

## Interferencioni slojevi na optičkim elementima instrumenata

Ako promatramo razvoj optičkih instrumenata koji počinje pojavom mikroskopa i durbina krajem XVI. i početkom XVII. stoljeća, onda tu vidimo polagan i ustaljen put uz značajna otkrića. Brži moderni razvoj instrumenata može s rastumačiti samo općim razvojem nauke i tehnike našeg stoljeća. Mnoga saznanja i otkrića iz svih područja nauke korištena su i primijenjena u konstrukcijama strojeva i mjernih sprava, kao i u razvoju tehnoloških procesa proizvodnje. Rezultat tog cjelokupnog razvoja su današnji moderni instrumenti i u našoj geodetskoj struci. Mnogi nedostaci starih instrumenata su uklonjeni; točnost viziranja i točnost čitanja povećane su i dovedene u izvjestan sklad, instrumenti su lako prenosivi, rukovanje i očitavanje je jednostavno, rektifikacija brza. Neposredno pred nama su i nove konstrukcije instrumenata i — nove metode mjerenja.

Značajna novost na modernim instrumentima, pa tako i geodetskim je pojava t. zv. interferencioni slojeva na optičkim elementima. U jednom njihovom obliku mi ih prepoznamo po crveno-ljubičastoj boji koju vidimo na plohamo leća i kažemo da instrument ima »plavu optiku«. »Plava optika« daje nam na znanje, da se radi o novijem instrumentu, pa se već i zbog toga radij njemu priklanjamo, no ona i sama pridonosi optičkoj kvaliteti instrumenta.

### 1. *Historijski razvoj*

Iako su interferencioni slojevi industrijski dozreli tek pred petnaest godina, sam razvoj treba promatrati dalje unatrag.

Plohe optičkih elemenata ne samo što daju štetne refleksije svjetlosti, već su izložene i djelovanju plinova i para atmosfere, one korodiraju. Oba problema nastojalo se riješiti stavljanjem tankih slojeva na površine elemenata. Ovakve slojeve dobivalo se na dva načina: suptraktivno i aditivno. Kod suptraktivnih metoda — kemijskih metoda, pod djelovanjem određenih kemikalija na sastojinu stakla izlučili su se rastopljivi djelovi i formirao se novi tanki površinski sloj, proziran i kemijski pasivniji prema atmosferi. Ako se novi sloj formirao i s manjim indeksom loma, onda je on djelomično uklanjao i refleksije svjetlosti (antirefleksni interferencioni sloj).

Početak ovih kemijskih djelovanja na plohe vodi nas na početak XIX. stoljeća do glasovitog optičara Fraunhofera koji je primjenjivao koncentriran

kiselinu, sa daljnjim razvojem sve do naših dana (na pr. Nicoll, 1942. sa stavljanjem stakla u pare fluorovodične kiseline).

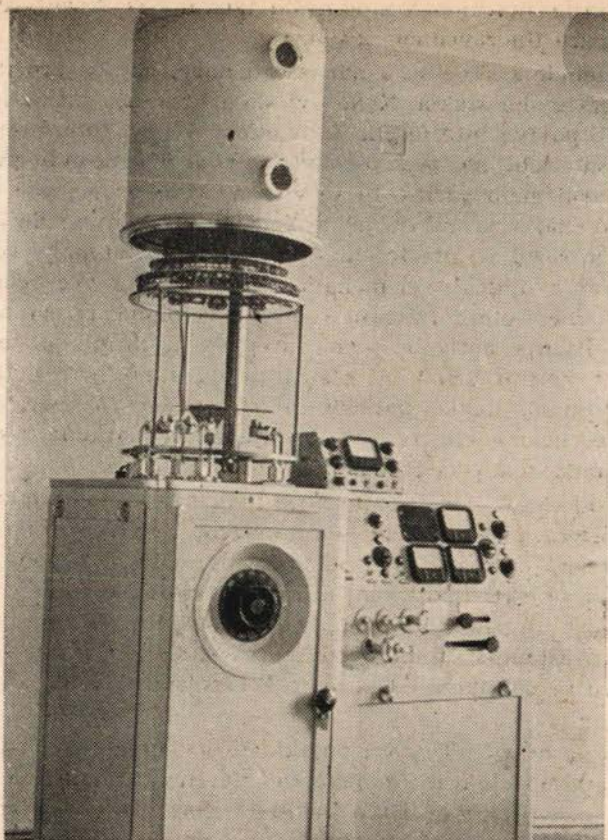
Aditivne metode sastoje se u nanašanju nove, optički prozirne i kemijski otporne tvari, na plohu stakla. Kako ovi slojevi moraju biti vrlo tanki, to na njima dolazi do pojave interferencije svjetlosti (t. zv. interferencije jednakih razmaka, odnosno debljina, poznate pod imenom Fizeau-ovih pruga). Ukoliko debljina sloja vrlo malo varira, to se više ne vide pruge, već određene boje (boje tankih slojeva), a u slučaju jedne konstantne debljine sloja pojavljuje se i jedna boja kao rezultat interferencije. Pojava interferencije iskoristila se za daljnja poboljšanja optičkih elemenata, a naročito za već spomenuto djelomično poništavanje štetnih refleksa svetlosti sa ploha, pa su prvobitna anti-koroziona poboljšanja optičkih ploha prerasla u primjenu interferencionih optičkih slojeva, koji preuzimaju i zaštitu protiv atmosferilija. Danas na plohe elemenata stavljamo, dakle, optičke interferencione slojeve, koji uz svoja osnovna interferencionna svojstva još moraju imati, naravno, i druga svojstva od kojih su glavna kemijska i mehanička otpornost.

