

# Pregled holograma koji se koriste u zaštitnom tisku

---

Šušak, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Graphic Arts / Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:216:471596>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-08**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Graphic Arts Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAFIČKI FAKULTET ZAGREB

# ZAVRŠNI RAD

Luka Šušak



Sveučilište u Zagrebu  
Grafički fakultet

Smjer: tehničko-tehnološki

# ZAVRŠNI RAD

Pregled holograma koji se koriste u zaštitnom tisku

Mentor:

izv.prof.dr.sc. Damir Modrić

Student:

Luka Šušak

Zagreb, 2020

# SADRŽAJ

UVOD.....	1
1. HOLOGRAFIJA I HOLOGRAMI .....	2
1.1. HOLOGRAFIJA KROZ POVIJEST.....	2
1.2. POSTAV ELEMENATA ZA SNIMANJE HOLOGRAMA .....	4
1.3. IZRADA HOLOGRAMA .....	5
2. HOLOGRAMI U ZAŠTITNOM TISKU.....	8
2.1. DIFRAKTIVNI OPTIČKI PROMJENJIVI SLIKOVNI UREĐAJI (DOVID).....	10
2.1.1. Tradicionalne tehnike bazirane na interferenciji svjetlosti.....	10
2.1.2. Napredne litografske tehnike .....	13
2.1.3. DOVID-i prvog reda .....	15
2.1.3.1. Orijentacija na prostornu domenu .....	16
2.1.3.2. Grafički orijentirani elementi .....	17
2.1.3.3. Dot – matrix hologrami .....	18
2.1.3.4. Pikselgram .....	20
2.1.3.5. Ekselgram .....	21
2.1.3.6. Kinegram .....	22
2.1.3.7. Holografski stereogram .....	23
2.2. NESKRIVENE I SKRIVENE SIGURNOSNE ZNAČAJKE.....	25
3. ZAKLJUČAK.....	27
4. LITERATURA .....	29

## **UVOD**

Holografija je od svoga nastanka prešla dug put, a svoju primjenu pronašla u širokom spektru djelatnosti kao što su bankovne kartice, novčanice, putovnice, naljepnice, ambalaža i slično. U današnje vrijeme njezina najveća primjena je u svrhu zaštite od krivotvorenja. Jako je važno znati kako današnja znanost ima vrlo moćan alat primjenjiv u svim granama znanosti.

Cilj ovoga završnog rada je upoznavanje holografije i holograma, njezine povijesti i nastanka, ali i same budućnosti holograma. U uvodnom dijelu govorimo o definiciji holograma i holografije, kao i njezinom nastanku kroz povijest. Nakon toga, navode se vrste holografije i primjena holograma. Na samom kraju rada objašnjena je njegova primjena u svrhu zaštite od krivotvorenja.

Pri izradi rada proučavana je domaća, ali i strana literatura raznih znanstvenih knjiga, članaka i internetskih stranica. Također, završni rad je popraćen slikovnim sadržajem.

# 1. HOLOGRAFIJA I HOLOGRAMI

Što je točno holografija? Ako gledamo prijevod sa grčkog jezika onda *holos* znači potpun, čitav, sav, dok je *grafos* pisanje, crtanje, iscrtavanje. Sve ovo nas dovodi do teze da je holografija specifičan oblik zapisivanja i reprodukcije strukture svjetlosnih valova zasnovana na difrakciji i interferenciji koherentnih svjetlosnih valova.[1] Slike nastale holografskim snimanjem su trodimenzionalne i nazivaju se hologrami. Hologram se obično snima na fotografskoj ploči ili ravnom dijelu filma, a snimanjem svjetlosni valovi stvaraju potpunu iluziju nekog trodimenzionalnog predmeta. Usporedimo li holografiju sa fotografijom, kod fotografije imamo metodu registriranja samo intenzitet svjetlosnog vala, u holografiji se na foto-ploču snima osim intenziteta i amplituda i faza svjetlosnog vala koji pada na nju.[2] Budući da svi materijali reagiraju samo na intenzitet slike, potrebno je faze informacija pretvoriti u varijacije intenziteta. Holografija to radi s koherentnim osvjetljenjem i uvođenjem. [3] Sliku koju daje hologram moguće je gledati iz raznih kutova, pomicanjem u stranu ili nagnjanjem možemo primijetiti što stoji iza crteža u prvom planu.[2]

## 1.1. HOLOGRAFIJA KROZ POVIJEST

Već početkom 19.st. mnogi znanstvenici približili su se otkriću holografije. No, tek 1948. godine osnove i način njezinoga rada otkriva mađarski nobelovac i znanstvenik Dennis Gabor. Za ovo otkriće dobiva Nobelovu nagradu 1971. godine. On je svojim radom pridonio poboljšanju razlučivosti elektronskog mikroskopa. Sve je to tih godina bilo uzaludno dok dvadesetak godina nakon nije otkriven laser koji omogućuje i primjenu holografije. Svi svjetlosni izvori do tad nisu bili koherentni, što znači da nisu jednobojni i jednakih frekvencija, polarizacije i stalnog odnosa faza.

Theodore H. Maiman izumio je prvi laser godine 1960. Bio je to impulsni rubinski laser. Ovakav laser emitira vrlo intenzivan snop svjetla koji traje samo nekoliko nanosekundi pa je time smanjeno vrijeme ekspozicije holograma kao i utjecaj na sva područja znanosti. Ovim pronalaskom budi se ponovno interes za holografiju. [4]

Prvi laserski hologrami nastaju 1963. godine, a za njih su zaslužni američki fizičari Emmeth N. Leight i Juris Upatneiks koji su uz pomoć lasera i koristeći metode s Gaberovih pokusa razvili napravu koja reproducira trodimenzionalnu sliku objekta. Tako je nastao prvi diffuse – light hologram.[1]



*Slika 1 - Hologram "Train and Bird" Emmetta Leitha i Jurisa Upatnieksa - 1964.*

Ključna figura u razvoju holografije je Yuri Denisyuk koji izrađuje holograme za čiju se reprodukciju koristi refleksija bijele svjetlosti, što omogućava promatranje holograma uz osvjetljenje obične žarulje sa žarnom niti ili pak pod sunčevom svjetlosti. [5]

Godine 1968. holografija se počinje širiti. Stephen Benton izumio je dvostupanjsku transmisijsku holografiju pomoću bijele svjetlosti, pod nazivom rainbow holografija. Ovaj izraz u holografiji koristi se na engleskom jeziku, te nažalost ne postoji hrvatski prijevod. Zbog toga, u nastavku rada držat ću se ove engleske inačice. Nedostatak rainbow holografije je potreba za snažnim laserima kako bi se cijeli hologram kopirao odjednom. [6] Ipak, ovaj izum značajno je pridonio razvoju holografije jer je omogućena proizvodnja holograma tehnikom rezbarenja, koju je Michael Foster razvio 1974. godine, a komercijalizirao Steve McGrew godine 1979. Ovakav tip holograma je jeftin za proizvodnju, a koristi se na svim sigurnosnim aplikacijama, kao npr. putovnicama ili

bankovnim karticama. [7]Zajedno sa svojim suradnicima Benton je osmislio i jednostupanjsku bijelu transmisijsku holografiju. [4]

Salvador Dali 1970.godine koristi pulsni laser za proizvodnju umjetničkih holograma. Iako je Gabor već pokazao, 25 godina ranije, mogućnost računanja interferentnih uzoraka, oni se pak mogu izračunati i potom na neki način mehanički ili kemijski urezati u materijal. Ovo omogućava stvaranje holograma proizvoljnih predmeta. [4]

1972.godine L. Cross i D. Smith snimaju prvi hologram predmeta u pokretu. Nekoliko okvira 2-D pokretne slike snimljeno je na holografski film. Kada se gleda, ljudski mozak tu kombinaciju slika doživljava kao 3-D sliku. [4]

