

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**GRAFIČKI FAKULTET**

**ZAVRŠNI RAD**

Ana Lešić



Sveučilište u Zagrebu  
Grafički fakultet

Smjer: Tehničko – tehnološki

# ZAVRŠNI RAD

## HOLOGRAMI NA AMBALAŽI

Mentor:

Doc. dr. sc. Damir Modrić

Studentica:

Ana Lešić

## **SADRŽAJ**

1. Sažetak.....	5
2. Uvod.....	6
2.1. Povijest holografije.....	7
2.2. Matematički opis holograma.....	8
2.3. Fizikalni opis holograma.....	9
2.4. Snimanje holograma prema modelu .....	13
2.5. Vrste holograma .....	15
2.6. Materijali za snimanje.....	19
2.7. Mogućnosti koje su hologrami postavili u zaštiti .....	20
3. TISKANI HOLOGRAMI.....	21
3.1. Izrada master holograma.....	21
3.2. Elektrooblikovanje.....	22
3.3. Otiskivanje.....	22
3.4. Dodatni koraci.....	22
3.5. Folija za otiskivanje.....	22
3.6. Proces otiskivanja.....	23
4. RAČUNALNO GENERIRANI HOLOGRAMI.....	25
5. SIGURNOSNI HOLOGRAMI.....	28
6. AMBALAŽA.....	31
6.1. Hologrami na ambalaži kao zaštitni elementi.....	32
6.2. Hologrami kao na ambalaži kao estetski elementi.....	33

7. ZAKLJUČAK.....	36
8. LITERATURA.....	37

## **1. SAŽETAK**

Ambalaža ima zadaću zaštititi proizvod i čuvati ga, ali i što bolje prezentirati proizvod te privući kupca na kupnju. Hologrami su jedan od načina na koji se ambalaža čini zanimljivijom i privlačnijom, a upotrebljavaju se na raznim pakiranjima (od kozmetičkih, higijenskih, prehrambenih proizvoda do igračaka, cigareta, pića itd). Bitna funkcija holograma je i zaštitna, a prednost holograma pred drugim načinima zaštite proizvoda je to što ih je jako skupo i teško krivotvoriti, a time se samom pakiranju povećava vrijednost. Hologrami se na ambalažu mogu otisnuti direktno na materijal ili su u obliku naljepnica, što im omogućava širok izbor materijala na koje će se aplicirati. U ovom radu će se objasniti princip funkcioniranja holograma te njihovog otiskivanja, a zatim primjene na ambalaži.

### **Ključne riječi**

holografija, hologram, zaštita proizvoda, ambalaža

## 2. UVOD

Holografija je jedno od zapanjućih dostignuća moderne znanosti i tehnologije. Jedan od razloga tomu je njihova jedinstvena sposobnost pohranjivanja visokokvalitetne volumetrijske slike stvarnog objekta. U širem smislu, holografiju možemo promatrati kao fotografski proces, međutim, bitna karakteristika koja je dijeli od konvencionalnih fotografskih procesa je činjenica da hologram zapisuje, uz intenzitet, i fazu svjetla reflektiranog sa snimanog objekta. Svaki snop svjetlosti je, zbog valne prirode svjetlosti, karakteriziran svojom amplitudom (intenzitetom) i fazom, te stoga hologram nosi potpunu informaciju o trodimenzionalnoj strukturi snimljenog objekta. Za razliku od konvencionalne fotografije, rekonstrukcijom holograma se reproducira trodimenzionalna kopija snimljenog objekta. Promjenom vidnog kuta promatrača mijenja se i reproducirana slika objekta, koja je zapanjućie stvarna i često u potpunosti identična stvarnom objektu. Sve osobine objekta koje ljudsko oko može vidjeti (veličina, oblik, tekstura, relativna pozicija) se vjerno reproduciraju rekonstrukcijom holograma, no pokušamo li dotanuti rekonstruiranu sliku, vidjet ćemo da je to ipak samo fokusirano svjetlo. [1]

Najčešće korišten način slikanja stvarnosti je fotografija. Fotografija je u osnovi snimka različitih intenziteta svjetlosti reflektirane od objekta i prenešenih preko leće. Međutim, podaci o dimenzijama predmeta sadržane su ne samo u amplitudi (intenzitetu), nego i u fazi svjetlosnih valova. [2]

Velika razlika između holografije i fotografije je snimljena informacij. Ova razlika je razlog zašto su fotografije dvodimenzionalne (2-D) slike, a hologrami trodimenzionalne (3-D) slike. Fotografije sadrže samo jednu točku promatranja objekta. Naše oči zahtijevaju najmanje dva prikaza iz različitih točaka kako bi vidjeli dubinu. Promatranje pomoću dva gledišta na objekt se zove stereoskopski vid. Svako oko dobiva malo drugačiji pogled na mjesto objekta, naš mozak kombinira te dvije slike, a mi percipiramo dubinu. Moguće je zavarati naše oči da vide fotografiju u tri dimenzije uzimanjem dvije neznatno različite točke promatranja objekta i dopuštajući svakom oku da vidi samo po jednu sliku. To je moguće učiniti stereoskopom (za slike) ili polariziranim staklima (za

filmove). Nedostatak stereoskopskih slika je da kad pomičemo položaj glave s jedne strane na drugu ili prema gore i dolje, mi još uvijek možemo vidjeti iz te iste dvije točke gledanja, a zapravo bismo trebali vidjeti kontinuirano mijenjanje točaka promatranja objekta. Slika se stoga ne čini sasvim kao trodimenzionalni prikaz. Da bismo snimili stvarnu trodimenzionalnu sliku, mi moramo snimiti kontinuirani niz slika objekta iz različitih točaka gledišta. [2]

Procjenom veličine objekata s obzirom na oblik i smjer sjene tih predmeta, možemo stvoriti u mozgu pojam o volumetrijskim svojstvima scene, zastupljene na fotografiji. Ali, ako su veličine predmeta identične i nema sjene, volumetrijski sadržaj fotografirane scene se potpuno izgubio. [2]

Holografija je jedini proces vizualnog snimanja i reprodukcije koji može snimiti naš trodimenzionalni svijet na dvodimenzionalni medij za snimanje i reproducirati izvorni objekt ili scenu golim očima kao trodimenzionalnu sliku. Slika pokazuje potpunu paralaksu i dubinsku oštrinu te lebdi u prostoru, bilo iza, ispred ili u ravnini medija za snimanje. [2]

## **2.1. Povijest holografije**

Holografija seže još do 1947. godine i pokušaja mađarsko-britanskog fizičara Dennisa Gabora da poveća moć razlučivanja elektronskog mikroskopa. Svoju teoriju nije dokazao na elektronskom snopu već na valovima svjetlosti. Tako je nastao prvi hologram, prepoznatljiva prezentacija koja je zbog neprikladnog izvora svjetla kojim je Gabor raspolagao bila prožeta mnogim smetnjama i nesavršenostima. Gaborova teorija došla je gotovo 15 godina preuranjeno, te njegovo otkriće nije zaživjelo do ranih šezdesetih godina kada su s otkrićem lasera dva inženjera s University of Michigan (Emmett Leith i Juris Upatnieks) razvila napravu koja je reproducirala trodimenzionalnu sliku objekta. Nastao je prvi *diffuse-light hologram*. Njihovi su hologrami omogućili uvjerljivije trodimenzionalne prikaze zbog prikladnih svojstava laserskog zračenja. [3]

Riječi holografija i hologram (od grčkog *holos* – cijel i *graphein* - pisati) skovao je sam Dennis Gabor, poznat i kao otac holografije, dobitnik Nobelove nagrade za fiziku 1971. godine za svoj izum holografije. [3]

Po izradi prvih trodimenzionalnih holograma mediji su svoj osvrt naslovili: "Rješenje koje traži problem". Pieter J. van Heerden iz Polaroida ponudio je mogući "problem" 1963. godine u vidu pohrane podataka u tri dimenzije. Te su se godine počele nazirati holografske memorije kojima otkrivamo znatne i raznolike mogućnosti upotrebe. Danas je razvoj holografije uglavnom usmjeren prema komercijalnom proizvodu tjeran zasad nepremoštenim problemima ka minijaturizaciji i problemom financijske nepristupačnosti. [3]

## 2.2. Matematički opis holograma

S obzirom da je informacija pohranjena u fotografskoj emulziji zapisana kao posljedica intenziteta svjetlosti, a ne i faze, fotografija je dvodimenzionalni prikaz većih ili manjih intenziteta upadnog svjetla. Kada bi se tim informacijama dodala informacija o fazi, dobili bi jedan stupanj slobode – dojam dubine, tj. slika bi bila trodimenzionalna. Sam fotografski materijal za snimanje je neosjetljiv na fazu svjetlosnog snopa, ali holografija je taj problem riješila osvjetljavanjem materijala dvama odvojenim snopovima svjetlosti, od kojih je jedan objektni (reflektiran od objekta kojeg snimamo) a drugi referentni (nezavisan od objekta kojeg snimamo). Njihovim međudjelovanjem se stvara slika interferencije u mediju za snimanje. [4]

Matematički prikazano, teorija holografije funkcionira na slijedeći način:

