# Laseri u dermatologiji

**Puljić, Ivana**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:272477

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-28**

*Repository / Repozitorij:*

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

# LASERI U DERMATOLOGIJI

**Završni rad**

**Ivana Puljić**

**Osijek, 2017**

# SADRŽAJ

1. UVOD ..... 1
2.1. Svjetlost ..... 2
2.2.Povijest razvoja lasera ..... 5
2.3. Princip rada lasera ..... 6
3. PRIMJENA LASERA U DERMATOLOGIJI ..... 8
3.1. Karakteristike ljudske kože ..... 8
3.1.1. Fitzpatrickova skala tipova kože ..... 8
3.1.2. Utjecaj lasera na tkivo ..... 10
3.1.3. Selektivna fototermoliza ..... 11
3.2. Vrste lasera u dermatologiji ..... 12
3.3. Vaskularne promjene kože ..... 13
3.3.1. Podjela vaskularnih promjena ..... 13
3.3.2. Lasersko uklanjanje vaskularnih promjena ..... 14
3.4. Pigmentne lezije ..... 15
3.4.1. Podjela pigmentnih lezija ..... 15
3.4.2. Lasersko uklanjanje pigmentnih lezija ..... 16
3.5. Uklanjanje tetovaža ..... 18
3.5.1. Tetoviranje, podjela tetovaža ..... 18
3.5.2. Lasersko uklanjanje tetovaža ..... 19
3.6. Struktura ljudske dlake ..... 21
3.6.1. Svojstva ljudske dlake ..... 21
3.6.2. Utjecaj lasera na folikul dlake ..... 22
4. MJERE SIGURNOSTI ..... 24
5. ZAKLJUČAK ..... 26
LITERATURA ..... 27
SAŽETAK ..... 32
ABSTRACT ..... 32
ŽIVOTOPIS ..... 33

# 1. UVOD

Otkriće lasera sredinom prošloga stoljeća uvelike je doprinijelo razvoju mnogih djelatnosti: medicini, stomatologiji, vojnoj industriji, spektroskopiji, mjeriteljstvu itd. Laser (skraćeno od engl. Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) je uređaj koji generira i pojačava svjetlost mehanizmom stimulirane emisije zračenja. Zadatak ovog završnog rada je detaljno opisati primjenu lasera u dermatologiji. Laseri se u dermatologiji koriste za uklanjanje neželjenih kožnih promjena koje mogu biti urođene (pigmentne lezije, vaskularne lezije) ili stečene (tetovaže). Budući da je laser uređaj koji generira i pojačava svjetlost, važno je razumjeti prirodu svjetlosti, što je opisano u drugom poglavlju rada. Nakon toga je objašnjen razvoj lasera kroz povijest, osobe koje su zaslužne za njegov razvoj te princip rada lasera, dijelovi lasera i procesi nastajanja laserskog zračenja. Skoro svi laseri koji se koriste rade na principu selektivne fototermolize, što je objašnjeno u trećem poglavlju rada. U trećem poglavlju rada također je objašnjen utjecaj lasera na kožu te upotreba lasera kod različitih kožnih promjena u dermatologiji. I na kraju, kod upotrebe lasera najvažnija je sigurnost pacijenta i osoba koje vrše laserske tretmane pa su u zadnjem poglavlju rada objašnjene mjere sigurnosti prilikom rada laserom.

# 2.LASER

## 2.1. Svjetlost

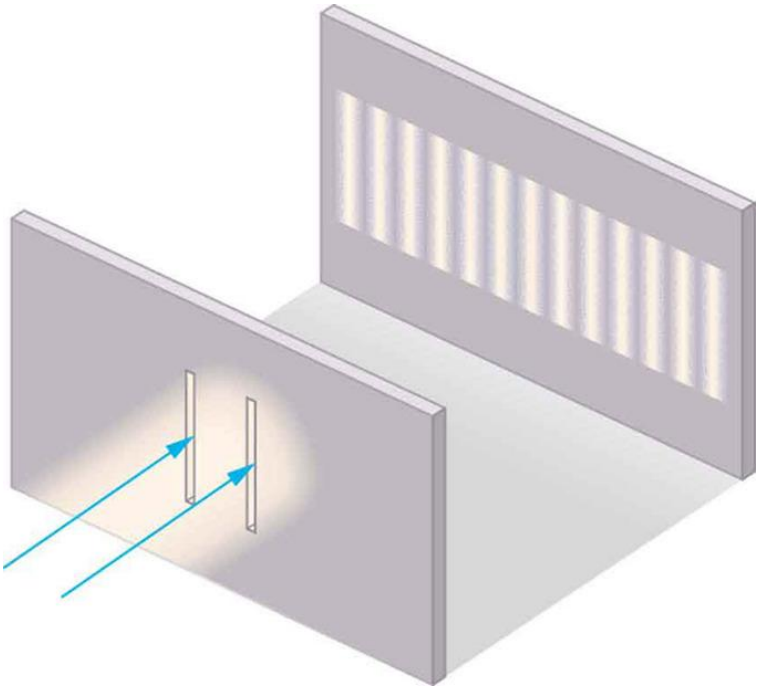
Na pitanje 'Što je svjetlost?' veoma je teško dati točan i konačan odgovor. Kroz povijest pojavljivale su se različite teorije o svjetlosti. Drevni Grci, Arapi i Kinezi su imali teorije o svjetlosti koje su bile prihvaćene tisućama godina, iako je većina njih bila netočna. U 17. stoljeću pojavljuju se dvije teorije svjetlosti koje dovode do sukoba

