova da se  $\sum II_v = 0$  i  $\sum III_v = 0$  dobijano je  $E_1 = \frac{\sum E_v}{\sum A_v} \dots$

$E_1 = -\infty$   
uz uslov da je:  $(\sum A_v)^2 = \sum A_v (\sum T_v + \frac{1}{3} \sum P_v)$

Na ovaj način se dobija veličina za  $E_1$ , tj. položaj ulaznog otvora slobodnog od asimetričnih grešaka, odnosno položaj "prirodne blende", dok se uslovom (4.6.43) postiže da ulazni otvor bude slobodan od meridijalne krivine polja lika.

Jednačina (4.6.44) omogućava izračunavanje  $\sqrt{I_1}$  i  $P_1$  uz uslov da su dovoljno male veličine Pecvalova suma i astigmatizam, a što mora biti kad je zadovoljena jednačina da  $\sum A$  i  $\sum B$  budu jako male veličine. Iz jednačina: (4.6.40) dobijaju se dve kvadratne jednačine sa tri nepoznate:  $\rho_1, \rho_2, \rho_3$  zato je u drugoj linearnoj jednačini uzeto da je  $\rho_3 = -1$  .. (4.6.45) i dobijaju se dve jednačine čijim se daljim svodjenjem dobijaju jednačine za računanje radijusa, odnosno zakrivljenosti prvog i drugog sočiva, sledećeg oblika:

$$a_2 \rho_1^2 - b_1 \rho_1 + c_1 = 0 \quad \text{--- (4.6.46)}$$

$$\rho_2 = a_2 \rho_1 - c - b \sum B \quad \text{--- (4.6.47)}$$

Pomoću jednačina: (4.6.28), (4.6.29), (4.6.34), (4.6.35) i (4.6.36) za razne vrste materijala koje proizvodi fabrika "Zeiss-Jena", a koji se upotrebljavaju u infracrvenoj tehnici izvršena je proračun veličina:  $f_p$ ;  $f_z$ , koje se mogu videti iz sledeće tabele 3:

Tabela 3

Kombi-nacija	Vrsta materijala	$W_i$	$\varphi_p$	$\varphi_z$	$S_{I_{2p}}$
III	Kvarc	0.005772	+ 1.1643	- 0.6399	- 0.000002
	SFSI	0.0100395			
	Kvarc	0.005772			
II	PKSI	0.0058018	+ 1.1755	- 0.6511	+ 0.0000044
	SFSI	0.0100395			
	FSKSI	0.0055290			
I	Kvarc	0.005772	+ 10.9673	- 10.4429	ne dolazi u obzir materijal
	PKSI	0.005529			
	SSKSI	0.005776			
IV	PKSI	0.0058018	- 93.8000	+ 93.2760	~
	SSKSI	0.0057764			
	SFSI	0.0100395			
V	Kvarc	0.005772	+ 10.0700	- 9.546	~
	PKSI	0.005529			
	SFSI	0.0100395			
VI	F17	0.0036360	+ 0.7780	- 0.254	+ 0.00000083
	SFSI	0.0100395			
	PKSI	0.0055290			
VII	F17	0.003636	+ 0.7830	- 0.2386	+ 0.00000068
	SFSI	0.0100395			
	K <sub>2</sub> FSI	0.0073924			
VIII	Kvarc	0.005772	+ 1.1639	- 0.6395	+ 0.00000051
	SFSI	0.0100395			
	PKSI	0.0058018			

Posle detaljne analize svake pojedine kombinacije i osobine materijala otpale su sve kombinacije osim "I" i "VIII"; zbog malih i nepovoljnih vrednosti širinskih daljina za prva dva sočiva sistema a "VI" i "VII" radi nekonstantnosti disperzije "F17" stakla i njegove velike disperzije. Na ovaj način su izdvojene ove dve kombinacije, se stvarno najboljim mogućim izborom materijala, a koji se danas proizvodi u Fabrici "Zeiss-Jena" i upotrebljava se kod izrade objekтива za kratko talasne infracrvene zrake od:  $\lambda = 0,75$  pa do:  $\lambda = 1,40$  mikrona u odnosu na veličinu  $f_p$  kao i širine daljine sočiva. Napominje se da se ne navodi proračun koji je suviše glomazan, da je izvršen proračun još 18 kombinacija (od ovog navedenog materijala i materijala koji se upotrebljava u vidljivoj i infracrvenoj tehnici), radi detaljnije studije i veće sigurnosti kod odlučivanja izbora materijala i ostalih elemenata sistema, a navode se samo krajnji rezultati gredjeni u sledećoj tabeli br. 4.

Napominje se da je upotrebljeni kvarc tzv. "topljeni kvarc".

Tabela 4

Komb. sočiva	Prvo sočivo	Zadnje sočivo	$f_1$ dm	$f_2$ dm
1	KFI 1.46235	SFSI $n=1.88251$	+0.5093	-1.0304
2	SFSI 1.88251	KFI 1.46235	+1.0304	-0.5093
3	Quarc 1.4606	SFSI 1.88251	+0.6090	-1.0593
4	SFSI 1.88251	Quarc 1.45045	+1.0593	-0.600
5	K <sub>2</sub> F <sub>3</sub> 1.50099	SFSI 1.88251	+0.50913	-0.7898
6	SFSI 1.88251	K <sub>2</sub> F <sub>3</sub> 1.51299	+0.7898	-0.5091
7	SFI 1.70346	SFSI 1.88251	+0.246	-0.297
8	KFI 1.52889	SFSI 1.88251	+0.952	-0.952
9	SFSI 1.88251	KFI 1.52889	+0.952	-0.952
10	BK3 1.48912	SFSI 1.88251	+0.5691	-0.9441
11	KI 1.50038	SFSI 1.88251	+0.6442	-1.1377
12	SFSI 1.88251	KI 1.50038	+1.1377	-0.6442
13	PSKI 1.49161	SFSI 1.88251	+0.58062	-0.9763
14	BaLKI 1.51635	SFSI 1.88251	+0.6345	-1.1293
15	ZKI 1.52288	SFSI 1.88251	+0.6167	-1.0827
16	SK1 1.59838	SFSI 1.88251	+0.64092	-1.1597
17	SK20 1.54923	SFSI 1.88251	+0.6220	-1.099
18	FIP 1.56656	SFSI 1.88251	+0.9138	-2.5223

Da se napomene i to da je veličina " $\sigma_{I}^{hr}$ " za ova kombinaciju "3" za prva dva sočiva = - 0,0000054.

4.6.3) Proračun ostalih elemenata tankog sistema "III" i "VIII"

Pošto se kod proračuna sistema, odnosno radijusa, pojavljuju sledeće pomoćne veličine, potrebno je da i njih izračunati i navesti formale po kojima su računane, tj.:

$$\left. \begin{aligned}
 \sigma_1 &= \frac{1}{s_1} = \frac{1}{\infty} = 0 \\
 \sigma_1' &= \sigma_1 + \varphi_p' = \varphi_p' \\
 \sigma_2 &= \sigma_1' = \varphi_p' \quad \text{za: } d_2 = 0 \\
 \sigma_2' &= \sigma_2 + \varphi_z' = \varphi_1 \\
 \sigma_3 &= \frac{1}{s_3} = \frac{1}{f_1 - e_0}; \quad \text{jer je: } s_3 = s_2 - e_0; \\
 & \qquad \qquad \qquad s_2 = f_1 \\
 \sigma_3' &= \sigma_3 + \varphi_2' = \frac{1}{f_1 - e_0} + \frac{1}{f_2}
 \end{aligned} \right\} \text{---(4 6 48)}$$

Tabela br. 5

I			
Materijal	Quaro topljeni	SFS1	FKS1
konstatna	$\tau = 1.45045$	$n = 1.88251$	$n = 1.50846$
$\frac{n}{n-1}$	3,220	2,133	2,966
$\frac{3n+1}{n-1}$	11,880	7,532	10,866
$\frac{3n+2}{n}$	4,379	4,062	4,325
$\frac{2n+1}{n-1}$	8,660	5,399	7,900
$\frac{4(n+1)}{n}$	6,758	6,125	6,642
$\frac{n+2}{n}$	3,379	2,062	2,326
$\frac{2n+1}{n}$	2,689	2,531	2,663
$\frac{n+1}{n}$	1,689	1,531	1,663

Tabela br. 6

$f_i$	$\varphi_i$	$(n-1)$	$\frac{\varphi_i}{n-1}$	$\sigma_i$	$\sigma'_i$
+ 0,8588	+ 1,1643	0,45045	+ 2,5847	$\sigma_1 = 0,000$	$\sigma'_1 = 1,164$
- 1,5627	- 0,6399	0,88251	- 0,7252	$\sigma_2 = 1,164$	$\sigma'_2 = 0,524$
- 0,9021	- 1,1084	0,45045	- 2,4606	$\sigma_3 = 1,957$	
+ 0,8592	+ 1,1639	0,45045	+ 2,5838	$\sigma_1 = 0,000$	$\sigma'_1 = 1,1639$
- 1,5637	- 0,6395	0,88251	- 0,7246	$\sigma_2 = 1,164$	$\sigma'_2 = 0,5244$
- 0,90216	- 1,1084	0,50846	- 2,1799	$\sigma_3 = 1,957$	

Na osnovu jednačina: 4.6(37, 38, 39, i 40) sa kombinacijju "III" posle zamene i svodjenja dobijamo:

$$\begin{aligned}
 A_1 &= 2,769 \rho_1^2 - 11,733 \rho_1 + 16,351 \\
 A_2 &= -1,319 \rho_2^2 + 2,349 \rho_2 - 1,120 \\
 A_3 &= -2,636 \rho_3^2 + 4,044 \rho_3 - 4,159 \\
 B_1 &= 1,966 \rho_1 - 4,363 \\
 B_2 &= -0,980 \rho_2 + 1,011 \\
 B_3 &= -1,871 \rho_3 + 1,877
 \end{aligned}
 \quad \dots \quad (4.6.49)$$

Posle množenja koeficijenta "A<sub>1</sub>" i "B<sub>1</sub>" sa:  $(n_1/n_1)^4 = 0,0462$  i sumiranja odgovarajućih veličina izlazi:

$$\begin{aligned}
 \sum A &= 2,769 \rho_1^2 - 11,733 \rho_1 - 1,319 \rho_2^2 + 2,349 \rho_2 - 0,122 \rho_3^2 + 0,187 \rho_3 + 15,039 \\
 \sum B &= 1,966 \rho_1 - 0,930 \rho_2 - 0,086 \rho_3 - 3,265
 \end{aligned}
 \quad (4.6.50)$$

stavljajući sa:

$$\sum A = -0,01; -0,10; -0,50; -0,80; -0,85; -1,00 \dots \dots \dots (4.6.51)$$

izračunate su ove ostale veličine koje su date u tabeli broj 7.

Tabela 7

$\Sigma A$	$\Sigma B$	$Z_1$	$r_{11}$ dm	$r_{12}$	$S_{11}$	$S_{12}$
			$r_{21}$ dm	$r_{22}$	$S_{21}$	$S_{22}$
-0.01	+0.083	+8.30	+0.892	-0.835	+1.123	-1.469
			-0.926	-2.840	-1.077	-0.352
	-0.083	-8.30	+1.07	-0.606	+0.935	-1.650
			-0.78	-1.810	-1.278	-0.553
-0.1	+0.262	+2.62	0.876	-0.695	+1.14	-1.442
			-0.820	-2.020	-1.22	-0.495
	-0.262	2.62	+2.77	-0.45	+0.36	-2.225
			-0.445	-0.655	-2.25	-1.526
-0.5	+0.586	+1.17	+0.747	-0.805	+1.46	-1.125
			-0.870	-2.350	-1.16	-0.435
-0.85	+0.765	+0.90	+0.706	-0.855	+1.416	-1.17
			-0.848	-2.220	-1.18	-0.46
-1.0	+0.83	+0.83	+0.685	-0.89	+1.46	-1.125
			-0.863	-2.30	-1.16	-0.435
-0.80	+0.743	+0.927	+0.703	-0.860	+1.423	-1.162
			-0.873	-2.376	-1.146	-0.421
$r_{31} \approx 1.00$ $r_{32} = +0.685$ $S_{31} = -1.00$ $S_{32} = +1.461$						





Računanje tabele 6 je vršeno po formulama br. (4.6.52) koje su dobijene smenom za:  $\rho = -1,0$  u formulama br. (4.6.50)

$$\left. \begin{aligned} \Sigma A &= -2,54\rho_1^2 + 10,146\rho_1 + 5,397\rho_1 \Sigma B - 11,125 \Sigma B - 1,372(\Sigma B)^2 - 6,77 \\ \rho_2 &= 2,06\rho_1 - 1,02(\Sigma B) - 3,244 \\ \rho_i' &= \rho_i - \frac{\rho_i}{n_i - 1} \\ \text{pri čemu je bila: } \Sigma \Gamma &= -0,584; \Sigma P = -0,3014 \\ \Sigma B &= \pm \sqrt{-0,689 \Sigma A} \quad ; \quad Z_1 = \sqrt{-\frac{0,689}{\Sigma A}} \end{aligned} \right\} (4.6.52)$$

Iz dijagrama br. (4.2) lepo se vidi zavisnost promene pojedinih elemenata sistema, uz uslov da su parametri fokusirajućeg sočiva  $r_{3.1} = -1,000$  dm,  $r_{3.2} = +0,685$  dm

Po istom postupku kao i za kombinaciju "III", posle zamene u formulama (4.6(37, 38, 39 i 46) i svodjenja dobija se:

$$\begin{aligned} A_1 &= 2,769\rho_1^2 - 11,733\rho_1 + 16,351 \\ A_2 &= -1,319\rho_2^2 + 2,349\rho_2 - 1,120 \\ A_3 &= -2,578\rho_3^2 + 4,724\rho_3 - 4,210 \\ B_1 &= 1,966\rho_1 - 4,363 \\ B_2 &= -0,980\rho_2 + 1,011 \\ B_3 &= -1,843\rho_3 + 2,133 \end{aligned}$$

Posle množenja koeficijenta  $A_i$  i  $B_i$  sa odgovarajućim količnikom  $\frac{h_i}{h_1}$  i sumiranja dobija se:

$$\begin{aligned} \Sigma A_{\nu} &= 2,769\rho_1^2 - 11,733\rho_1 - 1,319\rho_2^2 + 2,349\rho_2 - 0,119\rho_3^2 + 0,218\rho_3 + 15,036 \\ \text{zamenjujući sa: } \Sigma B_{\nu} &= 1,966\rho_1 - 0,980\rho_2 - 0,085\rho_3 - 3,263 \end{aligned}$$

$$\Sigma A_{\nu} = -0,83$$

$$\rho_3 = -1,00$$

Posle svodjenja je:

$$(\Sigma B_{\nu})^2 = -0,6756(\Sigma A_{\nu})$$

odnosno

$$\Sigma B_{\nu} = 0,7488 = 2,54\rho_1^2 - 14,188\rho_1 + 15,042$$

Rešenjem ove jednačine i uzimajući vrednosti za povoljnije radijuse dobijeno je:

Sočivo	$r_D$	$r_D'$
1	+ 0,7032	- 0,8605
2	- 0,8673	- 0,3364
3	- 1,0000	+ 0,8475

#### 4.6.4) Prelazak na debeli sistem

Kao što se iz dijagrama vidi najpovoljniji parametri ovog optičkog sistema uz mogućnost lepljenja prvog i drugog sočiva, tj. stvaranja slepljenog dubleta da je  $\sum \Delta = - 0,85$ .

Da bi sa usvojenom veličinom  $\sum \Delta$  prešli na debeli sistem mora se izvršiti njegova transformacija. Prilikom transformacije iz tankog u debeli sistem, pošto se zadržava isti indeks prelamanja, ostaju 3 slobodna elementa (2 radijusa i položaj) za zadovoljenje potrebnih uslova, zštim da zraci zadržavaju iste prvobitne položaje u okviru paraksijalne oblasti. Kod ovoga će se na mesto tankog sočiva (glavne ravni H) nalaziti prva glavna ravan H<sub>1</sub> debelog sočiva. Posle izvršene transformacije, moraju radijusi krivina biti takvi da bi otklon kosih zraka na svakoj površini i posle transformacije ostao nepromenjena. Kod zadovoljenja ovih postavljenih uslova, put zraka će ostati nepromenjen, ali mora se svako sočivo pomeriti paralelno udeeno za veličinu  $\Delta H$  (rastojanje između glavnih ravni sočiva).