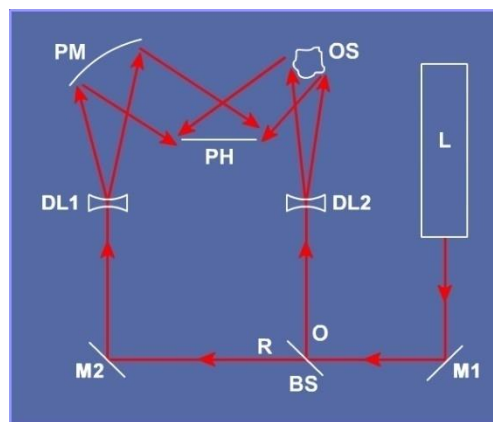
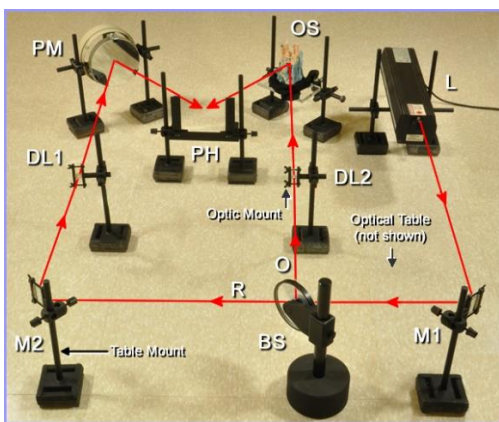
1983. godine Mastercard Internacional Inc. je prva kompanija koja koristi bankovne kartice s rezbarenim hologramom kao holografsku tehnologiju za zaštitu. [8]

Na masovnu proizvodnju holograma utjecala je tehnika izrade holograma fotopolimerima. Za razliku od rezbarenih holograma, fotopolimerni hologrami su refleksijski hologrami s plastičnom podlogom, koji daju vrlo oštru i jasnu sliku. Ove holograme koristimo u marketingu, poštanskom sustavu, ambalaži i drugim područjima.[7]

## **1.2. POSTAV ELEMENATA ZA SNIMANJE HOLOGRAMA**

Prije nego što bi započeli sa izradom holograma prvo moramo vidjeti kako izgleda sustav za izradu holograma, odnosno postav elemenata za snimanje holograma kada je potpuno postavljen i spreman za izradu. Na lijevoj slici ispod možemo vidjeti fotografski prikaz postava, dok na slici desno vidimo ilustraciju iste. Osnovni elementi koji se koriste su laser (L), djelitelj laserskog snopa (BS), zrcala (M1, M2), divergentne leće (L1, L2), paraboličko zrcalo (PM). Uz njih još stoje i dodatni elementi kao na primjeru: objekt snimanja (OS), fotografska ploča (PH), te još držači i optički stol.





Slika 2 - Prikaz običnog postava za snimanje holograma

Gledamo li sliku 2, evo što se događa tijekom postupka snimanja. Laserska zraka od lasera (L) putuje do prvog zrcala (M1) i reflektira se do djelitelja snopa (BS) i tu se dijeli na dvije laserske zrake, odnosno dva snopa. Tim dvama laserskim zrakama dodjeljuju se imena, jedna je referentna zraka (R), a druga objektna (O). Referentna zraka putuje do zrcala (M2), te se reflektira ka divergentnoj leći (DL1) koja se širi do paraboličkog zrcala (PM) i odražava rašireni zrak na ploču za snimanje (PH). U isto vrijeme, reflektirani snop predmeta (O) putuje kroz divergentnu leću (DL2) i osvjetljava trodimenzionalni objekt snimanja (OS), a zatim reflektira svjetlost na ploču za snimanje (PH). Interakcija između svjetlosti referentne zrake i reflektiranog svjetla objekta snimanja stvara holografski uzorak smetnji unutar ploče za snimanje na mikroskopskoj razini. Nakon kemijske obrade ploča se vraća u držač s izvornom orijentacijom, predmet se uklanja, a referentna zraka osvjetljava snimljenu ploču. Ako pogledamo kroz ploču sa suprotne strane može se vidjeti trodimenzionalna slika izvornog snimanja predmeta odložene u svemiru kao da je originalna objektno snimanje još uvijek tamo. Ovakvo osvjetljenje holograma samo referentnom zrakom naziva se rekonstrukcija. [9]

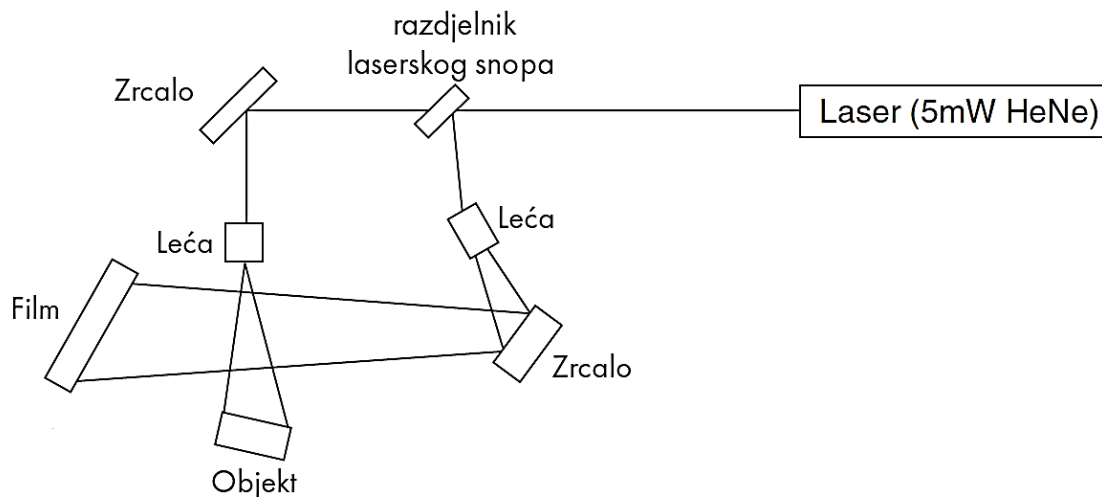
### 1.3. IZRADA HOLOGRAMA

Pogledamo li danas oko sebe holografija je svugdje, od naslovne stranice National Geographica, kreditnih kartica, karta za tramvaj, novčanica, i ne možemo se ne zapitati kako je izgrađen i kako djeluje hologram. [10]

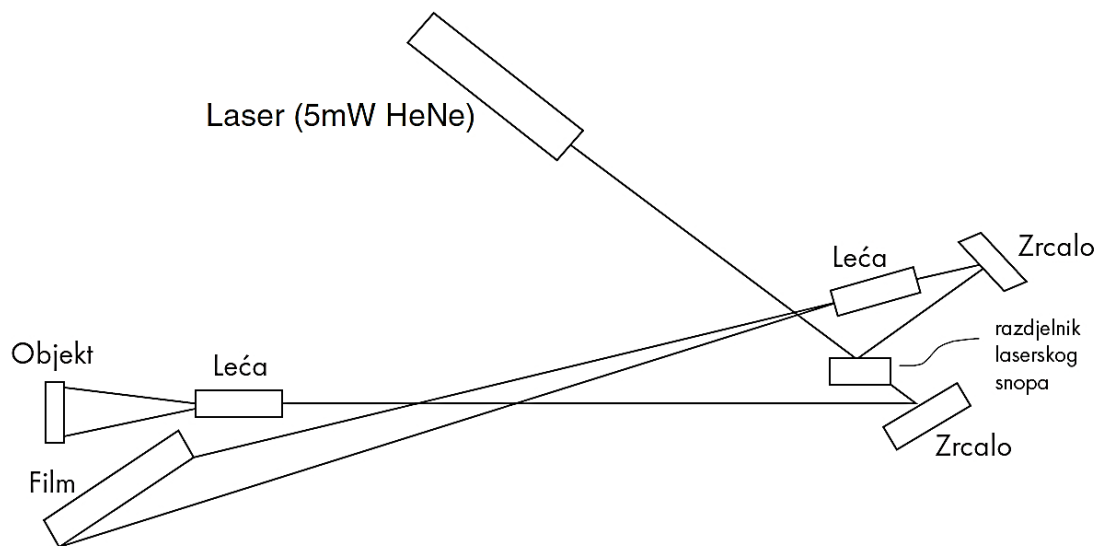
Kako djeluje hologram? Hologram možemo smatrati kao moduliranom rešetkom ili moduliranim interferencijskim filterom. Osvijetlimo li rešetku kolimiranim valom (paralelnim), valovi izlaze iz rešetke u različitim kutovima. Amplituda vala utječe na amplitudu rešetke, a položaj pravila rešetke ovisi o fazi vala. Stoga valovi koji izlaze iz rešetke tvore sliku, a ne ravni valovi. Budući da je hologram poput rešetke osvjetljavanje istog vrši se jednom valnom duljinom ili pak uskim pojasom valnih duljina. U protivnom dolazilo bi do stvaranja više slika zbog efekta rešetke i zamućivanjem boje umjesto slike. Prvi se val može zanemariti, jer se širi duž iste osi kao i osvjetljavajući val. Drugi val je val koji se koristi za izradu holograma i obično je virtualna slika. Treći val je složeni konjugatsnimljenog vala (obično stvarna slika). Drugi i treći val šire se duž osi pod kutovima prema osi osvjetljujućegvala. Vrsta formiranih slika ovisi o zakrivljenosti referentnih osvjetljavajućih valova. [3]