Pretpostavimo da je valna fronta objektna zrake na površini filma, u ravnini x-y dana s:

$$a(x,y) = |a(x,y)| e^{-i\varphi(x,y)}$$

Pretpostavimo također da je valna fronta referentne zrake na površini filma, u ravnini x-y, dana s:



$$A(x,y) = |A(x,y)| e^{-i\psi(x,y)}$$

Ove dvije valne fronte interferiraju, a rezultatni intenzitet na površini filma dan je s:

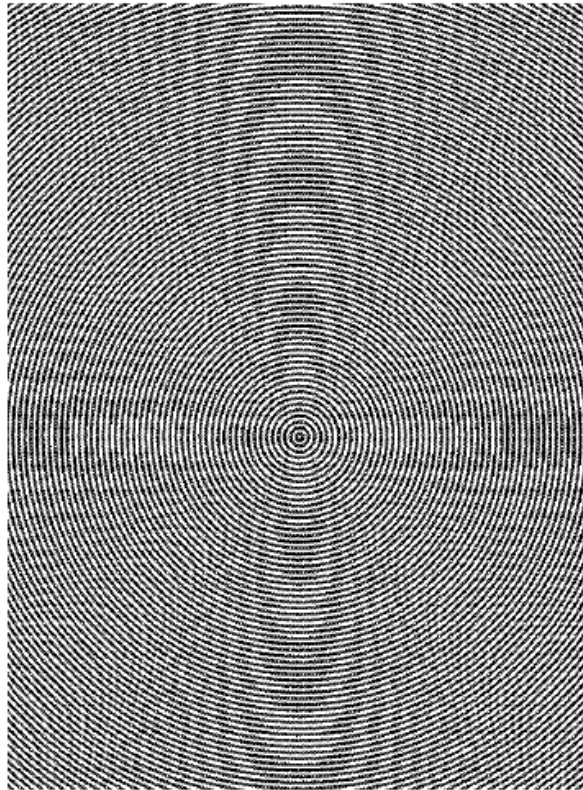
$$I(x,y) = |A(x,y)|^2 + |a(x,y)|^2 + 2|A(x,y)||a(x,y)|\cos[\psi(x,y) - \varphi(x,y)]$$

Prva dva izraza u gornjoj jednadžbi su intenziteti referentnog i objektnog vala, nezavisni o fazi, a treći izraz, ovisan o fazi referentnog i objektnog vala, prevodi razliku u fazi između ove dvije valne fronte u intenzitet. U materijalu za snimanje holograma se snima interferentni uzorak koji formiraju ova dva vala, a nakon razvijanja se slika može rekonstruirati postavljanjem holograma na putanju referentnog snopa. Po ovom opisu se vidi da je upravo referentna zraka presudna razlika između fotografije i holografije, kako u procesu snimanja tako i procesu rekonstruiranja snimljene slike. Referentna zraka je nužna za gledanje snimljene slike, pa se može reći da, za razliku od fotografije koja sliku snima direktno, holografija to čini indirektno, snimanjem interferentnog uzorka objektivne i referentne zrake. Tako do rekonstrukcije dolazi difrakcijom ili refleksijom referentne zrake od interferentnog uzorka. [4]

### 2.3. Fizikalni opis holograma

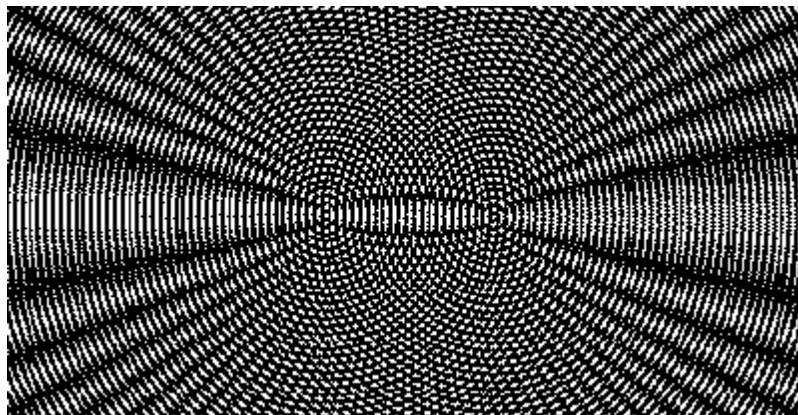
U dvije dimenzije, interferentni uzorak valova koje emitira točkasti izvor, konstantne frekvencije i valne duljine, je niz koncentričnih kružnica. Udaljenost između dviju susjednih kružnica je jedna valna duljina. Uzmimo da svaka kružnica predstavlja brijeg vala. Polovina udaljenosti između dva brijega je dol vala. (slika 1.) [5]

Ako bismo željeli simulirati interferentni uzorak koji nastaje interferencijom dvaju valova iste frekvencije i amplitude, emitirana iz dva izvora, mogli bismo napraviti transparentnu fotokopiju prikaza sa slike 1, staviti ju na tu istu sliku i pomicanjem promatrati rezultate uzorka interferencije. (slika 2.) [5]



*Slika 1. Dvodimenzionalni prikaz valne fronte točkastog izvora, konstantne frekvencije*

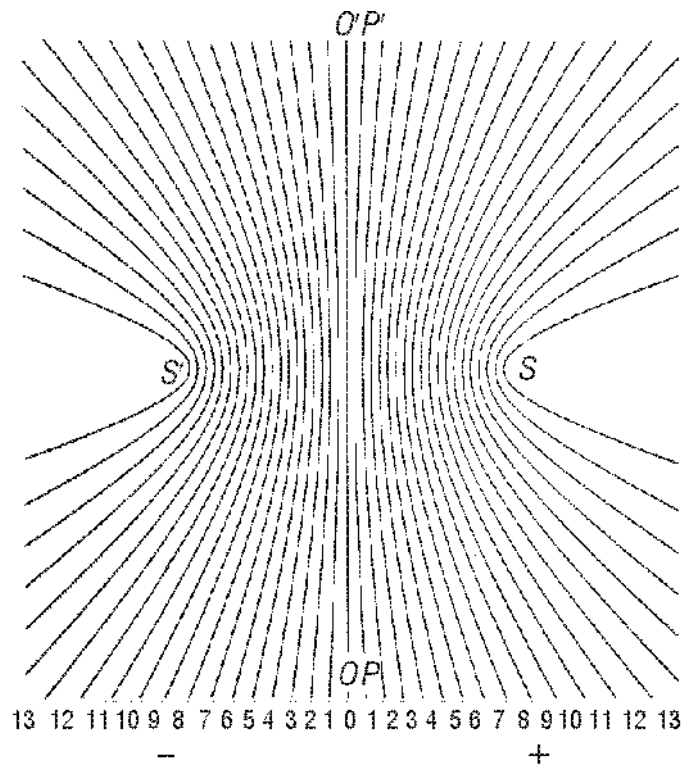
Interferencijom takva dva vala, dobili bismo ovakav uzorak:



*Slika 2. dvodimenzionalni prikaz uzorka interferencije valova iz dva točkasta izvora konstantnih frekvencija. Svi valovi se udaljavaju od svog izvora konstantnom brzinom, a interferentni uzorak u svakom trenutku  $t$  je isti*

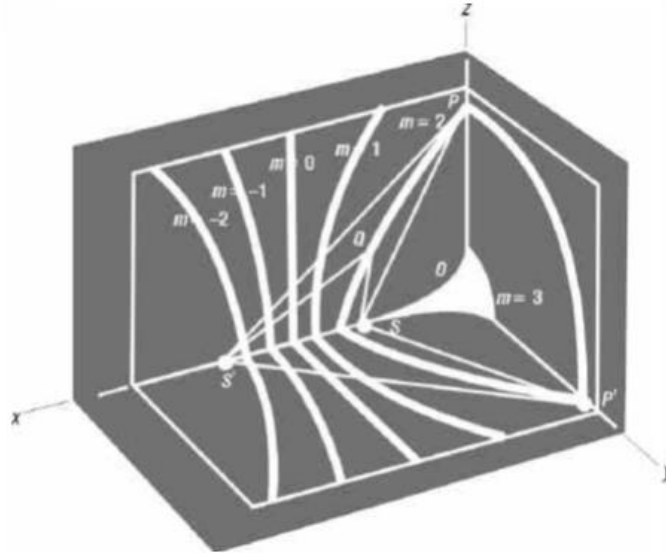
Na slici 2, svijetle površine su mjesta konstruktivne interferencije (podudaranja brjegovu ili dolova valova iz oba izvora – dvostruko veća amplituda nastalog vala), a tamne površine mjesta destruktivne interferencije (preklapanja valova s brjegovima – poništavanje amplituda). [5]

Linije na slici 3 su linije koje povezuju maksimume konstruktivne interferencije – bijela područja sa slike 2.  $S$  i  $S'$  su položaji izvora valova, a pravac  $OO'$  predstavlja mjesto susretanja valova iz oba izvora u fazi, jer prelaze jednake udaljenosti. Taj pravac je nulti red konstruktivne interferencije, odnosno nulti maksimum. Pravac  $PP'$  predstavlja prvi red konstruktivne interferencije, jer su tu valovi iz točke  $S'$  prešli put za jednu valnu duljinu veći od valova iz točke  $S$ . Brojevi ispod linija označavaju brojeve maksimuma, lijevo i desno od nultog. [5]



