

# LASERI I PRIMJENE

---

**Jurčević, Luka**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2024**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:625062>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-17**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Luka Jurčević

# **LASERI I PRIMJENE**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2024.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite  
Stručni studij sigurnosti i zaštite

Luka Jurčević

# **LASERI I PRIMJENE**

ZAVRŠNI RAD

Mentor: dr. sc. Slaven Lulić, prof. struč. stud.

Karlovac, 2024.

Karlovac University of Applied Sciences  
Safety and Protection Department  
Professional undergraduate study of Safety and Protection

Luka Jurčević

# **LASERS AND APPLICATIONS**

FINAL PAPER

Mentor: dr. sc. Slaven Lulić, prof. struč. stud.

Karlovac, 2024.



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

I

## VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni studij: Sigurnost i zaštita  
Usmjerenje: Zaštita na radu

Karlovac, 2024.,

### ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student: Luka Jurčević

Matični broj: 0415621007

Naslov: Laseri i primjene

Opis zadatka:

U završnom radu bit će govora o načelu rada lasera i njihove različite primjene u znanosti, industriji, medicini i svakodnevnom životu. Fokus je na razumijevanju kako laseri funkcioniraju, te njihovoj upotrebi u preciznom rezanju, medicinskim tretmanima, komunikacijama, istraživanju materijala i drugim tehnologijama. Cilj zadatka je proučiti osnovne principe laserske tehnologije i demonstrirati konkretne primjere njihove primjene kao i zaštitu od laserskih tehnologija

Zadatak zadan:

Rok predaje rada

Predviđeni datum obrane:

03./24

08./24

09./24

Mentor: dr. sc. Lulić Slaven, prof. struč. stud. Predsjednik Ispitnog povjerenstva: Filip Žugčić, mag. ing. el.

## **PREDGOVOR**

**II**

Ovim putem se zahvaljujem mentoru dr. sc, Slaven Lulić prof. struč. stud. pruženoj pomoći, navigaciji pri pisanju rada, savjetima i mentorstvu pri pisanju ovog rada.

Zahvaljujem se svim profesorima s kojima sam se susreo kroz dosadašnje studiranje na prenesenom znanju i pruženom iskustvu.

Također se želim zahvaliti svojoj obitelji i prijateljima na svojoj pomoći i podršci koju su mi pružili kroz studiranje!

Puno Vam hvala!

Luka Jurčević

## **Sažetak**

**III**

U početnom dijelu rada opisuje se princip rada lasera, njegova građa i dijelovi te osnovni pojmovi vezani uz lasere. Zatim su navedene potencijalne opasnosti laserskih tehnologija, osobna zaštitna oprema pri korištenju laserskih tehnologija i zaštita od laserski tehnologija. Na kraju su navedene i kratko opisane neke od mnogih mogućih primjena laserskih tehnologija.

**KLJUČNE RIJEČI:** laseri, lasersko zračenje, zaštita od laserskih tehnologija, opasnosti lasera

## **Summary**

In the initial part of the paper, the principle of laser operation, its structure and parts, and basic concepts related to lasers are described. Then the potential dangers of laser technologies, personal protective equipment when using laser technologies and protection against laser technologies are listed. Finally, some of the many possible applications of laser technologies are listed and briefly described.

**KEY WORDS:** lasers, laser radiation, protection against laser technologies, laser hazards

1. Uvod:.....	1
2. Princip rada lasera .....	2
3. Građa i dijelovi lasera .....	4
• Optički rezonator.....	4
• Aktivni medij .....	4
• Optičke pumpe .....	4
• Izlazne laserske zrake.....	5
4. Stimulirana emisija zračenja .....	6
5. Inverzija naseljenosti.....	8
6. Opasnosti laserske tehnologije .....	9
• Sigurnosne smjernice.....	10
• Osobna zaštitna oprema pri radu s laserskim tehnologijama .....	10
7. Zaštita od laserskih tehnologija.....	13
8. Primjena laserskih tehnologija .....	14
7.1. Industrija obrade materijala.....	14
• Rezanje .....	14
• Zavarivanje .....	14
• Bušenje i graviranje .....	15
• Označavanje.....	15
7.2. Geodezija.....	16
7.3.Znanost o okolišu .....	16
7.4. Arheologija.....	17
7.5.Medicina i zdravstvo .....	17
• Kirurgija.....	17
• Dijagnostika.....	18
• Fizioterapija .....	19
7.6. Mikroelektronika.....	19
• Optičke komunikacije .....	19
• Optička vlakna .....	19
• Laserski prijenos podataka.....	20
7.8. Nuklearna fuzija .....	20



7.9. Astrofizika.....	21
7.11. Sigurnost i vojne primjene .....	21
7.12. Kozmetika .....	22
7.13. Umjetnost .....	22
7.14. Zabava .....	23
8. Zaključak.....	24
9. Literatura .....	25
10. Prilozi .....	26
10.1. Popis slika.....	26

## 1. Uvod

Laseri (eng. Lasers) znače Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation odnosno u prijevodu pojačavanja svjetlosti putem stimulirane emisije zračenja. Laseri su uređaji koji proizvode usmjerenu svjetlost visoke čistoće i snage. Osnovni princip rada lasera leži u procesu pojačavanja svjetlosti putem stimulirane emisije zračenja. Ovaj fenomen omogućuje laserima da budu izuzetno korisni u različitim područjima, te su postali neizostavan dio moderne tehnologije.

Laseri su postali nezamjenjivi u mnogim industrijama, poput medicine, telekomunikacija, industrije rezanja i zavarivanja metala te istraživanja. Njihova preciznost i kontrolirana snaga omogućuju kirurzima da obavljaju minimalno invazivne operacije, a znanstvenicima da istražuju najmanje čestice materije. Osim toga, primjena lasera u svakodnevnom životu sve je prisutnija, primjerice u čitačima bar kodova, DVD uređajima te u estetskoj industriji za uklanjanje neželjenih dlaka ili tetovaža. Sveukupno, laserska tehnologija predstavlja temelj za mnoge inovacije i napredak u suvremenom društvu.

