

Ispitivanje zavisnosti difrakcione efikasnosti od načina dobijanja holografske difrakcione rešetke

U ovom radu je ispitivana zavisnost difrakcione efikasnosti od parametara pri kojima su generisane difrakcione rešetke. Za dobijanje difrakcionih rešetki korišćena je metoda dobijanja transmisionih holograma. Promenama parametara generisana je difrakciona rešetka i određivana njena difrakciona efikasnost. Iz dobijenih grafika određeni su parametri pri kojima difrakcione rešetke imaju maksimalnu efikasnost.

Uvod

Difrakcija se može definisati kao odstupanje od pravolinijskog kretanja svetlosnih talasa pri nailasku na prepreke ili otvore. Ti otvori ili prepreke, da bi došlo do difrakcije talasa, moraju biti približne veličine kao i talasna dužina. Prema Hajgens – Frenelovom principu, kada svetlost naiđe na takav otvor onda on sam postaje novi izvor talasa.

Difrakcione rešetke predstavljaju tanke pločice sa velikim brojem paralelnih linija (zareza) na sebi. Kada svetlost naiđe na rešetku, svaka od tih linija postaje novi izvor talasa. Tada u oblasti iza difrakcione rešetke dolazi do interferencije.

Interferencija je pojava slaganja dva ili više talasa pri čemu nastaje interferenciona slika u obliku naizmenično raspoređenih maksimuma i minimuma (slika 1).

Jedna od veličina koja karakteriše difrakcionu rešetku je difrakciona efikasnost. Ova veličina se računa po formuli:

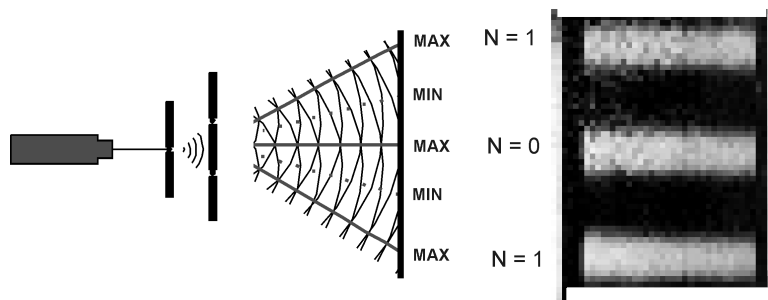
$$\eta = \frac{I_1}{I_0}$$

gde je η difrakciona efikasnost, I_1 jačina inteziteta prvog maksimuma, a I_0 jačina inteziteta nultog maksimuma (slika 2).

Pomoću difrakcione rešetke polihromatska svetlost se može razložiti u spektar, jer svetlost različitih talasnih dužina skreće za različite uglove

*Uglješa Milić (1988),
Smederevo, Save
Nemanjića 5/22,
učenik 2. razreda
Gimnazije u
Smederevu*

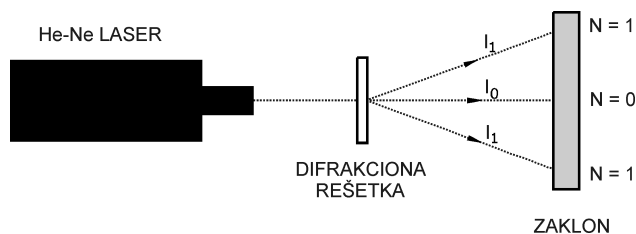
*Stojan Đorđević
(1988), Kragujevac,
Spasenije Cane
Babović 1/2-7, učenik
2. razreda Prve
kragujevačke gimnazije*



Slika 1.
Difrakcija svetlosti i formiranja difrakcionih maksimuma i minimuma (levo); izgled interferencione slike na zaklonu (desno)

Figure 1.
Diffraction of light and formation of maxima and minima (left); interference image on the screen (right).

pri formiranju svojih maksimuma. Rešetke sa većom difrakcionom efikasnošću su bolje od onih sa manjom u merenjima slabih prelaznih linija u optičkim spektrima. Ovo je dosta značajno, jer znajući spektar neke svetlosti, možemo govoriti i o hemijskom sastavu izvora takve svetlosti.