Antirefleksni slojevi mogu se formirati i kao prirodna navlaka dužim djelovanjem atmosfere. Na taj način je i otkriveno prvi put njihovo važno svojstvo — smanjivanje refleksa. Ovu pojavu zapazio je 1892. god. Taylor na starijim fotografskim objektivima i konstatirao da ovi objektivni daju više svjetlosti. God. 1904. Taylor već patentira jednu svoju metodu za umjetno dobivanje ovih slojeva (vođena rastopina sumporovodika). U patentnom pismu ujedno i obrazlaže ovu pojavu sa polaskom od poznate Fresnelove formule koju navodimo u daljnjem izlaganju.

Ovo značajno otkriće Taylora potaklo je na dugotrajna istraživanja koja su teoretski detaljno objasnila pojavu interferencije tankog sloja i korištenje ove pojave za poboljšanje optičkih kvaliteta. Naravno, da je trebalo riješiti i tehnološki put dobivanja ovih slojeva, što je predstavljalo i najteži problem. Opći razvoj tehnike donio je suvremeno rješenje, a to je dobivanje ovih slojeva aditivnim putem nanašanjem molekularnih para određenih tvari u visokom vakuumu.

## 2. Nanošenje interferencionih slojeva

Interferencioni slojevi se danas nanose na plohe optičkih elemenata u uređajima sa vakuumom oko  $10^{-5}$  mm Hg. (sl. 1). Tvar za slojeve stavlja se u posudice od teško topljivog materijala, a na izvjesnoj udaljenosti (nekoliko decimetara) nalaze se u nosaču koji rotira optički elementi. Posudice se pomoću električne struje dovode do žarenja, a time i isparivanja tvari u posudici. Oslobođene pare — atomi i molekule šire se u svim smjerovima slobodno i pravocrtno (jer praktički zbog visokog vakuuma nema molekula zraka s kojima bi se mogle sudariti) i kondenziraju se na ploham stakla. Tu formiraju sloj određene debljine koja ovisi o trajanju i brzini isparivanja, obliku izvora i o udaljenosti. Kontrola pri formiranju sloja vrši se pomoću fotometričkog uređaja. Sam tehnološki proces je nešto složeniji. Tako na pr. već prije samog nanašanja sloja vrši se čišćenje stakla snažnim ionskim bombardiranjem, čime se postiže veća adhezija, a time i veća otpornost sloja.



Sl. 1. — Vakum - uređaj za nanašanje interferencionih slojeva, kao i metalizaciju u optičkoj industriji »Ghe-taldus« u Zagrebu.

### 3. Pojava interferencije svjetlosti na tankim slojevima

Svjetlost je valna pojava, a to znači da je njeno gibanje karakterizirano sa valnom dužinom  $\lambda$ , amplitudom  $A$  i frekvencijom  $\nu$ . Funkcija koja predočuje valno gibanje glasi:

$$y = A \sin 2\pi \left( \nu t - \frac{x}{\lambda} \right)$$

Iako je ova funkcija poznata u mehanici valova, mi ju možemo potpuno analogno primijeniti na svjetlost, gdje u stvari imamo titranje tj. prostornu izmjenu električnih i magnetskih polja. U tom slučaju veličine u formuli označuju nam slijedeće:

$\nu$  frekvencija, koja nam kao konstantna veličina karakterizira određenu monohromatičnost svjetlosti (t. zv. »boju« svjetlosti, promatrano kao fiziološki učinak u našem oku:)

$A$  amplituda (koja karakterizira intenzitet svjetlosti, jer je intenzitet proporcionalan sa kvadratom amplitude)

$t$  vrijeme  
 $x$  optički put svjetlosnih valova  
 $y$  elongacija

Kod svijetlosti imamo, dakle, i sve pojave karakteristične za valna gibanja, pa prema tome i interferenciju.

Interferencija valova je sastavljanje dvaju ili više valova koji se šire u nekom sredstvu u rezultirajući val. Oblik i karakter rezultirajućeg vala ovisan je, kako o amplitudi i valnoj dužini pojedinih valova, tako i o smjeru širenja, odnosno o razlici u optičkom putu, koji oba vala (odnosno valovi, ako ih ima više) prethodno tj. prije susreta prolaze.

Ako pretpostavimo, da se dva koherentna vala šire istim smjerom, iste su amplitude i valne dužine, (što je praktički važan slučaj) onda nam je rezultat interferencije bitno ovisan o faznom pomaku  $\varphi = 2\pi x/\lambda$  (vidi funkciju) odnosno o razlici faza  $\Delta\varphi = 2\pi \Delta x/\lambda$ , a ta razlika je, kako vidimo, određena razlikom u optičkom putu valova  $\Delta x$ .

Interferencijom može u takovom slučaju doći i do poništenja valnih gibanja, ako je razlika u optičkom putu polovina valne dužine ili njen neparni višekratnik. Fazni pomak je tada  $\pi$ , odnosno neparni višekratnik  $\pi$ , a to predodžbeno znači, da se sastaje brijeg jednog vala sa dolom drugog vala. Za potpuno poništenje svjetlosnih valova interferencijom bitna su, dakle, tri uslova:

- ista amplituda (isti intenzitet svijetlosti)
- razlika u optičkom putu  $\Delta x = (2k + 1)\lambda/2$  ( $k = -2, -1, 0, 1, 2, \dots$ )
- ista valna dužina

(koherentnost valova naravno da u svakom slučaju predpostavljamo).