Isaac Newton je začetnik korpuskularne teorije svjetlosti. Korpuskularna teorija govori da se svjetlost ponaša kao da je sastavljena od čestica. On je davne 1666. godine u svome pokusu proučavao lom svjetlosti kroz staklenu prizmu. Svojim pokusom došao je do zaključka da se bijela svjetlost sastoji od boja te da se svaka boja lomi pod različitim kutom nakon čega se pojavljuje spektar boja, što je vidljivo na slici 2.1. Te boje uvijek se pojavljuju u istom redoslijedu: ljubičasta, plava, zelena, žuta, narančasta i crvena.[1,2]

**Sl. 2.1.** Isaac Newton proučava lom svjetlosti [3]

1678. Christiaan Huygens iznio je undulatornu teoriju svjetlost. Prema njegovoj teoriji, izvor svjetlosti se širi kao sferni val, odnosno kao valovi oko kamena kada se baci u mirnu vodu. Po njegovom principu svaka točka valne fronte postaje sekundarni izvor koji emitira sferni val u prostor ispred sebe. Da je svjetlost valne prirode potvrdio je 1903. godine Thomas Young svojim pokusom u kojem je demonstrirao interferenciju valova svjetlosti kroz dvije uske pukotine koje djeluju kao dva koherentna izvora svjetlosti. Interferencijski uzorak čine nizovi svijetlih pruga

koje dokazuju pojavu konstruktivne interferencija i tamnih pruga koje dokazuju pojavu destruktivne interferencije, što je vidljivo na slici 2.2.. [4, 5]

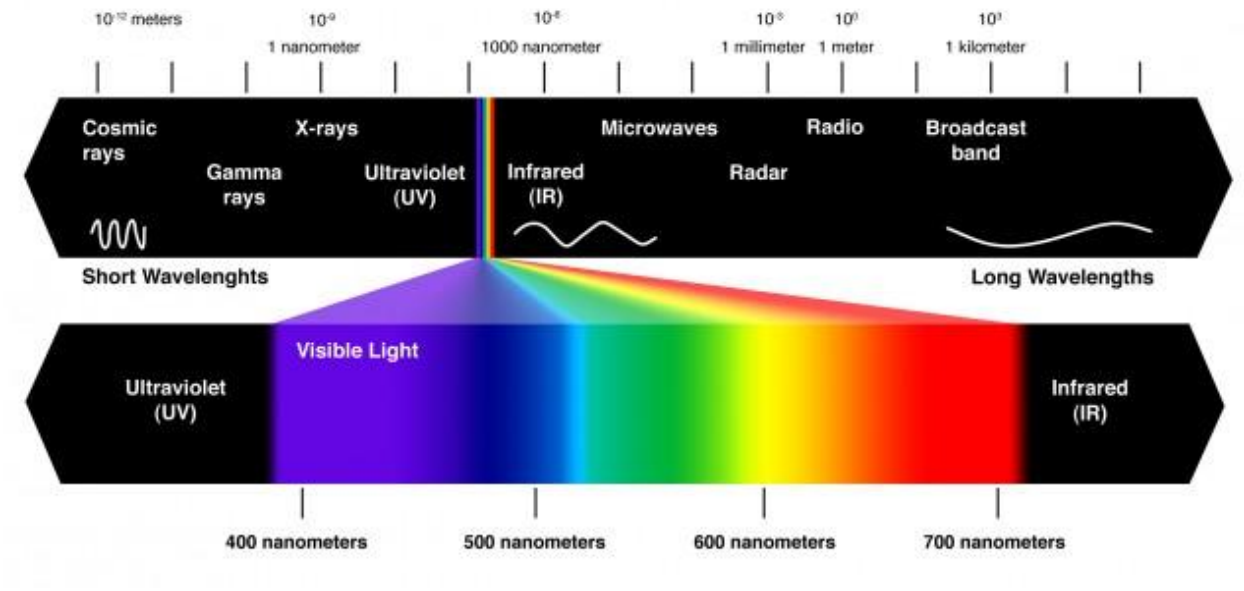


**Sl. 2.2**. Youngov pokus [6]

Sljedeći fizičar koji je potvrdio valnu prirodu svjetlosti bio je James Clerk Maxwell koji se bavio proučavanjem elektromagnetizma. Njegove 4 jednadžbe dokazuju da magnetsko i električno polje u elektromagnetskom valu titraju okomito jedno na drugo te da su oba okomita na smjer širenja vala. Budući da su te jednadžbe odgovarale tada poznatim jednadžbama za svjetlost, Maxwell je došao do zaključka da je i svjetlost elektromagnetski val. Također, njegova je teorija dala najprecizniji iznos brzine svjetlosti do koje je došao preko električnih i magnetskih parametara vakuuma. Konačnu potvrdu teorije da je svjetlost elektromagnetski val dao je njemački fizičar Heinrich Hertz svojim uređajem za odašiljanje i detekciju elektromagnetskih valova. [7]

I na kraju, odgovor na pitanje 'Što je svjetlost?'. Svjetlost je elektromagnetsko zračenje vidljivo ljudskom oku valne duljine u rasponu od 400 do 700 nm elektromagnetskog spektra koji je

vidljiv na slici 2.3.Svjetlost je  sastavljena od roja čestica (fotona).