#### 4.6.41) Proračun parametara debelog sočiva

Da bi se prešlo sa tankog na debeli sistem, moraju se izračunati veličine potrebnih parametara za to. Jedan od tih parametara je debljina svakog sočiva po njegovoj optičkoj osovini i na ivicama (krajevima). Od više poznatih i u praksi upotrebljivanih formula za računanje veličine debljine sočiva u ovom radu su priznjene, one formule koje su najviše u upotrebi, a to su sledeće:

2. ZA SABIRNA SOČIVA

$$d_y = d_0 + \frac{D^2}{8} \left( \frac{1}{r_y} - \frac{1}{r_y'} \right) = d_0 + \frac{D^2}{4f} \dots \dots \dots (4653)$$

pri čemu može biti uvek:  $d \geq d_0$ .  
Kontrola je vršena po formulisama:

$$\left. \begin{aligned} d &= 0,75 \frac{D}{f'} + d_0 \\ (4d + 10d_0) &\geq D \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.6.54)$$

Kod ovoga se držalo uslova da debljina na ivicama sočiva (sabirnih) bude:

za:  $D \geq 50 \text{ mm}$       $d_0 = 2,50 \text{ mm}$

koja je veoma povoljna kod tehnološke izrade i obrade.

(β) Kod rasipnih sočiva se držalo uslova da je:

$$(12d + 3d_0) \geq D_1 \dots\dots\dots (4.6.54a)$$

odnosno za:  $50 \text{ mm} \leq D_1 \leq 80 \text{ mm}$ ,  $d_0 = 6,00 \text{ mm}$

$18 \leq D_1 \leq 30$  ,  $d_0 = 2,50$

Kao sledeća operacija za prelazak sa tankih na debela sočiva jeste izračunavanje za svako tanko sočivo odgovarajućih veličina  $Z_V$  i  $Z'_V$ . Ove veličine predstavljaju rastojanje glavnih ravni  $H$  i  $H'$  od odgovarajućih temena sočiva.

Njihove veličine su izračunavane na osnovu /42/ po formulisama:

$$\left. \begin{aligned} Z_V &= -\frac{d \cdot r_1}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} \\ Z'_V &= -\frac{d \cdot r_2}{n(r_2 - r_1) + (n-1)d} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.6.55)$$

dok kontrola na OSNOVU /44/ po formulisama

$$\left. \begin{aligned} Z_V &= -f'_1 \frac{(n-1)d}{n \cdot r_V} \\ Z'_V &= -f'_1 \frac{(n-1)d}{n \cdot r_{V+1}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.6.56) \quad \Delta H = +\left(1 - \frac{1}{n}\right)d \dots\dots\dots (4.6.57)$$

Na ovako izračunatim veličinama  $Z_V$  i  $Z'_V$  a u cilju prelaska na debela sočiva, moralo se preći na izračunavanje veličina  $s_V$  i  $s'_V$  po formulisama:

$$\left. \begin{aligned} s_V &= \bar{s}_V - Z_V \\ s'_V &= \bar{s}'_V - Z'_V \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.6.58)$$

Veličine  $s_V$  i  $s'_V$  izračunavate su pomoću "nultog" zraka koristeći se formulisama:

$$\left. \begin{aligned} \delta_V &= \frac{1}{s_V} \\ \delta'_V &= \frac{1}{s'_V} \\ \delta - \delta' - \varphi &= \frac{1}{f} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.6.58a)$$

Posle ovog vršeno je računanje radijusa debelih sočiva po formuli:

$$\left. \begin{aligned} r_v &= \bar{r}_v \left(1 + \frac{z_v}{s_v}\right) \\ r_{v+1} &= \bar{r}_{v+1} \left(1 + \frac{z_v}{s_v}\right) \end{aligned} \right\} \text{----- (4.6.59)}$$

Načunajući radijuse po formuli (4.6.59) treba zadržati konstantne već unapred određene žižine daljine za tanka sočiva kao.

Posle izračunavanja ovih veličina u prvoj aproksimaciji ista se operacija ponovo ponavlja, smatrajući sada veličine dobivene u prvoj aproksimaciji kao početne vrednosti. Ovakvo postepeno približavanje će izvršiti sve dotle, dok se nije pojavila razlika između dva uzastopna računanja zajednu istu veličinu  $r_v$  da bude reda:  $\Delta r \leq 10^{-5}$

Nedjotia, kao što će se napred iz računa videti, u našem slučaju je bila dovoljna samo prva aproksimacija. Već posle drugog računanja za istu veličinu  $r_v$  dobivene su vrednosti  $r'_v$  čija je vrednost razlikovala od prvog približavanja u navedenim granicama.

Posle ovako izračunatih parametara debelih sočiva morale se pristupiti izračunavanja veličine  $(e'_4)_{s_4=-\infty}$  tj. razmaka između drugog i trećeg debelog sočiva.

Za njeno izračunavanje izvedene su formule:

$$(e'_4)_{s_4=-\infty} = e_{\infty} - \left\{ 2(\Delta H_{11} + \Delta H_{12}) Z'_{11} + Z_{12} \right\} \text{----- (4.6.60)}$$

ili sa glavnim ravnima prva dva sočiva kao "simpletom":

$$(e'_4)_{s_4=-\infty} = e_{\infty} - \left\{ (\Delta H_I - Z'_I) + (\Delta H_{II} + Z_{II}) \right\} \text{----- (4.6.61)}$$

gde je:

$$\left. \begin{aligned} Z_I &= H'_I H'_{1,2} + Z'_{1,2} \\ \delta &= H'_{1,1} H_{1,2} = -Z'_{1,1} + Z_{1,2} \end{aligned} \right\} \text{----- (4.6.62)}$$

$$\Delta H_I = \Delta H_{1,1} + \Delta H_{1,2} - \frac{\delta^2}{f'_{1,1} f'_{1,2} - \delta} \text{----- (4.6.63)}$$

Posle svih ovih proračuna parametara debelih sočiva, vršena je kontrolna računanje žižnih daljina po formuli:

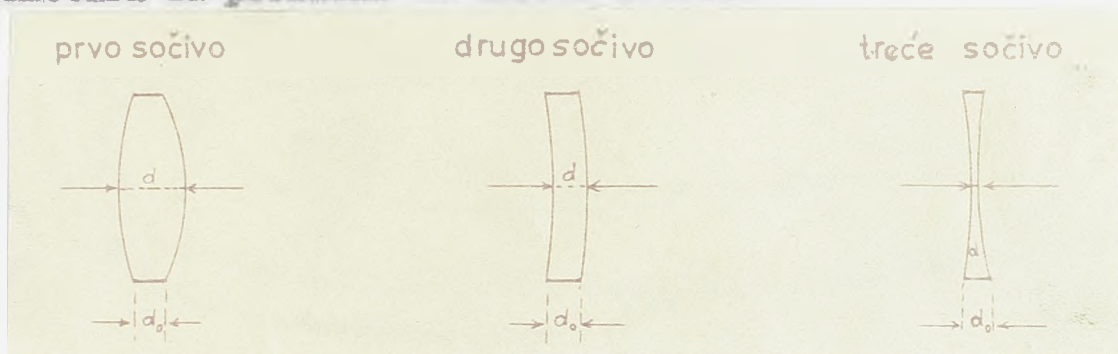
4.6.64

$$f'_2 = \frac{n_i \bar{r}_i \bar{r}_{i+1}}{(n-1)[n(\bar{r}_i - \bar{r}_{i+1}) + d(n_i - 1)]} \text{----- (4.6.64)}$$

4.6.4.1.1) Izračunavanje parametara za "III" kombinaciju

Kod ove kombinacije najpovoljnije je:  $\sum h_y = -0,85$   
 $\sum B_y = +0,765$ , koje su sračunate po formuli (4.6.52)  
 u tabeli 7.

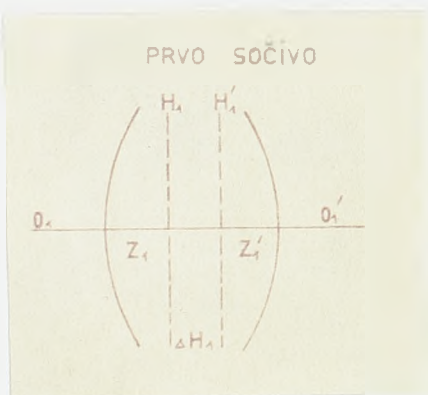
Koristeći se napred navedenim formulama: (4.6.53)  
 - (4.6.64), ovde smo izvršili proračun svih potrebnih  
 parametara za prelazak na debela sočiva.



$d_0 = 2,5 \text{ mm}$   
 $d = 14,0 \text{ mm}$

$d_0 = 5,0 \text{ mm}$   
 $d = 4,0 \text{ mm}$

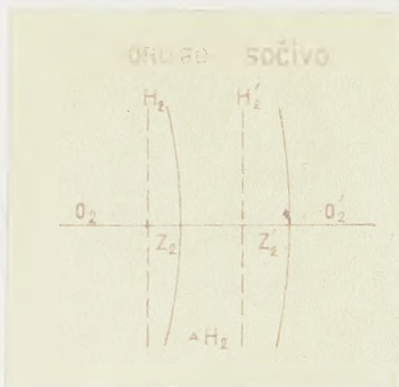
$d_0 = 2,5 \text{ mm}$   
 $d = 2,0 \text{ mm}$



$$Z_1 = \frac{0,145 \times 0,706}{1,45045(-1,561) + 0,45045(0,145)}$$

$$Z_1' = \frac{0,145 \times (-0,855)}{-2,1986}$$

$Z_1 = +0,045$   
 $Z_1' = -0,056$   
 $\Delta H_1 = +0,045$



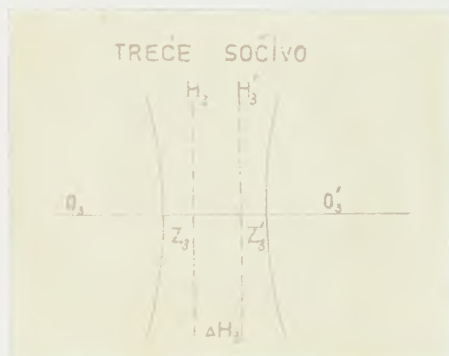
$$z_2 = - \frac{0,04 \times (-0,845)}{(1,88251)(21,372 + (0,88251)(0,04))}$$

$$z_2' = - \frac{(0,04)(-2,22)}{-2,525}$$

$$z_2 = -0,013$$

$$z_2' = -0,0345$$

$$\Delta H_2 = +0,019$$



$$z_3 = - \frac{0,02 \times (-1,00)}{(1,45045)(1,585) + (0,45045)(0,02)}$$

$$z_3' = - \frac{(0,02)(0,605)}{2,4589}$$

$$z_3 = +0,008$$

$$z_3' = -0,006$$

$$\Delta H_3 = +0,006$$

Računajući ponovo u drugoj aproksimaciji veličine "z" dobijaju se:

$$z_1 = \frac{-0,8592(0,45045)(0,145)}{(-1,45045) \times (0,805)} = 0,048$$

$$z_1' = \frac{-0,0561}{(1,45045)(0,7032)} = -0,055 \quad \Delta H_1 = 0,042$$

$$z_2 = \frac{(1,5637)(0,88251)(0,04)}{(1,88251)(-2,2938)} = -0,013$$

$$z_2' = \frac{-0,0552}{(1,88251)(-0,8514)} = -0,0345 \quad \Delta H_2 = 0,019$$

$$z_3 = \frac{(0,9022)(0,50846)(0,02)}{(1,50846)(0,8407)} = +0,0072$$

$$z_3' = \frac{0,009175}{(1,50846)(-1,0159)} = -0,0060 \quad \Delta H_3 = 0,007$$

Kao što je već napomenuto u poglavlju (4.6.4.1) iz ovoga proizilazi da je dovoljno samo u prvoj aproksimaciji računati veličine "z".

Kada se ovako sračunate veličine upotrebe u formuli (4.6.68) za žičine daljine debelog sistema, dobije se:

$$(f_p)_d = \frac{(1,45045)(0,7032)(0,805)}{0,95596886} = +0,85888$$

$$(f_z)_d = \frac{(1,88251)(-0,8514)(-2,2938)}{-2,365155} = -1,5544$$

$$(f_2)_d = \frac{(1,50846)(-1,0159)(0,8407)}{1,42916716} = -0,90149$$

$$(f_1)_d = \frac{(+0,85888)(-1,5544)}{-0,69552} = +1,91948$$

$$(f_0)_d = \frac{-1,730315}{1,01803 - 1,5124} = +3,500$$

Debeli sistem:

$$\bar{r}(1.1) = r_{1.1} = +0,706 \text{ dm}$$

$$a_1' = \frac{1}{\sigma_1} = f_p' = 0,8588$$

$$\bar{r}(1.2) = -0,855 \left(1 - \frac{0,056}{0,8588}\right) = -0,800$$

$$\bar{r}(2.1) = -0,848 \left(1 - \frac{0,013}{1,8588}\right) = -0,835; a_2' = \frac{1}{\sigma_2} = f_p' = 0,8588$$

$$\bar{r}(2.2) = -2,22 \left(1 - \frac{0,034}{1,907}\right) = -2,1794; a_2' = f_1 = 1,907$$

$$\bar{r}(3.1) = -1,0 \left(1 + \frac{0,008}{0,411}\right) = -1,019$$

$$e_3 = f_1 - e_0 = 0,411$$

$$\bar{r}(3.2) = +0,685 \left(1 - \frac{0,0056}{0,755}\right) = +0,680$$

$$e_3 = \frac{(f_1 - e_0)}{f_1 + f_2 - e_0} = 0,755$$

$$(e_4)_{s=-\infty} = 1,240$$

$$(f_p)_d = \frac{(1,45045)(-0,800)(0,706)}{(0,45045)(1,45045)(1,506) + (0,45045)(0,1457)} = 0,8582$$

$$(f_x)_d = \frac{(1,88251)(-0,835)}{(0,88251)(1,88251)(-1,3444) + (0,88251)(0,04)} = -1,5555$$

$$(f_1) = \frac{(+0,8582)(-1,5555)}{-0,6973} = +1,9144$$

$$(f_2) = \frac{(1,45045)(-1,019)(0,680)}{(0,45045)(1,45045)(1,699) + (0,65045)(0,02)} = -0,9021$$

$$(f_0)_d = \frac{(1,9144)(-0,9021)}{1,9144 - 0,9021 - 1,504} = +3,512$$

#### 4.6.4.1.2) Proračun parametara za "VIII" kombinaciju

Kod ove kombinacije dobivene su kao najpovoljnije vrednosti za

$$\begin{aligned} \sum A_\nu &= -0,83 \\ \sum B_\nu &= +0,7488 \end{aligned}$$

izračunate u poglavlju (4.6.3).