Slika 2.
Inteziteti svetlosti koji su mereni za izračunavanje difrakcione efikasnosti

Figure 2.
Values of light intensity measured for diffraction efficiency calculation

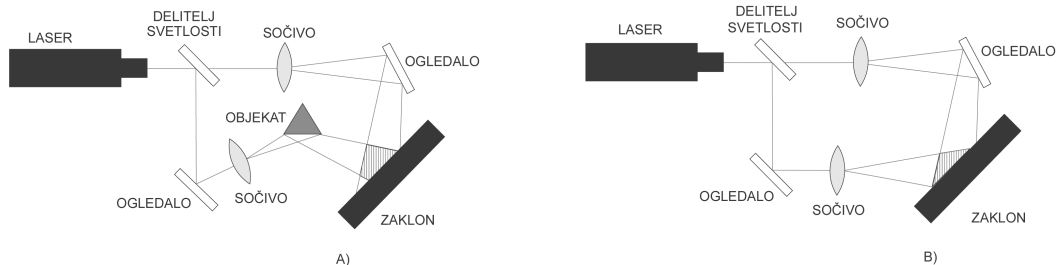
U ovom radu su pravljene difrakcione rešetke sličnim postupkom kojim se prave transmisioni hologrami. Ako se menjaju parametri pod kojima se prave difrakcione rešetke, menja se i njena efikasnost. U našem postupku parametri koji utiču na efikasnost rešetke su: dužina ekspozicije (osvetljavanja) holo-filma, vreme koje holo-film provede u razvijaju, fiksiru i izbeljivaču, zatim ugao pod kojim se seku dva laserska snopa, i odnos između inteziteta tih snopova.

Cilj ovog projekta je da se prvo ispita zavisnost difrakcione efikasnosti od svakog parametra posebno i da se kasnije iz tih ispitivanja odrede uslovi pri kojima se dobija rešetka maksimalne difrakcione efikasnosti.

Metod

Metod dobijanja transmisionih holograma zasniva se na interferenciji i difrakciji svetlosnih talasa. Za snimanje holograma, laserski zrak se usmerava na polupropustljivo ogledalo, koje ga deli na dva dela. Prvi snop neposredno pada na holo-film, a drugi snop osvetljava predmet (objekat) i odbija se od njega. Deo te odbijene svetlosti pada na holo-film, gde dolazi do interferencije sa prvim snopom (slika 3A)).

Ako bi se objekat, čiji hologram hoćemo da dobijemo, uklonio, a drugi snop direktno usmerio na zaklon dobila bi se aparatura potrebna za pravljenje difrakcionih rešetki (slika 3 B)).



Slika 3. Aparatura za generisanje transmisionih holograma (A) i aparatura za generisanje difrakcionih rešetaka (B)

Figure 3. Set up for transmission holograms making (A), and set up for diffraction gratings making (B).

Postoji razlika između interferencione slike u slučajevima kada se ona formira pri generisanju difrakcione rešetke i holograma. U prvom slučaju, interferenciona slika je u obliku paralelno naizmenično poređanih tamnih minimuma i svetlih maksimuma. Ako se generišu hologrami onda je interferenciona slika sastavljena od zakrivljenih tamnih i svetlih linija. Na početku se holo-film postavi ispred zaklona (u oblasti interferencije) i određeno vreme ekspozira laserskom svetlošću. U ovom radu korišćen je helijum – neonski laser (proizvođač: Uniphasis; model 1125) talasne dužine 632.8 nm i snage 7 mW. Nakon ekspoziranja, snimanja interferencione slike na holo-filmu, pristupa se hemijskoj obradi filma. Prvo se film određeno vreme drži u razvijaju, zatim u fiksiru i na kraju, po potrebi, u izbeljivaču. Nakon obrade u jednoj hemikaliji, film ispiramo vodom kako na njemu ne bi došlo do mešanja supstanci. Kada se tako obrađeni holo-film osuši, on postaje difrakciona rešetka.