**Sl. 2.3.** Spektar elektromagnetskog zračenja[8]

Brzina svjetlosti u vakuumu  iznosi  299,792,485 $ms^{-1}$. Brzina svjetlosti, valna duljina i frekvencija elektromagnetskog vala upotpunjuju relaciju:

$$c = \lambda v \tag{2-1}$$

gdje je:

$c = brzina\ svjetlosti\ (m/s\ )$

$\lambda = valna\ duljina\ elektromagnetskog\ vala(m)$

$v = frekvencija\ elektromagnetskog\ vala(Hz = s^{-1})$

[9]

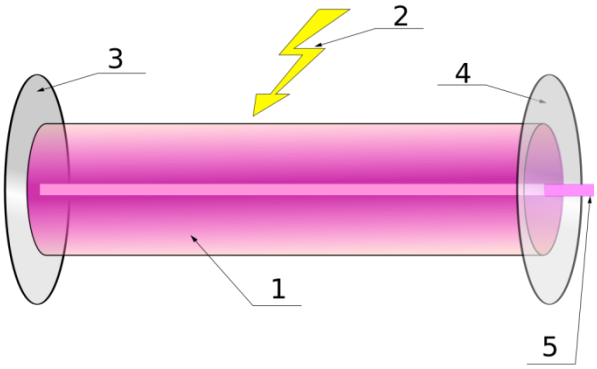
## 2.2.Povijest razvoja lasera

Za razvoj lasera najviše je zaslužan Albert Einstein koji je u svome radu On the Quantum Theory of Radiation objasnio mehanizam stimulirane emisije zračenja te time predvidio izum lasera. Prethodnik lasera bio je MASER (skraćeno od engl. Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation), uređaj koji je izvor mikrovalova, odnosno elektromagnetskih valova valne duljine u rasponu od 100 cm i 0.1 cm . Ono što je pokrenulo razvoj masera je bilo povećanje zanimanja za mikrovalno zračenje koje je u to vrijeme koristilo u radarskoj tehnologiji. Prvi maser napravili su Charles H. Townes, James P. Gordon i Herbert Zeiger 1951. godine. Nakon realiziranja masera znanstvenici su razmišljali postoji li mogućnost stimulirane emisije zračenja u ostalim područjima elektromagnetskog spektra. 1958. godine Arthur Schawlow i Charles H. Townes su počeli istraživati mogućnost optičkog i infracrvenog (engl. IR, skraćeno od infrared) masera. Iste godine objavili su prvi detaljni plan izrade optičkog masera (kasnije nazvanog laser) u časopisu Physical Review. Međutim, javile su se mnoge poteškoće u izradi lasera po njihovom planu jer je bilo potrebno naći odgovarajući laserski medij za male valne duljine svjetla vidljivog ljudskom oku. Dvije godine kasnije, odnosno 1960. godine, zaposlenik američke tvrtke Hughes Research Laboratories Theodore H. Maiman (Sl. 2.4.) izumio prvi uspješan laser. Njegov laser sastojao se od crvenih rubinskih kristala koji su se nalazili unutar bljeskalice. Na taj način Maimanov laser emitirao je svjetlost valne duljine 694 nm. Taj događaj označio je početak razvoja lasera. Ubrzo nakon toga razvijeni su Nd:YAG laser, CO2 laser, Argonski laser, diodni laser itd... [9, 10]

**Sl. 2.4.** T. Maiman i njegov laser [11]

## 2.3. Princip rada lasera

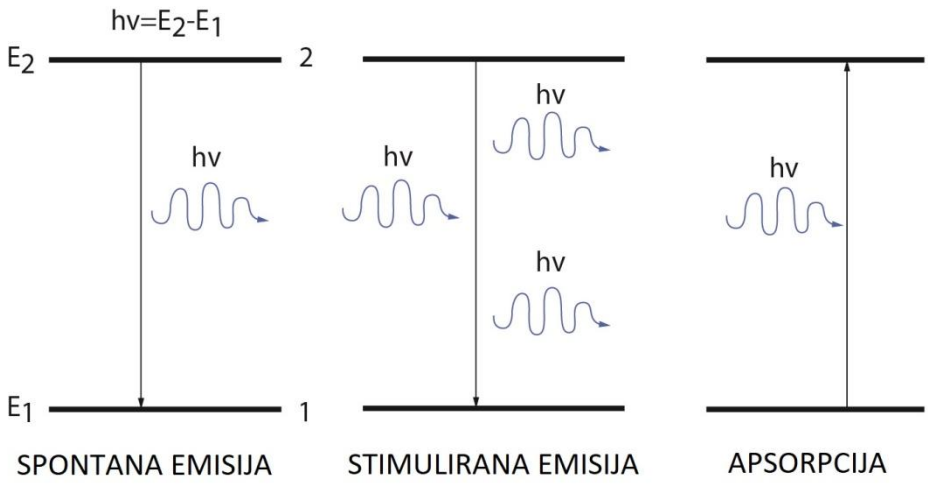
Za razliku od ostalih oblika svjetlosti, laserska svjetlost posjeduje posebna svojstva koja ju čine značajno efikasnijom i opasnijom od ostalih vrsta svjetlosti iste jačine. Laserska svjetlost ima tri svojstva: monokromatičnost, koherentnost i usmjerenost. Monokromatičnost znači da se svjetlost emitira na određenoj valnoj duljini, odnosno da sadrži samo jednu frekvenciju ili veoma uzak raspon elektromagnetskog spektra. Koherentnost znači da su sve čestice (fotoni) međusobno nalaze u istoj fazi. Usmjerenost označava paralelnost svih fotona u snopu svjetlosti. Usmjerenost rezultira malom divergencijom na velikoj udaljenosti što omogućuje laserskoj zraci da se kontrolira i fokusira. Svaki laser sastoji se od tri osnova dijela. Prvi dio je laserski medij koji može biti s čvrstom jezgrom (kristal, staklo), tekući (bojila), plinski (helij, CO2) ili poluvodič. Drugi dio lasera je energija za pobuđivanje medija. Medij se može pobuditi visokim naponom, kemijskim reakcijama, diodama, bljeskalicama ili drugim laserom. Treći dio lasera je optički rezonator koji se sastoji od šupljine u kojoj se nalazi laserski medij okružen s dva paralelna zrcala s obje strane. Jedno zrcalo je potpuno reflektirajuće, dok je drugo samo dijelom reflektirajuće što omogućava svjetlosti da napusti šupljinu da proizvede izlaznu lasersku zraku. Prikaz dijelova lasera vidljiv je na slici 2.5. [12, 13]