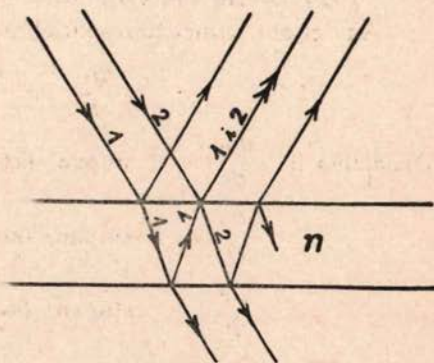
Nisu li ispunjeni ovi uslovi, rezultirajući interferentni val je različitog intenziteta, u ovisnosti o postojećoj razlici u optičkom putu, a prema tome o razlici faza.

Analogno u specijalnom slučaju može doći i do maksimalnog povećanja intenziteta svijetlosti. Bitni uslov za ovaj maksimum je, uz istu valnu dužinu, razlika u optičkom putu koja mora iznositi:  $\Delta x = k\lambda$ .

Do pojave interferencije svijetlosti može doći na različite načine. Posebno područje interferencija zauzimaju t. zv. lokalizirane interferencije tj. one koje se ne zbivaju u čitavom prostoru, već samo u određenoj ravnini, realnoj ili virtualnoj. U tu grupu interferencija spadaju i interferencije tankih optičkih slojeva.

Svjetlosni valovi odbijeni na jednoj graničnoj plohi sloja i valovi odbijeni na drugoj plohi sloja, nakon što se sastanu interferiraju (sl. 2). Ako zane-marimo kuteve upadanja, što praktički možemo kad se radi o slojevima koje ćemo opisati, onda vidimo da rezultat interferencije, ako se radi o svijetlosti iste valne dužine i intenziteta, ovisi o razlici u optičkom putu, a to znači o debljini slja.

Višestruka odbijanja unutar sloja i teoretski zapravo neizmjeran niz par-



Sl. 2.

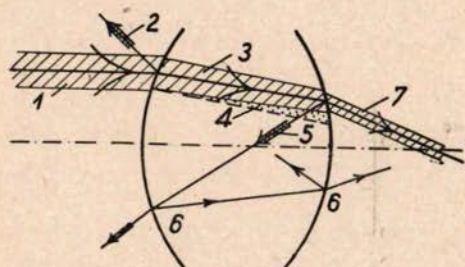
cijalnih valova, koji u izvjesnoj, no maloj mjeri, utječu na ukupan rezultat interferencije, zanemarit ćemo. Ovu pojavu dovoljno točno će nam prikazati prva dva reflektirana vala, jer intenziteti ostalih valova naglo padaju.

Ovi tanki interferencijski slojevi imaju danas široku primjenu u praktičnoj optici. Najpoznatija primjena ovih slojeva su:

antirefleksni slojevi,  
refleksni slojevi.

#### 4. Antirefleksni slojevi

Kada svjetlost dolazi na graničnu plohu dvaju optičkih sredstava, onda se jedan dio svjetlosne energije reflektira po zakonima refleksije svjetlosti, a drugi dio lomi po zakonima loma, ušavši u drugo sredstvo. Osim toga samo optičko sredstvo kroz koje svjetlo prolazi apsorbira jedan dio svjetlosne energije.



Sl. 3. — 1. upadni tok svjetlosti 2. odbijena svjetlost na prvoj plohi. 3. svjetlost koja prolazi kroz optički elemenat. 4. apsorbirana svjetlost, 5. odbijena svjetlost na drugoj plohi. 6. višestruke refleksije i lomovi svjetlosti. 7. izlazni tok svjetlosti.

Kada svjetlost prolazi kroz neki optički elemenat ili optički sistem možemo općenito pisati: (sl. 3)

$$\Phi = \Phi_R + \Phi_A + \Phi_T$$

gdje je  $\Phi$  ukupni upadni svjetlosni tok

$\Phi_R$  tok svjetlosti reflektiran na graničnim plohami  
(obično zrak-staklo i staklo-zrak)

$\Phi_A$  apsorbirani svjetlosni tok

$\Phi_T$  izlazni tok svjetlosti.

Ako cijelu jednadžbu podijelimo sa  $\Phi$  dobivamo:

$$\frac{\Phi_R}{\Phi} + \frac{\Phi_A}{\Phi} + \frac{\Phi_T}{\Phi} = 1$$

Označimo li:  $\frac{\Phi_R}{\Phi} = R$  stupanj (koeficijent) refleksije

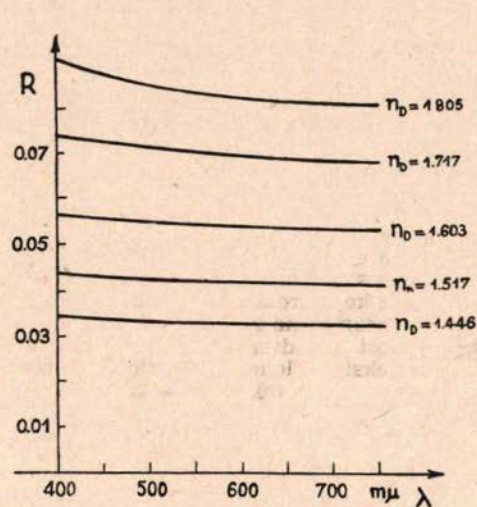
$\frac{\Phi_A}{\Phi} = A$  stupanj (koeficijent) apsorpcije