Po istom postupku kao u prethodnom poglavlju dobijene su veličine za parametre debelih sočiva:

Sočivo	$Z_\nu$	$Z'_\nu$	$\Delta H_\nu$	$\tau_\nu$	$\tau_{\nu+1}$
1	+ 0,046	- 0,055	+ 0,045	+ 0,7032	- 0,8050
2	- 0,013	- 0,034	+ 0,019	- 0,8514	- 2,2938
3	+ 0,007	- 0,006	+ 0,007	- 1,0159	+ 0,8407

$$(e_4)_{s=-\infty} = 1,243$$



4.6.7) Sastavljanje protokola za računanje na elektronskoj računskoj mašini Z23

Uzeto je da na prvoj površini prvoe objek- tivnog sočiva padaju zraci iz beskonačnosti, tj.  $s_1 =$

Pošto kriva korištavane sferne aberacije ima sledeći matematički izraz:  $\delta_3 = a_2 h^2 + a_4 h^4 + \dots$  (70a) to će ona ima ordinatu u tački ekstremuma kada se gornja jednačina (70.a) diferencira i prvi izvod izjednači sa nulom, tj.:

$$h_e = \pm \sqrt{-\frac{a_2}{a_4}} \dots \dots \dots (70b)$$

Kada se sada ovo izjednači sa nulom za ivične zrake za koje se može uzeti da je približno  $\delta_3'$  tada se do- bija:

$$h_e = 0,707 h_i \dots \dots \dots (70c)$$

Zbog toga se obično na toj visini uzme jedan zrak kod računanja put zraka kroz sočivo, tako da će za ovaj slučaj biti:

- $h_0 = 0$ , (paraksijalni zraci),
- $h_1 = 0,17321$  dm (zonski),
- $h_2 = 0,24495$  dm (zonski zraci),
- $h_3 = 0,3000$  dm (ivični zraci),

Sada se pristupa sastavljanju protokola za proračun os- talih elemenata potrebnih za konstrukciju dijagrama gre- šaka sisteme, i njihovog korigiranja postupnom aprok- simacijom. Ovo zato, jer ne postoji izrađen program za korekturu optičkog sistema na elektronskoj mašini ZUSE-Z23, na kojoj je vršen sav proračun sistema. Pošto je upadni ugao veoma mali uzeto je za izračun kojih zraka upadni ugao od  $1^\circ$ , što znači mnogo veći nego što je potreban ( $0^\circ 17'$ )

Protokoli za osnovne kombinacije "III" i "VIII" iz kojih sam dalje uvek izlazio izgledaju ovako:

Protokol "III" kombinacije:

U(R)U  
,706 -,800 -,835 -2,1794 - 1,019 ,680 2'

U(N)U  
1,1,45045 1 1,88251 1 1,45045 1  
1 1,44915 1 1,87855 1 1,44915 1  
1 1,45175 1 1,88741 1 1,45175 1

U(S)U  
1'1'-,902

U(U1)U  
0 -1 3'

U81o2U

-3'3,3,1 -,1 2 0 0 0 4'1'1'

U1o29U

1 9'4'5'5'4'3'-1

U1o2U

,145 ,00 ,04 1,24 ,02

EZ3000E

Protokol "VIII" kombinacije:

U(R)U

,7032 -,8050 -,8514 -2,2938 -1,0159 ,8407 2"

U(R')U

1 1,45045 1 1,88251 1 1,50846 1

1 1,44915 1 1,87855 1 1,50699 1

1 1,45175 1 1,88741 1 1,50994 1

U(S)U

1'1'-,902

U(U1)U

0 -1 3'

U81o2U

-3'3 ,3 ,1 -,1 2 0 0 0 4'1'1'

U1o29U

1 9'4'5'5'4'3'-1

U1o2U

,145 ,00 ,04 1,243 ,02

EZ3000E

4.6.8) Proračun ostalih elemenata sistema

Sa ovim osnovnim podacima proračun ostalih elemenata, izvršen je pomoću "Z 23", po univerzalnom optičkom programu i dobivene su sledeće vrednosti za prvu aproksimaciju:

Kombinacija III:

H1 : 0

H1 : 1,00000 S S'

INFIR 0,84252

DS' : 0

F' : 3,50639

DP' : 0

H1 : 1,00000 S S'

INFIR 0,84819

DS' : 0,00567

F' : 3,51688

DP' : 0,01049

N1	:	1,00000			
		S	S'		
		INFIN	0,84438		
DS'	:	0,00186			
F'	:	3,51504			
DP'	:	0,00865			
U1	:	0			
H1	:	0,17321			
N1	:	1,00000			
		S	H	U'	S'
		INFIN	0,04216	3,13336	0,85711
DS'	:	0,01459			
F'	:	3,52051			
DP'	:	0,01413			
N1	:	1,00000			
		S	H	U'	S'
		INFIN	0,04229	3,12580	0,86201
DS'	:	0,01949			
F'	:	3,52902			
DP'	:	0,02263			
N1	:	1,00000			
		S	H	U'	S'
		INFIN	0,04217	3,12251	0,86044
DS'	:	0,01792			
F'	:	3,54274			
DP'	:	0,02635			
H1	:	0,24495			
N1	:	1,00000			
		S	H	U'	S'
		INFIN	0,06069	4,38815	0,88175
DS'	:	0,03923			
F'	:	3,55646			
DP'	:	0,05007			
N1	:	1,00000			
		S	H	U'	S'
		INFIN	0,06086	4,38050	0,88576
DS'	:	0,04324			
F'	:	3,56266			
DP'	:	0,05628			

N1	:	1,00000				
		S	H	U'	S'	
		INFIN	0,06076	4,36765	0,88692	
DS'	:	0,04440				
F'	:	3,57313				
DF'	:	0,06674				
N1	:	0,30000				
N1	:	1,00000				
		S	H	U'	S'	
		INFIN	0,07977	5,31661	0,90937	
DS'	:	0,06685				
F'	:	3,59643				
DF'	:	0,09004				
N1	:	1,000000				
		S	H	U'	S'	
		INFIN	0,07594	3,31101	0,91242	
DS'	:	0,06991				
F'	:	3,60021				
DF'	:	0,09382				
N1	:	1,00000				
		S	H	U'	S'	
		INFIN	0,07591	5,28470	0,91664	
DS'	:	0,07412				
F'	:	3,61810				
DF'	:	0,11171				
U1	:	-1,00000				
REP	:	0				
N1	:	1,00000				
		S	H	U'	S'	
		-0,90200	0,02515	-2,26357	-0,70655	
B'	:	0,44186				
Y'	:	0,05510				
DY'	:	0				
U1	:	-1,00000				
N1	:	1,00000				
		SS	SM	H	S'S	S'M
		INFIN	INFIN	0,02515	0,84058	0,83575
X'S	:	0,84052				
X'M	:	0,83569				
DX'S	:	-0,00200				
DX'M	:	-0,00683				
Y'S	:	0,05503				
Y'M	:	0,05486				
V	:	0,03463				

HEP : 0,05000  
 NI : 1,00000  
       S  
       - 4,08484      0,03712      - 1,34807      - 1,75170  
 B' : 0,74183  
 Y' : 0,05494  
 DS' : - 0,01112

HEP : 0,10000  
 NI : 1,00000  
       S  
       - 7,26767      0,04911      - 0,42440      - 7,36513  
 B' : 2,35621  
 Y' : - 0,05472  
 DS' : 0,01334

HEP : - 0,05000  
 NI : 1,00000  
       S  
       2,28084      0,01313      - 3,17023      - 0,26333  
 B' : 0,31555  
 Y' : 0,05511  
 DS' : -0,00088

HEP : -0,10000  
 NI : 1,00000  
       S  
       5,46367      0,00100      - 4,06744      -0,01560  
 B' : 0,25601  
 Y' : 0,054490  
 DS' : 0,00709

odnoeno za kombinacijo "VIII" sledeče vrednosti:

Kombinacija "VIII"

NI	:	0			A = - 0,85
NI	:	1,00000			B = + 0,7488
		S	S'		Z <sub>1</sub> = - 0,907
1'		INFIN	2,26431		
2'		2,11931	0,80388		
3'		0,80388	9,07566		
4'		9,03566	1,68611		
5'		0,44311	0,65891		
6'		0,83891	0,83800		

DS' : 0  
 F' : 3,50355  
 DF' : 0

N1 : 1,00000  
       S  
       INFIN       S'  
                   0,84366

DS' : 0,00566  
 F' : 3,51403  
 DF' : 0,01048

N1 : 1,00000  
       S  
       INFIN       S'  
                   0,83988

DS' : 0,00188  
 F' : 3,51228  
 DF' : 0,00873

U1 : 0

N1 : 0,17321

N1 : 1,00000

      S               H               U'               S'  
       INFIN       0,04165       3,17254       0,83614

DS' : -0,00187  
 F' : 3,47707  
 DF' : -0,02648

N1 : 1,00000

      S               H               U'               S'  
       INFIN       0,04179       3,16473       0,84103

DS' : 0,00303  
 F' : 3,48564  
 DF' : -0,01790

N1 : 1,00000

      S               H               U'               S'  
       INFIN       0,04167       3,16187       0,83928

DS' : 0,00127  
 F' : 3,48879  
 DF' : -0,01476

N1 : 0,24495

N1 : 1,00000

      S               H               U'               S'  
       INFIN       0,05931       4,51936       0,83618

DS' : -0,00182  
 F' : 3,45337  
 DF' : -0,05018

N1	1,00000			
	S	H	U'	S'
	INFIN	0,05949	4,51081	0,84025
DS'	0,00225			
F'	3,45991			
DF'	-0,04364			
N1	1,00000			
	S	H	U'	S'
	INFIN	0,05938	4,49973	0,84075
DS'	0,00275			
F'	3,46842			
DF'	-0,03513			
N1	0,30000			
N1	1,00000			
	S	H	U'	S'
1'	INFIN	0,30000	9,05326	2,16255
2'	2,01755	0,29699	27,18858	0,59582
3'	0,59582	0,29518	1,86403	10,02555
4'	9,98555	0,29301	10,91151	1,67398
5'	0,43098	0,07508	5,58737	0,85051
6'	0,83051	0,07280	5,62177	0,82542
DS'	-0,01258			
F'	3,40167			
DF'	-0,10187			
N1	1,00000			
	S	H	U'	S'
	INFIN	0,07288	5,61389	0,82874
DS'	-0,00926			
F'	3,40644			
DF'	-0,09711			
N1	-1,00000			
	S	H	U'	S'
	INFIN	0,07293	5,59219	0,83129
DS'	-0,00671			
F'	3,41962			
DF'	-0,08393			
V1	-1,00000			
HNF	0			
N1	1,00000			
	S	H	U'	S'
1'	-0,90200	0,01417	-0,29079	-3,10253
2'	-3,24753	0,01483	0,10670	8,84968

3'	8,84968	0,01483	-0,46332	-2,03821
4'	-2,07821	0,01512	-0,50175	-1,91904
5'	-3,16204	0,02492	-0,85906	-1,84688
6'	-1,86688	0,02520	-0,26792	-0,70667
B'	0,44101			
Y'	0,05505			
DY'	0			

HNF : 0,05000  
 N1 : 1,00000

	S	H	U'	S'
1f	-4,08484	0,06422	1,12327	3,64204
2'	3,49704	0,06175	3,84558	1,01864
3'	1,01864	0,06174	-0,13293	-29,57098
4'	-29,61098	0,06183	1,26512	2,11009
5'	1,86709	0,03712	0,05368	44,02503
6'	44,00503	0,03710	-1,34976	-1,74893
B'	0,74090			
Y'	0,05486			
DS'	-0,01349			

HNF : 0,10000  
 N1 : 1,00000

	S	H	U'	S'
1'	-7,26767	0,11432	2,56108	2,84945
2'	2,70445	0,10916	7,71088	0,88936
3'	0,88936	0,10911	0,19778	35,11199
4'	35,07199	0,10897	3,04891	2,27094
5'	1,02794	0,04933	0,97536	3,21803
6'	3,19803	0,04898	-0,41723	-7,47169
B'	2,39666			
Y'	0,05446			
DS'	-0,02027			

HNF : -0,05000  
 N1 : 1,00000

	S	H	U'	S'
1'	2,28084	-0,03582	-1,69703	1,34419
2'	1,19919	-0,03199	-3,60636	0,56349
3'	0,56349	-0,03199	-0,79075	2,57467
4'	2,53467	-0,03149	-2,26075	0,88609
5'	-0,35691	0,01268	-1,76645	-0,45684
6'	-0,47684	0,01324	-1,17599	-0,26501
B'	0,31498			
Y'	0,05507			
DS'	-0,00156			



HEP	:	-0,10000			
H1	:	1,00000			
		S	H	U'	S'
1°		5,46367	-0,08575	-3,11095	1,75058
2°		1,61358	-0,07910	-7,39010	0,67448
3°		0,67448	-0,07908	-1,11259	4,52072
4°		4,48072	-0,07834	-4,02061	1,23742
5°		-0,00558	0,00035	-2,67186	-0,00841
6°		-0,02841	0,00119	-4,07799	-0,01060
B'	:	0,24538			
Y'	:	0,05495			
BS'	:	0,00367			

Iz ovih sračunatih podataka, nacrtati su dijagrami 3, 4 i 5 krivih aberacija. Iz njih se vidi da se mora pristupiti korekturi sistema menjanjem drugog odsto-  
janja "d<sub>2</sub>", a zatim promenom veličina radijusa  $r$  za svako sočivo.

#### 4.6.9) Korektura

##### 4.6.9.1) Korektura optičkog sistema sa računanjem zraka

Sada se pristupa gruboj korekturi kombinacije "III", ali ipak se preporučuje da se u slučaju izrade projekta sa proizvodnju, izradi korektura (najpre gruba a zatim i fina) i sistema "VIII", tako da bi se imao veći izbor u slučaju realizacije ovih instrumenata.

Korektura sa radijusima vršena je na taj način što je uzimano da ostaje nepromenjena veličina poslednje veličine  $s_v$ , a samim tim i ukupna veličina žižine daljine celokupnog sistema  $f_0 = konstanta$ .

Veličine korigovanih radijusa, krivina pojedinih sočiva sračunata su po formulama:

$$\left. \begin{aligned} (S_v) &= S_v \pm \Delta S_v \\ (S_{v+1}) &= \frac{n'_{v+1}}{S'_{v+1}} - \frac{n_{v+1}}{S_{v+1}} \end{aligned} \right\} \dots (4.6.72)$$

odnosno:

$$(r_v) = \frac{1}{S_v} \dots (4.6.73)$$

dok njihovu kontrolu po formuli:

$$(r_v) = \frac{d \frac{n-1}{n} - (r_{v-1})}{\frac{(r_{v-1})}{f(n-1)} - 1} \dots (4.6.74)$$



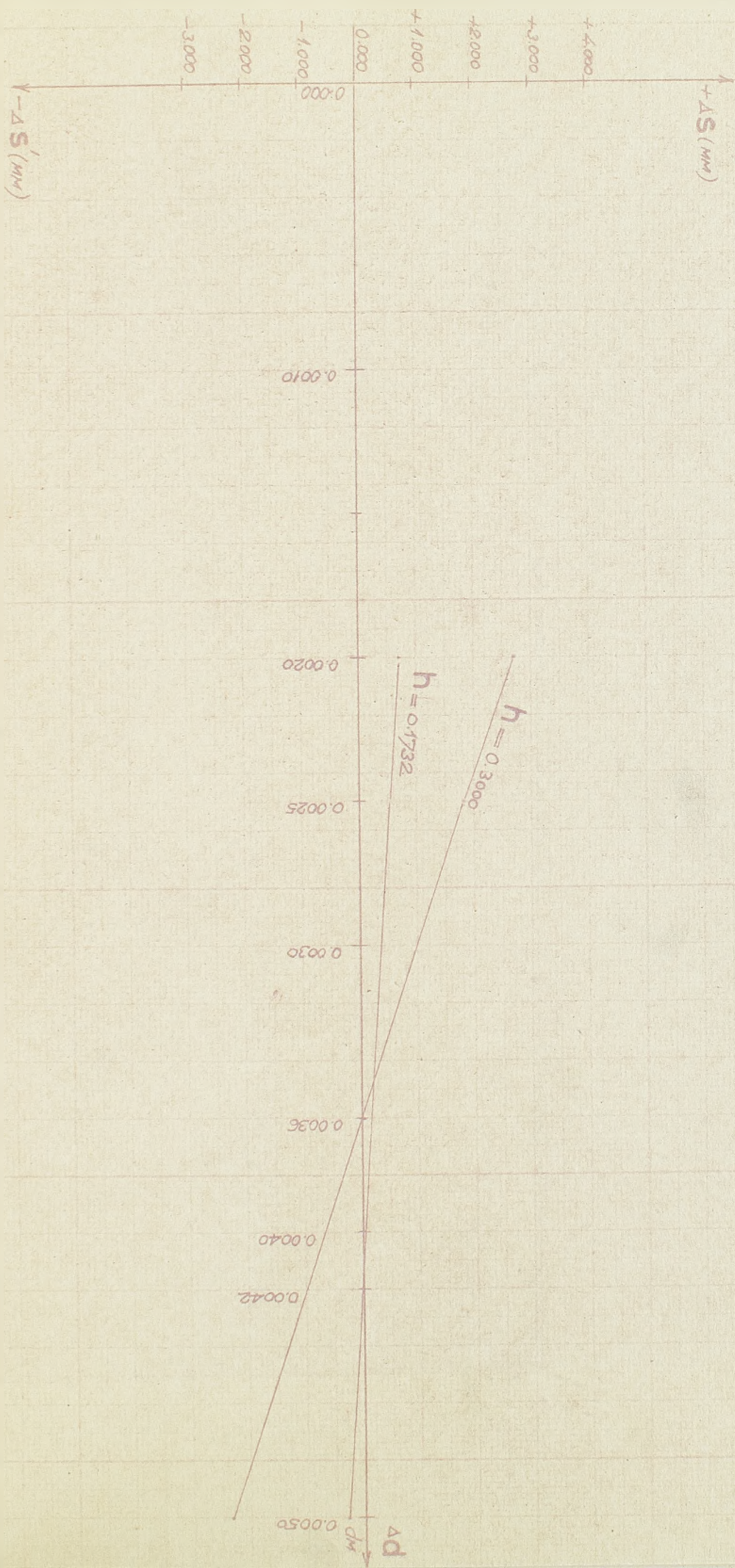


Polazeći od osnovne kombinacije "III" i menja-  
jući samo prve radijuse jednog sočiva, a zadržavajući  
konstantne veličine dva ostala, izvršena su računanja tih  
promenjenih radijusa i dobivene sledeće veličine složene  
u tabeli br. 8 (da ne navedimo sva detaljna računanja). Na  
osnovu ovih podataka, odnosno dobijenih kombinacija, vr-  
šeno je dalje računanje (na elektronskoj računskoj mašini  
"Z<sub>23</sub>" pomoću univerzalnog optičkog programa, specijalno  
izrađenog za nju) ostalih veličina potrebnih za ertanje  
krivih grešaka. Sve te veličine unete su u tabela br. 9,  
a zatim na osnovu njih dobijeni su dijagrami br. 7, 8, 9,  
10, 11, 12 . . . . 16.