Za svaku napravljenu difrakcionu rešetku korišćen je holo-film (proizvođač: AGFA, tip 8E75) osetljiv na crveni deo spektra a mereni su inteziteti prvog i nultog maksimuma. Merenja su vršena meračem inteziteta svetlosti (proizvođač: Metrologic Instruments, model: 45–545). Na osnovu izmerenih vrednosti moguće je izračunati difrakcionu efikasnost. Greška difrakcione efikasnosti računata je po formuli:

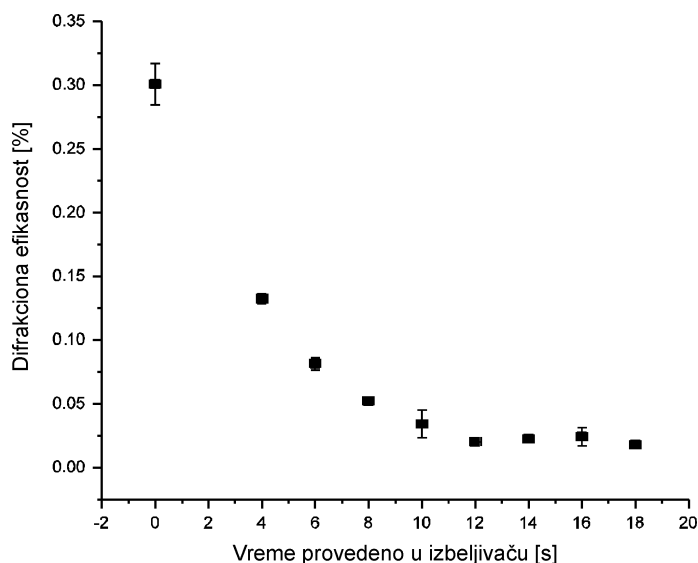
$$\Delta \eta = \eta \cdot \left(\frac{\Delta I_1}{I_0} + \frac{\Delta I_0}{I_0} \right)$$

gde je $\Delta \eta$ apsolutna greška difrakcione efikasnosti, a ΔI_1 i ΔI_0 apsolutne greške prvog odnosno nultog maksimuma, za čiju vrednost je uzeta vrednost najmanjeg podeoka na meraču inteziteta svetlosti.

Rezultati

Prvo je izvršeno ispitivanje zavisnosti difrakcione efikasnosti od vremena koje holo-film provede u izbeljivaču. Uloga izbeljivača je da amplitudnu difrakcionu rešetku prevedu u faznu. Na amplitudnoj rešetci se može uočiti jedino difrakcija monohromatske svetlosti (lasera), dok fazna

rešetka može da difraktuje i polihromatsku svetlost. Ovo ispitivanje je izvršeno prvo jer izbeljivač ne utiče na formiranje difrakcione rešetke. Jedno veliko parče holo-filma je postavljeno na zaklonu i eksponirano, zatim je celo ubačeno u razvijlač, pa u fiksir, u trajanju po 120 sekundi. Nakon toga, veliko parče holo-filma je isečeno na više manjih, po površini jednakih, delova. Svaki od tih manjih delova (difrakcionih rešetki) provodio je različito vreme u izbeljivaču. Ovaj postupak je primenjen kako bi se svaka rešetka napravila pod istim uslovima eksponiranja, razvijanja i fiksiranja, a pod različitim uslovima izbeljivanja. Zavisnost difrakcione efikasnosti od vremena koji je film proveo u izbeljivaču dat je na slici 4. Vreme izbeljivanja menjano je od 0 do 18 sekundi. Uočava se naglo opadanje efikasnosti u opsegu od 0 do 10 sekundi, posle čega difrakciona efikasnost ostaje oko približne vrednosti od 0.025%.