$\frac{\Phi_T}{\Phi} = T$  stupanj (koeficijent) propuštanja ili transparentije

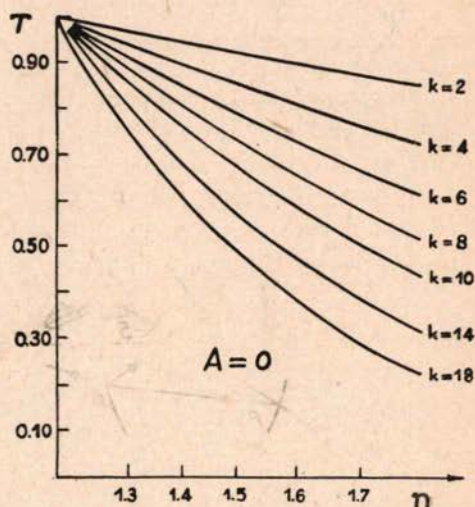
onda imamo:  $R + A + T = 1$

Stupanj apsorpcije ovisan je o samom optičkom staklu elemenata, o dužini puta zrake i o valnoj dužini svjetlosti sa vrlo naglim povećanjem pri prelazu na ljubičasto i infra-ljubičasto područje spektra. Kod vizuelnih optičkih instrumenata, kao što je i durbin, i uz današnja optička stakla on nema tako značajnu ulogu kao stupanj refleksije.

Stupanj refleksije ovisi o indeksu loma, o valnoj dužini i o kutu upadanja svjetlosti. Ovisnost o valnoj dužini i indeksu loma  $n$  (različita optička stakla) može se jasno vidjeti na sl. 4.



Sl. 4.



Sl. 5.

Veličinu stupnja odbijanja, ako pretpostavimo okomito upadanje zraka svjetlosti (odnosno vrlo male kuteve upadanja) možemo jednostavno izračunati po poznatoj Fresnel-ovoj formuli, koju je u tamečenju upotrebio i Taylor:

$$R = \left( \frac{n' - n}{n' + n} \right)^2$$

$n$  indeks loma sredstva upadne zrake (prvo sredstvo)

$n'$  indeks loma sredstva lomljene zrake (drugo sredstvo)

Ako zanemarimo spektralnu promjenu, onda nam formula Fresnela daje gubitak svjetlosti na jednoj plohi zrak-staklo ( $n=1$ ), odnosno staklo-zrak ( $n'=1$ ):

$$\text{za } n = 1,50 \quad R = 0,040 \quad \text{ili } 4\%$$

$$\text{za } n = 1,70 \quad R = 0,067 \quad \text{ili } 6.7\%$$

Na prvi pogled ovo ne izgledaju veliki iznosi, ali ako uzmemo da se u optičkim sistemima ne radi o jednoj plohi, već o više ploha (na pr. kod durbina primijenjenih kod geodetskih instrumenata može biti desetak i više ploha), onda se ti gubici povećavaju u znatne iznose. (Vidi sl. 5, gdje  $k$  označuje broj ploha staklo-zrak, odnosno zrak-staklo). Propuštena svjetlost može na taj način pasti i ispod 50%. ( $T < 0.50$ ).

Ako ovim gubitcima dodamo još i apsorpcione gubitke, onda vidimo da se radi o ukupnim značajnim gubitcima, koji nam mogu vrlo nepovoljno utjecati pri mjerenjima sa instrumentima na terenu, ako su i ostali fizikalni uslovi nepovoljni (Vidi ing. Benčić: Problem vidljivosti kod geodetskih mjerenja. Geod. list br. 9—12, 1957.).

Osim toga odbijena svjetlost na plohamu ne samo da je izgubljena, već se ponovnim odbijanjem vraća (sl. 3), te difuzno osvjetljuje sliku, što smanjuje kontrast slike, a time i njenu kvalitetu. Ova difuzna svjetlost dolazi naročito do izražaja pri jakoj rasvjeti (na pr. mjerenja prema strani položaja sunca).

Ove činjenice nam jasno ukazuju na značaj otkrića i primjene antirefleksnih interferencionih slojeva.

Iz opisanih uslova poništenja svjetlosti interferencijom slijede ovi uslovi za antirefleksni sloj:

1. uslov amplituda ili uslov indeksa loma sloja
2. fazni uslov ili uslov debljine sloja.

Uslov amplituda uslovljuje isti intenzitet svjetlosti odbijen sa obe plohe sloja. Po Fresnelovoj formuli je:

$$R_1 = \left( \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 ; R_2 = \left( \frac{n_3 - n_2}{n_3 + n_2} \right)^2 \quad (\text{sl. 6})$$

$R_1$  stupanj refleksije odbijene svjetlosti na prvoj plohi

$R_2$  stupanj refleksije odbijene svjetlosti na drugoj plohi antirefleksnog sloja.

Kako su stupnjevi refleksije funkcije tokova svjetlosti, pa prema tome i intenziteta, logično je, da će intenziteti, pa prema tome i amplitude odbijenih svjetlosnih valova biti jednake, ako je  $R_1 = R_2$  tj.

$$\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} = \frac{n_3 - n_2}{n_3 + n_2}$$

a iz ovog slijedi:  $n_2 = \pm \sqrt{n_1 n_3}$ .