Mogu se izraditi mnoge vrste holograma, no temelje se na dvije vrste: transmisijski hologrami i refleksijski hologrami. [9] Zraka koju reflektira objekt naziva se objektna zraka ili predmetna zraka, dok zraka koja se odbija zrcalom naziva se referentna zraka . [3] Pogledamo li sliku ispod (slika 3) možemo vidjeti da kod transmisijskog holograma film je izložen eksponiranju samo s jedne strane (objekt i referentne zrake su na istoj strani filma) kod kojeg izvorno lasersko svjetlo koristimo kao rekonstruirajuću zraku. Kad rekonstruirajući izvor svjetlosti osvjetli film, rekonstruira se valna fronta izvornog objekta (ili predmeta) i mi to vidimo kao da je objekt stvarno tamo. Međutim, ono što vidimo je virtualna slika, postoji i stvarna slika objekta, ali je obično vrlo teško pronaći. Transmisijski hologrami imaju mali osjećaj dubine scene, što je povezano s određenim svojstvom laserske zrake. Laserska zraka ima ograničenu duljinu koherencije koja ograničava osjećaj dubine scene koja se može dobiti. Iz tog razloga je transmisijskom hologramu potrebno visoko monokromatsko (jednobojno) svjetlo za rekonstrukciju scene, a to je svjetlost laserske zrake. Ako se transmisijski hologram gleda u običnoj bijeloj svjetlosti, slika koja se vidi je mrlja. Postoji mogućnost snimanja holograma u koherentnoj svjetlosti koja je približna monokromatskoj i dobiti slike pod osvjetljenjem bijelog svjetla prikladnom modifikacijom tehnike koherentne holografije. U tom slučaju rekonstruirajući valovi nastaju refleksijom od holograma, a ne transmisijom kroz njega. S druge strane, kod refleksijskih holograma film je izložen s obje strane, što znači da su objektna i referentna zraka na suprotnim stranama filma kao što možemo vidjeti na slici ispod (slika 4). Nakon

procesa razvoja, interferencija dva vala daje prozirnost koja sadrži slojeve metalnog srebra koji djeluju kao reflektirajuće ravnine. Budući da je kut blizu 180 stupnjeva, reflektirajuće ravnine idu gotovo paralelno s površinom emulzije. Razvijena prozirnost mora biti osvijetljena duplikatom referentnog vala kako bi se dobila virtualna slika izvornog objekta. Zatim se reproducira izvorni val valnog fronta, što u ovom slučaju znači da je slika oblikovana od reflektirane svjetlosti. [10]



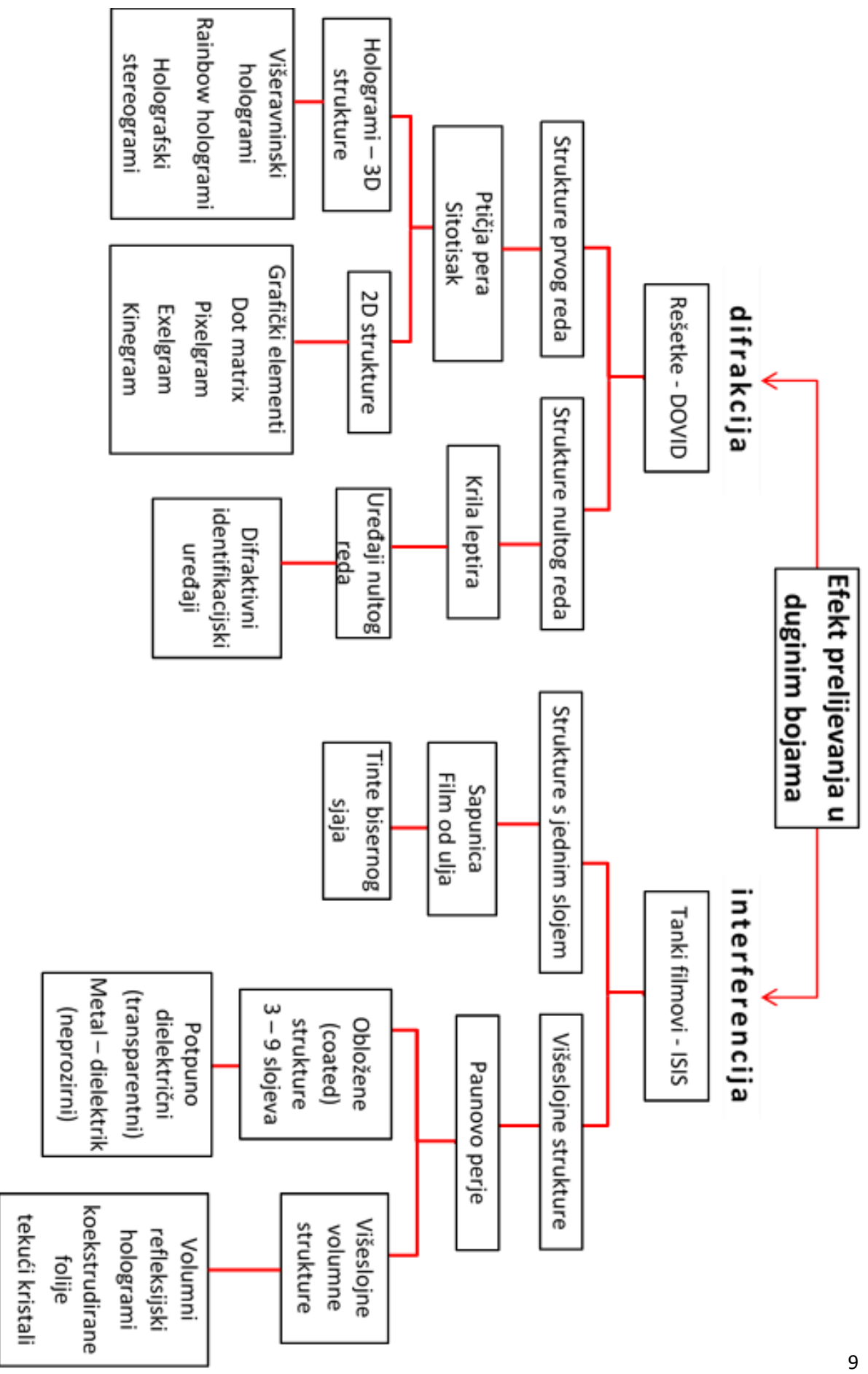
Slika 3–Prikaz osnovnog postava za transmisijske holograme



Slika 4–Prikaz osnovnog postava za refleksijske holograme

## 2. HOLOGRAMI U ZAŠTITNOM TISKU

Zaštitni elementi protiv krivotvorenja, odnosno holografski elementi, iz dana u dan zbog krivotvoritelja postaju složeniji. Pogledamo li 2D, 3D, 3D rainbow holograme ili jednostavne difrakcijske strukture koje su relativno lagani za krivotvorenje važnih dokumenata, vrijednosnica, novca ili bankovnih bilježaka ne čudi nas ogroman i brz, rast i razvoj nekih drugih hologramskih elemenata. Razvojem optički varijabilnih elemenata (OVD) i njihove tehnologije nastaju napredniji sigurnosni elementi. Takvi elementi se koriste za zaštitu najpovjerljivijih dokumenata i vrijednosnica. Među te elemente spadaju četiri tipa: kinegrami, kineformi, ekselgrami, pikselgrami koja u današnje vrijeme više nisu sigurna. Kako bi kreirali ova četiri elementa potrebna nam je napredna tehnologija, kreirana pomoću interaktivnih optičkih rešetki, a njihove slike su stvorene računalno. Elementi sadrže kinetičko-optičke učinke koji se mogu rekonstruirati raspršenjem svjetlosti u većini kutova gledanja, te ih promatrač vrlo lako uoči. [6]



## **2.1. DIFRAKTIVNI OPTIČKI PROMJENJIVI SLIKOVNI UREĐAJI (DOVID)**

Uzmemo li svilenu tanku tkaninu ili ptičje pero i promatramo točkasti izvor kroz njih možemo primijetiti različite redove difrakcije. Od nultog reda, raspršenja svjetlosti, prvog reda raspršenja svjetlosti, te naravno više redove difrakcije moguće je primijetiti. Kod zaštite dokumenata od interesa koriste se razne difrakcije prvog i nultog reda rešetkastih struktura. Svaki red difrakcije ima svoj naziv, uređaji prvog reda tako se i nazivaju FOD – firstorder DOVID, uz njih imamo i uređaje nultog reda ZOD – zero order DOVID. Sastav ZOD-ova je rešetka s linijskom frekvencijom manjom od valne duljine svjetlosti. Usporedimo li ZOD i FOD njihova optička svojstva jako se razlikuju. Proizvodnja DOVID-a bazira se na obasjavanju fotorezista i naknadnom generacijom embosiranih mastera. Imamo dvije glavne metode izlaganja fotorezista svjetlosti koje povećavaju sigurnosnu vrijednost DOVID-a, a to su tradicionalna tehnika bazirana na interferenciji svjetlosti i napredna litografska tehnika. [6]