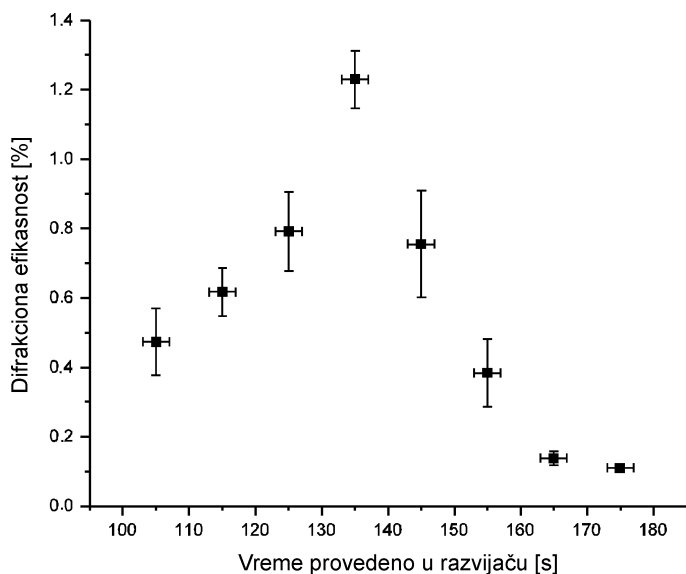


Slika 4. Zavisnost difrakcione efikasnosti od vremena koje holo-film proveo u izbeljivaču. Difrakcione rešetke su pravljene pri snazi lasera od 7 mW, vremenu eksponiranja od 2 s, vremenu razvijanja i fiksiranja od 150 s i uglu između interferirajućih snopova od 35 stepeni

Figure 4. Diffraction efficiency dependence on time which holo-film stays in the bleaching solution. Diffraction gratings we make by the 7 mW laser power, by 2 s exposure time, 150 s developing time, 150 s fixating time and 35 degrees angle between the interference beams.

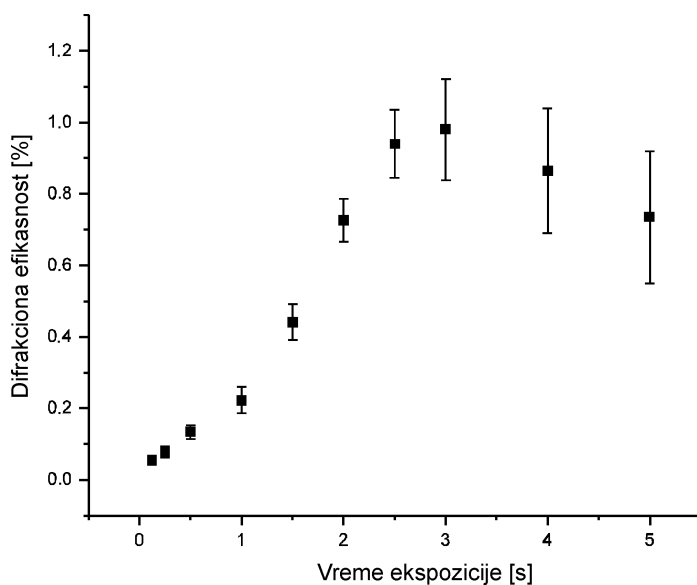
Nakon toga ispitivana je zavisnost difrakcione efikasnosti od vremena koje holo-film proveo u razvijlaču. Slično kao u prethodnom ispitivanju, prvo je eksponiran jedan veći holo-film koji je podeljen na više manjih. Svaki od tih delova je različito vreme provodio u razvijlaču ali isto u fiksiru. Zavisnost je prikazana na slici 5. Minimalno vreme razvijanja, za koje je određivana efikasnost rešetke, iznosilo je 105 a maksimalno 175 sekundi. Sa grafika se vidi da se maksimalna difrakciona efikasnost postiže za vreme razvijanja od 135 sekundi.

Veoma važan parametar prilikom dobijanja difrakcione rešetke je vreme ekspozicije holo-filma. Koristeći starije fotoaparate, na kojima je moguće manuelno podešavati vreme eksponiranja, napravljene su difrakcione rešetke sa vremenom eksponiranja od 1/15 do 5 sekundi. Zavisnost



Slika 5.
Zavisnost difrakcione efikasnosti od vremena koje holo-film provede u razvijaju. Difrakcione rešetke su pravljene pri snazi lasera od 7 mW, vremenu ekspoziranja od 2 s, vremenu fiksiranja od 150 s, uglu između interferirajućih snopova od 35 stepeni i bez upotrebe izbeljivača.

Figure 5.
Diffraction efficiency dependence on time.
Laser power: 7 mW
Exposure time: 2 s
Fixating time: 150 s
Angle between beams: 35°
Without bleaching solution.