Slika 3. maksimumi interferencije valova iz izvora  $S$  i  $S'$

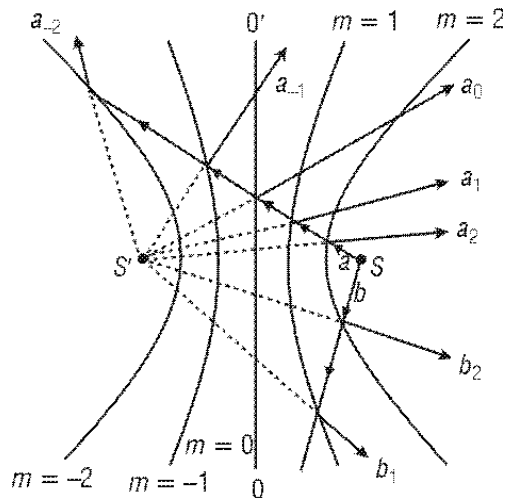
Kada bismo takav interferentni uzorak prikazali u trodimenzionalnom sustavu, dobili bismo slučaj kao na slici 4. Ravna ploha na sredini između izvora  $S$  i  $S'$  predstavlja nulti maksimum, dok su ostali maksimumi hiperbolne ravnine različitih radijusa zakrivljenosti. [5]



*Slika 4. Trodimenzionani prikaz prvih maksimuma interferentnog uzorka valova iz izvora  $S$  i  $S'$*

Promjenom udaljenosti između izvora  $S$  i  $S'$ , mijenja se i prostorna frekvencija (broj maksimuma i minimuma po jedinici dužine – broj linija po mm). Povećavanjem udaljenosti između izvora dobivamo veći broj linija po milimetru, i obrnuto. [5]

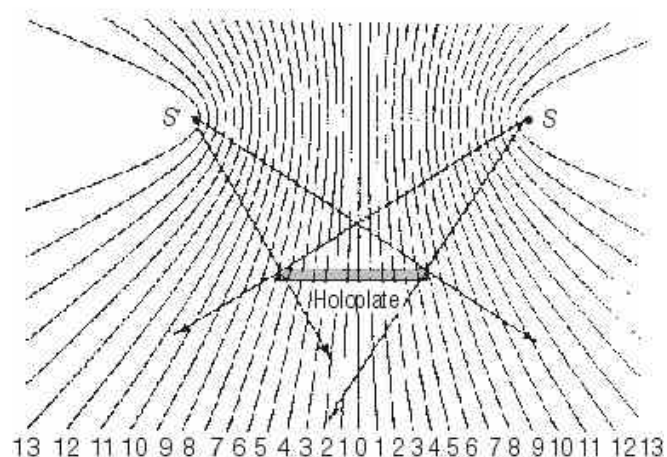
Sada ovakve maksimume zamislimo kao površine nastale rotiranjem danih hiperbola oko osi  $x$  i zamislimo da su te ravnine zrcala. Pravac  $OO'$  je ravno zrcalo, a ostala sferna te su im pridani brojevi maksimuma (od -2 do 2). Zrake svjetla (označene s  $a$  i  $b$ ) iz izvora svjetlosti  $S$  se reflektiraju tako da se čini da dolaze iz točke izvora  $S'$ . Po tome vidimo da je točka  $S'$  zapravo virtualna slika točke  $S$  za bilo koju zrcalnu hiperbolnu površinu. Pomoću ovakvog modela ćemo objasniti karakteristike holograma. [5]



Slika 5. Reflektirane zrake iz točke  $S$  se doimaju kao da dolaze iz točke  $S'$

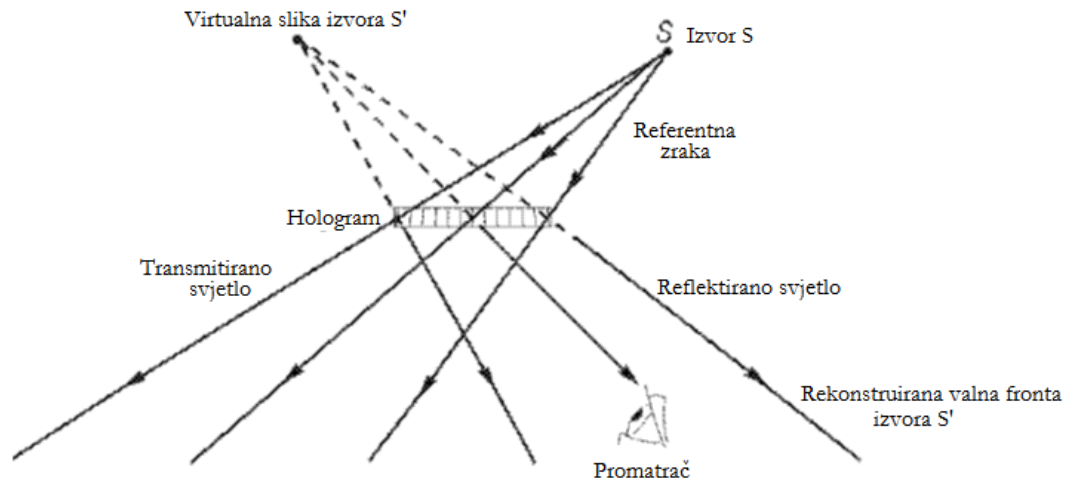
#### 2.4. Snimanje holograma prema modelu

Na slici 6 je prikazana interferencija valova svjetlosti iz izvora  $S$  i  $S'$  u prostoru. Pretpostavimo da je svjetlost iz ovih izvora usmjerena na holografsku ploču s emulzijom na koju snimamo hologram. Interferentni uzorak snimljen unutar emulzije predstavlja dijelove hiperbolnih površina različitih redova interferencije  $m$ . Zbog sfernog oblika ploha koje maksimumi (zrcala) tvore, oni poslani iz točke  $S'$  su nagnuti nadesno, dok su ona iz točke  $S$  nagnuta nalijevo, odnosno, ravnine svakog zrcala su zapravo simetrale kuta koje zatvaraju zrake iz izvora  $S'$  i  $S$  s ravninom holografskog materijala. [5]



Slika 6. svjetlost iz točaka  $S$  i  $S'$  interferira u materijalu za zapisivanje holograma

Osvijetljena i razvijena emulzija se naziva hologram. Snimljene površine u hologramu djelomično reflektiraju, a djelomično transmitiraju i apsorbiraju svjetlost. Ukoliko snimljeni hologram osvjetlimo svjetlom iz izvora  $S$ , a uklonimo izvor  $S'$ , reflektirane zrake će davati virtualnu sliku izvora  $S'$ . [5]



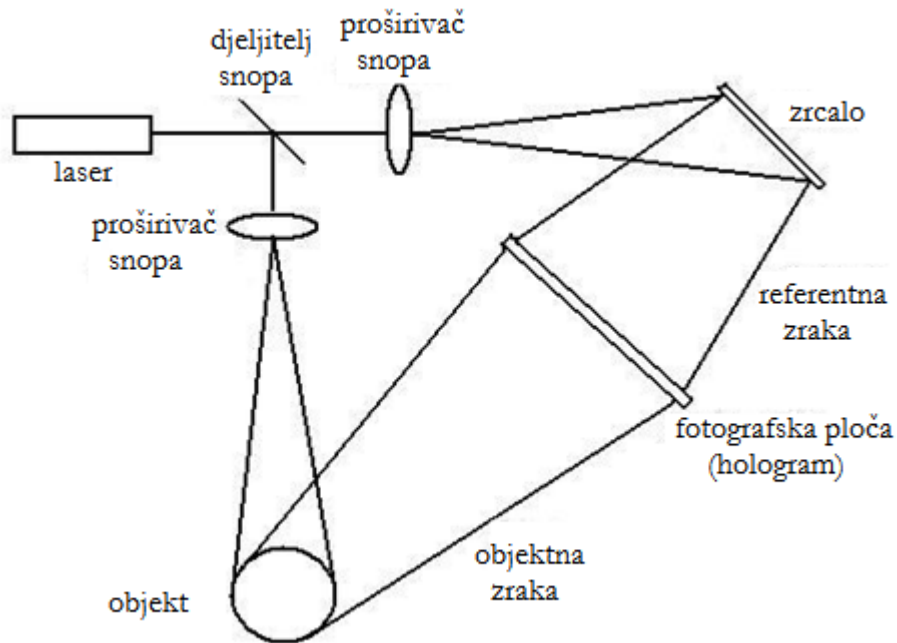
*Slika 7. Rekonstruirana virtualna slika izvora  $S'$  nastala osvjetljavanjem holograma izvorom  $S$*

Svjetlost iz izvora  $S$  je referentna zraka, a ona iz izvora  $S'$  objektna zraka (izvor  $S'$  je objekt kojeg snimamo i promatramo). Ukoliko više točkastih izvora smjestimo u neposrednu blizinu izvora  $S'$ , svaki od njih će formirati jedinstveni interferentni uzorak s izvorom  $S$  te biti snimljen u emulziji. Ako točkasti izvor zamijenimo trodimenzionalnim objektom te ga osvjetlimo svjetlom konstantne frekvencije, iste kao i kod referentne zrake, unutar emulzije ćemo dobiti hologram trodimenzionalnog objekta. [5]

## 2.5. Vrste holograma

Postoje dvije osnovne vrste holograma, podijeljeni po načinu snimanja i rekonstrukcije, a to su refleksijski i transmisijski hologrami.