**Sl. 2.5**. Dijelovi lasera: 1)laserski medij, 2)energija za pobuđivanje medija, 3)potpuno reflektirajuće zrcalo 4)dijelom reflektirajuće zrcale 5)laserska zraka [14]

U prethodnom poglavlju je navedeno da je za izum lasera najzaslužniji Albert Einstein koji je objasnio procese nastajanja laserskog zračenja:

- **Apsorpcija** predstavlja proces u kojem foton u stanju energije E1 podvrgnut elektromagnetskom zračenju može apsorbirati foton energije hv i prijeći u stanje više energije $E_2 = E_1 + hv$
- **Spontana emisija** predstavlja proces u kojem sustav emitira foton energije hv prelazeći iz stanja više energije u stanje niže energije. Spontana emisija stvara nekoherentno zračenje i zaslužna je za fluorescentnost izlaznoga medija
- **Stimulirana emisija** je proces u kojem foton iz pobuđenog stanja prelazi u stanje niže energije emitirajući još jedan foton energije hv [16,17]

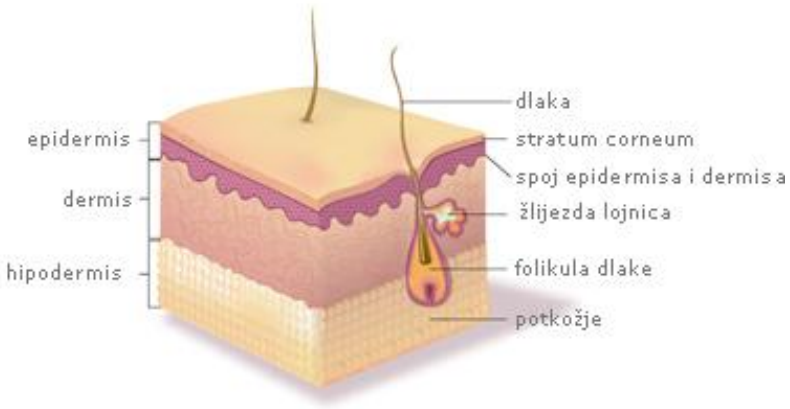



**Sl. 2.6.** Prikaz procesa spontane emisije, stimulirane emisije i apsorpcije [18]

# 3. PRIMJENA LASERA U DERMATOLOGIJI

## 3.1. Karakteristike ljudske kože

Koža je najveći organ ljudskoga tijela koji teži 16% tjelesne mase i zauzima površinu od 1.8 $m^2$. Ima mnogo funkcija, ali najvažnije su to što formira fizičku barijeru od okoline, dopušta i ograničava protok vode, elektrolita i raznovrsnih supstanci. Koža također pruža zaštitu od mikroorganizama, ultraljubičastog zračenja i otrovnih tvari. Koža se sastoji od tri dijela: epidermisa, dermisa i potkožnog tkiva, što je vidljivo na slici 3.1 . [19]