Uslov amplituda je, dakle, i uslov indeksa loma sloja. Ako uzmemo da je  $n_1 = 1$  (zrak), a  $n_3 = n$  (indeks loma stakla), to je:

$$n_{\text{sloj}} = \sqrt{n}$$

Fazni uslov za poništenje svjetlosti dobit ćemo, ako uzmemo razliku u putu zraka svjetlosti  $\Delta x = (2k + 1) \lambda / 2$ , što za red interferencije  $k = 0$  iznosi:  $\Delta x = \lambda / 2$ . Kako odbijena svjetlost prelazi sloj dva puta i kako se valna dužina svjetlosti u sloju indeksa loma  $n_s$  smanjuje na iznos  $\lambda / n_s$ , to će ovaj

uslov odrediti debljinu sloja, koja prema tome mora iznositi:  $d = \frac{\lambda}{4 n_s}$

Dakle, uslovi za AR-sloj jesu:

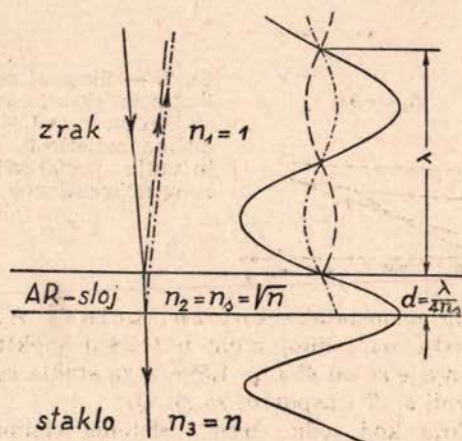
indeks loma  $n_s = \sqrt{n}$

debljina  $d = \frac{\lambda}{4 n_s}$

Ovo kaže teorija, međutim, praktički tu iskrsavaju brojni problemi i AR-slojevi nisu u stanju u potpunosti ispuniti ove uslove. Razlozi tome su slijedeći:

U prvom redu bijela svjetlost nije jednostavna, već je složenog spektralnog sastava kontinuiranog niza valova različitih valnih dužina. Uslov debljine sloja može biti, prema tome, ispunjen samo za jednu valnu dužinu u čitavom spektru. Zbog toga je očito, da AR-slojem nismo u stanju ukloniti sve refleksije u čitavom području valnih dužina svjetlosti.

Problem nastaje i pri odabiranju indeksa loma sloja. Za optička stakla, koja najviše primjenjujemo indeks loma se kreće od 1,45 do 1,70, a tom području bi odgovarali, prema uslovu, indeksi lomova AR-sloja od 1,20 do 1,30. Međutim, nijedno poznato sredstvo, podesno za formiranje čvrstog, otpornog i netopivog sloja nije tako niskog indeksa loma.



Sl. 6. — Geometrijska i valna predodžba poništenja svjetlosti refleksijom na AR — sloju.

Kako praktički rješavamo ove probleme?

Ako se radi o vizuelnim optičkim instrumentima, onda se debljina sloja odabire takova, da se poništi svjetlost one valne dužine na koju je oko najosjetljivije, a to je  $\lambda = 0,555 \mu$ . Na taj način biti će uklonjeni štetni refleksi za ovu svjetlost, a za istu svjetlost povećati će se koeficijent transparenције, što slijedi iz formule  $R + A + T = 1$ , a po zakonu održanja energije. Maksimalna spektralna osjetljivost oka, međutim, nije konstantna veličina, već je ovisna o rasvjeti i pomiče se uz pad rasvjete prema kraćim valnim dužinama (na pr. noću  $\lambda = 0,51 \mu$ ). Poželjno je zbog toga poništiti valnu dužinu unutar ovog intervala, a to područje odgovara zelenom području spektra. Ostatak refleksa sastoji se u tom slučaju od mješavine ostalih boja spektra, pa su takovi slojevi ljubičasto-crvenkasti (boja sloja treba da više »vuče« na crveno, nego li na plavo, jer bi u protivnom slučaju poništena valna dužina bila bliže crvenom dijelu spektra, a to je nepovoljnije obzirom na spektralnu osjetljivost oka).

Sredstva koja se upotrebljavaju za nanašanje AR-slojeva su najčešće:

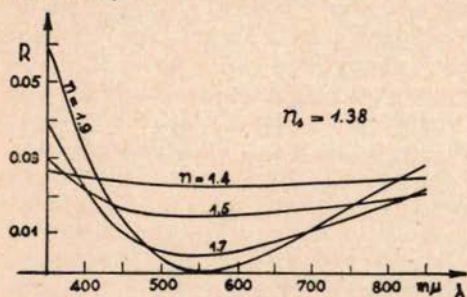
magnezium-fluorid ( $MgF_2$ )  $n = 1,38$

kriolit ( $Na_3AlF_6$ )  $n = 1,33$



Prema uslovu indeksa loma ovi AR-slojevi ne mogu poništiti reflektiranu svjetlost (nisu postignuti isti intenziteti), već samo smanjiti njen intenzitet, pa gornja pretpostavka potpunog uklanjanja refleksa, ma i za jednu valnu dužinu nije praktički ostvarena. Bolje ćemo se izraziti, ako kažemo: Smanjenje intenziteta reflektirane svjetlosti optimalno je samo za jednu valnu dužinu spektralnog područja i to onu za koju smo zadovoljili uslov debljine sloja. Težište spektralnog područja optimalnog antirefleksnog djelovanja sloja odabire se prema spektralnoj osjetljivosti oka i primjeni instrumenta.