1) **Refleksijski hologrami** formiraju sliku reflektiranjem zrake svjetlosti od površine holograma. Ovakvi hologrami su visokokvalitetni, no skupih zahtjeva proizvodnje. [6]

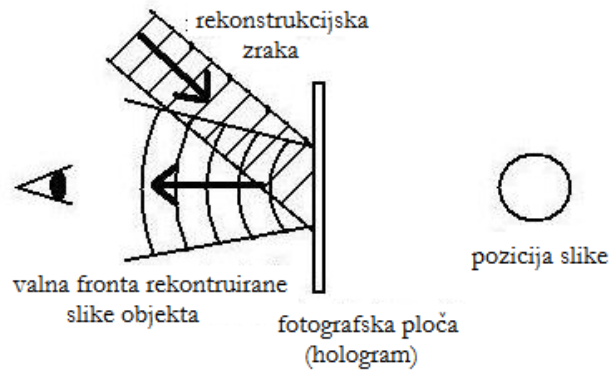


Slika 8. Shema snimanja refleksijskog holograma

Laser je izvor koherentne svjetlosti. Zraka svjetlosti dolazi do djelitelja snopa, koji je polurefleksirajuća ploča koja dijeli zraku na dvije: objektnu i referentnu. Objektna zraka se proširuje pomoću širitelja snopa (ekspandera) te se reflektira s objekta i projicira na fotografski materijal. Referentna zraka se također proširuje te se reflektira od zrcala i obasjava fotografski materijal. Objektna i referentna zraka se susreću u fotografskom materijalu i stvaraju interferentni uzorak. [6]

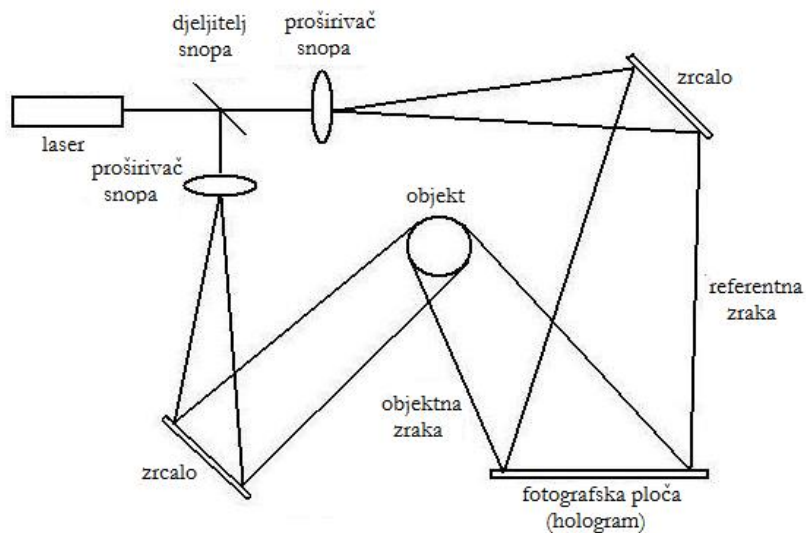
Važno je to da zrake dolaze s različitih strana fotografskog materijala.

Pri rekonstrukciji refleksijskog holograma, rekonstrukcijska zraka ima ulogu referentne – rekonstruiranje valne fronte slike objekta. Rekonstrukcijska zraka mora biti pozicionirana pod istim kutom kao i referentna pri snimanju faze. [6]



*Slika 9. Rekonstrukcija refleksijskog holograma - virtualna slika izgleda kao da je iza holografskog materijala jednako kao što je bio objekt*

2) **Transmisijski hologrami** formiraju sliku transmitiranjem zrake svjetlosti kroz holografski materijal. Ovakvi hologrami se masovno proizvode jer imaju jeftinije zahtjeve proizvodnje. Tiskani hologrami (rezbareni ili *embossed*) su transmisijski hologrami sa zrcalnom (metaliziranom) podlogom. [6]



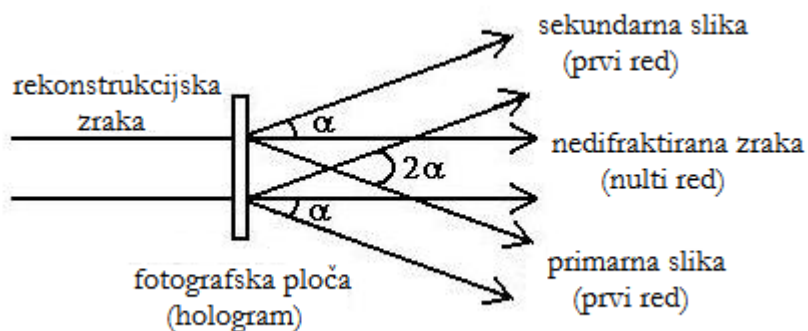
*Slika 10. Shema snimanja transmisijskog holograma*



Kao i kod refleksijskih holograma, korišteni su laser kao izvor koherentne svjetlosti te ekspanđeri i djelitelji snopa. Nakon što objektna zraka prođe kroz djelitelj snopa, svjetlo se reflektira sa zrcala na objekt te dalje s objekta na fotografski materijal. Referentna zraka se također reflektira sa zrcala na fotografski materijal, gdje s objektom stvara interferentni uzorak. U ovom slučaju zrake obasjavaju materijal s iste strane. [6]

Pri rekonstrukciji transmisijskog holograma se koristi rekonstrukcijska zraka, koja je opet pozicionirana jednako kao i referentna u snimanju. Kad je rekonstrukcijska zraka postavljena pod pravim kutom, tri zrake svjetlosti prolaze kroz hologram:

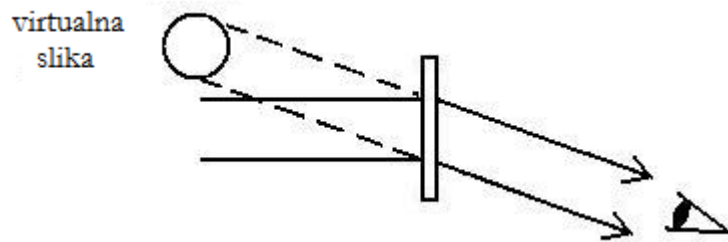
- prva nedifraktirana zraka (nulti red difrakcije) koja prolazi direktno kroz hologram, ali ne proizvodi nikakvu sliku
- druga zraka formira primarnu (virtualnu) sliku (prvi red difrakcije), a difraktirana je pod istim kutom kao i dolazeća objektna zraka korištena tijekom snimanja
- treća zraka formira sekundarnu (realnu) sliku (prvi red difrakcije) [6]



Slika 11. Rekonstrukcija slike transmisijskog holograma

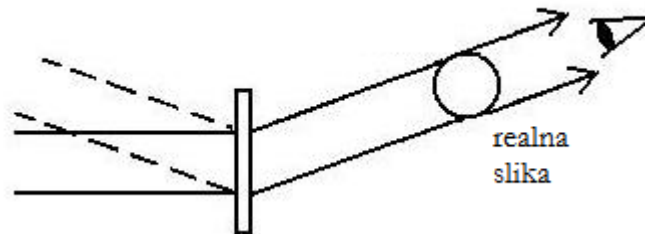
Kao što je vidljivo sa slike 11, formirane slike su difraktirane pod istim kutom,  $\alpha$ , od nedifraktirane zrake. Kut između zraka koje formiraju vidljive slike je dvostruko veći,  $2\alpha$ . [6]

Ako pogledamo u hologram pod kutom primarne slike, vidjet ćemo virtualnu sliku objekta smještenog iza holograma:



Slika 12. Rekonstruiranje virtualne slike (primarna slika)

Također, ako hologram pogledamo pod kutom sekundarne slike, vidjet ćemo realnu sliku objekta smještenog ispred holograma: [6]



Slika 13. Rekonstruiranje realne slike (sekundarna slika)

Osim navedenih, postoji još nekoliko vrsta holograma:

- Hologrami s nekoliko slika: u holografskom materijalu je pohranjeno nekoliko slika, svaka vidljiva pod različitim kutom gledanja
- Multipleksirani hologrami: sadrže mnogo pojedinačnih slika, obično korišteni za trodimenzionalni prikaz objekta, prikaz istog 2D objekta u mnogo različitih boja ili za dočaravanje gibanja 2D objekta
- Hologrami u boji: ista slika prikazana u drugoj boji prilikom mijenjanja kuta gledanja [3]

S obzirom na mogućnosti ovakvog zapisivanja informacije koju je teško reproducirati bez potrebne skupe i zahtjevne opreme, holografija je poslužila kao dobar način zaštite proizvoda.