Tabela 8

Kombinacija	$\sigma_{2\text{opt}}$	$\pm \Delta f_c (\Delta r_c)$	$\pm (P_V)$	$\pm (r_V)$	$\pm (P_{V+1})$	$\pm (r_{V+1})$
(III) <sub>1</sub>		+ 0.050	+ 1.46.643	- 0.68.193	+ 1.19.280	- 0.83.836
(III) <sub>1</sub> 2		- 0.050	+ 1.36.643	+ 0.73.183	+ 1.30.689	- 0.76.517
(III) <sub>1</sub> 3		+ 0.025	+ 1.44.143	+ 0.69.376	+ 1.22.148	- 0.81.871
(III) <sub>1</sub> 4		- 0.015	+ 1.40.143	+ 0.71.356	+ 1.26.708	- 0.78.921
(III) <sub>1</sub> 5		- 0.0125	+ 1.40.390	+ 0.71.229	+ 1.26.424	- 0.79.099
(III) <sub>2</sub> 1		- 0.050	- 1.24.760	- 0.80.154	- 0.50.920	- 1.96.387
(III) <sub>2</sub> 2		+ 0.050	- 1.14.760	- 0.87.138	- 0.40.840	- 2.44.857
(III) <sub>2</sub> 3		+ 0.025	- 1.17.260	- 0.85.280	- 0.43.364	- 2.30.607
(III) <sub>2</sub> 4		+ 0.005	- 1.19.260	- 0.83.850	- 0.45.381	- 2.20.357
(III) <sub>2</sub> 5		+ 0.001	- 1.19.660	- 0.83.570	- 0.45.784	- 2.18.416
(III) <sub>2</sub> 6		+ 0.015	- 1.18.260	- 0.84.559	- 0.44.373	- 2.25.365
(III) <sub>2</sub> 7		+ 0.018	- 1.17.960	- 0.84.774	- 0.44.070	- 2.26.912
(III) <sub>2</sub> 8		+ 0.010	- 1.18.760	- 0.84.203	- 0.44.877	- 2.22.832
(III) <sub>2</sub> 21	0.0023	+ 0.005	- 1.19.260	- 0.83.850	- 0.44.973	- 2.22.357
(III) <sub>2</sub> 22	0.0020	+ 0.005	- 1.19.260	- 0.83.850	- 0.45.026	- 2.22.093
(III) <sub>2</sub> 61	0.0020	+ 0.015	- 1.18.260	- 0.84.559	- 0.44.018	- 2.27.182
(III) <sub>2</sub> 62	0.0023	+ 0.015	- 1.18.260	- 0.84.559	- 0.43.964	- 2.27.458
(III) <sub>3</sub> 1		+ 0.010	- 0.97.135	- 1.02.949	+ 1.48.115	+ 0.67.515
(III) <sub>3</sub> 2		- 0.010	- 0.99.135	- 1.00.872	+ 1.46.014	+ 0.68.486
(III) <sub>3</sub> 3		+ 0.200	- 0.96.135	- 1.04.020	+ 1.49.166	+ 0.67.039
(III) <sub>3</sub> 4		- 0.01(Ar <sub>3</sub> )		- 1.02.900		+ 0.67.600
(III) <sub>3</sub> 5		+ 0.01(Ar <sub>3</sub> )		- 1.00.900		- 0.68.453
(III) <sub>3</sub> 6	0.0023	- 0.05(Ar <sub>3</sub> )		- 1.06.900		- 0.65.934

DIAGRAM br 6



$\Delta S'$  (m/m)  
 $\Delta f'$

DIJAGRAMI :  $\Delta S'$  i  $\Delta f'$

u funkciji od: "d<sub>2</sub>" za:

- $h_1 = 0,1732$  \_\_\_\_\_
- $h_2 = 0,2449$  \_\_\_\_\_
- $h_3 = 0,3000$  \_\_\_\_\_

BR : 6a



0.200 m/m

0.230

0.250

0.340

0.360

0.420

DIAGRAM br.7

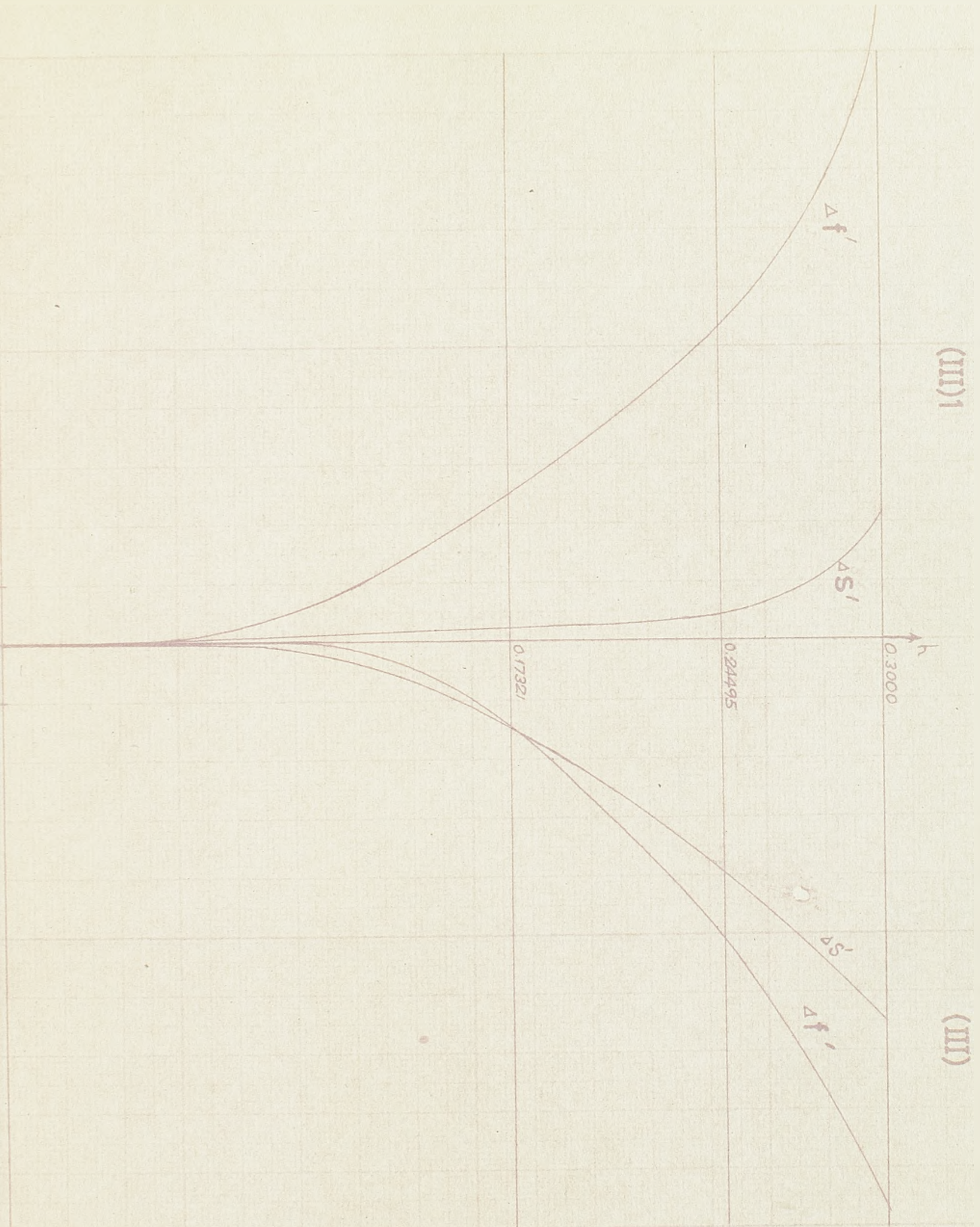


DIAGRAM 8

(III) 2

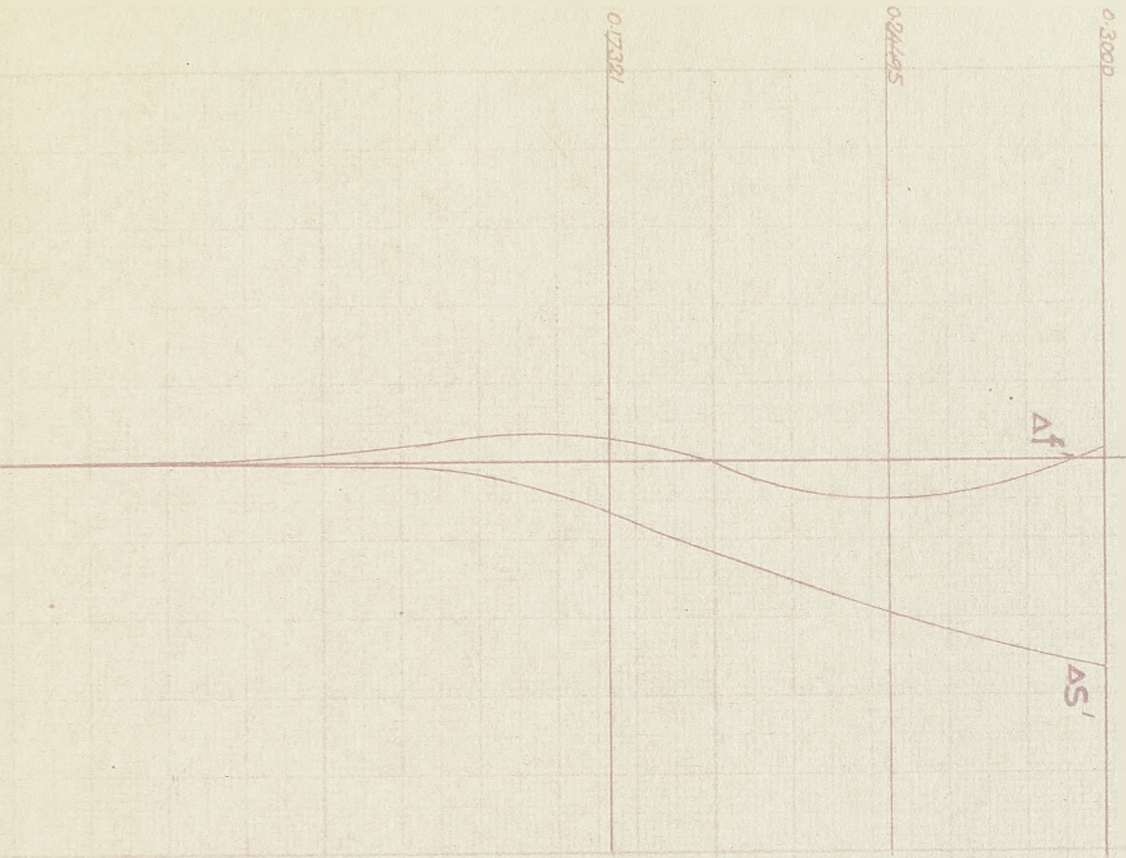


DIAGRAM 9

(III) 3

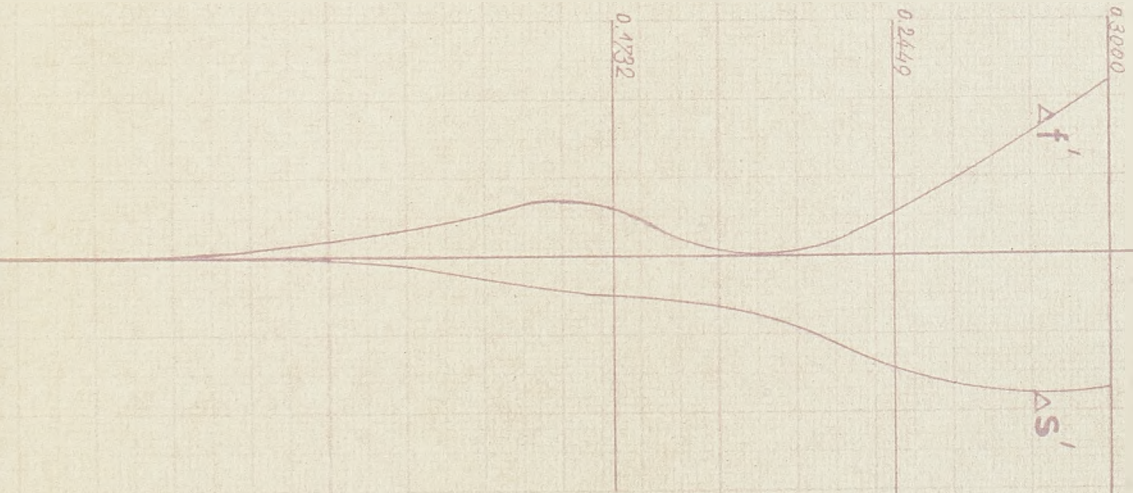


DIAGRAM 10

(III) 4

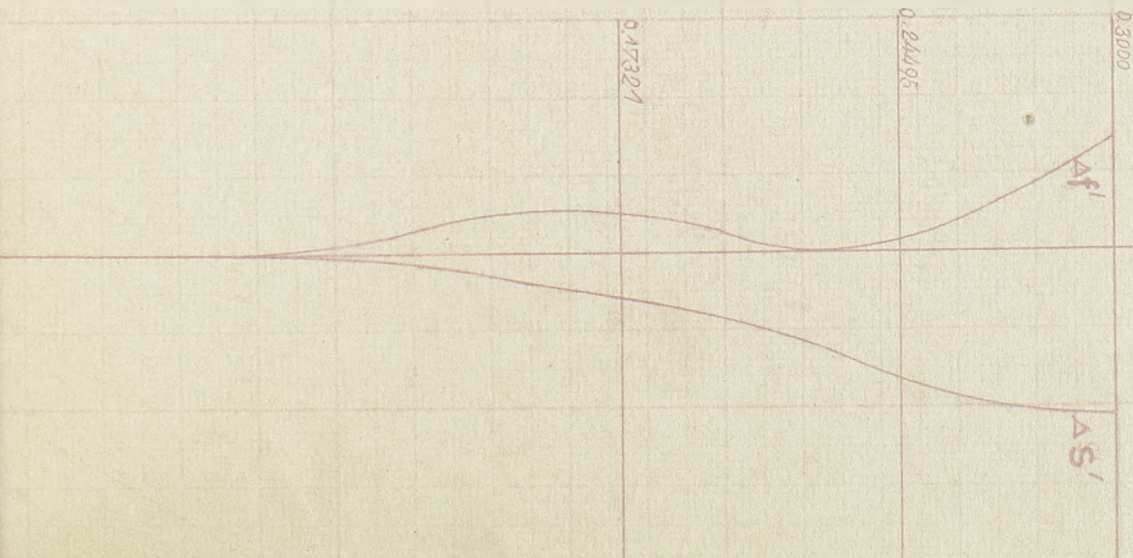
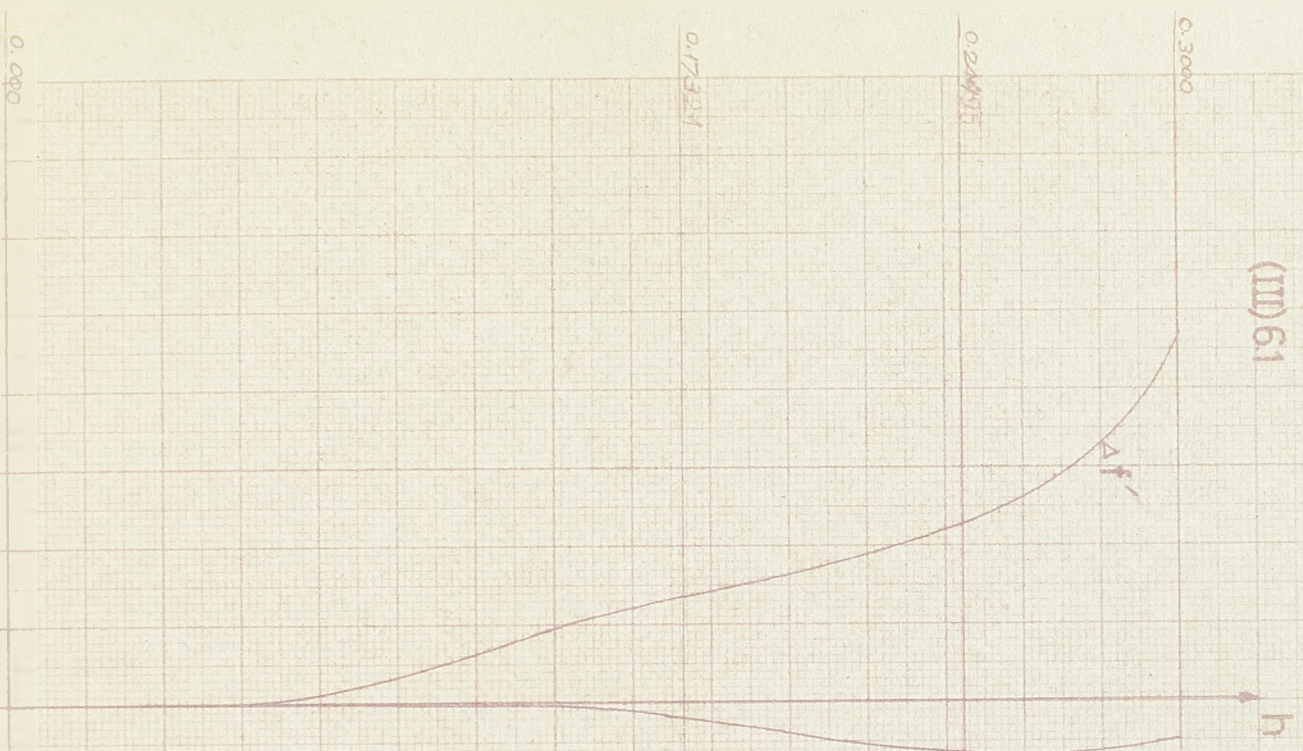