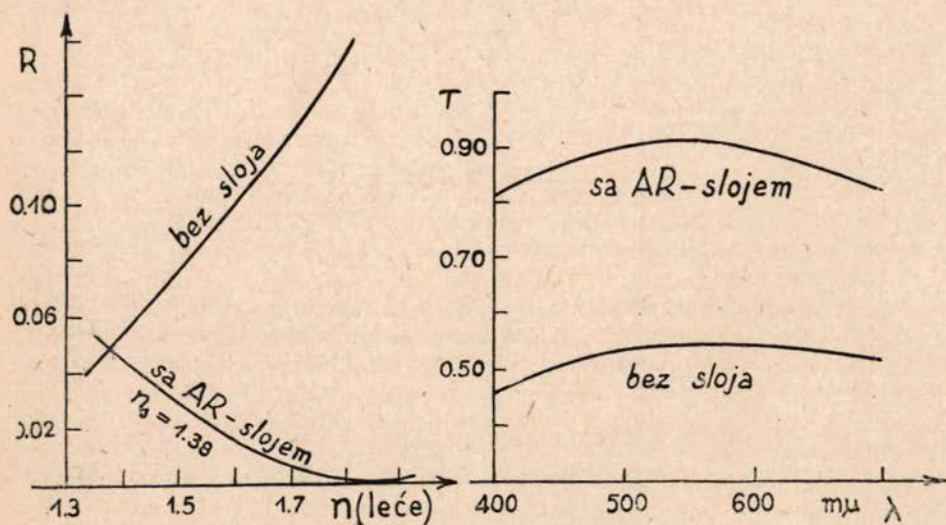
Uslov indeksa loma sloja biti će to bolje zadovoljen čim su optička stakla većeg indeksa loma. Za sloj sa  $n_s = 1,38$ , ovaj uslov bio bi potpuno zadovoljen tek za indeksa loma stakla  $n = 1,90$ , kojeg praktički nema u našim instrumen-



Sl. 7. — Stupanj refleksije stakala različitih indeksa loma (sa nanešenim AR-slojem sa  $n_s = 1,38$ ) kao funkcija valne dužine svjetlosti. Ordinata minimuma krivulja predstavlja ostatak refleksa zbog neispunjenog uslova indeksa loma sloja.

Unatoč spomenutih nedostataka korisni učinak AR-sloja je očit. Na pr. stupanj refleksije na jednoj plohi u težištu spektralnog područja za stakla sa  $n = 1,50$  smanjuje se od 4% na 1,5%, a za stakla sa  $n = 1,70$  smanjuje se od 6,7% na 0,4% (vidi sl. 7 i usporedi sa sl. 4).

Djelovanje AR-sloja kod jedne leće i sistema elemenata prikazano je na sl. 8.



Sl. 8.

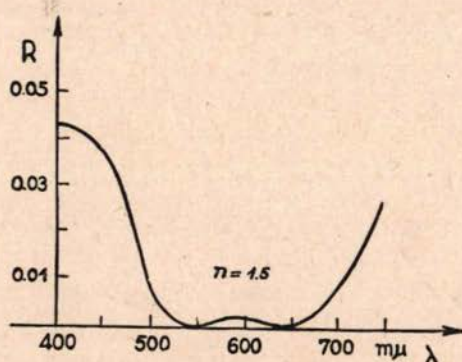
Iz izloženog slijedi: Antirefleksni slojevi nanešeni na optičke plohe instrumenata:

1. smanjuju stupanj refleksije, a time i djelovanje difuzne svjetlosti.

2. povećavaju spektralnu propusnost (koef. transparentcije) i time i samu svjetlosnu jakost. Izlazni tok svjetlosti je jačeg intenziteta, a to pridonosi kvaliteti optičke funkcije.

Ako se na pr. radi o geodetskim instrumentima sa durbinima na čijim optičkim ploham su nanešeni AR-slojevi, onda su takovi instrumenti »svjetliji«, kontrasti slika su bolji, a to naročito dolazi do izražaja pri njihovoj primjeni uz lošiju prirodnu rasvjetu na terenu, kao i lošiju propusnost atmosferskih slojeva.

Nedostaci opisani nanašanjem jednog AR-sloja mogu se i dalje smanjiti ukoliko se umjesto jednog nanosi na optičke plohe više tankih slojeva određene debljine i indeksa loma. Međutim, već primjena tri sloja daje vrlo složenu formulu za stupanj refleksije, odnosno transparentcije, izraženog kao funkcije triju indeksa loma sloja, triju debljina sloja, indeksa loma optičkih sredstava izvan sloja, valne dužine svjetlosti (a da ne govorimo i o ovisnosti o smjeru zraka svjetlosti), pa su takova računanja složena, i ne samo računanja, već i sam tehnološki postupak nanašanja. (Usput rečeno, danas već postoje matematske metode, kao i razrađen tehnološki postupak za nanašanje i dvadesetak slojeva na optičke plohe. Ovi su slojevi već i praktički primijenjeni, no naravno u druge specijalne svrhe). Primjena triju AR-slojeva omogućava već znatno bolje korekcije i to u širem području spektra. (s. 9). Takovi su slojevi skupi, pa se



Sl. 9.

nanašaju u specijalne svrhe. Češća je primjena nanašanja dva sloja. Ipak u serijskoj proizvodnji instrumenata općenito se primjenjuju jednostavni AR-slojevi koji su jeftiniji, a osim toga zadovoljavaju svojom funkcijom u većini slučajeva.