## 2. Princip rada lasera

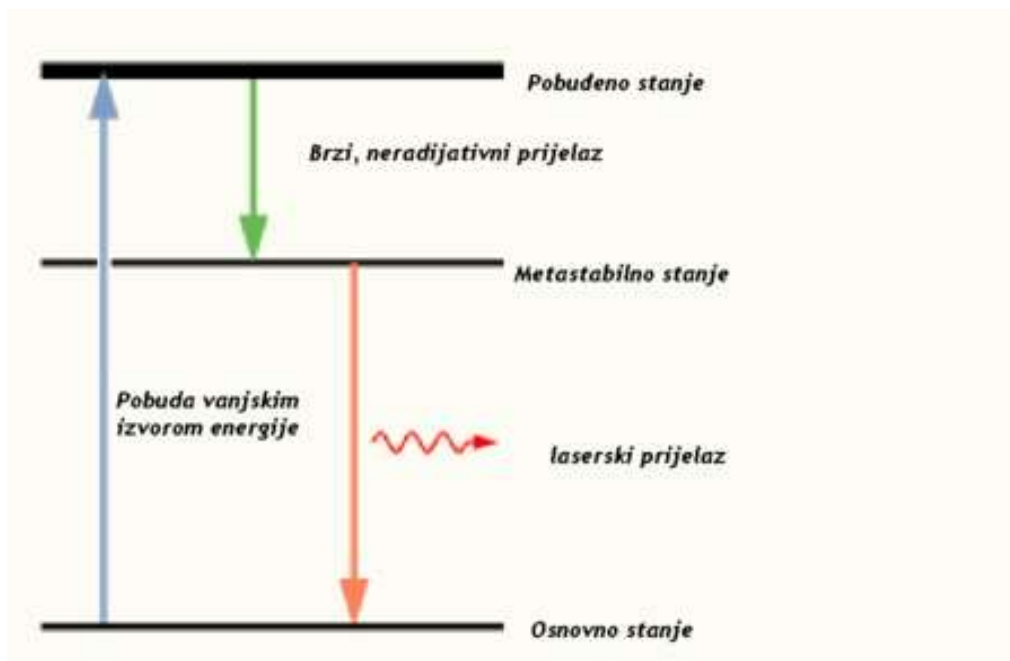
Laseri se temelje na konceptu koherentnosti svjetlosti, što znači da sve valne duljine emitirane svjetlosti imaju fiksnu fazu i orijentaciju. Ovo čini laserima izuzetno korisnima za precizno usmjeravanje energije na željena područja, što rezultira visokom efikasnošću i minimalnim gubicima energije. Njihova sposobnost generiranja snopa svjetlosti s visokom gustoćom energije omogućuje ih da obavljaju zadatke koji bi bili nemogući ili teški za ostale izvore svjetlosti. Sve u svemu, laserska tehnologija predstavlja jedan od najvažnijih inženjerskih dostignuća modernog doba.

Kada kažemo da je svjetlost koherentna, to znači da valovi svjetlosti imaju konstantnu fazu i frekvenciju te se kreću u istom smjeru. Drugim riječima, valovi su usklađeni i ne interferiraju jedan s drugim.

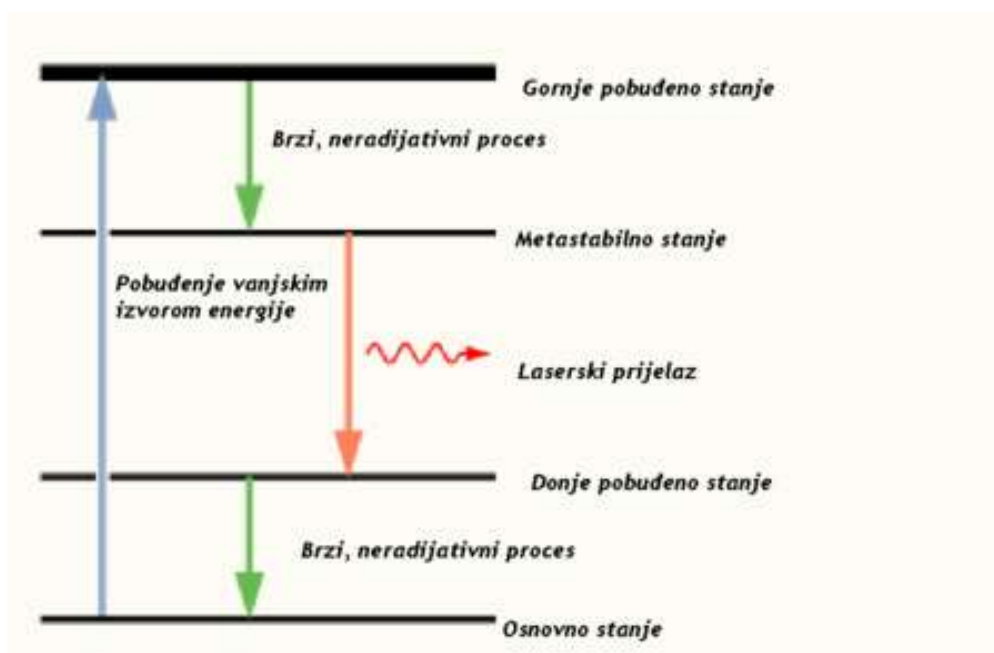
Fiksna faza znači da vrhovi i doline svjetlosnih valova dolaze u isto vrijeme i na istom mjestu, što rezultira stabilnom i predvidivom svjetlosnom valnom duljinom.

Orijentacija se odnosi na smjer kretanja svjetlosti. U koherentnom svjetlosnom snopu, svi valovi putuju u istom smjeru, bez raspršivanja ili divergencije. To omogućuje da se svjetlost može precizno usmjeravati i fokusirati na određeno područje.

U osnovi, koherentna svjetlost s fiksnom fazom i orijentacijom omogućuje stvaranje čvrstih, stabilnih snopova svjetlosti karakterističnih za lasere, što ih čini izuzetno korisnima u različitim primjenama.