## 2.6. Materijali za snimanje

Materijali za snimanje holograma moraju udovoljiti nekim zahtjevima, a posebno:

- moraju imati visoku optičku kvalitetu – kao i ostali optički elementi kroz koje svjetlost prolazi tijekom snimanja, dijelom zbog pojave unutarnjeg raspršenja svjetla u strukturi materijala
- visoki dinamički raspon – jakost očitnog signala iz holograma je obrnuto proporcionalna kvadratu broja snimljenih holograma unutar materijala; dinamički raspon nekog materijala je veći što se više holograma može zapisati u isti volumen tog materijala
- visoka osjetljivost – s većom osjetljivošću materijala, potrebna je kraća ekspozicija za veću promjenu optičkog svojstva materijala
- stabilnost – prije svega geometrijska, ali i svih ostali svojstava pri radnim uvjetima [3]

Materijali za snimanje holograma mogu se podijeliti u nekoliko skupina:

### 1. Fotografske emulzije

Fotografske emulzije su sastavljene od želatinske mase u kojoj su dispergirana zrnca srebro-halogenida. Emulzijski sloj je difuzno optičko sredstvo kroz koje svjetlosne zrake prolaze, raspršuju se i osvijetljavaju zrnca srebro-halogenida. Potopljen u vodu emulzijski sloj nabubri, što omogućava kasnije kemijske reakcije u sloju, proces razvijanja i dobivanja vidljive slike.

### 2. Fototermoplastični materijali

Fototermoplastični materijali imaju veliku osjetljivost u cijelom dijelu spektra, a snimanje holograma se temelji na suprotnim nabojima, pa se ploča po želji može obrisati i ponovno snimiti. Nedostatak im je potreba za kompleksnom aparaturom za nabijanje i razvijanje.

### 3. Fotorefrakcijski kristali

Snimljeni hologram je odmah vidljiv, a moguće ga je izbrisati jednolikim osvjetljavanjem. Imaju veliku korisnost difrakcije, kapacitet spremanja, osjetljivost i reverzibilnost, ali im je nedostatak brisanje snimljenog holograma kontinuiranom rekonstrukcijom. [23]

#### **2.7. Mogućnosti koje su hologrami postavili u zaštiti**

Transmisijski hologrami su postavili mogućnosti za nekoliko učinkovitih i isplativih metoda zaštite proizvoda:

- duginu (*rainbow*) holografiju koja je eliminirala potrebu za monokromatskim izvorom svjetlosti, kao što je laser
- proizvodnju holograma u fotoosjetljivoj smoli, *fotorezista* koji su nosioci plošnog reljefa fazne rešetke
- hologram rezbarenje (*embossing*) koji je omogućio masovnu replikaciju površine plošne rešetke
- nanošenje tankog reflektivnog sloja na rezbarenu površinu kako bi transmisijski hologram pretvorio u refleksijski [7]

### **3. TISKANI HOLOGRAMI**

Otiskivanje holograma pokazalo se kao najisplativiji i najpopularniji način njihovog masovnog umnožavanja. Cijena proizvodnje je toliko niska da se oni danas upotrebljavaju i na prehrambenoj ambalaži i ukrasnim folijama za omatanje. Danas se proizvode holografske slike i difrakcijske rešetke širine i veće od 150 cm, a brzina otiskivanja iznosi i do >30 metara u minuti. [8]

#### **3.1. Izrada master holograma**

Proces počinje snimanjem transmisijskog holograma vidljivog samo pod laserskim osvjetljenjem, koji se zatim „kopira“, a kao rezultat toga nastaje bijeli (volumni) refleksijski hologram, vidljiv na bijelom svjetlu. Bijeli volumni hologram se snima kao kontrolna faza, radi kontrole kvalitete snimljenog transmisijskog holograma. U procesu „kopiranja“ se zapravo snima hologram holograma, na način da se prvobitno snimljeni hologram okrene za 180°, kako bi se realna slika koja nastaje njegovom rekonstrukcijom projicirala na holografsku ploču na koju kopiramo hologram. Ukoliko je sve u redu, snima se bijeli transmisijski hologram u fotorezistu (master hologram), vidljiv pod bijelim svjetlom. Bijeli transmisijski hologram je također hologram holograma, jer on nastaje snimanjem kroz pukotinu transmisijskog holograma snimljenog u prvom koraku, čime se gubi dio informacije, odnosno vertikalna paralaksa holograma. Razlog tomu je prefini interferentna struktura bijelog transmisijskog holograma pa se snimanjem kroz pukotinu smanjuje prostorna frekvencija holograma, odnosno, razmak između interferentnih pruga. Time se omogućuje izrada metalne kopije reljefa fotorezista, procesom elektroblikovanja. S obzirom da naša percepcija zanemaruje vertikalnu paralaksu, ona nam i nije bitna. [9]

Tehnike izrade master holograma se različito nazivaju: 2D/3D, Dot Matrix, E-beam, Lidogram. Svaki master hologram je skup mikroskopskih brijegova i dolova na površini ploče s fotorezistom. Slijedeći korak je prenošenje takve strukture na metalni alat kojim će se otiskivati. [11]

### **3.2. Elektrooblikovanje**

U procesu elektrooblikovanja se na snimljeni fotorezist elektrokemijski nanosi sloj nikla te na taj način nastaje tzv. matrica 1. generacije. Nastala matrica se uklanja sa fotorezista, pri čemu se snimljeni hologram trajno uništava te se na matricu 1. generacije ponovno procesom elektrooblikovanja nanosi sloj nikla, čime se dobija matrica 2. generacije, a ona služi kao tiskovna forma u procesu otiskivanja holograma. Od jedne matrice 1. generacije se dobije 10 matrica 2. generacije od kojih svaka daje 20-30 000 otisaka. [9]

Nakon elektrooblikovanja se matrica brusi te odvaja od nosača. [8]

### **3.3. Utiskivanje (Embossing)**

Pločice od nikla se montiraju u strojeve za otiskivanje. Prilikom utiskivanja se s površine pločice od nikla prenosi reljef na površinu tanke metalizirane poliesterske folije, uz optimalnu primjenu temperature i tlaka, čime se prenosi višebojni trodimenzionalni dojam holograma. [12]

### **3.4. Dodatni koraci**

Nakon utiskivanja, po potrebi se otisnuta folija može premazati ljepjivim premazom na bazi vode ili otapala te sušiti, nakon čega se laminira silikonom s površine prijenosnog papira, čime se dobiva laminirana rola. [12]

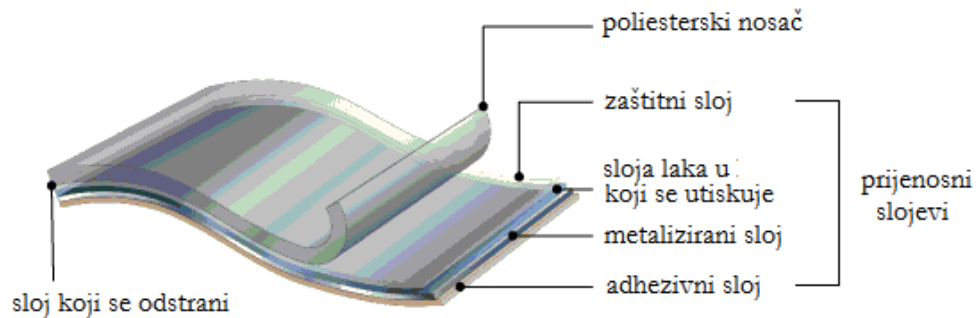
Ukoliko je potrebno, folija se može rezati na željene formate ili određene oblike, obrezivati se sa strane ili se s laminirane folije mogu separativno izrezati neotisnuti dijelovi kako bi odvajanje laminiranog holograma s prijenosnog papira bilo lakše. U tom slučaju su to hologramske naljepnice. [12]

### **3.5. Folija za otiskivanje**

S obzirom da se hologrami ne mogu otisnuti na običnom papiru, otisak se izrađuje na slojevitim folijama.

*Hot stamp* folije se sastoje od poliesterskog nosača na kojem se nalazi razdvojni sloj (najčešće vosak), uskog spektra temperatura tališta. Na taj sloj je

naneseno nekoliko slojeva laka, koji štiti foliju, ali je ujedno i sloj u kojem se stvara deformacija pod utjecajem povišene temperature i mehaničkog pritiska, odnosno, medij u kojem je utisnut hologram. Metalizirani sloj je najčešće aluminijski, rjeđe se koriste krom i zlato. Takav sloj služi reflektiranju svjetlosti s površine holograma. Na metaliziranom sloju se nalazi adhezivni sloj koji će osigurati vezanje metalnog i otisnutog sloja za tiskovnu podlogu. [13]