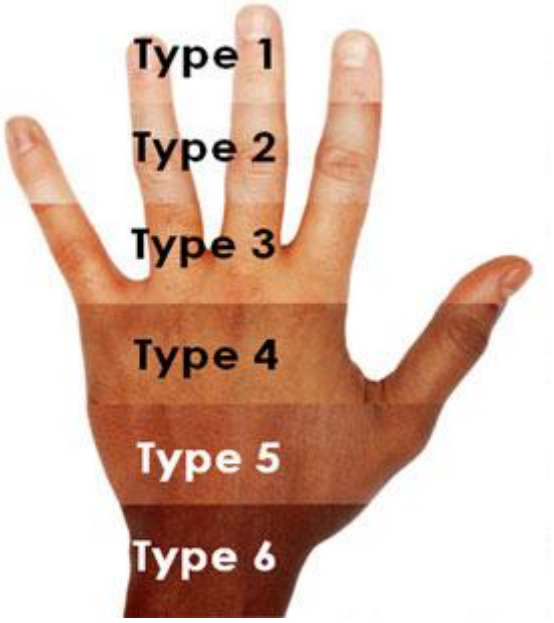

**Sl. 3.1.** Prikaz dijelova kože [20]

### 3.1.1. Fitzpatrickova skala tipova kože

Thomas B. Fitzpatrick je 1975. razvio skalu tipova kože ovisno o boji kože te kako koža reagira na izlaganje suncu, odnosno potamni li ili pogori pri izlaganju suncu. Fitzpatrickova skala se koristi za analiziranje osjetljivosti kože na sunce, mogućnost oštećenja kože kod UV zračenja i uzroka raka kože. Skala je podijeljena na 6 tipova kože ovisno o boji kože i reakciji kože na sunce, što je vidljivo u tablici 3.1. i na slici 3.2. Dva glavna čimbenika koja utječu na boju kože su genetske predispozicije i reakcija kože na sunce. [21]

| TIP KOŽE | BOJA OČIJU/KOSE | BOJA KOŽE | SPOSOBNOST TAMNJENJA | RASA |
|---|---|---|---|---|
| I | svijetloplave/zelene/ sive oči, plava/crvena kosa | bijela | lako pogori, nikad ne pocrni | bijelci |
| II | plave/zelene/sive oči, svijetlosmeđa kosa | bijela | lako pogori, pocrni minimalno | bijelci |
| III | svijetlosmeđe oči, smeđa kosa | bijela | umjereno pogori, pocrni umjereno i ravnomjerno | bijelci |
| IV | smeđe oči, smeđa kosa | maslinasta | minimalno pogori, pocrni umjereno i lako | mongoloidi, bijelci |
| V | smeđe/ crne oči, smeđa/crna kosa | smeđa | rijetko pogori, pocrni obilno | mulati, zamboi |
| VI | crne oči, crna kosa | tamnosmeđa/crna | nikada ne pogori, pocrni obilno | negroidna |

**Tab 3.1.** Fitzpatrickova skala [21]




**Sl. 3.2.** Prikaz Fitzpatrickovih tipova kože [22]

### 3.1.2. Utjecaj lasera na tkivo

Da bi se objasnila interakcija lasera i tkiva, važno je razumjeti kako fotoni prodiru u tkivo. Kada fotoni ulaze u površinu tkiva, dio fotona (4-10%) se reflektira ovisno o kutu nagiba. Fotoni na površini tkiva se reflektiraju prema Snellovom zakonu (3-1) prema kojem se svjetlosna zraka lomi na graničnoj plohi pri prijelazi između dvaju optičkih sredstava s različitim indeksima loma. Indeks loma tkiva iznosi ~1.4. [9]

$$\frac{sin\alpha_1}{sin\alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} \tag{3-1}$$

gdje je: $\alpha_1$=upadni kut na površinu

$\alpha_2$=kut loma

$n_1, n_2$=indeksi loma dvaju sredstava

[23, 24]

Tkiva mogu biti definirana po svojim optičkim svojstvima (apsorpcija, raspršenje), toplinskim svojstvima (toplinski kapacitet, toplinska vodljivost), mehaničkim svojstvima (visokoelastičnost) te po kemijskome sastavu (voda, endogeni i egzogeni čimbenici). Ovisno o području na koje laser djeluje, neka svojstva će dominirati nad drugim svojstvima. Laserska zraka ima 3 vrste učinka na tkivo: [25]