### **2.1.1. Tradicionalne tehnike bazirane na interferenciji svjetlosti**

Mnoge tipove DOVID-a gradimo pomoću tradicionalne metode. Izlaganjem fotorezista dvjema laserskim zrakama koje stvaraju interferentni uzorak padajući pod različitim kutovima na fotorezist ni tako stvaraju jedan od tipova DOVID-a. Rezultat takvih procesa je reljefni uzorak simetričnog i sinusoidnog presjeka. Kako bi se svjetlost jednakom količinom raspršila u oba reda interferencije pomažu nam sinusoidne rešetke i kao rezultat daju DOVID-e napravljene svjetlosnim smetnjama koje imaju podjednak pozitivan i negativan prvi red interferencije. [6]

### **Krivotvorenje**

Širenjem znanja o tradicionalnoj metodi proizvodnje kroz svijet dovodi do prijenosa znanja na krivotvoritelje, što povećava prijetnje krivotvorenja proizvoda. Kako bi neki proizvodi

teško krivotvorili postoji tendencija stvaranja složenijih struktura slika koje stvaraju takve proizvode. Nedostaci takvih složenih slika uočavaju se kod pregledavanja proizvoda koje ljudi pregledavaju s poteškoćama uočavanja pravilnosti. [6]

Uobičajeno je mišljenje kako se hologrami ne mogu krivotvoriti. Zapravo je to poprilično lako, a postoji i nekoliko načina krivotvorenja. Međutim, postoje i kontramjere koje mogu biti jako učinkovite.

Problem krivotvorenja holograma uključuje ove aspekte: poticaj za krivotvoritelja, te metode i protumjere za krivotvorenje holograma. Poticaji za krivotvoritelja mogu biti različiti, a izravno su povezani s dobiti koju mogu ostvariti krivotvorenjem. Objasniti ću na primjeru oznake boce viskija. Škotski viski Johnny Walker odnedavno koristi holografsku etiketu kao krivotvoreno sredstvo. Godišnje se okoprilike proda 50 milijuna boca, s tim da boca ovoga viskija košta 16 dolara, a krivotvorenoga manje od 2 dolara. Ako krivotvoritelj uspije proizvesti prohodnu holografsku etiketu može zaraditi ogromnu količinu novca. Ovaj poticaj za potencijalne krivotvoritelje holograma dovoljan je za prevladavanje čak i velikih tehničkih izazova. [11]

Danas su najčešće krivotvorene novčanice koje se najviše u upotrebi. Izrađene su od teškog papira koji se razvija od pamučnih vlakana zbog svoje trajnosti i čvrstoće. Ponekad su dodaju i neki drugi materijali kao što su lan, specijalna vlakna u boji i forenzička vlakna kako bi papiru pružili zaštitu od krivotvorenja.[12]

Postoje različite metode krivotvorenja holograma. Najjednostavnija metoda je mehaničko kopiranje, korištenje samog holograma kao kalupa za izradu utisnutog kalupa. Zatim, metoda kontaktnog ispisa. U ovom slučaju, kopija holograma izrađuje se polaganjem ploče presvučene fotorezistom u bliski kontakt s izvornim hologramom i osvjetljivanjem izvornog holograma kroz pločicu fotootpora. Kopiranje u dva koraka - lako je napraviti dobru kopiju holograma osvjetljavanjem holograma laserskim svjetlom i snimanjem drugog holograma rekonstruirane svjetlosti, zatim osvjetljavanjem drugog holograma i snimanjem trećeg holograma koristeći stvarnu sliku prvog holograma. Ponovno svladavanje je metoda izrade holograma od umjetničkih djela. Hologram jednog proizvođača krivotvoritelj može približno preslikati jednostavnim ponovnim stvaranjem umjetničkog djela, a zatim izradom holograma. Simulacija - u nekim slučajevima moguće je od krivotvoritelja nabaviti hologram koji nalikuje na sigurnosni hologram.[13]

Danas su krivotvorene metode složenije i kompliciranije nego prije, stoga je potrebno primijeniti više različitih metoda kako bi se dobile pouzdane informacije o podrijetlu vrijednosnica. [14]

### **Optička replikacija**

Za stručnjake u ovom području kopija točnih proizvoda relativno je jednostavna baš zbog rešetke izrađene interferencijom svjetlosti koja se lako može replicirati u fotorezistu. Takav proces naziva se optička replikacija, a ima dva tipa: lasersko kopiranje u jednom koraku i dvostupanjsko holografsko kopiranje. U fotorezistu generiraju se shimovi za embosiranje, te s tim počinje masovna proizvodnja replika. [9] Inače, podloška je tanka metalna pločica, obično od nikla, koja je pričvršćena na cilindar kao priprema za postupak utiskivanja (embosiranja).[15]

Embosiranje (embossing) je tehnika reljefnog štampanja na različitim materijalima koja postiže 3D efekt printa i to doprinosi upečatljivosti uzorka. Za ovakvu tehniku koriste se specijalni štampači, tzv. emboseri koji pod određenim pritiskom i temperaturom ostavljaju reljefni otisak. Emboseri su mašine za personalizaciju pvc kartica i pored reljefne štampe sadrže mnoštvo drugih funkcija i operacija.[16]

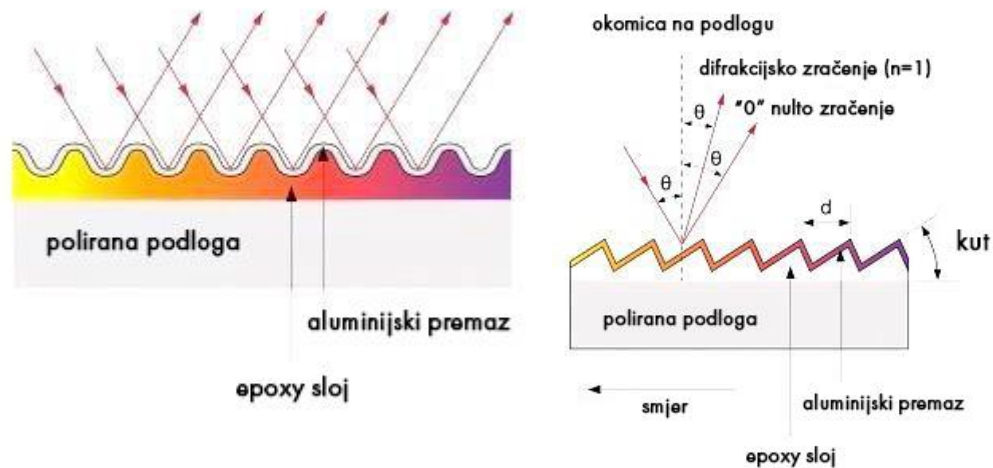
### **Mehanička replikacija**

Mehanička replikacija površinskog reljefa lako se radi pomoću neke od tehnika galvanizacije, ako smo prije otkrili površinu reljefa otapanjem ljepljivog sloja, naravno bez prisustva zaštitnog sloja. Nezakonita masovna proizvodnja replike originalnog DOVID-a može početi. Zbog takvih situacija napravljena je sigurnosna značajka koja pri oguljenju površinskog sloja uništava ostatak. Embosirani reljef ugrađen između dva polimerska zaštitna sloja. [9]



## 2.1.2. Napredne litografske tehnike

Uzmemo li odgovarajuće fotoreziste pomoću naprednih litografskih tehnika, poput litografije elektronskim snopom kod koje rešetke eksponiraju liniju po liniju. Također, ovom tehnologijom možemo stvoriti i rešetke s bljeskom kod kojih je raspršenje svjetlosti u prvom pozitivnom redu veće u odnosu na prvi negativni red difrakcije zbog svojeg asimetričnog poprečnog presjeka. Upečatljive razlike u kontrastu između pozitivnog i negativnog reda difrakcije rezultat su toga. Ako samo zarotiramo za 180 stupnjeva dovoljno je da tu razliku primijetimo, dok optičke kopije ne mogu prikazati zamjenu kontrasta. Proizvodnju rešetki volumnog tipa možemo smatrati drugom mogućnosti. Stvaranje volumnih struktura vrši se metodom kemijskog jetkanja ili jetkanjem ionskim snopom. Takav proizvod prikazuje jedinstvene i očigledne optičke efekte. Zbog svoje napredne tehnike i složenosti, koju ne možemo dobiti tradicionalnim metodama laserske interferencije i koju ne možemo replicirati optičkim sredstvima, nudi povećanu otpornost na replikaciju. Također, zbog svoje znatno složenije tehnike izvedbe potrebna je oprema puno skuplja od tradicionalne, te znanje za izvođenje koje nije široko rasprostranjeno. [8]