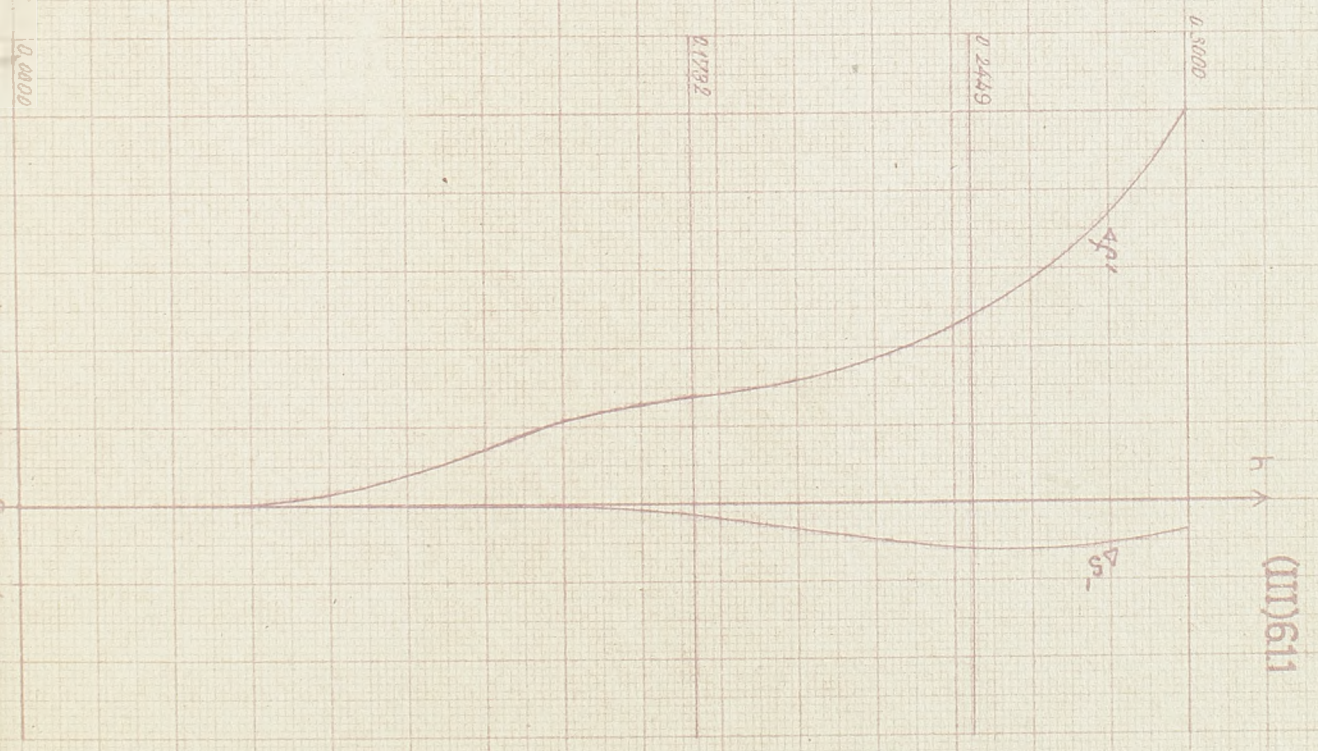


DIAGRAM B-11112

(mm) 61



(mm) 611









Protokol kombinacije III - 6.1.1

U(R)U

,73159 -,82899 -,86526 -,2,25838 -1,05593 ,70465 2'

U(H')U

1 1,45045 1 1,88251 1 1,45045 1

1 1,44915 1 1,87855 1 1,44915 1

1 1,45175 1 1,88741 1 1,45175 1

U(S)U

1 1' -,902 -0,902

U(U1)U

0 -0,7 -1 3'

U8102U

-3'3 ,3 ,1 -,1 2 0 0 0 4'1'1'

U1029U

1 9'4'5'5'4'3'- 1

U102U

,15026 ,00362 ,04144 1,28496 ,02072

EZ 3000K

Izračunavanje elemenata kombinacije (III) 6.1.1

H1	:	0	
H1	:	1,00000	
		3	5'
		INFIN	0,81478
DS'	:	0	
F'	:	3,50017	
DF'	:	0	
H1	:	1,00000	
		3	3'
		INFIN	0,82063
DS'	:	0,00585	
F'	:	3,51124	
DF'	:	0,01107	

N1	:	1,00000			
		S	S'		
		INFIN	0,81612		
DS'	:	0,00133			
F'	:	3,50743			
DF'	:	0,00726			
U1	:	0			
N1	:	0,17321			
N1	:	1,00000			
		S	H	U'	S'
		INFIN	0,04057	3,16495	0,81659
DS'	:	0,00180			
F'	:	3,48540			
DF'	:	-0,01477			
N1	:	1,00000			
		S	H	U'	S'
		INFIN	0,04072	3,15641	0,82179
DS'	:	0,00700			
F'	:	3,49482			
DF'	:	-0,00535			
N1	:	1,00000			
		S	H	U'	S'
		INFIN	0,04058	3,15591	0,81905
DS'	:	0,00427			
F'	:	3,49538			
DF'	:	-0,00479			
N1	:	0,24495			
N1	:	1,00000			
		S	H	U'	S'
		INFIN	0,05785	4,49001	0,82118
DS'	:	0,00640			
F'	:	3,47591			
DF'	:	-0,02426			
N1	:	1,00000			
		S	H	U'	S'
		INFIN	0,05803	4,48006	0,82570
DS'	:	0,01092			
F'	:	3,48361			
DF'	:	-0,01656			

N1 : 1,00000  
     S  
     INFIN      H      U\*      S\*  
                   0,05789      4,47325      0,82493  
 DS\* : 0,01014  
 P\* : 3,48892  
 DP\* : -0,01126

N1 : 0,30000  
 N1 : 1,00000  
     S      H      U\*      S\*  
 1\*      INFIN      0,30000      8,65176      2,25821  
 2\*      2,10795      0,29571      25,80545      0,63458  
 3\*      0,63096      0,29263      1,63311      11,35389  
 4\*      11,31245      0,29074      10,52298      1,72410  
 5\*      0,43914      0,07368      5,82387      0,80064  
 6\*      0,77992      0,07122      5,54401      0,81932  
 DS\* : 0,00454  
 P\* : 3,44927  
 DP\* : -0,05090

N1 : 1,00000  
     S      H      U\*      S\*  
     INFIN      0,07143      5,53406      0,82323  
 DS\* : 0,00844  
 P\* : 3,45545  
 DP\* : -0,04472

N1 : 1,00000  
     S      H      U\*      S\*  
     INFIN      0,07132      5,51868      0,82428  
 DS\* : 0,00949  
 P\* : 3,46506  
 DP\* : -0,03511

U1 : -1,00000  
 NKP : 0  
 U1 : 1,00000  
     S      H      U\*      S\*  
     IF      -0,90200      0,02993      -2,27194      -0,72580  
 B\* : 0,44023  
 Y\* : 0,05500  
 DY\* : 0

U1	:	-1,00000				
N1	:	1,00000				
		SS	SM	H	S'S	S'M
		INFIN	INFLM	0,02593	0,81287	0,80817
K'S	:	0,81283				
K'M	:	0,80813				
DX'S	:	-0,00196				
DX'M	:	-0,00665				
Y'S	:	0,05493				
Y'M	:	0,05477				
V	:	0,03296				

HEP	:	0,05000				
N1	:	1,00000				
		S	H	U'	S'	
		- 4,08484	0,03752	-1,35439	-1,76224	
B'	:	0,73836				
Y'	:	0,05483				
DS'	:	- 0,01174				

HEP	:	0,10000				
N1	:	1,00000				
		S	H	U'	S'	
1'	-	7,26767	0,11431	2,43228	2,99947	
2'		2,84921	0,10919	7,40207	0,92761	
3'		0,923399	0,10872	0,11431	60,54394	
4'		60,50250	0,10864	2,92523	2,36005	
5'		1,07509	0,04949	1,08677	2,89751	
6'		2,87873	0,04909	-0,42537	- 7,34432	
B'	:	2,35079				
Y'	:	0,05452				
DS'	:	-0,01672				

HEP	:	-0,05000				
N1	:	1,00000				
		S	H	U'	S'	
		2,28084	0,01429	-3,18072	-0,28564	
B'	:	0,31451				
Y'	:	0,05503				
DS'	:	- 0,00158				

HEP	:	- 0,10000				
N1	:	1,00000				
		S	H	U'	S'	
1'		5,46367	-0,08575	-3,01621	1,81361	
2'		1,66335	-0,07904	-7,16381	0,69570	



3'	0,69208	-0,07861	-1,05599	4,73530
4'	4,69386	-0,07789	-3,93270	1,25788
5'	-0,02708	0,00167	-2,74193	-0,03886
6'	-0,05958	0,00257	-4,08327	-0,03998
B'	0,24506			
Y'	0,05490			
DS'	0,00363			

Protokol kombinacije (III) 6.1.1.1

U(R)U

,73051 -,82811 -,86434 -2,25599 -,1,05481 ,7039 2'

U(R')U

1 1,45045 1 1,88251 1 1,45045 1  
 1 1,44915 1 1,87855 1 1,44915 1  
 1 1,45175 1 1,88741 1 1,45175 1

U(S)U

1 1' -,902 -,902

U(U1)U

0 -1 -,7 3'

U8102U

-3'3,3,1 -,1 2 0 0 0 4'1'1'

U1029U

1 9'4'3'5'4'3'- 1

U102U

,1501 ,00362 ,0414 1,2836 ,0207

EZ 3000R

Sračunate vrednosti kombinacije (III) 6.1.1.1

H1 : 0

W1 : 1,00000

	S	S'
1'	IMFIN	2,35321
2'	2,20311	0,83173
3'	0,82811	10,09128
4'	10,04988	1,72860
5'	0,44500	0,79689
6'	0,77619	0,813384

DS' : 0,  
 F' : 3,49629  
 DF' : 0

NI : 1,00000  
       S

	S	S'
1'	INFIN	2,35791
2'	2,20781	0,83420
3'	0,83058	10,01681
4'	9,97541	1,73086
5'	0,44726	0,80062
6'	0,77992	0,81968

DS' : 0,00584  
 F' : 3,50734  
 DF' : 0,01105

NI : 1,00000  
       S

	S	S'
1'	INFIN	2,34854
2'	2,19844	0,82927
3'	0,82565	10,23154
4'	10,19014	1,72838
5'	0,44478	0,79765
6'	0,77695	0,81517

DS' : 0,00133  
 F' : 3,50354  
 DF' : 0,00725

VI : 0  
 FI : 0,17321  
 NI : 1,00000

	S	H	U'	S'
1'	INFIN	0,17321	4,78385	2,32144
2'	2,17134	0,16472	13,06211	0,87496
3'	0,77134	0,16378	0,99533	10,45899
4'	10,41759	0,16298	5,97101	1,72667
5'	0,44307	0,04176	3,32465	0,79802
6'	0,77732	0,04057	3,16851	0,81964

DS' : 0,00180  
 F' : 3,48149  
 DF' : -0,01480

N1 : 1,00000

	S	H	U'	S'
1'	INFIN	0,17321	4,77439	2,32602
2'	2,17592	0,16474	13,02396	0,77742
3'	0,77380	0,16380	1,00352	10,37475
4'	10,33335	0,16299	5,96444	1,72073
5'	0,44513	0,04190	3,32260	0,80135
6'	0,78065	0,04072	3,15996	0,82083

DS' : 0,00699

P' : 3,49090

DP' : -0,00539

N1 : 1,00000

	S	H	U'	S'
1'	INFIN	0,17321	4,79329	2,31689
2'	2,16679	0,16470	13,10026	0,77251
3'	0,76889	0,16376	0,98054	10,61562
4'	10,57422	0,16297	5,97041	1,72676
5'	0,44316	0,04176	3,31891	0,79949
6'	0,77879	0,04058	3,15946	0,81811

DS' : 0,00427

P' : 3,49146

DP' : -0,00483

N1 : 0,24495

N1 : 1,00000

	S	H	U'	S'
1'	INFIN	0,24495	6,91367	2,28892
2'	2,13882	0,23697	19,61391	0,71002
3'	0,70640	0,23517	1,37046	10,89025
4'	10,84885	0,23384	8,51650	1,72541
5'	0,44181	0,05969	4,72566	0,80089
6'	0,78019	0,05784	4,49514	0,82023

DS' : 0,00638

P' : 3,47195

DP' : -0,02434

N1 : 1,00000

	S	H	U'	S'
1'	INFIN	0,24495	6,90011	2,29337
2'	2,14327	0,23698	19,45392	0,71250
3'	0,70888	0,23520	1,38273	10,79425
4'	10,75285	0,23385	8,50789	1,72726
5'	0,44366	0,05988	4,72366	0,80378
6'	0,78308	0,05803	4,48520	0,82474

DS' : 0,01090

P' : 3,47963

DP' : -0,01665

H1 : 1,00000

	S	H	U'	S'
1'	INFIN	0,24495	6,92721	2,28449
2'	2,13439	0,23695	19,67393	0,70755
3'	0,70393	0,23515	1,34854	11,06679
4'	11,02539	0,23384	8,51437	1,72584
5'	0,44224	0,05973	4,71587	0,80315
6'	0,78245	0,05789	4,47635	0,82397
DS'	0,01013			
F'	3,48495			
DF'	-0,01134			

H1 : 0,30000

H1 : 1,00000

	S	H	U'	S'
1'	INFIN	0,30000	8,66228	2,25559
2'	2,10549	0,29575	25,84647	0,63336
3'	0,62974	0,29266	1,63471	11,34379
4'	11,30239	0,29077	10,54505	1,72220
5'	0,43860	0,07368	5,83062	0,79966
6'	0,77896	0,07121	5,55091	0,81825
DS'	0,00441			
F'	3,44499			
DF'	-0,05130			

H1 : 1,00000

	S	H	U'	S'
1'	INFIN	0,30000	8,64543	2,25991
2'	2,10981	0,29575	25,76175	0,63591
3'	0,63229	0,29268	1,65054	11,23527
4'	11,19387	0,29077	10,52520	1,72388
5'	0,44028	0,07389	5,82911	0,80217
6'	0,78147	0,07142	5,54096	0,82215
DS'	0,00830			
F'	3,45116			
DF'	-0,04513			

H1 : 1,00000

	S	H	U'	S'
1'	INFIN	0,30000	8,67910	2,25129
2'	2,10119	0,29574	25,93128	0,63083
3'	0,62721	0,29264	1,60662	11,54219
4'	11,50079	0,29078	10,53090	1,72296
5'	0,43936	0,07378	5,81660	0,80268
6'	0,78198	0,07131	5,52553	0,82320
DS'	0,00936			
F'	3,46077			
DF'	-0,03552			

U1 : -1,00000  
 HMF : 0  
 N1 : 1,00000

	S	H	U'	S'
1'	-0,90200	0,01417	-0,30586	-2,94964
2'	-3,09974	0,01489	0,07212	13,14455
3'	13,14093	0,01489	-0,47579	-1,99212
4'	-2,03352	0,01520	-0,51719	-1,87071
5'	-3,15431	0,02562	-0,83691	-1,94933
6'	-1,97003	0,02591	-2,27167	-0,72522