### 5. Refleksni interferencioni slojevi

Ako se na optičkoj plohi želi postići suprotan efekt tj. jača refleksna svojstva, onda se to također može postići nanošenjem interferencionog sloja. Postupak nanošenja, teorija djelovanja ovog sloja, kao i problematika, uglavnom su jednaki kao što je to i kod AR-sloja. Razlika je tek bitna u tome, što se stvari

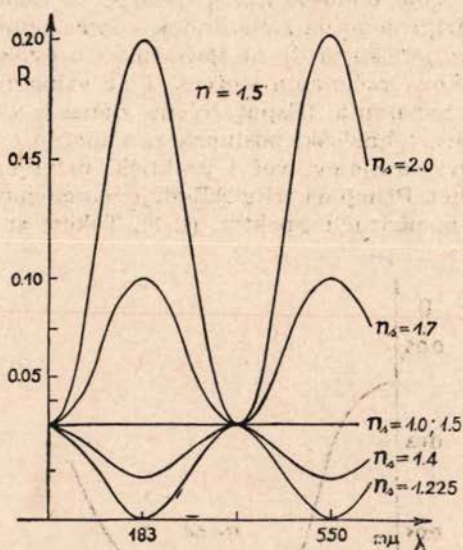
za nanošenje sada odabiru sa visokim indeksom loma prema staklu (ovo je očito iz Fresnelove formule), a debljina sloja mora biti:

$$d = \frac{\lambda}{2n}$$

prema uslovu, da razlika u optičkom putu za maksimalno povećanje intenziteta svijetlosti mora iznositi:  $\Delta x = k\lambda$  (fazni uslov).

Razlika djelovanja AR-sloja ili R-sloja jasno prikazuje sl. 10, gdje su krivulje prikazane za slojeve na staklu sa  $n = 1,50$ . Boja R-slojeva je zelena.

Vrlo važna primjena refleksnih interferencionih slojeva je kod površinskih zrcala. Danas se u optičkim instrumentima sve više primjenjuju i zrcala, jer su riješeni problemi njihove točnije izrade, kao i montaže. Konstruktori su nam dali vrlo kvalitetne i duhovito riješene optičke sisteme uz primjenu zrcalnih ploha. (na pr. Schmidt, Maksutov, Flüge, Wild). Poznati su nam i noviji geodetski instrumenti koji imaju optičke sisteme u kombinaciji dioptrijskih i zrcal-



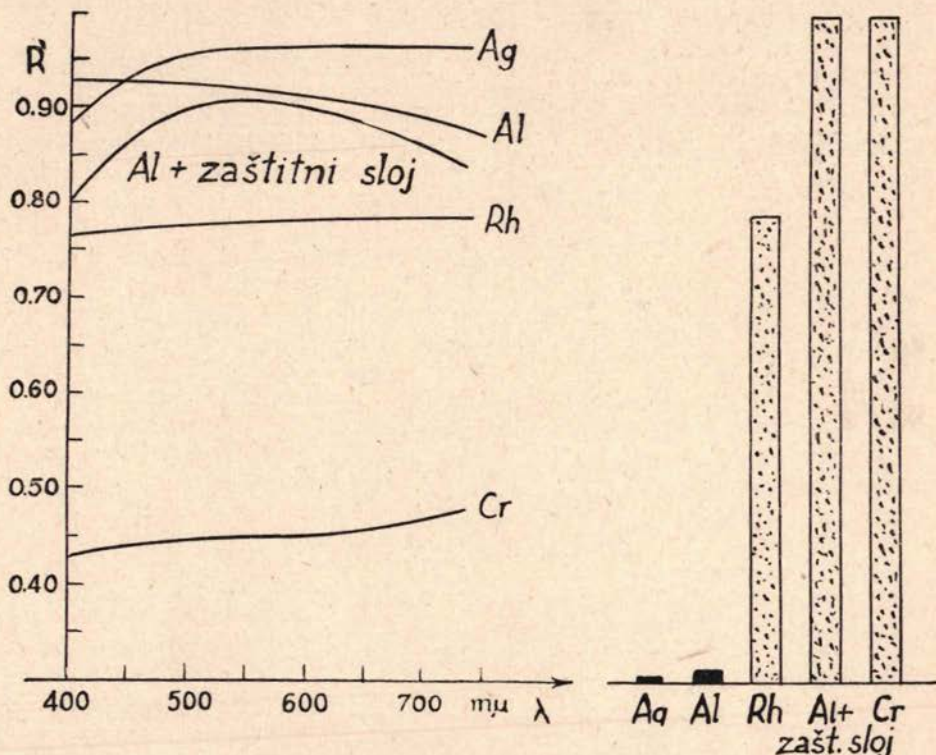
Sl. 10.

nih ploha (Zeiss, Askania, Kern). Refleksni interferencioni slojevi podižu refleksnu kvalitetu (stupanj refleksije) ovih zrcalnih ploha, pa se pridružuju AR-slojevima na dioptrijskim plohama u podizanju opće optičke kvalitete instrumenta.

Površinske zrcalne plohe dobivaju se danas nanošenjem tankih metalnih slojeva u visokom vakuumu (t. zv. metalizacija ploha). Debljine ovih slojeva iznose oko  $0,1 \mu$ . Krivulje na sl. 11 prikazuju stupanj refleksije nekih metala podesnih za nanošenje. Najpovoljnije koeficijente imaju srebro (koje je u ranije doba najviše primjenjivano) i aluminium (kojeg danas najviše primjenjujemo). Međutim njihova mehanička svojstva, kao i otpornost protiv atmosferilija su loša (vidi sl. 11 desno, na kojoj su prikazane relativno otpornosti protiv skidanja). Kako bi se ove nedostatke uklonilo, a iskoristilo povoljna optička svojstva ovih metala, to se takova zrcala prevlače još jednim zaštitnim mehanički otpor-

nim slojem, koji se obrazuje kao interferencioni sloj, te se time optička kvaliteta i dalje povećava. Na taj način postiglo se praktički vrlo vrijedna površinska zrcala visokog stupnja refleksije s primjenom aluminija i zaštitnog R-sloja. Takova zrcala izjednačila su se po mehaničkim svojstvima sa kromiranim zrcalima, koja, međutim, imaju daleko slabija optička svojstva (vidi sl. 11).