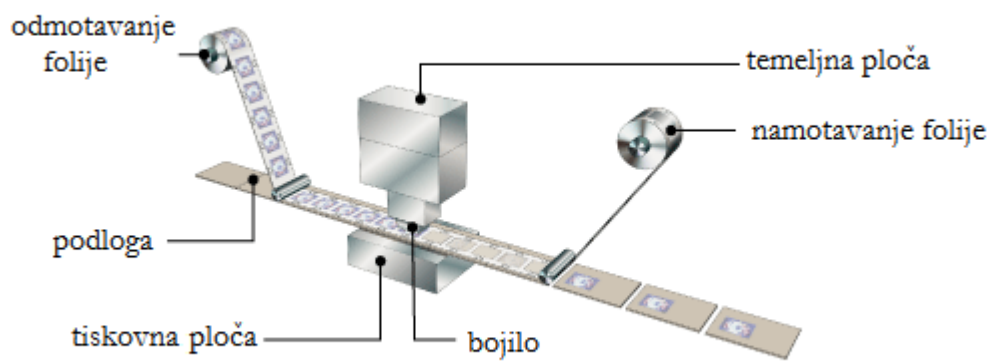


*Slika 14. Sastav folije za vruće otiskivanje*

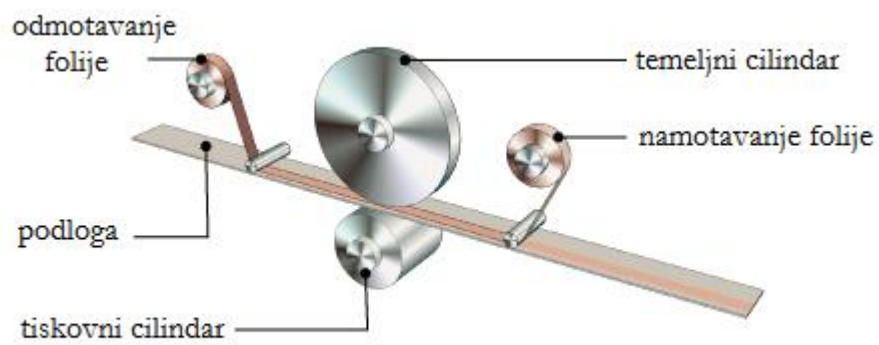
### **3.6. Proces otiskivanja**

Otiskivanje na tiskovnu podlogu se ostvaruje mehaničkim pritiskom pri povišenoj temperaturi klasičnim knjigotiskarskim strojevima. Ovisno o količini naklade i zahtjevima preciznosti, koriste se sustavi ploča-ploča ili cilindar-cilindar.

Pritiskom ploče o ploču, hot stamp folija se otiskuje na podlogu diskontinuiranim pomacima zagrijane matrice koja određuje oblik otiska, pa se ovakvi sustavi koriste za otiskivanje koje iziskuje visoku preciznost, dok će se sustav s cilindrima koristiti u kontinuiranoj proizvodnji koja ne zahtijeva veliku preciznost. [13]



a)



b)

Slika 15. Strojevi za otiskivanje folijom: a) ploča-ploča; b) valjak-valjak



#### 4. RAČUNALNO GENERIRANI HOLOGRAMI

Računalno generirani hologram (CGH – *computer generated hologram*) razlikuje se od onog optičkog prvenstveno činjenicom da je računalo u stanju dizajnirati hologram nepostojećeg, sintetičkog ili virtualnog objekta, a rad difraktivnog optičkog elementa (DOE – *diffraction optical element*) može biti optimiziran matematički, bez potrebe za eksperimentom. Budući da je djelovanje CGH temeljeno na difrakciji svjetlosti, ovo polje se također naziva difraktivna optika. Njegova bit je kontrola optičkih polja po mikrostrukturiranim medijima. DOE je optički uređaj čija površina (mikroreljef) ima visinu usporedivu s valnom duljinom svjetla koje se koristi. DOE se može koristiti u transparentnom obliku ili kao reflektirajuće zrcalo. [14]

Cilj digitalne holografije je da se formira distribucija svjetla u promatranoj (ili rekonstrukcijskoj) ravnini. Postoje mnoge uspješne primjene u naprednim znanstvenim i tehnološkim područjima, kao što su optička litografija i fotonska manipulacija česticama (optička pinceta). Leće, zonske ploče, difrakcijske rešetke, iluminatori, kinoformi i fazni prostorni filtri su drugi primjeri DOE-a. [14]

Računalno generiranje holograma koristi teoriju valne prirode svjetlosti i matematički opis objektnih i referentnih valova. Superpozicija tih valova se može u svakom trenutku izračunati za dobivanje isprepletenog hologramskog uzorka. Za izradu računalo generiranog holograma nije potrebna prisutnost fizičkog objekta. [15]

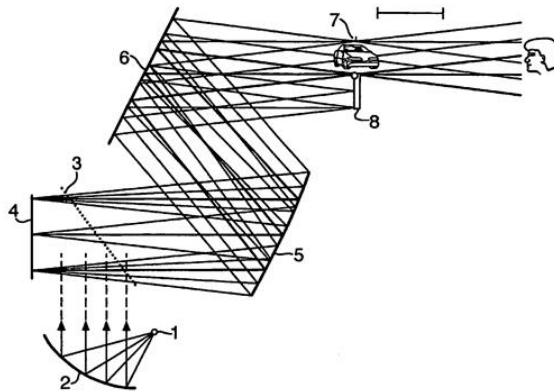
Faze izrade računalo generiranog holograma:

- izrada matematičkog modela predmeta
- izračunavanje matematičkog holograma (niz kompleksnih brojeva predstavlja amplitude i faze hologramskog uzorka)
- kodiranje matematičkih holograma kako bi se mogli zapisati na fizičkom mediju
- konstruiranje računalo generiranog holograma [16]

Za računalno generiranje holograma se koristi proces stereograma, koji počinje s nizom fotografija. Svaki računalni model se renderira, rotira i animira iz kadra u kadar. Renderirane slike se zatim snimaju na fotografski film, okvir po okvir na kontinuiranu rolu filma. Fotografski dijelovi se onda mogu pretvoriti u hologram u tri boje, što uključuje postupak od dva koraka. Pisač stereograma velikog formata obavlja prvi korak. Koristeći lasersko osvjetljenje, pisač bilježi svaki fotografski okvir u tanke trake holografske slike, jednu za drugom, "gradeći" hologram s lijeva na desno. To je računalno upravljani proces koji traje i do 10 sati. Rezultat je vidljivi laserski master hologram. Za holograme u boji se snimaju tri mastera, svaki za jednu boju završnog holograma. Masteri sadrže sve informacije o slici, ali ih je teško čitati. [24]

Hologram prikaz ili prijenos se sada izrađuje iz mastera. Sva tri mastera su osvijetljena laserskim svjetlom u laboratoriju, tako da se sve slike fokusiraju u prostoru. Položaji mastera pažljivo su prilagođeni registru, ili gnijezdu, 3-D slika jednih unutar drugih. Zatim se radi novi prijenos holograma na točno određenoj žarišnoj točki, oko 1,5 metara od mastera. Ovo je hologram holograma, slike mastera koje djeluju kao subjekti za prijenos. Nakon obrade, prijenosni hologram je vidljiv pod običnim bijelim svjetlom, a slike su u živim bojama i u živopisnom 3-D prikazu, rotirajući se i animirajući u skladu s promjenom položaja promatrača. [24]

Reprodukcija holografske slike je prikazana na slici 16. Svjetlost iz izvora (1) dolazi do zrcala (2), koje ga usmjerava prema raspršivaču svjetlosti (3) s kojeg se reflektira na površinu SLM-a (4) (*spatial light modulator*) koji prikazuje računalno generirani hologram. Zrcala (5 i 6) reflektiraju dalje svjetlost sa SLM-a prema području u kojem je slika (7) vidljiva, a u kojem se istodobno stvara i konjugirana slika (8). [16]



*Slika 16. Reprodukcijska holografske slike pomoću CGH-a*

SML je zapravo LCD ekran koji modulira svjetlosnu zraku podacima koji se snimaju. Ti podaci su prikazani kao pikseli koji mogu biti uključeni ili isključeni. [16]

Posebnim tehnologijama digitalnih (CGH) holograma i 2D/3D tehnologijama, logotip ili grafika se mogu inkorporirati u holografske uzorke. Pomoću kompjuterskog programa za animaciju može se izraditi i animirani 3D hologram. [17]

Hologrami koji sadrže vektorsku i pixel grafiku sa posebno dizajniranim rasterskim oblicima, potpuno su nova metoda zaštite u tisku. Primjena specijalno dizajniranih rastera može biti veoma široka. Mogu se dizajnirati posebni oblici rasterskih elemenata, različitih linijatura i kutova, upravo na hologramima jer postižu rezoluciju od 250.000 dpi, u više razina. Iz različitih kutova gledanja može se vidjeti slika u različitim rasterima, visoke i niske linijature, s posebnim naglaskom na izdvajanje detalja. To se uočava kada se kut gledanja mijenja vodoravno (slijeva na desno) ili okomito (pomicanjem gore dolje). [17]