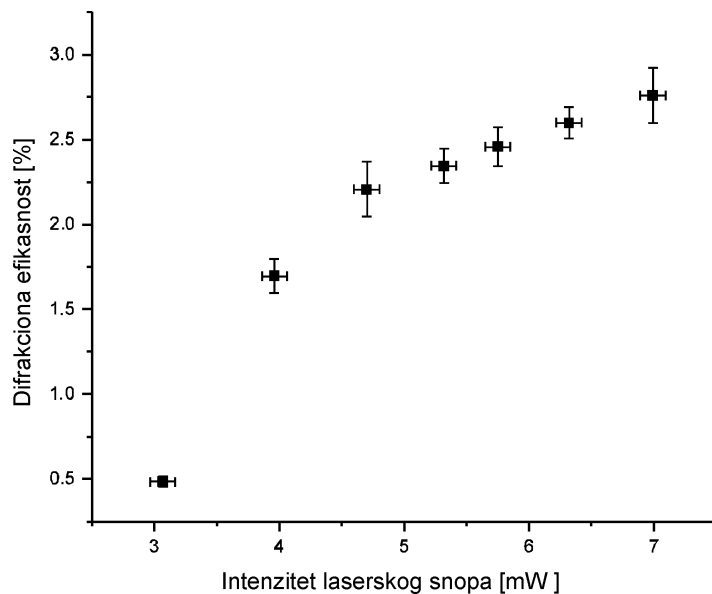


Slika 6.
Zavisnost difrakcione efikasnosti od vremena za koje se holo-film ekspozira. Difrakcione rešetke su pravljene pri snazi lasera od 7 mW, vremenu razvijanja i fiksiranja od 135 s, uglu između interferirajućih snopova od 35 stepeni i bez upotrebe izbeljivača

Figure 6.
Diffraction efficiency dependence on time of holo-film exposure.
Laser power: 7 mW
Developing time: 135 s
Fixating time: 135 s
Angle between beams: 35°
Without bleaching solution.

difrakcione efikasnosti od vremena ekspozicije prikazana je na slici 6. Uočava se vreme ekspozicije od 3 sekunde pri kome se dobija rešetka maksimalne efikasnosti.

Merena je i zavisnost difrakcione efikasnosti od inteziteta lasera pomoću kojeg se stvara interferenciona slika ispred zaklona. Promena inteziteta vršena je tako što je odmah uz lasera postavljena neka druga difrakciona rešetka. Zaklonjeni su svi difrakcioni maksimumi osim nultog. Postavljanjem difrakcionih rešetaka odmah ispred lasera stvarani su nulti maksimumi drugačijih inteziteta. Zavisnost je prikazana na slici 7. Sa



Slika 7.

Zavisnost difrakcione efikasnosti od intenziteta laserskog zarka. Difrakcione rešetke su pravljene pri vremenu ekspoziranja od 3 s, vremenu razvijanja i fiksiranja od 135 s, uglu između interferirajućih snopova od 35 stepeni i bez upotrebe izbeljivača

Figure 7.

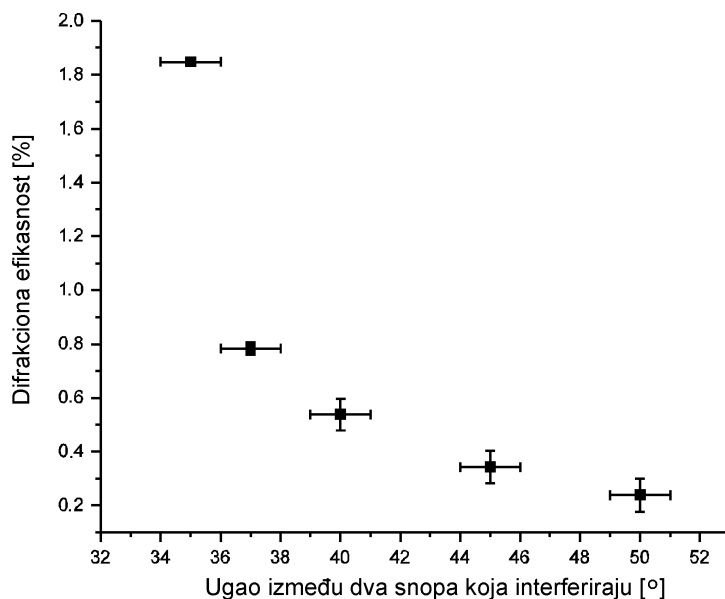
Diffraction efficiency dependence on the intensity of the laser beam.