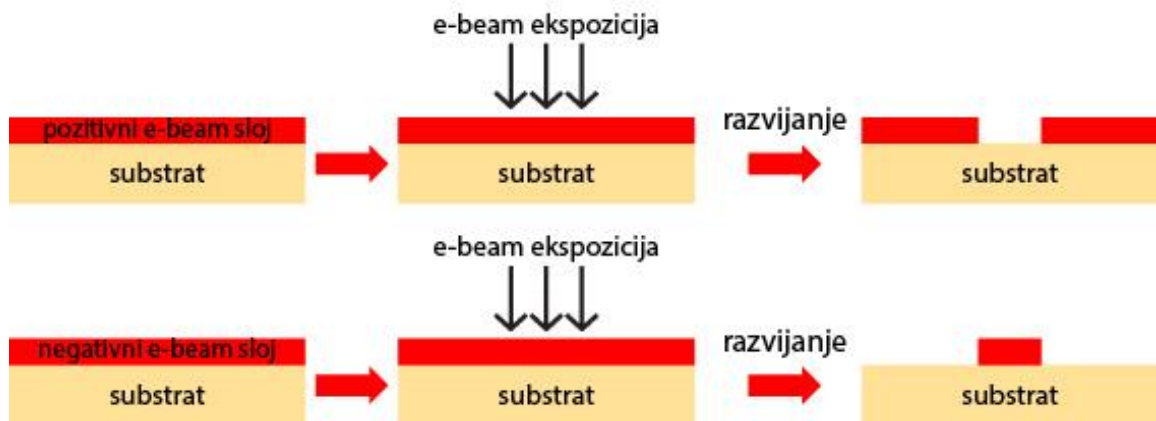


Slika 5 - Sinusni profil (lijevo) i trokutasti (blazed) profil (desno)

## Litografija elektronskim snopom

Što je to litografija? Litografija je grafička tehnika ravnog tiska s kamene ploče. Njezin izumitelj je Nijemac, dramatičar Alojz Zenefelder koji je živio u 18. stoljeću. Autor je tehniku nazvao kemijskim tiskom, a bila je poznata i kao tisak na kamenu. Litografiju je pronašao u potrazi za jeftinijim načinom tiskanja svojih glazbenih i književnih djela.[17]

Litografija elektronskim snopom ili skraćeno elektrolitografijatehnika koja snopom ubrzanih elektrona zapisuje uzorke ispod 10nm na podlogama obloženim rezistima osjetljivim na elektronske zrake. [6] Rezisti ili drugim riječima foto-rezisti su materijali koje koristimo u raznim procesima, takvi materijali osjetljivi su na svjetlost. U slučaju da imamo pozitivni rezist, fotoosjetljivi materijal razgrađuje se svjetlošću i djelovanjem razvijaa uklanjamo taj dio koji je bio osvijetljen, dok s druge strane ako imamo negativskirezist njegov fotoosjetljivi materijal poboljšavamo i ojačavamo svjetlošću, što može dovesti do polimerizacije odnosno umrežavanja materijala. Djelovanjem razvijaa područja koja nisu bila osvijetljena otapaju se, što znači da osvijetljeni dijelovi ostaju na svom mjestu.[18]Najčešća je upotreba takvih materijala koji polimeriziraju izlažući ih visokoenergetskim fotonima i česticama. Različita topljivost izloženih područja omogućuje nam strukturne ili kemijske modifikacije. Prvi materijal bio je polimetilmetakrilat (PMMA), kao rezist pozitivnog tona. Izlaganjem zračenju topljivost se mijenja i možemo selektivno područja rezista ako ga uronimo u odgovarajući razvijaa. Takav princip ima nisku propusnost i visoke je razlučivosti, te time ograničava njegovu upotrebu na foto maske, manje količine poluvodičkih uređaja i služi za istraživanje i razvoj. [6]



Slika 6 - Ilustrirani prikaz rada elektrolitografije snopom ubrzanih elektrona

Elektrolitografski sustav koristi opremu kao i skenirajući elektronski mikroskop (SEM) usmjeravajući nanometarski fokusirani snop elektrona na površinu i time kreira latentnu sliku u sloju rezista. Ako uronimo u odgovarajući razvijatelj rezultat izlaganja može biti da je sloj rezista topljiv ili manje topljiv, odnosno rezist pozitivnog i negativnog tona. Takav uzorak se zatim prebacuje jetkanjem ili se oblaže drugim materijalima.

Podloge kod ovakve tehnike mora zadovoljavati neke od uvjeta. Materijal od kojih je građena mora biti relativno vodljiv, zbog nakupljanja električnog naboja, baza bi trebala biti izolirana kako ne bi došlo do kratkih spojeva. Što nas dovodi do kompromisa koji nam govori da bi materijal trebao biti što bliže izolatoru, a da ne narušava nacrtne sheme. Holografija najčešće koristi staklenu pločicu obloženu metalom koji je pri crtanju uzemljen. [6]

### **2.1.3. DOVID-i prvog reda**

Zajednička karakteristika gotovo svih FOD-ia je optimalno funkcioniranje pod točkastim izvorom svjetla, no dok pri potpuno difuznom izvoru dolazi do spajanja beskonačnog broja slika, te efekti prelijevanja duginih boja nestaju. Također, ako povećamo difuzno svjetlo 3D informacije se potpuno gube, te ako je dubina slikovne ravnine ispod holograma već tad hologram postaje sve više nejasan i neoštar. S toga možemo reći da do toga dovodi nedostatak FOD-a jer se inspekcija sigurnosnih značajki provodi pod raznim uvjetima svjetlosti. Kod kinegrama u kojima imamo ugrađene difrakcijske strukture s bljeskom dolazi do izuzetka jer se optički učinci mogu vrlo dobro promatrati pod difuznim osvjetljenjem. FOD-ovi mogu pokazivati živo prelijevanje boje koje se čini atraktivno, no s gledišta sigurnosne strane takve promjene su teško definirane i nemaju osobit značaj. Sadržaj slike nositelj je relevantne informacije. [6] Dok s druge strane uređaji kod uređaja s nultim redom možemo definirati prikazanu promjenu boje. Jednokanalni tip FOD-a, koji je najjednostavniji, prikazuje samo jednu sliku, a njegov primjer je rainbow hologram golubice na VISA kartici. Višekanalni FOD-ovi pokazuju različite slike u različitim kutovima gledanja, a takvi hologrami za primjer je logotip globusa na MasterCard kartici. Ako želimo nešto malo složenije možemo uvesti kinematičke slike, koje su vektorski

orijentirane i holografske stereografske animacije, koje su orijentirane na vremensku domenu.[8]

### 2.1.3.1.Orijentacija na prostornu domenu

#### 3D Hologram

Obasjavanje 3D holograma određenim svjetlom dobivamo prikaz višedimenzionalne slike sa jedinstvenom značajkom, sposobnost da vidimo scene i boje sa raznih kutova i dubina gledanja, što dovodi do mikrostrukture unutar holografskog materijala uz posljedicu difrakcije svjetlosti koja pada na nju. Takvi hologrami primjenjuju se kao sigurnosne značajke, a spadaju u rainbow holograme. Samo jednokanalni hologrami postaju rijetki zbog njihove lake krivotvorivosti u dobro opremljenim holografskim laboratorijima. [6]