Slika 1., Princip rada trostupanjskog lasera.

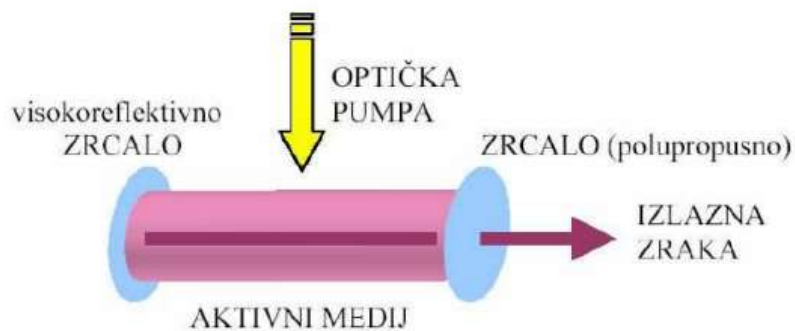


Slika 2., Princip rada četverostupanjskog lasera

### 3. Građa i dijelovi lasera

Laseri se sastoje od četiri osnovna dijela, to su:

1. Optički rezonatori(visokoreflektivno te polupropusno zrcalo)
2. Aktivni mediji
3. Laserske odnosno optičke pumpe i
4. Izlazne laserske zrake.



Slika 3., Građa i dijelovi lasera

- Optički rezonator

Optički rezonator komponenta sastavljena od dva paralelna zrcala. Jedno od tih zrcala je 100% reflektirajuće dok je drugo polupropusno kako bi svjetlosti omogućilo napuštanje rezonatorske šupljine i stvaranje laserske zrake.

- Aktivni medij

Laserski odnosno aktivni medij određuje na kojoj će valnoj duljini raditi laser i u njemu sa svakim prolazom fotona dolazi do pojačavanja laserske svjetlosti. Tri vrste medija u kojima laser može funkcionirati su tekućine, plinovi i čvrste tvari.

- Optičke pumpe

Energiju potrebnu za rad lasera osigurava laserska pumpa. Takva energija može nastati električnim pražnjenjem naboja, eksplozijom, kemijskom reakcijom, bljeskalicom ili elektrolučnom svjetiljkom. Ovisno o laserskom materijalu koristi se odgovarajuće vrsta laserske pumpe.

- Izlazne laserske zrake

Kvantna mehanika se može manifestirati u makroskopskim sustavima, primjer toga su laserske zrake. Dvije vrste čestica u kvantnoj mehanici su Bose – Einsteinove čestice koje se još nazivaju bozoni i Fermi – Diracove čestice koje se nazivaju fermioni. Fotoni su prema ponašanju poput bozona i mogu biti u istom kvantnom stanju dok fermioni to ne mogu. Pravilo koje vrijedi je da što se više bozona nalazi u kvantnom stanju vjerojatnost da će se pojaviti još više bozona raste.

#### 4. Stimulirana emisija zračenja

Za prvu predodžbu o stimuliranoj emisiji zaslužan je Albert Einstein proučavajući kvantni sistem koje se nalazi u interakciji sa zračenjem. Kao polazište Einstein je upotrijebio Planckovu raspodjelu frekvencija zračenja crnog tijela u termodinamičkoj ravnoteži:

$$I^T(\omega) = \frac{\hbar\omega^3}{\pi^2 C^3 \left( e^{\frac{\hbar\omega}{kT}} - 1 \right)}$$

Indeks T u naseljenosti nivoa odnosi se na temperaturni parametar.  $P_{12}$  je vjerojatnost prijelaza 1-2. Za prijelaz 1-2 prirodno je pretpostaviti da je vjerojatniji što je veći intenzitet okolnog zračenja:

$$P_{12} = B_{12}I(\omega)$$

Obratni prijelaz može nastati ili spontanim raspadom stanja ili stimuliranim prijelazom:

$$P_{21} = B_{21}I(\omega) + A_{21}$$

$B_{21}$  je vjerojatnost stimuliranog raspada, a  $A_{21}$  je vjerojatnost spontanog raspada. U termičkoj ravnoteži je

$$n_1^T P_{12} = n_2^T P_{21}$$

A uvažavanjem

$$n_1^T B_{12}(\omega) = n_2^T [A_{21} + B_{21}I^T(\omega)]$$

Proizlazi

$$I^T(\omega) = \frac{A_{21}}{B_{12} \frac{n_1^T}{n_2^T} - B_{21}}$$

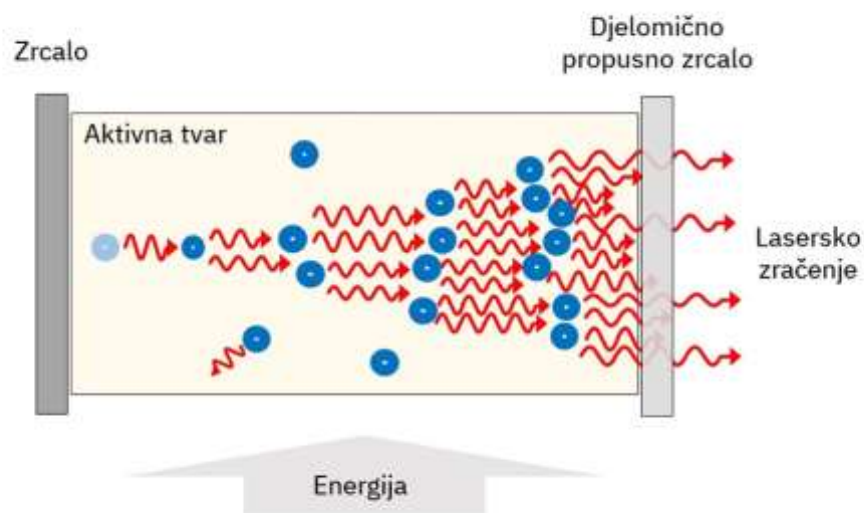
Za termičku ravnotežu raspodjela sistema dan je Boltzmanovim izrazom, čijim uvrštavanjem slijedi:

$$I_T(\omega) = \frac{A_{21}}{B_{12}e^{\frac{\omega\hbar}{kT}} - B_{21}}$$

Usporedbom formule (2.5.) i (2.1.) očitavamo da su:

$$B_{12} = B_{21} \quad \frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{\hbar\omega^3}{\pi^2 C^3}$$

Vjerojatnosti stimulirane emisije u oba smjera su jednake. Rad lasera počiva na toj komponenti raspada (stimulirana emisija) koja omogućuje ubrzanje emisije putem intenzivnog vanjskog zračenja.