## 5. SIGURNOSNI HOLOGRAMI

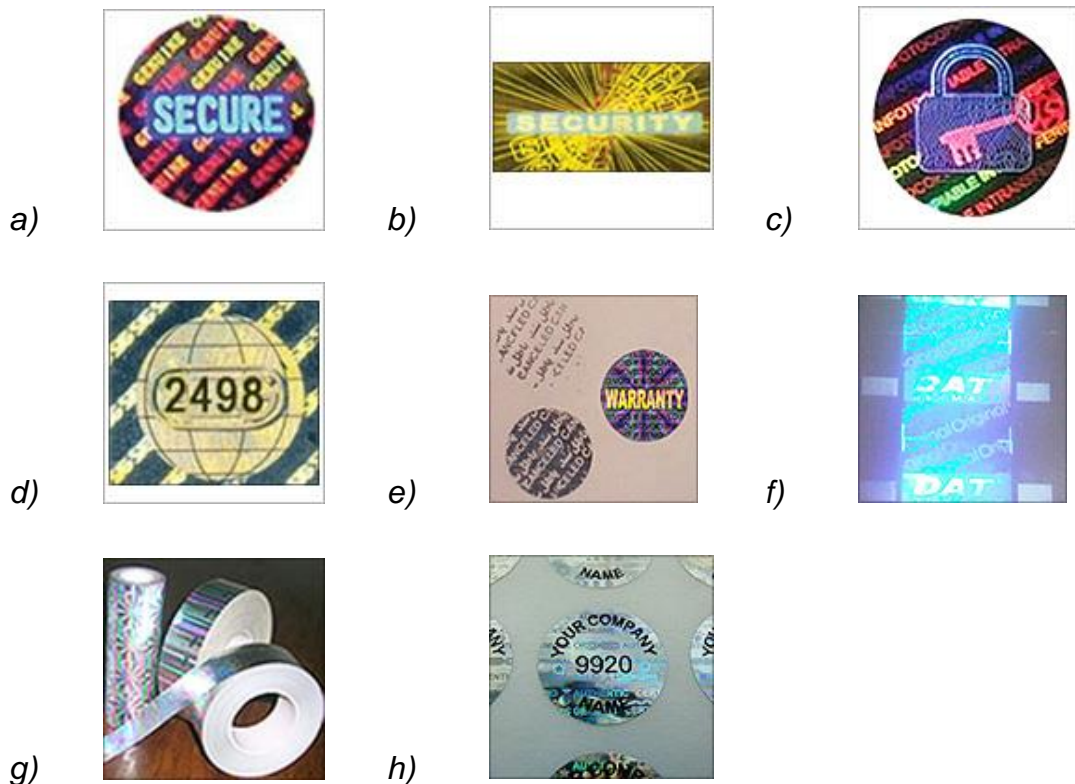
Sigurnosni hologrami su jedan od načina pružanja najviše razine sigurnosti proizvoda, ambalaže i dokumenata, kako za proizvođače, tako i za potrošače. Samoljepljive sigurnosne hologramske naljepnice i identifikacijski hologrami imaju zadaću pružiti sigurnost, autentikaciju i zaštitu od krivotvorenja. Proizvodni procesi koriste najnovije sigurnosne tehnologije i tehnike, čime je gotovo nemoguće za krivotvoritelje stvoriti lažne proizvode ili krivotvoriti dokumente zaštićene hologramima. Odluka tvrtki da integriraju sigurnosne holograme sustav u svoju liniju proizvoda je pozitivna marketinška odluka i dobar gospodarski izbor. To je odluka koja osigurava jedini pravi proizvodi i robu koja se prodaje i kupuje, usto, čini krivotvorenje težim i manje vjerojatnim. [19]

Budući da su već vrlo cijenjeni zbog sigurnosti, hologrami brzo postaju jedini način za zaštitu od krivotvorenja.

Vrste sigurnosnih holograma:

- 2D / 3D hologram - sastavljen od više dvodimenzionalnih slojeva s hologramskim slikama vizualno postavljenim jedna iza druge, s vizualnom dubinom, proizvodeći učinak trodimenzionalne hologramske strukture.
- Dot-Matrix hologram - dozvoljava stavljanje neograničenog broja računalno generiranih točkica na hologram. On je rezultat dizajna koji se sastoji od mnogo sitnih točkica, a svaka točkica ima svoju gradaciju boje te stvaraju dojam promjenjivih slika
- Flip-flop Hologram - ima svojstvo da se iz različitih kuteva gledanja vide dvije različite slike, mijenjanjem kuta gledanja lijevo-desno ili gore-dolje.
- Transparentni hologram – na prozirnoj foliji, primjenjuje se na dokumentima ili vrećicama. Slika ili tekst ispod holograma su čitljivi unatoč hologramskoj slici.
- Mikrotekst ili slika u hologram – promatraju se povećalom.

- Serijski broj na hologramu – numeracija je posebni zaštitni element, što se primjenjuje protiv krivotvorenja
- Tekst ili slika čitljivi pod laserskim svjetlom – skrivene slike i tekstovi u hologramu su posebna vrsta zaštite, čitljive pomoću lasera
- Hologrami za vruće otisivanje folije - može se prenijeti na razne materijale kao što su papir, umjetna koža, tkanine, metal i plastika. Koristi se za sve vrste pakiranja proizvoda, čestitke, darove, pribor, kalendare, omote knjiga, kreditne kartice i različite vrste plastike. Koristi se i za kreditne kartice, putovnice i vrijednosne dokumente
- Hologramska sigurnosna traka - pruža evidentno zaštitu na najvišoj razini. Koristi se za zaštitu kuverti, kutija i kartona. Vidljivi uzorak se odvaja prilikom otvaranja kuverte ili pakiranja, tako da se s trake skida uzorak metalizirane folije, što štiti od zlonamjernog otvaranja. [19]



Slika 17. a) Dot-Matrix hologram; b) Flip-flop hologram ; c)Hologram s mikrotekstem ; d) Numerirani hologram ; e) Skriveni tekst vidljiv pod laserskim svjetlom ; f) Hologram za vruće otiskivanje folijom; g) Hologramska traka ; h) Hologramske naljepnice

Prednosti holograma pred ostalim tehnikama zaštite obilježavanja proizvoda:

- hologram se ne može reproducirati ili kopirati nijednom drugom grafičkom tehnikom
- jedinstveni optički efekt, vidljiv i golim okom
- prilikom pomicanja pod različitim kutovima, mijenja se boja i ton grafičkih elemenata
- može se kompjuterski kreirati pri čemu se simulira izgled holograma
- na hologram se može intervenirati dotiskom pod raznim temperaturama
- može se rezati raznim klišejima i aplicirati kliše na kliše
- mogućnost primjene mikroteksta, animacijskih slika, optički varijabilnih boja, nevidljivih i elektroničkih boja
- višerazinska autentičnost i više nivoa vizualnih sigurnosnih značajki – kod Multimatrix holograma [17]

Multimatrix hologrami sadrže razinu zaštite na čak tri nivoa čitanja:

1. Prepoznavanje golim okom – pod svjetlom, zakretanjem slike, primjećuju se kinetički efekti, dinamički mikrotekstovi, 2D/3D i stereografski prikazi
2. Profesionalna kontrola – kontrola mikroteksta i mikrografika, korištenjem specijalnih lasera ukoliko se želi vidjeti kriptogram (pokrivena slika koja se može vidjeti pomoću laserske zrake) ili dinagram (dinamični kriptogram)
3. Forenzički laboratorijski pregled – proučavaju se nanotext, nanografika, kodirane nanostrukture i kodirani nanobarkodovi [17]

## 6. AMBALAŽA

Ambalažom se naziva materijal u koji se pakira proizvod. Sam proces stavljanja proizvoda u ambalažu, zatvaranje i označavanje naziva se pakiranje robe. Osnovna funkcija ambalaže je zaštita i skladištenje upakiranog proizvoda. Ambalaža štiti robu od raznih mehaničkih naprezanja, fizičkih, kemijskih i atmosferskih utjecaja, od djelovanja mikroorganizama, insekata i sl. Materijal za izradu ambalaže treba posjedovati dobra mehanička svojstva, kemijsku otpornost prema unutrašnjem sadržaju, otpornost prema koroziji, organoleptičku neutralnost, nepropustljivost za plinove, tekućine i masnoće. [20]

Izgledom i dizajnom ambalaže kupac stupa u kontakt s proizvodom koji želi kupiti. Ona je sastavni dio prezentacije proizvoda na prodajnom mjestu. Odluka o kupnji nekog novog ili manje poznatog proizvoda najčešće ovisi o privlačnosti ambalaže i cijeni proizvoda, a kvaliteta i inovativnost pakiranja ponekad su važniji od samog proizvoda. [21]

Izgled ambalaže je vezan i uz podatke na ambalaži. Prikazivanje određenih podataka na ambalaži proizvoda je nužno i zakonski regulirano. Koji podaci trebaju biti prikazani ovisi o vrsti proizvoda, a to su najčešće pisane oznake, trgovačke oznake, naziv proizvoda, simboli, rok upotrebe i sl. Informacije moraju biti čitljive, točne i dobro pozicionirane. [21]

Kako bi se ambalaža zaštitila od krivotvorenja ili zloupotrebe ili jamčila ispravnost i originalnost samog proizvoda, potrebno je koristiti i zaštitne elemente, a oni koji se najčešće koriste su: RFID čipovi, „nečitljivi“ rasteri, Brailleovo pismo, lakovi vidljivi pod UV svjetlom i hologrami. [21]

## 6.1. Hologrami na ambalaži kao zaštitni elementi

U zaštiti proizvoda kroz ambalažu potrebno je uvesti višerazinski pristup tehnikama zaštite, a prvi korak je upotreba holograma. [17]

Hologramske naljepnice i folije se zbog svoje fleksibilnosti, ali i čvrstoće mogu koristiti na raznim oblicima ambalaže, za proizvode osobne zdravstvene njege, alkoholnih i bezalkoholnih pića, sportske opreme, kozmetike, duhanskih proizvoda te prehrambenih proizvoda. [18]