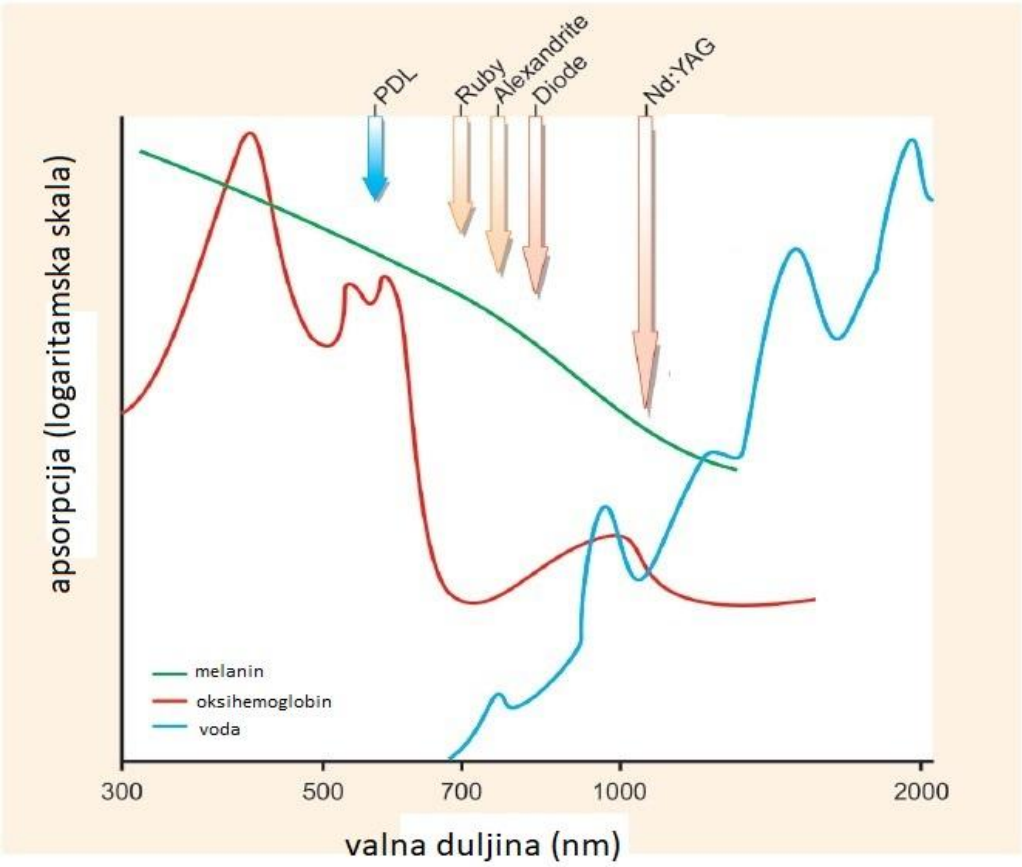
- Fotomehanički učinak koji je posljedica djelovanja visoke energije zračenje tijekom vrlo kratkih pulseva. Koristi se u terapiji za uklanjanje tetovaža i pigmentnih lezija. [26, 27]
- Fotokemijski učinak koji se odnosi na apsorpciju svjetlosti koja pokreće kemijske reakcije [25]
- Fototermički učinak kod kojeg kromofori apsorbiraju lasersku svjetlost, te se laserska svjetlost pretvara u toplinu. Posljedica je brzo zagrijavanje obasjanog tkiva. Koristi se za liječenje vaskularnih lezija i za uklanjanje dlaka.[ 27, 28]

Energija laserske zrake se nakon apsorpcije u tkivo pretvara u toplinu. Stupanj termički uvjetovanog oštećenja tkiva ovisi o dužini obasjavanja tkiva i o sastavu ciljanog tkiva. Da bi se izbjegla oštećenja tkiva (ciljnog i okolnog) prilikom obasjavanja laserskom zrakom, važan je sustav hlađenja prilikom obasjavanja, prilagođeno vrijeme obasjavanja i način rada lasera. [27]

### 3.1.3. Selektivna fototermoliza

Teoriju selektivne fototermolize su utemeljili Anderson i Parrish 1983. godine. Na njihovoj teoriji se temelji selektivno odstranjivanje različitih kožnih promjena. Svaka vrsta lezije (promjena, oštećenje kože) sastoji se od različitih kromofora. Njihova teorija se zasniva na tome da kožne kromofore (hemoglobin, melanin, oksihemoglobin, protein, lipid, voda) mogu apsorbirati određenu valnu duljinu svjetla te da se primjenom valne duljine laserske zrake koja odgovara apsorpciji valne duljine određene kromofore postiže selektivno odstranjivanje ciljnog tkiva bez toplinskog oštećenja okolnog tkiva. Također je bitno vrijeme trajanja pulsa, odnosno izlaganje kože laserskome zračenju. Anderson i Parrish su došli do zaključka da vrijeme trajanja pulsa mora biti kraće od vremena relaksacije, odnosno vremena koje je potrebno da 50% temperature ciljanoga tkiva nakon djelovanja laserske svjetlosti prijeđe u okolno tkivo procesom termalne difuzije. [29, 30]

Na slici 3.3. prikazani su kožni kromofori melanin, voda i oksihemoglobin, valne duljine koje određeni kromofor može apsorbirati te laseri koji se koriste kod određenog kromofora.




Sl. 3.3. Prikaz valne duljine apsorpcije kromofora i odgovarajućih lasera [31]

## 3.2. Vrste lasera u dermatologiji

Zahvaljujući laserima moguće je ukloniti mnoge prirođene i stečene kožne promjene. U današnje vrijeme postoje brojni laserski sustavi čija primjena ovisi o valnoj duljini emitiranja laserske zrake i trajanju pulsa.[30] U tablici 3.2. su prikazane vrste lasera koji se koriste u dermatologiji s pripadajućom valnom duljinom i primjenom na kožu.

| **VRSTA LASERA** | **VALNA DULJINA** | **PRIMJENA NA KOŽU** |
|---|---|---|
| argonski | 418/514 nm | liječenje vaskularnih lezija |
| CU (bakar) laser s metalnim parama | 510/578 nm | liječenje pigmentnih lezija, liječenje vaskularnih lezija |
| ND:YAG laser | 532 nm | liječenje pigmentnih lezija, uklanjanje crvenih/narančastih/žutih tetovaža |
| laseri s bojilima | 510 nm | liječenje pigmentnih lezija |
| | 585-595 | liječenje vaskularnih lezija, liječenje hipertrofičnih ožiljaka, uklanjanje strija |
| rubinski laser | 694 nm | liječenje pigmentnih lezija, uklanjanje plavih/crnih/zelenih tetovaža |
| aleksandrit laser | 755 nm | liječenje pigmentnih lezija, uklanjanje plavih/crnih/zelenih tetovaža, uklanjanje dlaka, uklanjanje proširenih vena |
| diodni laser | 800-810 nm | uklanjanje dlaka, uklanjanje proširenih vena |
| IPL | 515-1200 | liječenje površinskih pigmentnih lezija, liječenje vaskularnih lezija, uklanjanje dlaka |