Slika 4., Stimulirana emisija zračenja



## 5. Inverzija naseljenosti

Kada je broj atoma u pobuđenom stanju veći od broja atoma u osnovnom stanju takvu pojavu nazivamo inverzijom naseljenosti, te je nju moguće postići samo u metastabilnoj razini. Rijetki su slučajevi postizanja te tako samo rijetke tvari mogu biti iskorištene kao laserski medij. Inverzija naseljenosti može se postići na tri načina, a to su:

### 1. Pobuda elektronima, odnosno sudarom prvog reda

Neelastičnim sudarom atoma i elektrona postiže se pobuda. Elektron prilikom sudara predaje energiju atomu koji tada prelazi u pobuđeno stanje.

### 2. Pobuda sudarom drugog reda

Pobuda sudarom drugog reda se koristi u plinskim smjesama sa dvije komponente odnosno dva atoma. Važno je da ti atomi moraju biti približno jednake energetske razine. Postizanje pobude odvija se u dva koraka gdje u prvom koraku sudar elektrona i atoma prve tvari pobuđuju prvi atom, a zatim sudarom atoma prve tvari sa sudarom atoma druge tvari, drugi atom prelazi u pobuđeno stanje dok se prvi vraća u prvobitno odnosno osnovno stanje. Iz atoma druge tvari nastaje laser.

### 3. Optičko pumpanje

Optičko pumpanje je postupak vanjskim zračenjem atoma ili molekula u različitim agregatnim stanjima pobuđuju elektroni na višu energetske razine. Pri prijelazu iz pobuđenog stanja na osnovno dolazi do kvantnog skoka, odnosno emisije fotona čija energija odgovara razlici energetske razine te vrijedi Boltzmanov zakon koji glasi:

$$N_2 = N_1 \times e^{-hv/kT}$$

Gdje je:

- $h$  - Planckova konstanta ( $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$ )
- $\nu$  - frekvencija
- $k$  - Boltzmanova konstanta ( $k_b = 1,3806505(24) \times 10^{-23} \text{ J/K}$ )
- $T$  - Termodinamička temperatura

## 6. Opasnosti laserske tehnologije

Laseri mogu predstavljati određene opasnosti ako se ne koriste pažljivo ili ako nisu pravilno zaštićeni. Opasnosti naravno rastu kako snagom lasera tako i nestručnim korištenjem istih. Pošto su laseri relativno nova tehnologija pučanstvo nije upoznato s laserima velike snage te se podrazumijeva da tako ne poznaju i njihove rizike.



Slika 5., Znak opasnosti od laserskog zračenja

Neki od rizika odnosno opasnosti pri uporabi lasera su oštećenje vida, gubitak vida i opekline na mrežnici kao posljedica izravnog gledanja u jaki laserski snop. Laserski snopovi velike snage također mogu uzrokovati opekline na koži ako dođe do neposrednog kontakta s kožom, te postoji i opasnost od požara ukoliko laser dođe u kontakt sa lako zapaljivim ili zapaljivim materijalom poput papira. Laseri nas također mogu izložiti kemijskim opasnostima jer u industrijama mogu potaknuti kemijske procese koji rezultiraju otpuštanjem opasnih tvari. Još jedna opasnost uporabe ovih uređaja je što emitiraju štetno zračenje odnosno određeni tipovi lasera mogu proizvoditi infracrveno ili ultraljubičasto zračenje koje je štetno za ljude i okoliš, te u nekim slučajevima može povećati rizik raka kože, opeklina i oštećenja kože. Nadalje laserski sustavi za rad često koriste visoke napone i struje što povećava rizik od električnih udara ili požara ako nisu pravilno instalirani i održavani. Prilikom laserskog rezanja metala ili obrade materijala može doći do stvaranja visokih temperatura i tlaka što predstavlja opasnost od eksplozije, te takvi postupci generiraju otpadne materijale poput dimova, plinova i čestica koji mogu biti opasni ako se udahnu ili dođu u dodir s kožom. Uz sve ove opasnosti, ključno je provesti adekvatnu obuku osoblja, pratiti sigurnosne smjernice i primijeniti odgovarajuće zaštitne mjere kako bi se minimalizirali rizici povezani s korištenjem lasera.

- Sigurnosne smjernice

Sigurnosne smjernice za uporabu lasera mogu varirati ovisno o vrsti lasera, njegovoj snazi i specifičnoj primjeni. Specifične smjernice razlikuju se ovisno o industriji, zakonskim propisima i karakteristikama laserske opreme. Međutim, nekoliko općih smjernica koje se često primjenjuju su smjernice poput upoznavanja s opremom odnosno podatci o snazi, pravilnom rukovanju, kontrolama, postavkama i sigurnosnim značajkama. Iduća sigurnosna smjernica bila bi korištenje zaštitne opreme poput posebno dizajniranih naočala za zaštitu od laserskog zračenja te ostala oprema za zaštitu očiju i kože od ključne je važnosti za siguran rad. Pri radu s laserom okolina mora biti provjerena i dobre osvijetljenosti te uredna kako bi se smanjio rizik od nesreća, također sve osobe koje nisu obučene za rad s laserima trebaju biti udaljene od radnog područja. Kao što je spomenuto ranije rad s laserima može proizvesti razne dimove, pare i sitne čestice tako da je pravilna ventilacija ključna kako bi se smanjio rizik udisanja navedenih. Radna područja lasera trebaju biti jasno označena i obilježena upozorenjima o opasnostima jasno vidljivim i razumljivim osobama koje dolaze u blizinu laserske opreme. Gotovo nepotrebno za spomenuti je da redovito održavanje lasera i laserske opreme ključno za sigurno i ispravno funkcioniranje. Pod pojmom održavanja podrazumijeva se čišćenje optičkih elemenata, provjeru električkih sustava i zamjenu potrošnih dijelova po potrebi.