B' : 0,44028  
 Y' : 0,05494  
 DY' : 00

U1 : -1,00000  
 N1 : 1,00000

	SS	SM	H	S'S	S'M
1'	INFIN	INFIN	0,01417	2,35221	2,35083
2'	2,20238	2,20100	0,01489	0,83153	0,83102
3'	0,82790	0,82740	0,01489	10,08007	10,06099
4'	10,03860	10,01952	0,01520	1,72797	1,72690
5'	0,44459	0,44352	0,02562	0,79599	0,793279
6'	0,77450	0,77230	0,02591	0,81192	0,80722

X'S : 0,61188  
 X'M : 0,80719  
 DX'S : -0,00196  
 DX'M : -0,00665  
 Y'S : 0,05487  
 Y'M : 0,05470  
 Y : 0,03284

HMF : 0,0500  
 N1 : 1,0000

	S	H	U'	S'
1'	-4,08484	0,06421	1,05429	3,87996
2'	3,72986	0,06181	3,68473	1,06446
3'	1,06084	0,06160	-0,18005	-21,78203
4'	-21,82343	0,06172	1,19900	3,27573
5'	1,99213	0,03754	0,12231	19,53696
6'	19,51626	0,03749	-1,35310	-1,76277

B' : 0,73907  
 Y' : 0,05477  
 DY' : -0,01174

HEP : 0,10000  
N1 : 1,00000

	S	H	U'	H'
1'	-7,26767	0,11431	2,43569	2,99531
2'	2,84521	0,10919	7,41135	0,92642
3'	0,92280	0,10872	0,11504	60,15786
4'	60,11646	0,10864	2,92946	2,35660
5'	1,07300	0,04946	1,08916	2,88972
6'	2,86902	0,04906	-0,42302	-7,38147
B'	2,36390			
Y'	0,05446			
DS'	-0,01672			

HEP: -0,05000  
N1 : 1,00000

	S	H	U'	H'
1'	2,28084	-0,03582	-1,65892	1,37504
2'	1,22494	-0,03194	-3,51722	0,57697
3'	0,57335	-0,03174	-0,76900	2,62700
4'	2,58560	-0,03124	-2,22646	0,89258
5'	-0,39102	0,01368	-1,79135	-0,48605
6'	-0,50675	0,01427	-3,18146	-0,28510
B'	0,31444			
Y'	0,05496			
DS'	-0,00158			

HEP : -0,10000  
N1 : 1,00000

	S	H	U'	H'
1'	5,46367	-0,08575	-3,01871	1,81211
2'	1,66201	-0,07905	-7,17060	0,69504
3'	0,69142	-0,07862	-1,05653	4,73301
4'	4,69161	-0,07789	-3,93590	1,25691
5'	-0,02669	0,00165	-2,74369	-0,03831
6'	-0,05901	0,00254	-4,08501	-0,03960
B'	0,24496			
Y'	0,00364			
DS'	0,00364			

U1 : -0,70000  
HEP: 0  
N1 : 1,00000

	S	H	U'	S'
1'	-0,90200	0,00992	-0,21420	-2,94799
2'	-3,09809	0,01042	0,05030	13,19267
3'	13,18905	0,01042	-0,33311	-1,99159
4'	-2,03299	0,01064	-0,36217	-1,86988
5'	-3,15348	0,01794	-0,58597	-1,94912
6'	-1,96982	0,01813	-1,58947	-0,72590

B' : 0,44043  
 Y' : 0,03845  
 UY' : 0

U1 : -0,70000  
 H1 : 1,00000

	S	H	H	S'	S''
1'	INFIN	INFIN	0,00992	2,3572	2,35205
2'	2,20275	2,20207	0,01042	0,83163	0,83138
3'	0,82801	0,82776	0,01042	10,08558	10,07621
4'	10,04415	10,03479	0,01064	1,72828	1,72776
5'	0,44478	0,44426	0,01794	0,79642	0,79534
6'	0,77533	0,77425	0,01813	0,81284	0,81054

K'S : 0,81283  
 BK'S : 0,81052  
 BK'S : -0,00102  
 BK'M : -0,00332  
 Y'S : 0,03843  
 Y'M : 0,03837  
 V : 0,01603

HBP : 0,05000  
 H1 : 1,00000

	S	H	U'	S'
1'	- 5,44910	0,05995	1,14404	3,33787
2'	0,18777	0,05733	3,65752	0,99475
3'	0,99113	0,05711	-0,03825	-95,06658
4'	-95,10798	0,05714	1,35190	2,68961
5'	1,40601	0,02987	0,37163	5,11659
6'	5,09589	0,02974	-0,67391	-2,80907

B' : 1,03871  
 Y' : 0,03835  
 DS' : -0,00685

HBP : 0,10000  
 H1 : 1,00000

	S	H	U'	S'
1'	- 9,99620	0,11001	2,52129	2,78460
2'	2,63450	0,10466	7,37098	0,89321
3'	0,88959	0,10420	0,25520	25,98612
4'	25,94472	0,10401	3,07808	2,14717
5'	0,86357	0,04183	1,33535	1,99294
6'	1,97224	0,04135	0,25041	10,51371

B' : -2,79542  
 Y' : 0,03815  
 DS' : -0,01032

HEP : -0,05000  
 NI : 1,00000

	S	H	U'	S'
1'	3,64510	- 0,04007	-1,56749	1,62815
2'	1,47805	- 0,03642	-3,54066	0,65336
3'	0,64974	-0,03622	-0,62621	3,68090
4'	3,63950	- 0,03580	-2,07140	1,09972
5'	-0,18388	0,00598	-1,54021	-0,24733
6'	-0,26803	0,00649	-2,49890	-0,16514
B'	0,28019			
Y'	0,03845			
DS'	0,00029			

HEP: -0,10000  
 NI : 1,00000

	S	H	U'	S'
1'	8,19220	- 0,09002	- 2,92963	1,96036
2'	1,61026	- 0,08356	- 7,20291	0,73115
3'	0,72753	- 0,08312	- 0,91438	5,788288
4'	5,74148	- 0,08249	- 3,78288	1,38511
5'	0,10151	- 0,00604	- 2,49379	0,15410
6'	0,13340	- 0,00523	- 3,40470	0,09767
B'	0,20569			
Y'	0,03834			
DS'	0,00398			

Analizirajući rezultate svake pojedine kombinacije, vidi se da na promene  $\Delta S'_{4f'}$  najviše utiče promena odstojanja  $d_2$  između prvog i drugog sočiva sistema. Zato se, da bi se našla najpovoljnija veličina za  $d_2$  pri kojoj bi  $\Delta S'$  bilo približno jednako nuli, slažimo dijagramom br. 6. Na njemu su za kombinaciju III za razna rastojanja  $d_2$  nanošene odgovarajuće veličine  $\Delta S'$  i to za visina otvora  $h_1 = 0,17321$  (zrnske) i  $h_2 = 0,3000$  odnosno ivične zrake. Na ovaj način je dobijeno da za ivične zrake treba da bude  $d_2 = 0,0036$  dm da bi  $\Delta S'_{(ivično)} = 0$ , dok bi za zonske trebalo da bude  $d_2 = 0,0042$  dm.

Kada se za svako određeno veličinama  $d_2$ , izvrše ostala računanja dobijaju se nove kombinacije, najpovoljnije od svih ostalih, i to: kombinacija (III)<sub>5</sub> i (III)<sub>6</sub>.

Posle niza računanja i menjanja elemenata za  $\bar{T}'_c$  i  $2d_2''$  dobivene su kao definitivne vrednosti za grubo izvršenu korekturu sistema. Odnosno, dobiveni su sasvim povoljniji podaci za veličine  $\Delta S'$  i  $\Delta f'$  dok koma ostaje skoro nepromenjena.





4.6.9.2) Korektura sa aberacijama III-eg reda metodom opštih varijacija

Uzimajući kombinaciju (III) 6.1.1. dobivenu u prethodnom poglavlju trigonometrijskim izračunavanjem i korekcijom, kao nultu, izvršen je proračun za istu (za  $f_1 = 1,00$  i  $f_2 = 3,50$ ), koeficijentna aberacije trećeg reda (za debelu sistem) navedenih u tabelama br. 8<sup>a</sup> i 8<sup>b</sup>. Pošto je ipak veliki koeficijent transformacije iz  $f_1 = 1,00$  u  $f_2 = 3,50$ , to je za dalja računanja, a i radi jednodobnosti sa računanjem i korekturom izvršenim u prethodnom poglavlju odlučeno je za  $f_1 = 3,50$  u daljoj korekturi.

Iz tabele 8<sup>a</sup> i 8<sup>b</sup> vidi se mogućnost sistema, male veličine aberacija III-eg reda, kao i postojanje uticaja aberacija višeg reda, mada ne za sve površine u istoj meri. Prva, četvrta, peta i šesta površina su mnogo manje podložne uticaju aberacija višeg reda, od druge i treće površine. Zbog toga, moraju se zadržati i u oblasti Seidela, male, od neznatnog uticaja, aberacije trećeg reda da bi postigli što bolje izjednačenje aberacija po celom otvoru.

U daljoj korekturi izlazeći iz tabele 8<sup>a</sup>, izvršene su promene veličine  $\Delta \rho_c$  zakrivljenosti površina, svakog pojedinog sočiva posebno. Pri tome je zadržavana veličina  $S_c' = \text{konstanta}$  iz kombinacije III) 6.1.1, a promene radijusa sračunavate po formulama (4.6.72), (4.6.73).

Izvršivši promene  $\Delta \rho_c = \pm 0,005$  i  $\Delta \rho_c = \pm 0,05$  za svako sočivo odvojeno, smatrajući pri tom elemente ostalih sočiva nepromenjene, sračunati su svi ostali elementi i veličine odgovarajućih koeficijenata aberacije.

Zbog bolje preglednosti složeni su rezultati sv ih tik računanja u tabele br. 8<sup>c</sup>, 8<sup>d</sup> i 8<sup>e</sup>. Na osnovu rezultata konstruisati su dijagrami (br.: (4.2.1), (4.2.2) i (4.2.3)/ promena suma, parcijalnih koeficijenata aberacija debelog sistema u funkciji od promene  $\Delta \rho_c$ .

Iz navedenih tabela i dijagrama se vidi: da promene zakrivljenosti površina sočiva  $\Delta \rho_c$  u granicama  $\pm 0,05$  veoma malo utiču na promenu:  $\Sigma A$ ,  $\Sigma B$  i  $\Sigma K$ .

Varirajući zakrivljenost površina u pomenutim granicama, promene suma parcijalnih koeficijenata  $A$ ,  $B$  i  $K$  se ponajče linearno za prvo i drugo sočivo, dok kod trećeg sočiva promene u koeficijentima  $A$ ,  $B$  i  $K$  su tako male da su skoro zanemarljive u odnosu na prva dva sočiva.

Iz ovoga proizilazi zaključak, da u daljoj korekturi ne bi trebalo uzimati u obzir treće sočivo, jer njegov uticaj je skoro beznačajan (vidi tabelu). Ustank za to kod njega je tzv. odnos "visina h", odnosno njegov položaj u sistemu.

Položaj "prirodne blende", odnosno veličina  $Z_1$  je suviše velika, s obzirom da kod teleskopskih sistema poželjno je da njegova veličina bude što manja, odnosno "prirodna blenda" treba da bude u srazu sistema i što bliže optičkom centru sistema. Da bi ovo zadovoljili, i upotrebom prirodne blende vršili korekturu aberacija, potrebno je da bude što veća  $\sum A$  a što manja  $\sum B$ , kod prva dva sočiva. Osim toga, po mogućstvu takvog reda, da njihov količnik bude oko 0,01.

Imajući na umu sve ovo, kao i zavisnost promena krivih  $\Delta s'$  i  $\Delta f'$  u funkciji od promena  $\sum A$  i  $\sum B$ , izlazi da je potrebno (da bi kriva  $\Delta s'$  na dijagramu (III) 6.1.1 išla u levo, a kriva  $\Delta f'$  u desno i što bolje aproksimirale jedna drugu) izvršiti promenu veličina  $\sum A$  i  $\sum B$  za prva dva sočiva.

Potrebno je prva sumu povećati, a drugu sumu smanjiti, i to: povećanjem  $\rho_3$  i smanjenjem  $\rho_7$ .

Iz dijagrama (4.2.1) i (4.2.2) vidi se da bi ovo bilo zadovoljeno potrebno je da izvršimo promenu za:

$$\Delta \rho_1 \leq -0,05 \quad \text{a} \quad \Delta \rho_3 \geq +0,05$$

Polazeći od ovih uslova i uzimajući pritom za  $\Delta \rho_9$  treće sočivo elemente za  $\rho_5$  i  $\rho_6$  iz tabele 3<sup>o</sup> računati su svi ostali elementi i navedeni u tabeli  $\delta f^6$ . Ovo su u isto vreme podaci za definitivno korigovan, za naš slučaj, sistem (III) 6.1.1.1.

Da bi  $Z_1$  bilo reda + 0,01 izvršeno je računanje daljih 6 aproksimacija. Pri tome je manjan  $\rho_7$  za veličine - 0,36834; - 0,22534; - 0,08634, - 0,0600; i - 0,0480. Tako je dobijen dijagram 4.2.4 promene  $Z_1$ ,  $\sum A$  i  $\sum B$ , u zavisnosti od promene  $\Delta \rho_1$ . Ostali računati elementi navedeni su u tabeli br.:  $\delta f^5$  i  $\delta f^6$ . Na ovaj način su dobivene sasvim povoljne veličine za sume parcijalnih koeficijenata aberacije trećeg reda i položaj prirodne blende.

Kod fine korekture potrebne za proizvodnju, u slučaju realizacije ovog sistema, polazeći od kombinacije (III) 6.1.1.1 potrebno bi bilo izvršiti sasvim male promene, veličina diferencijala, u elementima sistema:  $n_i, e_i, n_i$ . U našem slučaju, bi bilo potrebno vršiti samo promene  $n_i, e_i$ , a zadržavati  $n_1 = \text{konst.}$

Imajući na umu iskustvo poznatih optičara i napred navedene osobine našeg sistema izlazi da je najbolje i najpovoljnije izvršiti finu korekturu sistema, putem metode diferencijalnih koeficijenata uz uslov da suma kvadrata popravaka (korekcija) i preostalih grešaka aberacija bude minimum. Ovo

100000:89

Seidelovu šema klasificiranata u obrascu III-eg reka za odobu sistem

f=350

$\nu$	$\eta$	$e_\nu$	$n_\nu$	$\frac{1}{\eta}$	$\frac{1}{S_\nu}$	$\frac{1}{\eta} - \frac{1}{S_\nu}$	$Q_\nu = n_\nu \left( \frac{1}{\eta} - \frac{1}{S_\nu} \right)$	$\frac{Q_\nu}{n_\nu}$	$S'_\nu = \frac{1}{S_\nu} - \frac{Q_\nu}{n_\nu}$	$S_\nu = S'_\nu + e_{\nu-1}$	$\frac{S_\nu}{S_{\nu-1}}$	$\frac{h_\nu}{h_1}$
1	+0.73 081	0.1501	1.45 045	+1.30 834	0.02 020	1.36 854	1.30 834	+0.94 423	+0.42 114	$\infty$	$\infty$	1.00 000
2	-0.92 811	0.00 382	1.00 000	-1.20 750	0.45 380	-1.05 140	2.40 588	-2.40 988	+1.20 044	2.20 311	0.93 634	0.83 634
3	-0.86 434	0.01 14	1.88 287	-1.15 855	1.20 750	-2.30 451	-2.30 451	-1.25 888	+0.09 909	0.82 811	0.99 304	0.93 213
4	-2.25 559	1.28 36	1.00 000	-0.44 334	0.09 880	-0.54 284	-1.22 180	-1.02 190	+0.57 041	10.04 988	0.99 589	0.92 540
5	-1.75 481	0.02 07	1.45 045	-0.94 814	2.24 719	-5.19 523	-3.19 523	-2.20 480	+1.25 286	0.44 800	0.25 743	0.23 396
6	+0.70 300	0.02 07	1.00 000	+1.42 088	1.28 834	+0.15 832	+0.19 182	+0.19 182	+1.22 892	0.77 819	0.97 402	0.23 877
7												
$\nu$	$\frac{1}{n_\nu}$	$\frac{1}{S_\nu}$	$\frac{1}{\eta}$	$\frac{1}{S_\nu}$	$\frac{1}{n_\nu \cdot S_\nu}$	$\frac{1}{\eta} - \frac{1}{S_\nu}$	$\Delta \frac{1}{n_\nu \cdot S_\nu}$	$\Delta \frac{1}{n_\nu}$	$\frac{1}{\eta}$	$\left( \frac{h_\nu}{h_1} \right)^2 \cdot Q_\nu$	$e = \frac{1}{\left( \frac{h_\nu}{h_1} \right)^2} \cdot Q_\nu$	$\delta$
1	0.68 944	0.42 414	1.00 000	0.29 242	0.00 000	0.00 000	+0.29 242	-0.31 058	+1.30 834	1.00 000	+0.73 081	0.00 000
2	1.00 000	1.20 014	0.68 944	1.20 014	0.51 294	0.51 294	+0.68 720	+0.31 058	-1.20 750	0.87 878	-0.27 373	0.11 002
3	0.55 100	0.09 903	1.00 000	0.05 284	1.20 750	-1.15 462	-1.15 462	-0.46 880	-1.15 886	0.80 887	-0.43 875	0.14 477
4	1.00 000	0.57 041	0.53 120	0.57 041	0.05 285	+0.52 356	+0.52 356	+0.40 880	-0.44 334	0.68 174	-1.13 780	0.14 024
5	0.06 944	1.25 680	1.00 000	2.24 719	0.88 653	-1.35 000	-1.35 000	-0.31 058	-0.94 804	0.05 711	-5.48 028	5.92 020
6	1.00 000	1.22 592	0.68 944	1.22 592	0.68 823	+0.34 089	+0.34 089	+0.31 058	+1.42 088	0.05 418	+36.20 022	6.18 304
7												

skica optičkog sistema

$\tilde{z}_1 = -100$

E

$\Gamma + P$

P

$\Gamma$

B

A

$T = E + S$

1	+0.73 081	1.87 235	+0.54 905	+0.40 125	+0.29 323	+0.42 440	+0.71 733	+0.52 423				
2	-0.92 811	4.45 594	+3.96 128	-1.43 852	+0.52 234	+0.37 427	+0.89 661	-0.32 557				
3	-0.86 434	4.82 073	-4.87 415	+1.81 309	-0.67 443	-0.54 008	-1.21 551	+0.45 214				
4	-2.25 559	0.77 222	+0.46 582	-0.40 469	+0.40 356	+0.20 734	+0.19 622	-0.19 567				
5	-1.75 481	0.03 324	-0.04 505	-0.02 022	-0.00 890	-0.29 363	-0.30 273	-0.13 322				
6	+0.70 300	0.00 000	+0.00 000	+0.00 377	+0.38 620	-0.44 232	-0.03 410	-2.07 959				
7												
8												
9												
$\Sigma$			-0.00 353	+0.35 468	+0.92 200	-0.68 420	+0.25 782	-1.75 768				