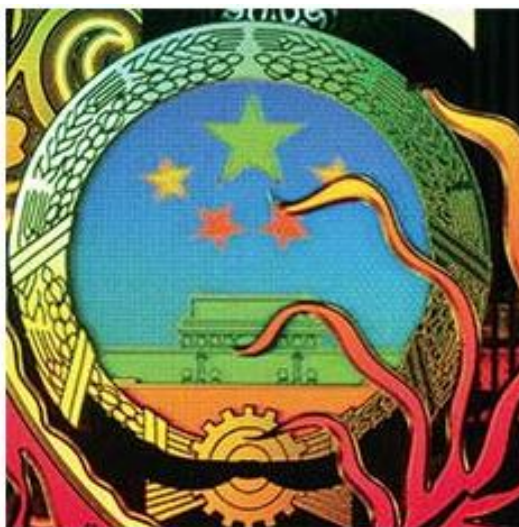


*Slika 7 - 3D hologram*

#### Multiplane hologram ili 2D/3D

Holograme 2D/3D najlakše je opisati preko njihova sastava, a sastoje se od više elemenata, poput slika, linija ili teksta, koji na različitim ravninama pokazuju neki osjećaj dubine i paralakse. U prvom planu uvijek je blještavilo, ispod kojeg je u drugom planu tekst ili logo. Razlika između planova je svega nekoliko milimetara. Ovakvi hologrami nazivaju se multiplane hologrami i veoma su jeftini. Ako difuzno osvjetlimo ovakve holograme slika

na površini bit će oštra, a par milimetara ispod postaje nejasna. S toga u kombinaciji s Dot-matrix hologramima pruža snažnu prepreku krivotvoriteljima, jer sposobnost za krivotvorit kombinaciju ove dvije vrste zahtjeva visoku razinu vještina. [6]



*Slika 8 - Multiplane ili 2D/3D hologram*

## **Elementi 2D tipa**

Najjednostavniji oblik holograma sastavljen je od više većih difrakcijskih elemenata i kolaža, od kojih svaki ima određenu frekvenciju i azimut. Naginjanjem takvih holograma njegov kolaž stvara sliku u svim bojama, te je ravan i nema nikakvog 3D efekta. Najveća primjena je u ambalaži od hrane i pića, više kao estetski efekti nego sigurnosne značajke. Ako želimo elemente 2D tipa koristiti kao sigurnosne vrijednosti onda ih kombiniramo s finim grafičkim detaljima, kinematičkim efektima, animacijama filmova i ponekad jednostavnim optičkim efektima. [8]

### **2.1.3.2. Grafički orijentirani elementi**

Većinom su DOVID-i sastavljeni od više različitih i zasebnih grafičkih elemenata. Svi elementi skupa ili zasebno čine jedan difraktivni element ili se sastoji od niza difraktivnih elemenata i prikazuju kinematički učinak. [8]

Najstarija metoda zaštite novca, vrijednosnica, obveznica i dokumenata je linijska grafika.

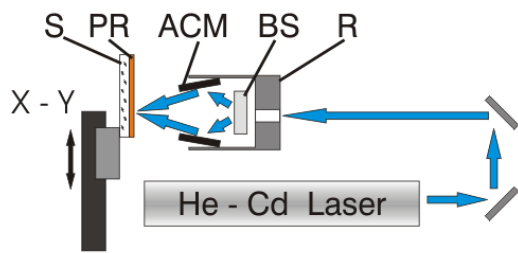


Slika 9 - Linije "guilloshé" (lijevo) i prikaz linija na hrvatskoj kuni

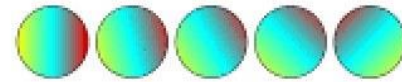
Guilloshé linije sastavljene su od niza linija, rozeta, krivulja ili pak kombinacije tih elemenata visoke razlučivosti, kao što je prikazano na slici iznad, te tvore oblik zaštitne grafike koji generira vrlo sofisticiran softver. Elemente dizajna ovakve tehnike nije moguće replicirati bez originalnog primjerka guilloshé linija (lijevo). Svaki element određen je pomakom boje koji možemo unaprijed dodijeliti i kao takav dovodi do animacije sinkronizirane iluzije. [6]

### 2.1.3.3. Dot – matrix hologrami

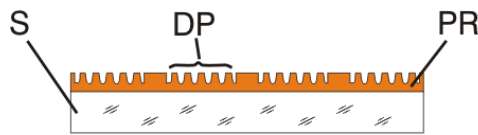
Dot-matrix hologrami su načinjeni od više točaka ili piksela dok je svaka točka individualno eksponirana difrakcijska rešetka. Orijentacija tih točki i period interferentne strukture kontroliraju se računalno te mogu raspršiti čitav spektar svjetlosti u različitim kutovima, a dovode do raznih efekata pri zakretanju ili osvjetljavanju nekih od dijelova slike. Zapisuje se točku po točku upotrebom dviju interferirajućih laserskih zraka s fokusom na fotoosjetljivi materijal koji stvara površinski reljef. Svaka fokalna točka jednake je frekvencije i azimuta. Današnja industrija protiv krivotvorenja koristi ovu tehnologiju i na njoj se temelji zbog svoje visoke razlučivosti do 24000 dpi. Također primjena ovakve tehnologije je i u ambalažnoj industriji zbog svoje visoke učinkovitosti, velikog vizualnog kuta i kinetičkih vizualnih efekata, ponajviše u dekorativne svrhe. Dobro osmišljeni dot-matrix hologram koji daje predivan vizualni efekt, a dinamički efekti nastaju zbog promjena kuta gledanja. Ova tehnika dosta se koristi u izradi lažnih 2D holograma, imitacija daje dosta jasnu sliku 2D holograma zbog čega dovodi do prijatnje na sigurnost 2D DOVID-a. Dot-matrix hologrami imaju iznimno velike detalje i jako sitne točkice. [6]



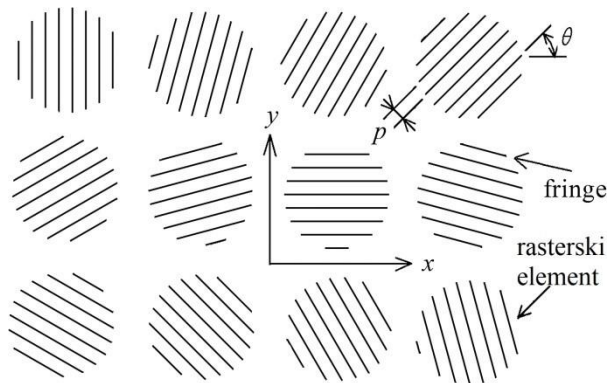
a



Kut gledanja rasterske točke i X, Y položaj se kontrolira odgovarajućim računanim programom



b



Kut interferencije točke kontrollira se optičkom rešetkom

Slika 10 – (Gore lijevo) Postupak izrade dot-matrix hologramske matrice: 1. horizontalni eksperimentalni postav (X-Y – translacijski stalak, S-supstrat, PR-fotorezist, ACM - aluminijska zrcala, BS-razdjelnik snopa, R-motorizirani rotacijski stalak)2.Pregled poprečnog presjeka gotove transparentne površine kod dot-matrix holograma (DP – difraktivi piksel) (Dolje lijevo) Točkaste rešetke dot-matrix holograma,  $p$  – konstanta rešetke,  $\theta$  – orijentacija rešetke

Efekti koji se mogu postići pomoću dot-matrix holograma:

1. Povećavanje i smanjivanje: krug, kvadrat, romb, poligon, riječ, krivulja
2. Efekt kretanja zavjese: jedan smjer ili XY smjer, dva smjera
3. Efekt sedefa: kombinacija kinetičkih pokretnih zraka, nasumična kinetička pokretna traka, poligonalno kretanje zraka
4. Efekt ponavljajuće zrake
5. Projektivni učinak: bez obzira na font, bilo koja riječ
6. Efekt preklapanja: s različitim kutom gledanja, različiti preklopi
7. 3D efekt: tekst, logo, lažni 2D/3D hologram

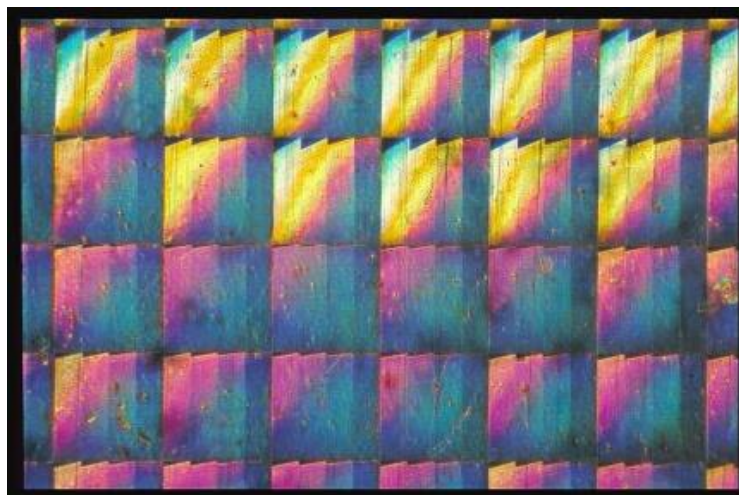
8. Mikrotekst: Slova veličine 0,12mm (1270dpi), a crta slova 0,02mm
9. Efekt slučajne matrice: pod različitim kutovima gledanja neke točkice trepere [5]