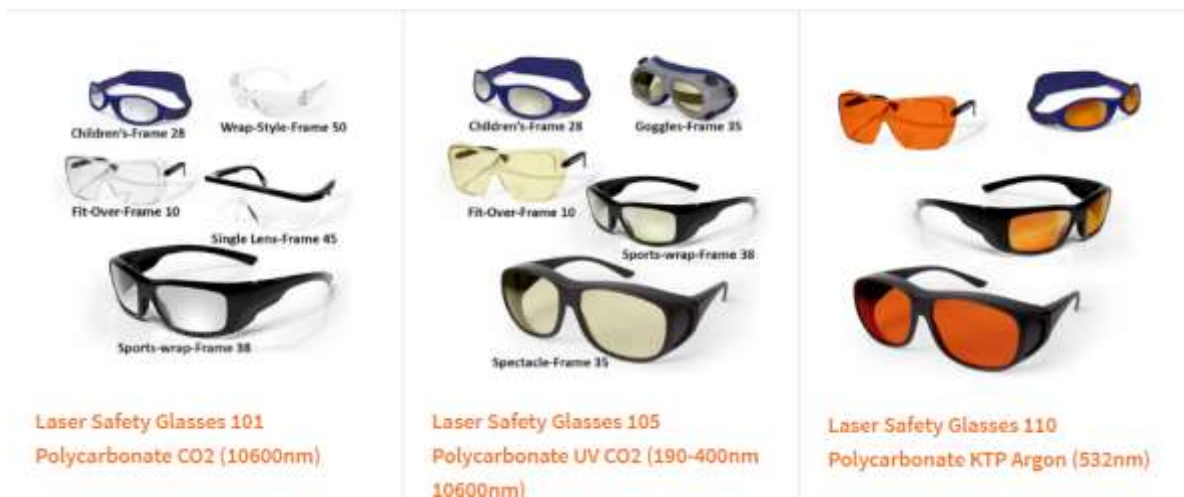
- Osobna zaštitna oprema pri radu s laserskim tehnologijama

Zaštitna oprema za zaštitu od laserskog zračenja štiti ponajviše oči i kožu operatora koji radi s laserskom tehnologijom. Zaštita očiju osigurava se zaštitnim naočalima, dok se za ostatak tijela koriste rukavice, odijela i maske. Za odabir zaštitnih naočala koje će pružiti zadovoljavajuću zaštitu potrebno je uzeti u obzir nekoliko faktora poput valne duljine zračenja, očekivana gustoća energije u opasnoj zoni, potreba za atenuacijom zračenja do razine koja je bezopasna za oči ali dovoljna za podešavanje laserskog sustava. Atenuacija je proces prigušenja snopa čestica prolaskom kroz tvar. Također je važno osigurati dobru vidljivost u prostoru oko lasera kako bi se olakšalo kretanje i rad. U Republici Hrvatskoj naočale su normirane normom HRN EN 207:2010 i prema toj normi filtri za zaštitu od laserskog zračenja moraju zadovoljavati sljedeće kriterije:

- Otpornost na lasersko zračenje,
- Kvalitetna površina materijala filtra nakon izloženosti toplini i UV zračenju,
- Spektralno propuštanje.

Proizvođači naočala i filtra moraju pružiti sljedeće informacije o proizvodu:

- Obavijesti o održavanju i čišćenju naočala i filtra
- Obavijest i upozorenje da oštećenu



Slika 6., Naočale za zaštitu od laserskog zračenja



Slika 7., Prikaz naočala za zaštitu od laserskog zračenja u uporabi



Slika 8., Osobna zaštitna oprema pri radu s laserima

## 7. Zaštita od laserskih tehnologija

Razumijevanje i primjena opsežnih mjera zaštite od lasera ključno je za očuvanje sigurnosti i zdravlja radnika, posjetitelja te zaštite radne okoline. Slijedi pregleda ključnih aspekata zaštite od laserskih opasnosti. Za početak trebamo analizirati rizike i procijeniti opasnosti prije samog početka rada s laserima. To uključuje identifikaciju mogućih opasnosti povezanih s uporabom lasera poput izravnog izlaganja zračenju, rizika od požara i opekotina. Analiza rizika pomaže u shvaćanju potencijalnih opasnosti i razvoju odgovarajućih strategija zaštite. Nadalje pravilna obuka osoblja o sigurnom rukovanju i upotrebi lasera je važna i trebala bi obuhvatiti razumijevanje karakteristika lasera, identifikaciju potencijalnih opasnosti, pravilno korištenje zaštitne opreme te postupke u slučaju hitnih situacija ili nezgoda. Redovito ažuriranje obuke i informiranje osoblja o novim sigurnosnim smjernicama je ključ za unaprjeđenje i održavanje visokih standarada sigurnosti. Zaštita radnika provodi se nakon identifikacije opasnosti i rizika te se radno osoblje dodatno štiti osobnom zaštitnom opremom. Osobna zaštitna oprema za rad s laserima sastoji se od naočala specifično dizajniranih za blokiranje laserskog zračenja određene valne duljine i snage. Uz to zaštitna odjeća, respiratori, rukavice mogu biti potrebni ovisno o vrsti lasera i radnoj okolini. Nadalje siguran alat pospješuje siguran rad, odnosno redovito i pravilno održavanje lasera uvelike pridonosi poboljšanju kvalitete zaštite zdravlja. U slučaju nezgoda ili hitnih situacija poželjno je imati plan evakuacije i postupanja u hitnim situacijama u kojem osoblje treba upoznati s procedurom o postupaka evakuacije, lokacijama sigurnih izlaza i postupcima pružanja prve pomoći. Redovite vježbe i simulacije osiguravaju spremnost i sigurnost osoblja. Osim radnika u opasnost mogu doći i druge osobe te je ključno ograničavanje pristupa radnom području uporabe laserske tehnologije te postavljanje fizičkih i psihičkih barijera. Integracija ovih smjernica u svakodnevnu praksu rada s laserima pomaže u minimiziranju rizika od ozljeda i nezgoda te promovira kulturu sigurnosti na radnom mjestu.