Transparentni hologrami se mogu stavljati u obliku PVC navlake na boce (alkohol, lijekovi u boci, motorna ulja). Koriste kao zaštita od nadopunjavanja i podmetanja sadržaja u boci. Holografaska traka na navlaci može biti numerirana. Može se lijepiti i preko ambalaže i područja otvaranja. [17]

Na ambalaži se u obliku naljepnice ili utisnute folije mogu aplicirati 2D/3D hologrami, Dot-Matrix hologrami, Flip-Flop hologram, mikro tekst na hologramu i hologram sa otisnutim serijskim brojevima. [17]



*Slika 18. Hologramska zaštita na boci*





Slika 19. Hologrami na ambalaži za lijekove



Slika 20. Hologram na kutiji za cigarete



Slika 21. Hologramska zaštita na CD-u



Slika 22. Hologramska zaštita na bocama vode

## 6.2. Hologrami na ambalaži kao estetski elementi

Ne samo da je holografaska tehnologija pomogla u zaštiti proizvoda protiv prijetnje krivotvoritelja, nego također nudi proizvođačima vrlo učinkovit način kako bi se osiguralo da će njihove proizvode uhvatiti oko potrošača na pretrpanim policama maloprodaja. Proizvođači imaju značajan izazov ispred sebe za hvatanje pozornosti kupaca i održavanja ili rasta udjela na tržištu, tako da im privlačni i kreativni izgled holograma pomaže tako što stvara osebnju dekorativnu prednost nad konkurentima. Holografija je ograničena samo ograničenjem mašte. [22]

Kontinuirani napredak u proizvodnoj tehnologiji i oslojavanje materijala otvorili su vrata inovativnim holografskim materijalima koji se koriste u ambalaži, dok široka paleta specijaliziranih tehnika nudi beskonačan niz različitih 3D vizualnih efekata, u rasponu od svijetle i zapanjujućih do suptilnijih grafičkih mogućnosti. [22]

Holografski filmovi su idealni u industriji ambalaže za široku paletu fleksibilnih aplikacija. Obično se koriste za tisak, zamatanje poklona, pakiranja, laminiranje i privlačne marketinške naljepnice, jer bogatstvo filma povećava ukupnu kvalitetu i dojam pakiranja proizvoda. Kombinacija neprozirne i prozirne tinte s optičkom tehnologijom dodatno povećava grafičke mogućnosti, ojačava brand proizvođača, hvata pozornost kupaca i donosi novi život dizajnu pakiranja. [22]



Slika 23. Hologrami na ambalaži za kozmetičke proizvode



Slika 24. Hologramski efekti na kutijama



*Slika 25. Hologram utisnut u plastiku*



*Slika 26. Ambalaža za alkoholno piće s hologramima*

## 7. ZAKLJUČAK

Ako usporedimo početke holografije, kad se, nakon pokušaja poboljšavanja elektronskog mikroskopa pojavila teorija holografije, a tek nakon dvadesetak godina, otkrićem lasera, postala jedan od najzanimljivijih načina „hvatanja svjetla“, s današnjim dobom, kad su nam hologrami sastavni dio života, možemo primjetiti njen eksponencijalni napredak tijekom vremena i širinu primjene koju je našla.

Na početku holografija nije predstavljala najisplativiji način snimanja podataka, najviše zbog nemogućnosti masovnog umnožavanja, što se riješilo razvojem tiskanih holograma.

Obični strojevi za knjigotisak i metalizirane folije zajedno su dali nešto jako neobično, a s druge strane iznimno vrijedno. Upravo zbog kompleksnosti same holografske slike i njenog zanimljivog izgleda, ali i nemogućnosti krivotvorenja i kopiranja, hologrami su postali glavni alati u zaštiti proizvoda i dokumenata od falsificiranja.

S obzirom na današnje potrošačko društvo i potrebu za sjajem i blještavilom, postali su izvrstan efekt na proizvodima gdje je potrebno napraviti da običan karton izgleda skupocjeno. Proizvod s hologramskim detaljem na ambalaži izgleda i po nekoliko puta skuplje nego dosad.

Dizajneri ambalaže su rado prihvatili holografiju i ona je našla mjesto na gotovo svemu – što se može prodati. Holografija je ograničena onoliko koliko je i mašta, a zasigurno još uvijek nije doživjela svoj vrhunac. Razvojem novih, kompleksnijih tehnologija, ali i većim potrebama tržišta, holografija će vjerojatno napredovati još brže, donoseći nam u svakodnevnicu nešto što nam je do jednog trenutka bilo samo znanstvena fantazija.

## 8. Literatura

1. \*\*\*<http://www.holography.ru/maineng.htm> 24.6.2014.
2. \*\*\*<http://www.holography.ru/holoeng.htm> 24.6.2014.
3. \*\*\*<http://web.zpr.fer.hr/ergonomija/2004/pazanin/povijest.htm> 15.7.2014.
4.  
\*\*\*[http://physics.ucsd.edu/neurophysics/courses/physics\\_173\\_273/holography\\_02.pdf](http://physics.ucsd.edu/neurophysics/courses/physics_173_273/holography_02.pdf) 15.7.2014.
5. Fundamental of photonics, Module 1.10, Basic Principles and Applications of Holography
6.  
\*\*\*[http://www.math.ubc.ca/~cass/courses/m309.../how\\_holography\\_works.doc](http://www.math.ubc.ca/~cass/courses/m309.../how_holography_works.doc) 21.6.2014.
7. R. L. van Renesse: Optical Document Security, Arctech House, 2005.
8. N. Golubić: Proces otiskivanja holograma, Diplomski rad
9. \*\*\*predavanja iz kolegija Tisak 2, prof. Bolanča
10. \*\*\*<http://www.ferret.com.au/ODIN/PDF/Showcases/14028.pdf> 21.6.2014.
11. \*\*\*[http://www.holoeast.com/holography/holograms\\_maiking.html](http://www.holoeast.com/holography/holograms_maiking.html) 26.6.2014.
12. \*\*\*[http://www.hlhologram.com/How\\_is\\_hologram\\_made.html](http://www.hlhologram.com/How_is_hologram_made.html) 26.6.2014.
13. \*\*\*<http://www.kurz.de/> 26.6.2014.
14. \*\*\*<http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/19622.pdf> 18.7.2014.
15. \*\*\*<http://www.physics.nus.edu.sg/> 18.7.2014.
16. Young, R.I. :Computer generated holograms
17. Žiljak, V.: Projekt „označavanja proizvoda“
18. \*\*\*<http://www.cfcintl.com/documents/Holographic%20Packaging.pdf> 20.7.2014.

19. \*\*\*<http://www.spickglobal.com/security-hologram.html> 20.7.2014.
20. \*\*\*[http://www.fms-tivat.me/predavanja3god/Poznavanje\\_robe5.pdf](http://www.fms-tivat.me/predavanja3god/Poznavanje_robe5.pdf)  
25.7.2014.
21. \*\*\*<http://www.istragrafika.hr/ambalaza-i-usluge/funkcije-ambalaze.php>  
25.7.2014.
22. \*\*\*<http://www.packagingdigest.com/holograms-offer-added-dimensions-packaging-security> 25.7.2014.
23. \*\*\*[https://www.pfst.hr/~ivujovic/stare\\_stranice/ppt/pred13.ppt](https://www.pfst.hr/~ivujovic/stare_stranice/ppt/pred13.ppt)
24. \*\*\*<http://www.holonorth.com/anatom.htm> 25.8.2014.

### **Izvori slika:**

Slike 1-7: Fundamental of photonics, Module 1.10, Basic Principles and Applications of Holography

Slike 8-13.:

\*\*\*[http://www.math.ubc.ca/~cass/courses/m309.../how\\_holography\\_works.doc](http://www.math.ubc.ca/~cass/courses/m309.../how_holography_works.doc)

Slike 14. i 15.: \*\*\*<http://www.kurz.de/>

Slika 16.: Young, R.I. :Computer generated holograms

Slika 17.: \*\*\*<http://www.spickglobal.com/security-hologram.html#flip-flop-hologram>

Slika 18.: \*\*\*<http://www.hologrami.com/hologram-folija-hologramska-zastita-za-proizvodjace-pica.html>

Slika 19.: \*\*\*<http://www.holoteam.com/en/product/12>

Slika 20.: \*\*\*<http://www.holoteam.com/en/product/13>

Slika 21.: \*\*\*<https://danielwiyogo.wordpress.com/tag/office/>

Slika 22.: \*\*\*<http://uflexholographicdivision.tradeindia.com/water-bottle-label-108054.html>

Slika 23.: \*\*\*<http://blog.esko.com/packaging-design/interactive-packaging/holographic-packaging-visually-stunning-practical/>

Slika 24.:

\*\*\*[http://www.cosmeticsbusiness.com/technical/article\\_page/Holography\\_\\_catching\\_the\\_light\\_fantastic/62629](http://www.cosmeticsbusiness.com/technical/article_page/Holography__catching_the_light_fantastic/62629)

Slika 25.: \*\*\*<http://thebeautyjunkee.blogspot.com/2012/11/review-maybelline-colorsensational.html>

Slika 26.: \*\*\*<http://www.2luxury2.com/champagne-taittinger-bubbles-hologram-effect/champagne-taittinger-bubbles-hologram-effect-gift-packaging/>