*Slika 11 – Prikaz dot-matrix holograma*

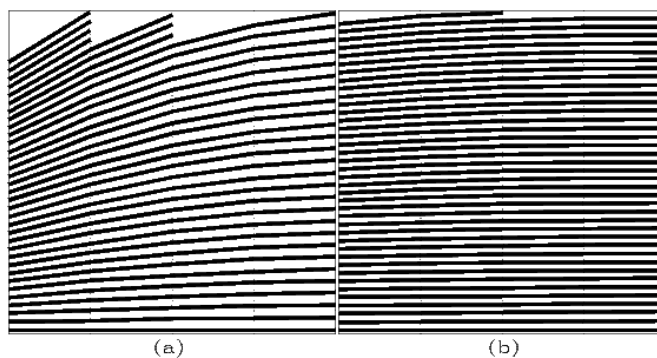
#### **2.1.3.4. Piskelgram**

Hologram sastavljen od matrice koji čine fini pravokutni pikseli kao difraktivni elementi, a izrađuje se pomoću elektrolitografije. Uzorci na hologramu su kvadrati, ali nisu jednolični. Sastoji se od linija varijabilne frekvencije i azimuta. Ako takav hologram promatramo možemo uočiti „svijetle“ i „tamne“ piksele. Generiranjem piksela sa različitim frekvencijama i azimutom interferentnog uzorka stvara se svjetlosna skala koja omogućuje stvaranje neprekinutih tonalnih prikaza. Primjena piskelgrama nije imala veliku ulogu jer ga ubrzo zamjenjuje ekstelgram zbog svoje razlučivosti. Kada bi smanjili sliku morali bi smanjiti i veličinu piksela, što je donosilo nove probleme u ovakvoj tehnologiji. [8]



*Slika 12 - Pregled mikrofotografijepiskelgrama - svaki piksel sastoji se od 4 podsektora*





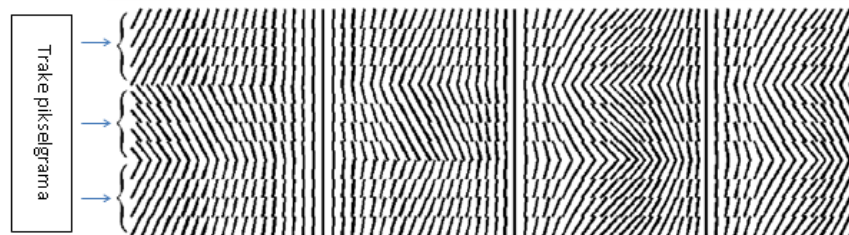
*Slika 13 - Dva tipa rešetkastih linija kod pikselgrama - (a) svijetli piksel - zakrivljene linije, (b) tamni piksel - skoro pa ravne linije*

### **2.1.3.5.Ekselgram**

Ekselgram je nasljednik pikselgrama. Naziv „ekselgram“ dolazi iz korijena riječi „exel“ što znači „eksponirani element“ i pokazuje da se difraktivni elementi unutar njega mogu izložiti temeljnom rezolucijom dostupnom u tehnici elektrolitografije. Ekselgram je linijski usmjeren 2D sigurnosni element. Konstantno napredovanje ovakve tehnologije i nadograđivanje, pa i nastanak novih optičkih efekata mogu lako ostvariti sve želje i potražnje kupaca. Sastavljen je od matrice s velikim brojem manjih difrakcijskih piksela, svaki sa jasnom granicom piksela. Kasnije dolazi do problema kod difuznih raspršivanja s tih granica. Taj problem se riješio zamjenom pojedinačnih piksela trakama kontinuirano povezanih rešetkastih područja. Kao što je televizijski ekran sastavljen od susjednih, paralelnih linija koje se lokalno razlikuju po svjetlini, ekselgram se sastoji od difrakcijskih traka, s prugama interferencije koje lokalno variraju u frekvenciji i azimutu. Širina traka je svega nekoliko desetaka mikrona, no mogu pretpostaviti bilo koju proizvoljnu duljinu ovisno o ekselgramu. Najveća primjena je kod vrijednosnica, a najpoznatija primjena ovakve tehnike je na putničkim čekovima American Express-a. [6]



Slika 14 - American express ček



Slika 15 - Ilustracija tijeka linija u tri trake ekxelgrama

### 2.1.3.6. Kinegram

Kinegram je proizvod koji je po mjeri sličan hodogramu. Sastoji se od difrakcijskih linija orijentiranih u različitim smjerovima. Kinegram može prikazati kinematičke učinke kao što su: ekspanzija, rotacija, translacija, kontrakcija te potpune transformacije jednog grafičkog elementa u drugi, a oni su uzrokovani kombiniranim difraktivnim odzivima povezanih grafičkih elemenata. Kinegramska slika se stvara linijama različite debljine i oblika, a mijenja se ako se promjeni kut svjetlosti pa se stvara učinak pokretne slike ili efekt promjene boje, izmjene kontrasta ili nekog drugog posebnog efekta. [6]



Slika 16 - Transparentni kinegrami kod indentifikacijskih dokumenata

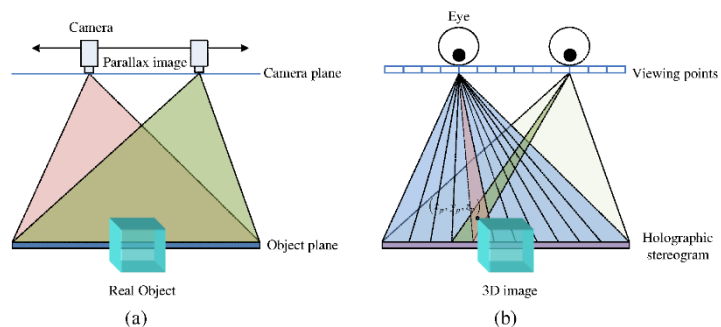
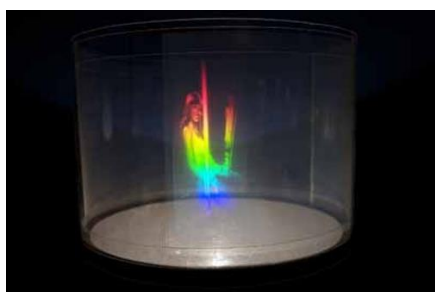


Slika 17 - Djelomično de-metalizirani (lijevo) i metalizirani kinegram (desno)

### 2.1.3.7. Holografski stereogram

Holografski stereogram tijekom okretanja prikazuje kratku 3D kinematografsku animaciju, kao slijed nekoliko (manje od deset ili više od sto) filmskih okvira. Sastoji se od susjednih, optički suženih, vertikalnih podholograma u obliku pukotine, slijeda filmskih okvira. Oko promatra sliku kroz različite proreze i tako vidi sliku pokretnog predmeta pod drugačijim kutom pa se stvara trodimenzionalni dojam.

Za proizvodnju ovakvih stereograma potrebna je složena laboratorijska oprema koja osigurava znatnu sigurnost od krivotvorenja. Moram naglasiti kako je jako teško razviti hologram koji se ne može krivotvoriti. No, tvrtke koje proizvode holograme nastoje krivotvorenje učiniti što težim i skupljim, kako bismo holograme smatrali praktički sigurnom zaštitom. Krivotvorenje je teže uz ovih nekoliko metoda: kao prvo, hologram možemo proizvesti stereografskim postupkom. Pored toga, skrivene informacije koje čovjek ne vidi golim okom možemo snimiti na hologramu korištenjem uređaja za dekodiranje. Informacije kao što su serijski brojevi mogu se provesti u hologram ili proces vrućeg utiskivanja. Također, možemo primijeniti nekoliko manjih holograma umjesto jednoga. Kombinacija ovih nekoliko mjera rezultira sigurnim hologramom, a samim time i težim krivotvorenjem. [8]