Slika 9., Zavjesa za zaštitu od laserskog zračenja pri postupku laserskog zavarivanja

## 8. Primjena laserskih tehnologija

Laserska tehnologija ima širok spektar primjene u mnogim područjima znanosti, tehnologije, industrije i svakodnevnog života. U nastavku ćemo spomenuti i kratko opisati neke primjene laserskih tehnologija.

### 7.1. Industrija obrade materijala

- Rezanje

U industriji obrade materijala jedna od čestih aktivnosti sa laserima je rezanje. Laseri se koriste za precizno rezanje raznih materijala poput metala, plastike, stakla, keramike i drva. Visoka energetska gustoća laserskog snopa omogućuje brzo i precizno rezanje čak i najtvrdih materijala.



Slika 10., Lasersko rezanje

- Zavarivanje

Lasersko zavarivanje omogućuje visoku preciznost i kontrolu u spojevima materijala. Koristi se u proizvodnji automobila, elektronike, medicinskih uređaja i mnogih drugih proizvoda.



Slika 11., Lasersko zavarivanje

- Bušenje i graviranje

Bušenje malih rupa i izrada detaljnih gravura na raznim materijalima je još jedna od primjena lasera, te se ove aktivnosti najviše koriste u proizvodnji nakita, elektronike, alata i dekorativnih predmeta.



Slika 12., Lasersko graviranje

- Označavanje

Lasersko označavanje omogućuje precizno označavanje ili graviranje teksta, logotipa, barkoda ili identifikacijskih oznaka na površinama raznih materijala. Ova tehnika koristi se u proizvodnji, upravljanju zalihama, sigurnosnoj identifikaciji i umjetnosti.



Slika 13., Lasersko označavanje komada metala QR kodom



## 7.2. Geodezija

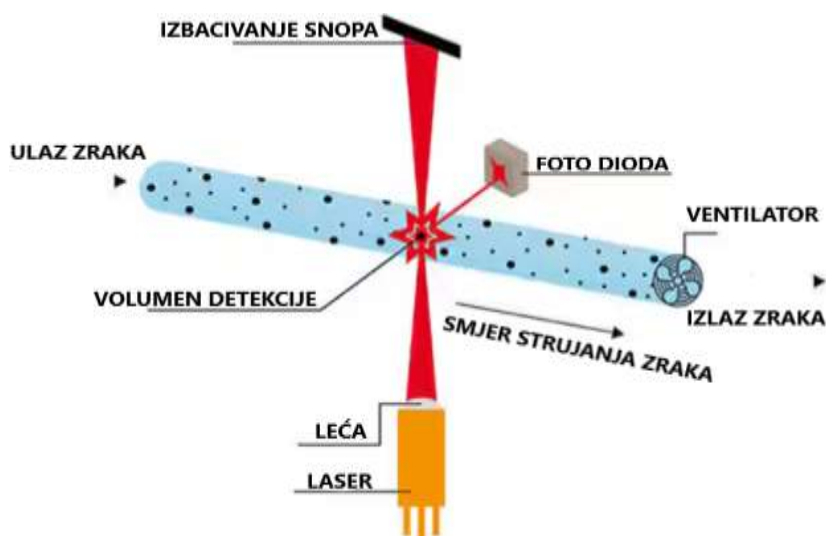
U geodeziji laseri služe za mjerenje udaljenosti, oblikovanje terena, kartografiranje, topografska mjerenja i geološka istraživanja. Lidarski sustavi (Light Detection and Ranging) koriste lasersko zračenje za precizno snimanje terena, izradu digitalnih modela visine (DTM) i trodimenzionalnih karata te za istraživanje geoloških obilježja i promjena u okolišu.



Slika 14., Primjena lasera u geodeziji

## 7.3. Znanost o okolišu

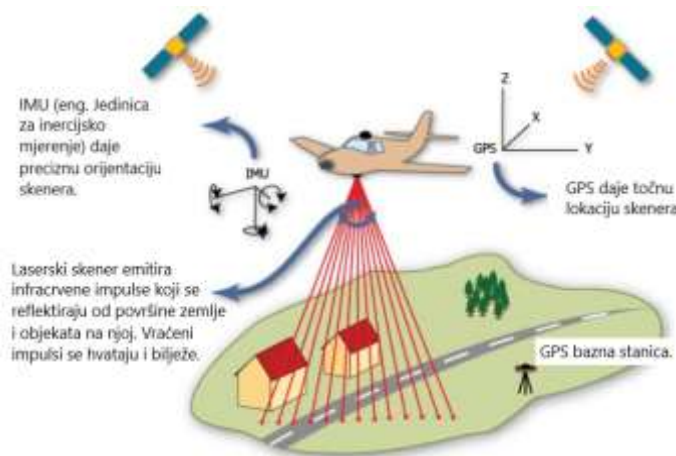
Lasери služe za praćenje kvalitete zraka, vode i tla, istraživanje vegetacije, praćenje deforestacije, detekciju požara, praćenje klimatskih promjena i istraživanje okolišnih utjecaja različitih aktivnosti. Lidarski sustavi koriste se za mjerenje emisija stakleničkih plinova, praćenje pokrovnosti tla, istraživanje promjena u vegetaciji i analizu udaljenih okolišnih parametara



Slika 15., Detektor onečišćenja u zraku

#### 7.4. Arheologija

Laserska tehnologija koristi se u arheološkim istraživanjima za kartiranje, istraživanje, dokumentiranje i očuvanje arheoloških lokaliteta. Lidarski sustavi koriste se za otkrivanje arheoloških ostataka ispod površine tla, mapiranje terena, identifikaciju arhitektonskih struktura i istraživanje povijesti ljudske aktivnosti.