Sevelova šemā klasifikācija ūberveidē III-eg reālā to dabēli sistemā  $f=100$  zō: (III) 6.1.1 kombinācijā

$\nu$	$\nu_2$	$e_j$	$n_j$	$\frac{1}{n_j}$	$\frac{1}{S_j}$	$\frac{1}{n_j \cdot S_j}$	$\frac{1}{n_j} - \frac{1}{S_j}$	$Q_j = n_j \left( \frac{1}{n_j} - \frac{1}{S_j} \right)$	$\frac{Q_j}{n_j}$	$\frac{1}{S_j} - \frac{1}{n_j} = \frac{Q_j}{n_j}$	$S_j^2$	$S_j = S_{j-1} \cdot e_{j-1}$	$\frac{S_j}{S_{j-1}}$	$\frac{h_j}{h_{j-1}}$
1	+0.20 880	0.04 288	1.45 045	+4.78 927	0.00 000	+4.78 927	+4.78 927	+4.78 927	+5.30 192	1.48 335	0.87 234	$\infty$	$\infty$	1.00 000
2	-0.23 630	0.00 103	1.00 000	-4.22 834	1.53 835	-5.81 519	-5.81 519	-8.43 464	-8.43 464	+2.0 210	0.23 724	0.52 946	0.93 622	0.93 622
3	-0.24 825	0.01 183	1.88 251	-4.04 940	4.22 048	-8.27 588	-8.27 588	-8.27 588	-4.38 018	0.54 638	2.18 387	0.23 681	0.99 507	0.93 219
4	-0.64 445	0.38 674	1.00 000	-1.55 171	0.34 825	-1.89 996	-1.89 996	-5.57 029	-5.57 029	2.02 492	0.49 383	2.87 184	0.99 590	0.92 839
5	-0.30 137	0.60 531	1.45 045	-3.31 818	7.86 516	-11.28 334	-11.28 334	-11.28 334	-7.77 920	4.48 102	0.22 418	0.42 709	0.25 738	0.23 597
6	+0.20 111		1.00 000	+4.97 240	4.30 919	+0.46 321	+0.46 321	+0.46 321	+2.67 186	4.30 054	0.23 253	0.24 825	0.97 363	0.23 277
$\nu$	$\frac{1}{n_j}$	$\frac{1}{S_j}$	$\frac{1}{n_j \cdot S_j}$	$\frac{1}{n_j} - \frac{1}{S_j}$	$\frac{1}{n_j \cdot S_j}$	$\Delta \frac{1}{n_j}$	$\Delta \frac{1}{n_j \cdot S_j}$	$\Delta \frac{1}{n_j \cdot S_j}$	$\Delta \frac{1}{n_j}$	$\frac{1}{n_j}$	$\left( \frac{h_j}{h_{j-1}} \right)^2$	$\left( \frac{h_j}{h_{j-1}} \right)^2 \cdot Q_j$	$\varepsilon = \frac{1}{\left( \frac{h_j}{h_{j-1}} \right)^2} \cdot Q_j$	$\delta_j$
1	0.68 944	1.48 755	1.00 000	1.02 544	1.02 544	-0.31 032	+1.02 544	+1.02 544	-0.31 032	+4.78 927	1.00 000	+4.78 927	+0.20 889	0.00 000
2	1.00 000	4.20 810	0.68 944	1.52 835	4.20 810	1.09 528	+3.11 282	+3.11 282	+0.31 032	-4.22 034	0.87 073	-7.39 490	-0.13 523	0.03 158
3	0.53 120	0.34 676	1.00 000	4.22 048	0.18 499	4.22 048	-4.04 225	-4.04 225	-0.46 880	-4.04 940	0.86 887	-7.19 084	-0.13 907	0.03 281
4	1.00 000	2.02 498	0.53 120	0.34 595	2.02 498	0.63 498	+1.89 009	+1.89 009	+0.46 880	-1.55 174	0.86 174	-3.08 218	-0.32 444	0.04 002
5	0.68 944	4.40 102	1.00 000	7.86 516	3.07 580	7.86 516	-4.78 392	-4.78 392	-0.31 032	-5.31 818	0.05 711	-0.04 439	-1.55 185	1.69 319
6	1.00 000	4.30 919	0.68 944	4.30 919	4.30 919	3.10 882	+1.19 172	+1.19 172	+0.31 032	+4.97 240	0.05 448	+0.03 640	+27.49 232	1.76 638
$\nu$	$T = \varepsilon + \delta$	$\left( \frac{h_j}{h_{j-1}} \right)^4 \cdot Q_j^2$	A	B	$\Gamma$	P	$\Gamma + P$	F	Summe reduzierte $n_j, f=100$					
1	+0.20 889	22.95 711	+23.52 083	4.44 322	+1.02 632	+1.48 736	+2.51 368	+0.52 308	$\Sigma A_j$	+0.25 392	$\Sigma B_j$	+4.28 257	$\Sigma \Gamma_j$	+3.11 814
2	0.10 305	54.68 418	+170.22 200	-17.64 351	+1.82 875	+1.31 259	+3.14 134	-0.32 520	$\Sigma P_j$	-0.94 889	$\Sigma (S_j + S_{j-1})$	-0.37 52	$\Sigma (S_j - S_{j-1})$	+0.3162
3	0.10 631	51.70 436	-229.00 195	+22.21 900	-2.36 210	-1.89 836	-4.28 046	+0.45 293	$\Sigma S_j$	+18.80	$S_{2j}$	-0.0705	$\frac{1}{2}(S_j + S_{j-1})$	-0.3752
4	0.20 442	9.49 914	+17.47 950	-4.97 152	+1.41 401	+0.72 341	+2.14 144	-0.80 907	$\Sigma S_j$	-0.0705	$\frac{1}{2}(S_j - S_{j-1})$	+0.3162	$S_j$	-1.6573
5	+0.14 197	0.41 504	-1.98 198	-0.26 082	-0.66 367	-1.03 049	-1.07 016	-0.15 118	$S_{2j}$	-0.0705	$\frac{1}{2}(S_j + S_{j-1})$	-0.3752	$S_j$	-1.6573
6	+29.23 830	0.00 133	+0.00 153	1.00 04 080	+1.35 084	-1.54 493	-0.19 359	-5.05 451	$S_j$	-0.0705	$\frac{1}{2}(S_j - S_{j-1})$	+0.3162	$S_j$	-1.6573
$\Sigma$			1.0 23 592	1.4 28 267	1.3 21 814	0.24 809	1.2 27 245	-5.78 233						



skēto cātēgā sistema











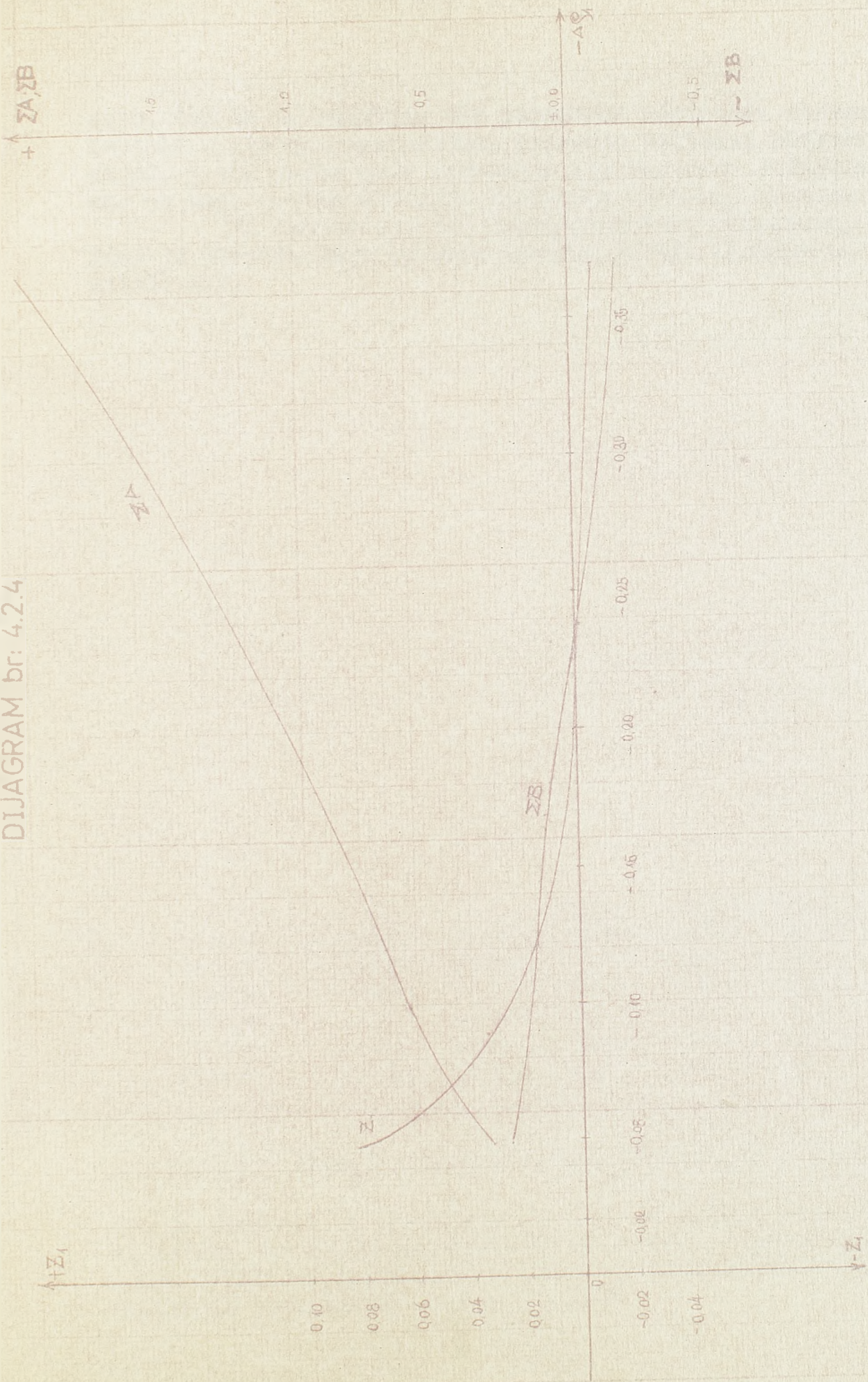




SOČIVO: 2



DIJAGRAM br: 4.2.4



što, što će se veličine tih popravaka elemenata sistema kretati u strogo matematičkom području veličina diferencijala i već posle prve operacije izravnavanja doći ćemo do, za nas, sasvim dovoljne korekture optičkog sistema.

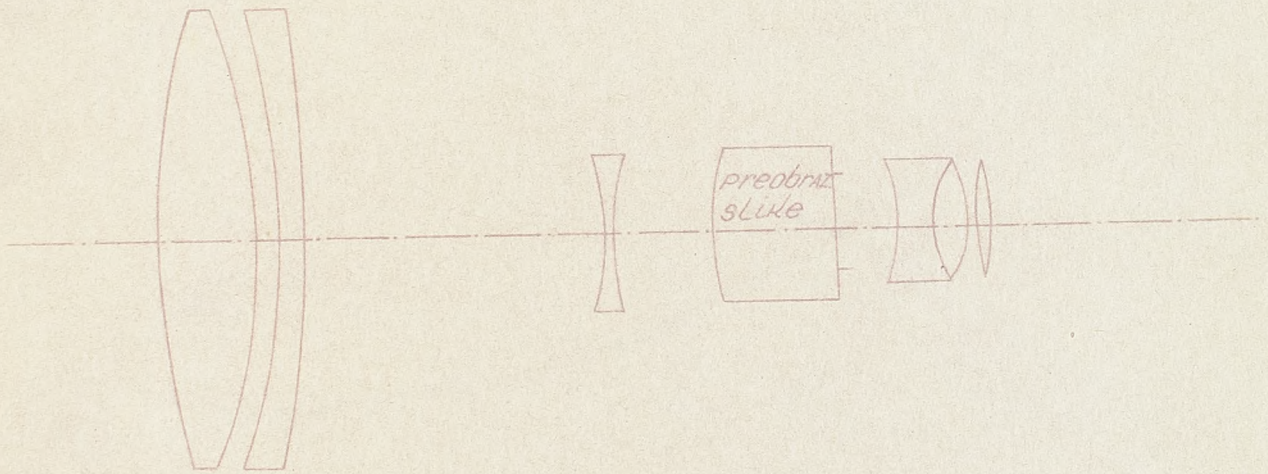
Na osnovu analize celokupnog ovog proračuna, uvođena je sledeća šema za ovaj optički sistem naveden na slici: 4.7.

SL 4.7

$R=1:7$

$f_{obj}=3.500$

$f_{okl}=0.084$



$r$	$e'$		$n_{1128.7}$	$n_{1014.0}$	$n_{912.3}$	
+0.73081	0.1501	kvarc	1.44915	1.45045	1.45175	$e=0.578$
-0.82811	0.00362	vazduh	1.00	1.00	1.00	$T_{\alpha_{min}}=37.65$
-0.86434	0.0414	"SF51"	1.87855	1.88251	1.88741	
-2.25599	1.2836	vazduh	1.00	1.00	1.00	
-1.05481	0.0207	kvarc	1.44915	1.45045	1.45175	
+0.70390	0.8138	vazduh	1.00	1.00	1.00	

4.7) Slabljenje zračnog izvora palog na objektiv  
usled upijanja i refleksije i izbor filtera

I najbolje vrste stakla nisu idealno prozračne za sav spektar sunčevog zračenja, već sa povećanjem dužine puta zračenja, kroz staklene sredine, dolazi do smanjenja "jačine" tog zračenja, kao i sa povećanjem broja sočiva. Iz ovog proizilazi da ako želimo da imamo što manje gubitaka od osnovnog zračenja, koje pada na prvu površinu objektiva, a samim tim i što oštiji lik na ekranu (anodi), moramo upotrebiti što manji broj sočiva i što tanja sočiva. Odnosno, samo onoliki neophodan broj, za sveđenje odgovarajućih aberacija (o kojima je bilo reči) na minimum. Pošto je u našem primeru slučaj takav, da zraci dolaze iz velike daljine (približno iz beskonačnosti) i da su međju sobom približno paralelni, možemo smatrati da su njihovi upadni uglovi na prvu površinu vrlo mali. Zbog toga ćemo se za proračun gubitaka, poslužiti približnijom Fresnelovim formulama.