Slika 18 - holografski stereogram

### 2.1.3.8. Prilagodljive sigurnosne naljepnice (TamperEvident Security Labels&Stickers)

Prilagodljive sigurnosne naljepnice rade na principu razorivih i ultrarazorivih papira i filmova koji se unište pri pokušaju njihovog uklanjanja te su vrlo snažan faktor odvratanja od krađe. One uključuju zaštitu ormara za datoteke, ulazna vrata i prozora, kutija, omotnica, elektroničkih komponenti i slično. Pomažu pri zaštiti autentičnosti proizvoda jer se tiskaju s identifikacijskim brojevima ili nekim drugim važnim informacijama, a koriste se i kao pečat za pakete jer se ne mogu prenijeti na drugi paket. Ove oznake upotrebljavaju se na različitim higijenskim, kozmetičkim, medicinskim ili prehrambenim proizvodima jer daju dokaz da proizvod nije bio otvoren ili krivotvoren, te ostaje siguran za upotrebu. Razorivi papiri imaju malu gramaturu pa prilikom njihovog uklanjanja dolazi do kidanja u male komadiće, ili imaju veliku debljinu čime dolazi do cijepanja papira u slojeve (delaminacija). Ove oznake prenose ljepilo na površinu prilikom stavljanja na željeno mjesto pa je čišćenje ljepljivog ostatka teže i dugotrajnije. [6]



Slika 19 - Primjer prilagodljivih sigurnosnih naljepnica

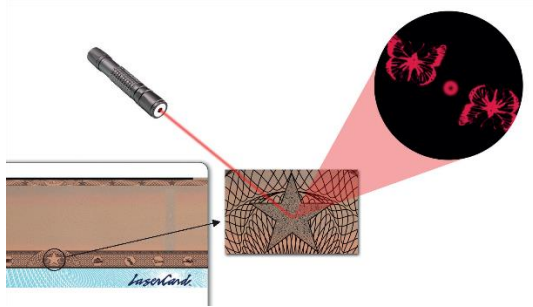
## 2.2. NESKRIVENE I SKRIVENE SIGURNOSNE ZNAČAJKE

Hologram pomaže u izvornosti i zaštiti proizvoda od krivotvorenja i zlouporabe. Sigurnosni hologram ima ugrađene neskrivene i skrivene sigurnosne značajke. Neskrivene sigurnosne značajke se vide golim okom i pružaju bržu vizualnu autentifikaciju, a u njih spadaju:

- HOLOGRAMI 2/3 KANALA – mijenja sliku prilikom pomicanja s desna na lijevo.
- 2D/3D HOLOGRAMI – nisko sigurnosni hologrami čiji se elementi odvajaju i postavljaju u različite slojeve dajući slici osjećaj dubine.

Skrivene sigurnosne značajke se ne vide golim okom pa je za njihovo očitavanje potreban poseban uređaj. Dolaze ugrađene u hologram i pružaju sigurnost koja štiti od izvornosti pojedinu robnu marku. U ove značajke spadaju:

- AEGISTM (Anti-EncryptedGraphicImaging System) – AEGIS je visoko sigurnosni dot-matrix sustav koji koristi točkice različitih veličina i oblika, a stvara holograme koji imaju glatke linije i jako složene lukove i krivulje.
- COVERT LASER READ (CLR) – skriveni tekst ili slika pojavljuje se na papiru s hologramske naljepnice pomoću laserskog pokazivača. [6]



Slika 20 - Skriveni tekst čitljiv laserom „SIE“. Obasjamo li crvenim laserom na neku od holografskih naljepnica njegova refleksija na papir pokazat će nam skriveni tekst.

### **Skriveni difraktivni uzorak (CovertDiffractivePattern)**

Skriveni difraktivni uzorak je siguran i snažan značaj protiv krivotvorenja koji je pripojen u optički sigurnosni medij, pri čemu omogućuje vizualnu OVD sigurnost i strojnu dokazivost autentičnosti, a generira se s više od 20 000 dpi. Master matrica se dobiva procesom stvaranja difraktivne slike iz jednostavnih iscrtanih linija, zatim se slika oblikuje putem Booleovih operacija. Skrivena slika ima vizualni sigurnosni značaj, a oblik vidljiv golim okom (npr. na površini bankovne kartice) ne otkriva sliku sve dok ga ne osvjetlimo laserom zbog čega ima sličnosti s CLR. [6]

### 3. ZAKLJUČAK

Hologram je jedan od najpoznatijih elemenata korištenih u zaštitnom tisku te općenito grafičkoj industriji. Radi se o dvodimenzionalnim površinama koje omogućavaju prikaz pojedinog predmeta s više strana te tako stvaraju dojam trodimenzionalnosti. Ljudi ih susreću svaki dan, no često nisu svjesni njihove prisutnosti.

Kao značajka protiv krivotvorenja prisutni su na različitim vrijednosnicama kao što su bankovne kartice, vozačke dozvole, novčanice i slično, tako što na površini imaju male holografske otiske koji ih štite.

Posebno se koriste u ovu svrhu zaštite iz razloga što ih je tako zahtjevnije krivotvoriti i na taj način odvraćaju krivotvoritelje. U novije vrijeme razvijene su mnoge tehnike korištene za zaštitu ovih visoko vrijednih dokumenata. Budući da su za izradu holograma potrebni posebna oprema i tehnologija, krivotvoritelji obično izbjegavaju proizvode koji su zaštićeni hologramima. Stoga, upotreba hologramskih sigurnosnih uređaja gotovo uvijek jamči autentičnost proizvoda koja je jako važna. Hologrami se zbog svojih jedinstvenih optičkih svojstava brzo i lako provjeravaju.

U radu je prikazan niz trenutnih aplikacija za holograme koji se koriste u cijelom svijetu, čime se htjela pokazati učestalost holograma kao provjerene metode za borbu protiv krivotvorenja i pružanje autentičnosti proizvoda.

Hologrami se koriste na širokom spektru projekata gdje se sigurnosne potrebe kreću od niske do visoke sigurnosti. Neki projekti niske sigurnosti obično koriste komercijalno već dostupne holograme. No, kako se sigurnosne potrebe povećavaju, dodatne prilagodbe uključuju serijske brojeve, prilagođene otiske, prilagođene slike holograma i skrivene sigurnosne značajke.

Sigurnosni hologrami dizajnirani su za borbu protiv krivotvorenja. Njihova jedinstvena optička svojstva da difraktiraju svjetlost i stvaraju virtualne 3D efekte nemoguće je kopirati pomoću skenera ili fotokopirnog stroja. Hologrami difraktiraju svjetlost, a ispis ih odražava.

Hologramske naljepnice također mogu stvoriti jedinstveni i atraktivan dodatak vašoj postojećoj ambalaži i proizvodu. Istraživanja pokazuju da potrošači opažaju veću vrijednost

za proizvode zaštićene hologramima. Potrošači vjeruju da proizvođači koji koriste holograme više brinu o kvaliteti proizvoda koje proizvode.

Na kraju, možemo zaključiti kako su hologrami postali predmet kontinuiranog istraživanja i razvoja, a ako se pravilno primjene predstavljaju snažnu značajku protiv krivotvorenja i održivo rješenje za zaštitu proizvoda i vrijednosnica.



## 4. LITERATURA

1. <http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/pazanin/povijest.htm>(30.07.2020)
2. [http://www.holography.ru/maineng.htm\(01.08.2020\)](http://www.holography.ru/maineng.htm(01.08.2020))(2.9.2020.)
3. Harihan P., (2002). Basics of Holography, University of Sydney
4. Mihaljica D., (2014). Primjena holograma u zaštiti putovnica, Završni rad; Zagreb
5. Saxby G. (2004). Practical Holography 3rd edition, IOP, London
6. Holografija – Radna verzija integral
7. Vacca J. (2001). Holograms & Holography: Design, Techniques, & Commercial Applications, Charles Rivermedia, Inc., Hingham
8. <http://www.holophile.com/history.htm>(23.8.2020.)
9. [http://www.3dimagery.com/build\\_overview.html](http://www.3dimagery.com/build_overview.html)(3.9.2020.)
10. Holography and Holograms - CHARLES RIVER MEDIA - John R. V.
11. [http://www.nli-ltd.com/publications/hologram\\_counterfeiting.php](http://www.nli-ltd.com/publications/hologram_counterfeiting.php) (1.9.2020.)
12. Marić, D., (2019.). Tehnike otiskivanja u zaštitnom tisku, Završni rad; Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu.
13. [http://www.nli-ltd.com/publications/hologram\\_counterfeiting.php](http://www.nli-ltd.com/publications/hologram_counterfeiting.php) (1.9.2020.)
14. Itrić, K.; Modrić, D.: Banknote characterization using the FTIR spectroscopy; Tehnički glasnik, 11 (2017), 3.
15. <https://holographic.website/category/equipment/> (3.9.2020.)
16. <https://www.siskartice.rs/emboseri-za-kartice/> (3.9.2020)
17. <https://velikirecnik.com/2017/02/22/litografija/> (3.9.2020)
18. A Review of Holograms and other Microstructures as Security Features, Rudolf L. van Renesse