Slika 16., Uporaba lasera pri mapiranju terena

#### 7.5. Medicina i zdravstvo

- Kirurgija

Laserska kirurgija omogućuje precizne kirurške zahvate s minimalnim oštećenjem okolnih tkiva. Koristi se u oftalmologiji, dermatologiji, stomatologiji i neurokirurgiji.



Slika 17., Operacija mrene uporabom lasera.

- Dijagnostika

Laserska dijagnostika koristi se u svrhe poput laserske mikroskopije, laserske spektroskopije, laserske tomografije, i druge metode za analizu tkiva, organa i bioloških materijala.



Slika 18., ZEISS LSM 900 za materijale, uređaj za napredno snimanje i površinsku topografiju

- Fizioterapija

Laserska terapija koristi se za ublažavanje boli, protjecanje regeneracije tkiva, smanjenje upale i poboljšanje općeg zdravlja u raznim medicinskim stanjima.



Slika 19., Laserski tretman za smanjenje boli

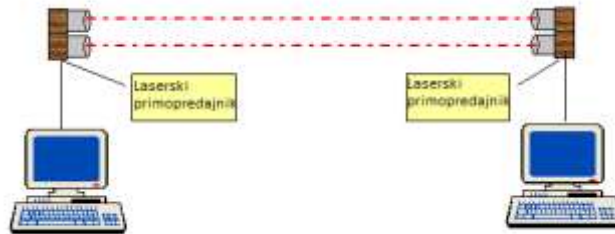
#### 7.6. Mikroelektronika

Proizvodnja mikroelektroničkih komponenata poput integriranih krugova (IC), poluvodičkih čipova, mikroskala i mikrooptičkih uređaja, te rezanje i zavarivanje koriste se u procesima proizvodnje čipova i integriranih krugova sa uporabom lasersko graviranje

- Optičke komunikacije
- Optička vlakna

Laserska tehnologija ključna je za optičke komunikacijske sustave koji se temelje na prijenosu podataka pomoću svjetlosnih signala kroz optička vlakna. To omogućuje visoke brzine prijenosa podataka i velike udaljenosti komunikacije.

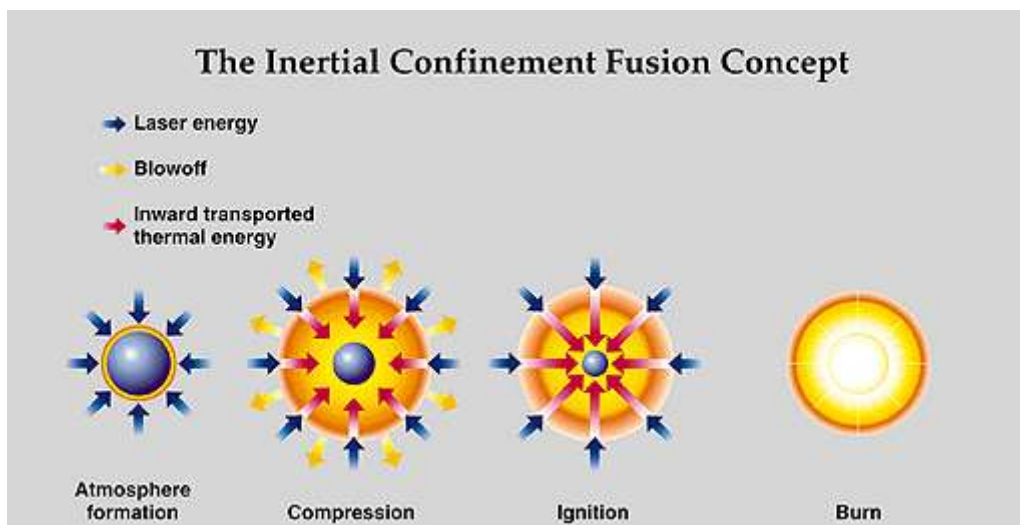
- Laserski prijenos podataka
- Laserski prijenos podataka koristi se za bežične komunikacijske sustave, holografske memorije, laserske pisače, skenere i senzore.



Slika 20., Sustav primopredaje informacija između dva računala pomoću lasera

### 7.8. Nuklearna fuzija

Laserska tehnologija koristi se u eksperimentalnim sustavima za kontroliranje fuzijskih reakcija, kao što su inercijalna fuzija laserskim zračenjem (ICF) ili magneto-hidrodinamička fuzija (MHD). Ova istraživanja imaju za cilj postizanje kontrolirane nuklearne fuzije kao izvora čiste i neiscrpne energije.



Slika 21., Koncept inercijske zatvorene fuzije pobuđene laserskom energijom

### 7.9. Astrofizika

Laserska tehnologija koristi se u astronomiji i astrofizici za istraživanje svemira, detekciju udaljenih objekata, mjerenje udaljenosti, analizu atmosferskih i atmosferskih procesa na drugim planetima i istraživanje fundamentalnih zakona prirode. Laserski teleskopi, lasersko mapiranje zvijezda i lidarski sustavi koriste se za proučavanje svemira i galaksija.

### 7.11. Sigurnost i vojne primjene

Laserska tehnologija koristi se u vojne svrhe za označavanje, osvjetljenje, udaljenu detekciju i identifikaciju, vojno komuniciranje, oružje s laserom, sustave protuzračne obrane, te za druge vojne primjene.



Slika 22., AN/PED-1 lagani daljinomjer s oznakom cilja, rad na principu lasera

### 7.12. Kozmetika

U kozmetičkoj industriji, laseri se koriste za uklanjanje dlačica, uklanjanje bora, pomlađivanje kože, uklanjanje pigmentacija, tretman akni, uklanjanje tetovaža i druge estetske tretmane.



Slika 23., Laserski tretman lica

### 7.13. Umjetnost

Laserska tehnologija koristi se u suvremenoj umjetnosti za stvaranje instalacija, performansa, skulptura, projekcija i drugih umjetničkih djela. Umjetnici koriste laserske projekcije, holograme, rezanje i graviranje kako bi izrazili svoju kreativnost i istražili nove estetske mogućnosti.