Sam proces nanošenja zrcalnog sloja kao i R-sloja u vakuum uređaju složen je. Ploha stakla se prethodno čisti snažnim ionskim bombardiranjem, nakon toga se nanosi sloj kroma, kao podloga za sloj aluminija koji ima malu adheziju prema staklu, sada tek dolazi sloj aluminija, a tek nakon svih ovih procesa zaštitni interferencioni sloj.



Sl. 11.

#### 6. Ostale primjene interferencionih slojeva

U užem području praktične optike interferencioni slojevi imaju daljnju primjenu u instrumentima. Poznata je na pr. primjena polupropusnih zrcala, kao fizikalnih djelatelja svjetlosti. U tu svrhu pri izradi takovih zrcala najpovoljnija je primjena kroma sa nemetalnim interferencionim slojevima. Zatim imamo toplinske interferencione filtere koji služe kao toplinska zaštita u instrumentima sa rasvjetom, ali ne na principu apsorpcije, već interferencije svjetlosti. Možemo spomenuti i interferencione filtere u užem smislu t. zv. linijske filtere koji služe za izdvajanje užeg spektralnog područja sa visokim stepenom transparentije. Ovi filteri imaju među ostalim primjenu pri spektralnim ispi-

tavanjima optičkih sistema. U principu se sastoje iz dva tanka prozirnog sloja sa visokim koeficijentom refleksije između kojih je sloj razmaka. Najčešće se za vidljivo područje upotrebljavaju slojevi srebra sa nemetalom kao sloj razmaka, nanešeni na plohu stakla kao nosiocu. Daljnje specijalne primjene ovdje ne ćemo navoditi.

### 7. Praktične napomene

Iz izloženog možemo zaključiti, da nakon svestranog proučavanja interferencionih slojeva, izbora tvori za nanošenje, kao i usavršenog tehnološkog procesa samog nanošenja, ovi slojevi imaju značajna optička i mehanička svojstva, znače poboljšanje instrumenata u njihovoj namjeni, te na taj način podižu opću kvalitetu instrumenta.

Kod geodetskih instrumenata imamo praktički najviše primijenjene interferencione AR-slojeve, a djelomično, kako smo napomenuli i R-slojeve. Ovi slojevi su, kao što u prikazu vidimo, otporni na mehaničke utjecaje (na pr. trljanje), promjene temperature, kao i djelovanje atmosferilija i vlage. Unatoč toga treba u praksi sa tim slojevima postupati pažljivo, tako, kao što to moramo i inače sa optikom naših instrumenata. Stručnjaci koji rade sa instrumentima najčešće dolaze u dodir sa AR-slojevima na vanjskim ploham instrumentata. Može se napomenuti, da je slobodno čišćenje ovih ploha od prašine ili kapljica kiše, ali uvijek laganim prevlačenjem sa čistom, mekanom i suhom krpom. Ako se toga ne pridržavamo, naći će se u krpi pokoje zrnice pijeska ili druge nečistoće, te će sigurno nastati oštećenja sloja vidljivo u obliku riseva. Samo oštećenje sloja, ukoliko nije brojnije, ne škodi njegovom optičkom djelovanju. Čak, ako je sloj i djelomično skinut, ne treba ga dirati i ne skidati preostali dio (iako mu je djelovanje u odgovarajućem postotku smanjeno). Jača i dublja oštećenja, ogrebotine, koje zadiru i u samo staklo štetna su, jer ne samo što skidaju AR-sloj, već matiraju plohu i priječe na tom mjestu svaki ulaz svjetlosti. Sa više takvih oštećenja mi pred instrumentat navlačimo mrenu i zastiremo njegov pogled, te na taj način smanjujemo njegovu kvalitetu, pa čak i primjenu uz ostale nepovoljne uslove vidljivosti. Ovo opominje općenito na čuvanje instrumenta. Promjene u boji koje se mogu eventualno opaziti na AR-sloju ili su tvorničke prirode ili zbog prljavštine na sloju koju treba skinuti. Ako se radi o masnoćama, njih se ne može skinuti običnim čišćenjem, pa je to bolje prepustiti stručnjaku u radionici. Pjege, mrlje, i pruge pokazuju loš kvalitet sloja. Naročita pažnja mora se poklanjati pri demontaži i općem čišćenju instrumenta. Nanošenje novog interferencionog sloja nije jednostavno, skupo je (optičke plohe se moraju nanovo polirati, a nanošenje u vakuum-uređaju je tim skuplje, čim je manji broj elemenata), te se ne preporuča.

Optički instrument je naše pomagalo u radu. Tokom rada čuvajmo sve njegove kvalitete koje je dobio modernim razvojem nauke i tehnike. Tako ćemo osigurati da uloženi trud daje odgovarajuće rezultate.

### LITERATURA:

- H. Pohlack: »Dünne optische Schichten«. Feingerätetechnik 1957/7, 8.  
F. Tvyman: »Prism and lens making«. London 1952.  
H. Mayer: »Physik dünner Schichten«. Stuttgart 1950.