Exposure time: 3 s
Developing time: 135 s
Fixating time: 135 s
Angle between beams: 35°.

Without bleaching solution.

grafika se vidi da kako se snaga lasera približava vrednosti od 7 mW, tako se postiže sve veća difrakciona efikasnost kod rešetaka.

Na kraju je ispitivana zavisnost difrakcione efikasnosti od ugla koji zaklapaju dva snopa koja interferiraju ispred zaklona. Promena ugla vršena je tako što je zaklonu manjan položaj a snopovi usmeravani tako da uvek interferiraju ispred zaklona. Zavisnost je prikazana na slici 8. Treba uzeti u obzir da je opseg na kojem je vršena promena ugla bio između 35° i 50°.



Slika 8.

Zavisnost difrakcione efikasnosti od ugla između dva snopa koja interferiraju. Difrakcione rešetke su pravljene pri snazi lasera od 7 mW, vremenu ekspoziranja od 3 s, vremenu razvijanja i fiksiranja od 135 s i bez upotrebe izbeljivača

Slika 8.

Diffraction efficiency dependence on the angle between interfering beams.

Laser power: 7 mW
Exposure time: 3 s
Developing time: 135 s
Fixating time: 135 s
Without bleaching solution.

Diskusija

Prilikom ispitivanja zavisnosti difrakcione efikasnosti od vremena koje holo-film provede u izbeljivaču utvrđeno je da difrakciona efikasnost opada sa vremenom izbeljivanja filma. Međutim, u praksi se izbeljivač koristi za povećavanje difrakcione efikasnosti. Moguće da je problem nastao u samom postupku generisanja tih difrakcionih rešetaka. Kako je prvo eksponirano jedno veće parče holo-filma i ono kasnije podeljeno na više manjih delova, svaki od tih delova je bio izložen drugačijem intezitetu svetlosti. To je zato što se raspodela inteziteta svetlosti laserskog profila može predstaviti Gausovom raspodelom. Delovi holo-filma koji su se nalazili po obodu prvobitnog velikog parčeta bili su izloženi svetlosti manjeg inteziteta onih delova koji su nalazili u centru.

Uloga razvijaača je da redukuje osvetljene delove srebro-halida na emulziji holo-filma. Tako se stvaraju linije sa različitim indeksom prelamanja. One linije koje su pri eksponiranju bile izložene interferencionim maksimumima imaju drugačiji indeks prelamanja od onih linija koje su bile izložene interferencionim minimumima. Tako dolazi do stvaranja difrakcione rešetke, jer nastaju paralelne linije sa naizmeničnim vrednostima indeksa prelamanja. Ako bi holo-film proveo nedovoljno vremena u razvijaaču, onda razvijaač ne bi stigao da redukuje sav srebro-halid koji je bio izložen interferencionim maksimumima. U slučaju kada se film predugo obrađuje, u razvijaaču dolazi do redukcije i onih delova emulzije koji su bili izloženi minimumima. Sve ovo utiče na difrakcionu efikasnost. Zbog toga se dobijena zavisnost efikasnosti od vremena razvijanja može smatrati odgovarajućom jer postoji vreme za koje se postiže maksimalna difrakciona efikasnost.

Slično kao i kod razvijaača, ako bi film bio vremenski kratko eksponiran, ne beleži se interferencionna slika, a pri preeksoniranju nema formiranja difrakcione rešetke, već se emulzija holo-filma uništi. Zato je dobijena zavisnost difrakcione efikasnosti od vremena ekspozicije očekivana.