#### 7.14. Zabava

Laserska tehnologija koristi se u zabavnim parkovima, koncertnim dvoranama, kazalištima i drugim zabavnim prostorima za kreiranje spektakularnih svjetlosnih efekata, lasershowsa, laserskih projekcija i umjetničkih instalacija. Lasersko osvjetljenje, holografija, projekcija i interaktivne instalacije pružaju nevjerojatna iskustva posjetiteljima.



Slika 24., Svjetlosni show sa festivala laserskih svjetlosnih predstava

Laserska tehnologija ključna je u mnogim znanstvenim istraživanjima za generiranje ekstremnih uvjeta, istraživanje fundamentalnih zakona prirode, izradu preciznih mjerenja, stvaranje kontroliranih plazmenih reakcija, holografiju, mikroskopiju, interferometriju i mnoge druge eksperimentalne tehnike



## 9. Zaključak

Laseri su prilično zastarjelo otkriće s obzirom da je prvi laser napravljen 1960 godine. No bez obzira što je proteklo gotovo 85 godina od nastanka prvog lasera i dan danas znanstvenici iz svih područja i struka otkrivaju i unaprjeđuju svestrane svrhe lasera. Uspješnost i značaj lasera dokazuju brojne Nobelove nagrade dodijeljene uglavnom iz područja fizike za napredak znanosti i tehnologije, kao i njihovu primjenu u različitim znanstvenim disciplinama. Svestrana primjena lasera je jedna od njihovih najvećih prednosti, od medicine i zabave, do telekomunikacija i vojnih uporaba. Češća uporaba lasera, kada postanu cjenovno pristupačniji, također će značiti i voditi do većih opasnosti za ljudsko zdravlje te je potrebno sukladno razvoju laserskih tehnologija posvetiti istraživanju i proizvodnji osobnih zaštitnih sredstava i obukama te edukacijama osoblja koje se koristi laserskim tehnologijama,

## 10. Literatura

Knjige:

[1] Furić M., „Moderne eksperimentalne metode, tehnike i mjerenja u fizici“, Školska knjiga, Zagreb, (1992), ISBN 86-03-00657-1

[2] Paić M., „OSNOVE FIZIKE IV DIO, SVJETLOST-HOLOGRAFIJA-LASERI“, Sveučilišna naklada LIBER, Zagreb, (1983.), BROJ 02-521/3

Internetske stranice:

[1] ilario, „Lasери“,

<https://fr.slideserve.com/ilario/laseri?cv=1>,

pristupljeno: 12.06.2024.

[2] Laseri,

<http://physics.mef.hr/Predavanja/Laser/index.html>

pristupljeno: 12.06.2024.

[3] Ban T., „Laseri u znanosti i tehnologiji“,

[https://hpd.hr/eskola-fizika/susreti/Laseri\\_Ticijana\\_Ban.pdf](https://hpd.hr/eskola-fizika/susreti/Laseri_Ticijana_Ban.pdf)

pristupljeno: 12.06.2024.

[4] Wikipedija, Laser

<https://en.wikipedia.org/wiki/Laser>

pristupljeno: 12.06.2024.

[5] Maršal D., Laseri i njihova primjena

<https://docplayer.rs/198732775-Laseri-i-njihova-primjena.html>

pristupljeno: 14.06.2024.

[6] Neuhold S., „Laserski uređaji za graviranje“,

<https://zir.nsk.hr/en/islandora/object/vuka%3A228/datastream/PDF/view>

pristupljeno 14.06.2024.

[7] Occupational Safety and Health Administration, „Laser Hazards“,

<https://www.osha.gov/laser-hazards>

pristupljeno: 14.06.2024.

[8] HowStuffWorks, „How Lasers Work“,

<https://science.howstuffworks.com/laser.htm>

pristupljeno: 14.06.2024.

[9] Laser Institute America (LIA)

<https://www.lia.org>

pristupljeno: 18.06.2024.

[10] MIT OpenCourseWare, „Understanding Lasers And Fiberoptics“,

<https://ocw.mit.edu/courses/res-6-005-understanding-lasers-and-fiberoptics-spring-2008/resources/laser-fundamentals-i/>

pristupljeno: 20.06.2024.

[11]

## 10. Prilozi

### 10.1. Popis slika

Slika 1., Princip rada trostupanjskog lasera. ....	3
Slika 2., Princip rada četverostupanjskog lasera .....	3
Slika 3., Građa i dijelovi lasera .....	4
Slika 4., Stimulirana emisija zračenja .....	7
Slika 5., Znak opasnosti od laserskog zračenja .....	9
Slika 6., Naočale za zaštitu od laserskog zračenja .....	11
Slika 7., Prikaz naočala za zaštitu od laserskog zračenja u uporabi.....	11
Slika 8., Osobna zaštitna oprema pri radu s laserima.....	12
Slika 9., Zavjesa za zaštitu od laserskog zračenja pri postupku laserskog zavarivanja .....	13
Slika 10., Lasersko rezanje.....	14
Slika 11., Lasersko zavarivanje.....	14
Slika 12., Lasersko graviranje .....	15
Slika 13., Lasersko označavanje komada metala QR kodom.....	15
Slika 14., Primjena lasera u geodeziji .....	16
Slika 15., Detektor onečišćenja u zraku .....	16
Slika 16., Uporaba lasera pri mapiranju terena .....	17
Slika 17., Operacija mreže uporabom lasera.....	17
Slika 18., ZEISS LSM 900 za materijale, uređaj za napredno snimanje i površinsku topografiju .....	18
Slika 19., Laserski tretman za smanjenje boli .....	19
Slika 20., Sustav primopredaje informacija između dva računala pomoću lasera .....	20
Slika 21., Koncept inercijske zatvorene fuzije pobuđene laserskom energijom .....	20
Slika 22., AN/PED-1 lagani daljinomjer s oznakom cilja, rad na principu lasera.....	21
Slika 23., Laserski tretman lica .....	22
Slika 24., Svjetlosni show sa festivala laserskih svjetlosnih predstava.....	23