Neka je:  $l_{\nu}$  = dužina prolaza zraka (vizure) u sredini

$K_{\nu}$  = koeficijent apsorpcije odgovarajuće sredine  $\nu$  na dužini od 0,1 dm, odnosno debljine  $l$  sa odgovarajućom talasnu dužinu  $\lambda_0$ .

Neka je intenzitet zračenja pre prolaska kroz ovu sredinu jednak  $E_0 \approx 1$  za prvu aproksimaciju, a " $E$ " posle prolaska kroz " $\nu$ " sredinu.

Intenzitet snopa  $E_0$ , posle prolaska kroz celi sistem redukovaće se i dobiti veličina  $E_2$  usled refleksije od površina sočiva i apsorpcije od strane materije od koje je izrađjeno svake pojedine sočivo.

Koeficijent refleksije i apsorpcije duž celog sistema, kao odnosa intenziteta izlaznoga snopa prema ulaznom, određujemo po obrascu: (4.7.1)

$$p = (1-K_1)^{l_1} \cdot (1-K_2)^{l_2} \cdot (1-K_n)^{l_n} \cdot (1-K_1)^2 \cdot (1-K_2)^2 \cdot (1-K_n)^2 \dots (4.7.1)$$

gde se vrednost za koeficijent " $K$ ", za slučaj kada su upadni uglovi " $i$ " zračenja manji od  $30^\circ - 40^\circ$ , a zraci međju sobom približno paralelni, a što je i ovde slučaj, može odrediti po Fresnelovom obrascu (4.7.2)

$$K_1 = \left( \frac{n_1 - 1}{n_1 + 1} \right)^2 \dots \dots (4.7.2)$$

Koristeći se ovim formulama, a za ovaj slučaj gde imamo 3 sočiva i 6 površina sa optičkom dužinom kroz njih:

$$d_1 = 0,145 \text{ dm}$$

$$d_2 = 0,00$$

$$d_3 = 0,04$$

$$d_4 = 1,243$$

$$d_5 = 0,02$$

imamo:

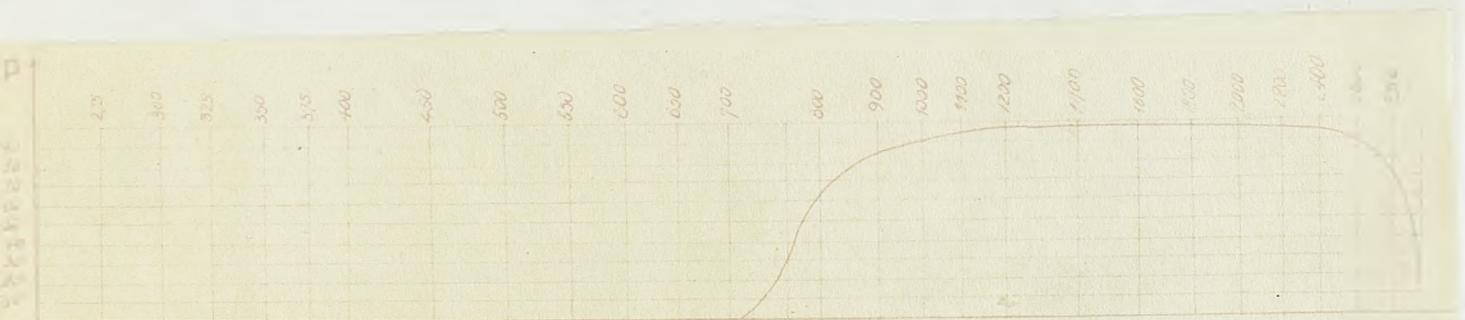
$$K_1 = 0,0338$$

$$K_2 = 0,0938$$

$$K_3 = 0,0412$$

pa je:  $p = 0,6935$

Znači, da se od prvobitno palog svetlosnog izvora na prvu površinu objektiva, dok ovaj svetlosni izvor dođe do fotokatode, izgubi oko 30% početne jačine svetlosti. Međutim, ako upotrebimo filter koji će propuštati samo infracrvene zrake, tj. filter tipa "RG-10", on će pri debljini pločice  $d_0 = 1,0 \text{ mm}$  propuštati samo 97% infracrvene na njega pale zračne energije (vidi dijagram na sl.br. (4.8), dok će vidljivu, za zbišno oko, potpuno odbijati. Pri ovim uslovima sa upotrebom filtera ispred optičkog sistema objektiva do fotokatode neće doći 69,4% od svetlosti koja padne na filter, već samo 67,4%. I ovo je jedan od razloga da se uzima da otvor objektiva  $D$  bude što veći da bi se dobijali likovi što veće oštine.



KRIVA PROPUS TLJIVOSTI RG -10 SVETLOS N. SPEKTRA SAMO ZA IC ZRAKE



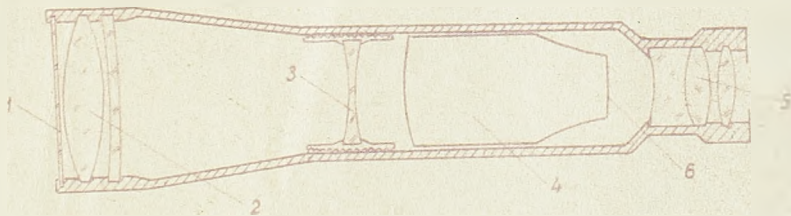
Pošto od celokupnog zračenja sunčevog spektra dolazi na vidljivu za naše oko svetlost, oko 8,5%, a na infracrvenu, za koju smatramo da je treba upotrebljavati kod geodetskih merenja najmanje 10%, to je sada intenzitet zračenja za infracrvene  $n = 1,25$  u odnosu na ekvivalentnu vrednost kod vidljive svetlosti. Odatle izlazi, da lik predmeta koji viziramo upotrebljivi za njegovu konstrukciju infracrvenu svetlost mora biti najmanje 0,25 puta oštrije od odgovarajućeg lika tog istog predmeta koji bi dobili ako bi upotrebili običnu vidljivu za oko svetlost, što se i eksperimentom da potvrditi.

Međutim, da bi smanjili ove gubitke svetlosti koji uglavnom dolaze od refleksije na površinama optičkog sistema objektivna i okulara, moramo na svakoj površini naneti antirefleksne slojeve. Na površine objektivna oni moraju biti izradjeni od materijala upotrebljivog za blisko infracrveno područje. Na površine okulara antirefleksni slojevi moraju biti od materijala koje propušta vidljivu svetlost. Međutim, izradom istih od fluorita, sekundarnih soli litijuma, magnezijuma, kalcijuma i nekih drugih materijala, možemo ih upotrebiti i za vidljive i blisko infracrveno područje. U cilju smanjenja gubitaka svetlosti (od refleksije) na minimum, smatramo da bi trebalo za naš slučaj nanositi antirefleksne slojeve na površine sočiva ne *HEMIJSKIM* već fizičkim putem. Ovo zato, što upotrebom fizičkog načina nanošenja, i ako težeg i komplikovanijeg od hemijskog uspećemo da sadašnje 13% gubitaka svedemo na oko svega (3-4)%, dok ako bismo upotrebili hemijski način iako lakši i stabilniji, sveli bismo gubitke na svega oko (12-15)%. U cilju dobijanja što oštrijih likova u dubinu nama je veoma važno da ti gubici budu što manji, tako da smanjenje gubitaka za veličinu od 10% mnogo nam povećava oštrinu i svetlosnu jačinu lika. Za naš slučaj antirefleksni slojevi moraju imati sledeće veličine indeksa prelamanja: za prvu i drugu površinu objektivna  $n_{1/2} = 1,205$ ; za treću i četvrtu površinu objektivna  $n_{3/4} = 1,372$  i za petu i šestu površinu  $n_{5/6} = 1,205$ . Pošto se okulari uglavnom izradjuju od običnih krom i flint stakla, to sa njih antirefleksni slojevi moraju imati približno sledeće veličine indeksa prelamanja:  $n_{K(arf)} = 1,231$  i  $n_{F(arf)} = 1,272$ .

#### 4.9) Definitivan izgled durbina

Na osnovu svega izvedenog i izračunatog u ovom radu, predlažemo da se kod instrumenata za precizna geodetska meranja ubuduće upotrebljavaju durbini sledećeg oblika: sl. (4.9) s tim da se prethodno izvrši pri izradi fina korektura optičkog sistema objektiv: 1) određivanje radijusa zakrivljenosti fotokatode  $R_k$ ; i 2) da se debljina upotrebljenog filtera uzme ne  $d_0 = 1,0$  mm, već  $d_0' = 2$  - jms. Da bude filter postavljen uz prvo sočivo objektiv, tako da rastojanje između njih dvoje " $d_f$ " bude jednako par desetina mm, da se ne bi produžavala previše dužina durbina. Tako da samim tim i nikakav uticaj na promenu veličina aberacije optičke sisteme (objektiva i fokusirajućeg sočiva) neće njegovo prisustvo izazvati te ga treba uzimati u obzir kod računanja sisteme.

Sl. 4.9



- 1 - filter
- 2 - objektiv
- 3 - fokusirajuće sočivo
- 4 - elektronsko-optički preobrazivač
- 5 - okular
- 6 - končanica na ekranu

## L I T E R A T U R A

- /1a/ - Hackford H.L. - Infrared Radiation
- /1/ - Berger J. - Einführung in das opt. Rechnen und Zeichnen
- /2/ - Barak M. - Osnovi praktičeskoj optiki
- /3/ - Bedrich H. - Iznosa mehanika a optika 1958.
- /4/ - Bander H. - Zeitschrift für Wehrtechnik Wehrindustrie und Wehrwirtschaft
- /5/ - Brooks K. - Meteorološka uslova u atmosferi.
- /6/ - Briggs H.B. - Phys. Rev. 77.287-1950
- /7/ - Bosev. N.G. - Infrakrasnoe izlučenie.
- /8/ - Begunav. B.Nikolajević - Geometričeskaja optika
- /9/ - Čurilovski V.M. - Obščaja teorija optič.pribovov.
- /10/ - Čuranko F.A - Z.T.F. - 1939
- /11/ - Brügel W - Fizika i tehnika infracrvenog zračenja
- /12/ - Dupony G. - D'optique Elektronique
- /13/ - Deribere M - Praktič.primeneni infrakrasnih lučej
- /14/ - Diesterle W. - Infrarot Photographie
- /15/ - Fejilov B.V. - Prikladnaja optika
- /16/ - Fijalovski L. - Feingeräte - Technik, heft : 1 - 1957
- /17/ - Flügge J. - Leitfaden der geometr.optik und des Optikrechnens
- /18/ - Graatzki H. - Probleme der konstrukt.optik.und ihre methodischenmittel
- /19/ - Gaponov K.J. - Elektronika
- /20/ - Glazer V. - Osnovi elektronej optiki
- /21/ - Gerasimov GA - Osnova kačestva optič.izobraženija
- /22/ - Howard, J.M. Burch, Williams - Infrarot transmission of synthetic atmospheres
- /23/ - Hess G. Schroeder, H.H. Turner AF - Mirror coatings for Visibl and high infrared reflektance
- /24/ - Herlik P - Primeneni fotosensitov

- /25/ - Iljin N.G. - Infračrpane luči
- /26/ - Ivanov, B.G. Tjapkin - Infračrpanaja tehnika v Vojski delo
- /27/ - Ivanović B, V. Vučić - Fizika II
- /28/ - Jobst G. - Ann. Phys. 141. Bd. 78/1925.
- /29/ - Kriksunov I.S. - Infračrpanaja ustrojstva masenavedenija
- /30/ - Kička V.M. - Infračrpane luči
- /31/ - Keljšan V.M. 13. Ja.Javor - Elektronaja optika
- /32/ - Kučer M. - Konstruirvanie optiko-mehan.priborov.
- /33/ - Leppan - P.V.Angus- Empire Survey Review - 1961
- /34/ - Lekent Ž - Infračrpanoe izlučenie
- /35/ - Landsberg G.S. e Optika
- /36/ - Margolin M.A. Samjancev A.- Članovi infračrpanej tehniki
- /37/ - Maksutov D.D. - Astronomičeskaja optika
- /38/ - Morton G.A - Elektronik - 1946
- /39/ - Miter J. - Allgemeine Vermessung - 1962 - 5
- /40/ - Prokop M. - Ienna mehanika a optika 1958
- /41/ - Carolini G. - Visione con raggi infrarossi-Revisite  
Militare - 1957
- /42/ - Ramanov M - Gabaritni rasčot opt. sistem.
- /43/ - Rusinov M - Tehničeskaja optika
- /44/ - Rusinov M - Gabaritni rasčot optič.sistem.
- /45/ - Smith R.A, FK.Jones - The detection and measurement  
of infrared radiation
- /46/ - Sears F.W. - Optics
- /47/ - Scott - Optics infrared system.
- /48/ - Sljusarev G.G. - Metodi rasčota optič.sistem
- /49/ - Sljusarev G.G. - Tablica za viditelija pokazatelja  
infračrpanih lučej.
- /50/ - Sačenko PA - Ž.T.F. - 1939.
- /51/ - Trenting RG. - Jow.Opt.Soc.Am. 1951.
- /52/ - Tudorovski - Teorija optič.priborov, I i II

- /53/ - Vavilov S.J - Optika v voenem delu
- /54/ - Veronov H.V. - Optika v geod. priborostroenii
- /55/ - Šoukin H.H. - Rasprostranenie radio voln.
- /56/ - Landolt - Börnstein /Dgfac/ (refraction infrared transmission)
- /57/ - Infračrassnaja tehnika b'boenou dele-Moskva 1953.
- /58/ - Givkin H.V. - Teorija i rasčet svetooptič. sistem.
- /59/ - Marjanec P, Bradac - Institut za elektroniku - Ljubljana
- /60/ - Vigand, Zajcev i Gajvernaki - Sistem atmosfere
- /61/ - Anso H.A - Infračrassnije izlučenie
- /62/ - Eljer i Strong - Franklin inst. 1953-3, vol. 255
- /63/ - Zijlhart : JOSA-1941-7 1956-111; 1957-41; Prog. Roy. Soc. Am. 1951, 1084, p.206;
- /64/ - Tejler i Vajtsov - JOSA- 1956-1957
- /65/ - Lokjancov - Fotoelementi - Akad. Nauk, SSSR
- /66/ - Napeni elektrovakuumnoj tehniki - 1956
- /67/ - Proc. IAS - 1959-9
- /68/ - Optikal instrumente-Brooklyn 1945-4
- /69/ - Bokin P. i Čumajev - Izmerenija prozračnosti prirodnih tunanov
- /70/ - Levitskaja M.A - Infračrassnie luči (Akad. nauk. SSSR)
- /71/ - Černi H. - UFS- 1941
- /72/ - Armulja, Bayle - Rev. Opt. akt. 1946
- /73/ - Deribere H - Izmerenija otažanija i prepuskanja v infračrassnih lučah.
- /74/ - Plyler, EK; 24 Hall JJ - JOSA - 1948-1
- /75/ - Vafjadi VG - I.E.T.F. - 1934
- /76/ - Keber P.K. - Optic - 1950-5
- /77/ - Roson H. - Radio news-1942-6
- /78/ - Gertner G- Prozračnost zamutenoj atmosfere dlja I.K voln.
- /79/ - Prat. T.H. - J.Sci.Inst.-1947
- /80/ - R.C.A - Electron Tube Division (Jnade-converter tube)

- /81/ - Voenne-inženjerski žurnal - 1958/5
- /82/ - Naučno tehnički pregled 1962-1963, 1964-6
- /83/ - Voprasi radiolokaciji - 1958/2
- /84/ - Pregled tehničkih novosti - 1958
- /85/ - Pregled V.T. dostignuća-1961(1,8,9,12);1962(2,3,5,8)
- /86/ - Zarubežnaja Elektrotehnika - 1960
- /87/ - Research - 1952-5, 304
- /88/ - Pašon : Ann. der. Phys.und Chem. 51.1.1891
- /89/ - Proc.Roy.Soc.A. 206,87-1951
- /90/ - Sašenko F.A - Pretvarači
- /91/ - Reichelwi Tiedonen R - Optika staklenih niti
- /92/ - INTDI - (za internu upotrebu podaci o pretvaračima)
- /93/ - Godišnjak Meteorol.Observatorije-Ugd.-"Selene Brdo"  
od 1958-1963. godine
- /94/ - Jovanović Vl.: - Električno osvetljenje
- /95/ - Čadež M. Hidrometeorološki glasnik 1949-1,2
- /96/ - Godišnjak Savezne Hidrometeorološke službe od 1946-1958
- /97/ - Nevliček F.L.: Einführung in das Korrigieren optischer  
Systeme Stuttgart, 1960
- /98/ - Deeg.R : Die Grundlagen der Lichtleitung