Intezitet lasera koji stvara interferenciju utiče na vreme ekspozicije. Ako je laser većeg inteziteta onda je i interferencija jača pa je holo-filmu potrebno manje vreme ekspozicije da zabeleži interferencionu sliku. Promena inteziteta lasera vršena je pomoću nekih drugih difrakcionih rešetaka. Postavljanjem rešetke odmah uz laser, dolazi do stvaranja difrakcionih maksimuma. Ako bi se svi maksimumi sem nultog zaklonili, tada bi nulti maksimum predstavljao izvor laserske svetlosti ali slabijeg inteziteta. Dobijana zavisnost difrakcione efikasnosti se može smatrati pouzdanom jer se maksimalna difrakciona efikasnost postiže pri snazi lasera od 7 mW, a upravo je pri toj snazi lasera određeno optimalno vreme ekspozicije u prethodnom ispitivanju.

U poslednjem ispitivanju se uočava da difrakciona efikasnost opada sa povećanjem ugla između interferirajućih snopova. Povećavanjem ugla, povećava se rastojanje među interferencionim maksimumima, to povećava konstantu difrakcione rešetke, a ona smanjuje efikasnost. Stoga se dobijena zavisnost može smatrati ispravnom. Ovo naravno važi samo za vrednost uglova između 35 i 50 stepeni.

Zaključak

Iz svih dobijenih grafika mogu se odrediti optimalni parametri, odnosno parametri pri kojima se dobija rešetka maksimalne difrakcione efikasnosti. Zaključeno je da bi optimalno vreme koje holo-film provede u razvijaju bilo $t_{raz} = (13 \pm 55)$ s. Optimalno vreme ekspozicije je $t_{eks} = (3.0 \pm 0.5)$ s pri snazi lasera od 7 mW, a izbeljivač ne bi trebalo koristiti. Takođe bi trebalo podesiti aparaturu tako da se interferirajući snopovi seku pod što manjim uglom. Treba napomenuti da svi ovi parametri važe za ovaj tip holo-filma i ovakvu vrstu lasera. Takođe, ovo jesu optimalni parametri, ali u onim opsezima u kojima su vršene promene parametara.

Postojanje problema pri izradi ovog projekta, najbolje pokazuje činjenica da su maksimalne difrakcione efikasnosti u ovim ispitivanjima i do 10 puta manje nego što je to slučaj u praksi. Glavni problem je bila nestabilnost celokupne aparature i prisustvo vibracija. Ovo je sve uticalo na treperenje interferencione slike koja se beležila na holo-filmu, pa samim tim i na krajnju difrakcionu efikasnost rešetaka.

Dobijene zavisnosti odgovaraju teorijskim pretpostavkama. Rad bi bio upotpunjen da su još ispitivane zavisnosti efikasnosti od talasne dužine lasera i tipa holo-filma. U našem slučaju to nije bilo moguće zbog nedostatka adekvatnih uslova i materijala.

Zahvalnost. Zahvalnost dugujemo našem mentoru Marini Marinković koja nam je bila prava podrška u izradi ovog projekta. Njene sugestije i primedbe su u velikoj meri učinile da ovaj rad bude kompletan. Zahvaljujemo se i vodi seminara fizike u Istraživačkoj stanici Petnica, Jeleni Grujić, kao i dr Dejanu Panteliću, rukovodiocu laboratorije za optoelektroniku i lasere pri Institutu za fiziku u Zemunu, na idejama, savetima i pomoći koju nam je pružio pri izradi ovog projekta.

Literatura

Božin S., Raspopović M., Danilović E. 2003. *Fizika za treći razred prirodno-matematičkog i opšteg smera (dvanaesto izdanje)*. Beograd: Zavid za udžbenike i nastavna sredstva

Kadelburg N., Rapaić V. 2004. *Fizika 3 za treći razred matematičke gimnazije*. Beograd: Krug

Kasper J. E., Feler S. A. 1987. *The complet book of holograms*. John Wiley

Palmer C. 2004. *Diffraction grating handbook (fifth edition)*. New York: Richardson grating laboratory

Uglješa Milić and Stojan Đorđević

The Study of the Dependence of Diffraction Efficiency on the Way of Getting the Holographic Diffraction Grating

In this work we studied the dependence of the diffraction efficiency on the parameters within which the diffraction gratings were made. To get the diffraction grating the method of making transmission holograms was used. When the parameters were changed the diffraction grating was made and its efficiency was determined. From the obtained graphics we determined the parameters within which the diffraction gratings have maximum efficiency.