**Tab. 3.2.** Vrste lasera koji se koriste u dermatologiji [32]

## 3.3. Vaskularne promjene kože

### 3.3.1. Podjela vaskularnih promjena

Mulliken i Glowacki su 1982. godine predstavili podjelu vaskularnih anomalija na:

- Hemangiome (lat, hemangio- krvna žila, oma-tumor), odnosno benigni tumor krvnih žila koji se najčešće nalazi u mekim tkivima usne šupljine. Također, moguće je da se nalaze i u kostima, najčešće u čeljusnim kostima, lubanji i kralježnici. Hemangiomi se dijele na:
    - Arterio-venske malformacije su kongenitalni (urođeni) hemangiomi koji postaju vidljivi tek u kasnijem tijeku života, bezbolni su i mekani.
    - Kapilarno venske hemangiome koji su također kongenitalni i uglavnom plavkaste boje
    - Kavernome odnosno venozne tzv. džepove koji rastu iz normalnih vena

  [33, 34]
- Vaskularne malformacije (Sl.3.4) su blijede, mutne ili svjetlo roze mrlje koje se javljaju pri rođenju. Kako dijete raste, one se povećavaju i šire u znatno veće tamno-crvene mrlje. [35] Vaskularne malformacije se dijele na:
    - Vaskularne malformacije sporog protoka (kapilarne malformacije, venske malformacije, limfne malformacije)
    - Vaskularne malformacije brzog protoka (arterijska malformacija, arteriovenska malformacija) [36]

**Sl.3.4.** Vaskularna malformacija [37]

### 3.3.2. Lasersko uklanjanje vaskularnih promjena

Laseri za uklanjanje vaskularnih promjena koriste princip selektivne fototermolize te ciljaju intravaskularni oksihemoglobin kako bi ostvarili uklanjanje vaskularnih lezija. Apsorpcijski maksimum oksihemoglobina se nalazi u vidljivom dijelu elektromagnetskoga spektra na valnoj duljini od 419, 542 i 577 nm. Laseri koji se koriste za liječenje vaskularnih lezija uključuju argonski laser (488-514 nm), APTD (engl. Argon-pumped tunable dye) laser (577 i 585 nm), KTP laser (532 nm), kripton laser (568 nm), laser s bojilima (585-595 nm) i Nd:YAG laser (532 i 1064 nm). [30, 32 ]

Laseri generiraju intenzivnu toplinu koja uništava neprirodne krvne žile ispod kože bez oštećenja zdravog dijela tkiva. U slučaju vaskularnih promjena najčešće se koriste dvije vrste lasera: Flashlamp Pulsed Dye laser (FPDL) i Nd:YAG laser. FDPL laser se koristi za uklanjanje tzv. port wine mrlja prodirući do dubine od 1.8 mm te ostavljajući mali ožiljak na koži. Nd:YAG laser se koristi za tretman dubokih hemangioma prodirući do dubine od 6 mm. Kod FDPL lasera koristi se samo anestetska krema, dok se kod Nd:YAG lasera koristi lokalna ili opća anestezija. [35] Posljedice operacije su edem i promjene pigmentacije, no te su promjene kratkotrajne i prolazne. [30]

Prvi laser koji se koristio za liječenje vaskularnih lezija bio je argonski laser. Argonski laser emitira neprekidnu plavo-zelenu zraku s maksimalnom valnom duljinom od 488 i 514 nm. Iako je korišten u prošlosti za liječenje vaskularnih lezija, u današnje vrijeme se ne koristi zbog nespecifičnog termalnog oštećenja okolnog tkiva koje rezultira ožiljcima i promjenama pigmentacije kože. [30, 32]

**Sl. 3.5.** Hemangiom prije i poslije laserskog tretmana [38]

## 3.4. Pigmentne lezije

### 3.4.1. Podjela pigmentnih lezija

Boja kože ovisi o genskom utjecaju, izlaganju UV zračenju i hormonskom utjecaju. Boja kože nastaje miješanjem crvene (oksihemoglobin), plave (deoksihemoglobin), žute (karoten) i crne (melanin). Najvažniji pigment od njih je melanin. Poremećaji pigmentacije uglavnom su posljedica promjena u sadržaju melanina, a mogu biti urođeni i stečeni.Pigmentne lezije se dijele ovisno o dubini pigmenta na:

- Epidermalne pigmentne lezije (lentigo, pjege, nevus spilus, spojni nevus i seboreična keratoza)
- Dermalne pigmentne lezije (plavi nevus i nevus ota)
- Kombinirane (melasma, složeni nevus, urođeni nevus)[39]

Načelo koje svi laserski kirurzi moraju strogo poštivati je to da nevuse (madeže) atipičnih svojstava nikada ne smiju biti uklanjane laserom. Atipični nevusi mogu ukazivati na zloćudni tumor kože- melanom. Nevusi atipičnih svojstva se mogu sažeti akronimom ABCDE, što znači:

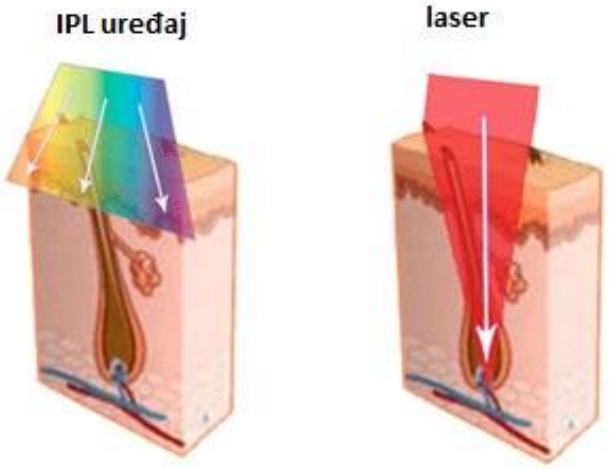
- A= asymmetry (asimetrični oblik), jedna polovica se razlikuje od druge polovice
- B= border (granica), nevus je nepravilnih granica
- C=color (boja), nevus je promijenio boju, sastoji se od više boja ili je nejednake boje
- D=diameter (promjer), nevus je promjera većeg od 6 mm
- E=evolution (promjena), nevusi koji mijenjaju veličinu, oblik i boju [40]

### 3.4.2. Lasersko uklanjanje pigmentnih lezija

Laseri koji se koriste za uklanjanje pigmentnih lezija također koriste princip selektivne fototermolize. Za razliku od oksihemoglobina koji predstavlja ciljni kromofor kod uklanjanja vaskularnih lezija, laseri za uklanjanje pigmentiranih lezija ciljaju melanin. Kao ciljni kromofor melanin ima širok spektar apsorpcije unutar ultraljubičastog, vidljivog i infracrvenog dijela elektromagnetskog spektra, odnosno apsorpciju valne duljine od 250 do 1200 nm. Za melanin koji sadrži melanosome promjera 0.5 μm se smatra da vrijeme relaksacije iznosi između 50 ns i 500 ns.[29] Prema tome, Q-switch laseri su idealni za uklanjanje pigmentnih lezija jer imaju izuzetno kratko trajanje laserskog impulsa. Kod većine ostalih lasera trajanje laserskog impulsa se mjeri u ms, dok se kod Q-switch lasera trajanje impulsa mjeri u ns.Vrste Q-switch lasera su rubinski valne duljine 694 nm, Nd:YAG valne duljine 1064 nm, aleksandrit valne duljine 755 nm i KTP valne duljine 532 nm. [41].

Q-Switch laseri koji se koriste za tretiranje površinskih pigmentnih lezija su Nd:YAG laser dvostruke frekvencije na valnoj duljini od 532 nm, rubinski laser valne duljine 694 nm i aleksandrit laser valne duljine 755 nm. Za dublje pigmentne lezije koriste se Q-switch rubinski laser i aleksandrit laser na istim valnim duljinama kao i kod površinskih pigmentnih lezija te Nd:YAG laser valne duljine 1064 nm. Nd:YAG laser valne duljine 1064 nm bi se trebao koristiti kod uklanjanja pigmentnih lezija pacijenata tamnije kože, zato što smanjuje rizik od ozljede epidermisa i pigmentnih poremećaja.

Za uklanjanje pigmentnih lezija se također koriste CW (Continuous-Wave) laseri, laseri pulsa dugog trajanja i IPL uređaji. Vrste CW lasera su CW argonski laser valne duljine 488 i 514 nm, CW laser s bojilima valne duljine 577 i 585 nm, CW kripton laser valne duljine od 521 do 530 nm i CO2 laser valne duljine 10600 nm. CO2 laser učinkovito uklanja epidermalne pigmentne lezije jer je zbog svoje valne duljine u mogućnosti doprijeti do vode u epidermisu. Laseri pulsa dugog trajanja se koriste kod velikih pigmentnih lezija. IPL (engl. Intense Pulse Light) je tehnologija koja za razliku od lasera emitira polikromatsku svjetlost, što znači da se svjetlost koju emitiraju IPL uređaji sastoji od više valnih duljina i emitira širok spektar svjetlosti, što je vidljivo na slici 3.6. . IPL uređaji emitiraju svjetlost valne duljine od  do 515 do 1200 nm te su zbog širokog spektra mogućih kombinacija valnih duljina, trajanja i intervala pulsa veoma efikasni kod uklanjanja pigmentnih lezija. [42]




**Sl. 3.6**.Emitiranje spektra svjetlosti IPL uređaja i lasera [43]

Što se tiče samog postupka uklanjanja pigmentnih lezija laserom, vrlo je važno da se drška laserskog uređaja drži okomito na područje na koje laser djeluje uz preklapanje bljeskova od najviše 10%. Uklanjanje lezija IPL uređajem ili Q-switch laserom rijetko zahtjeva anesteziju. Kada je potrebno koristi se topikalna anestetska krema koja se nanosi sat-dva prije tretmana. Q-switch laseri ostavljaju mrlje pepeljasto bijele boje na mjestu primjene koje nestaju u roku od nekoliko do 15 minuta, vraćajući normalnu boju kože. Postoperativna njega se sastoji od mazanja tretiranog područja kremama i izbjegavanja izlaganja suncu da bi se izbjegao rizik od postupalne hiperpigmentacije. [42]

**Sl.3.7 .**Pjege lica prije i nakon tretmana laserom

## 3.5. Uklanjanje tetovaža

### 3.5.1. Tetoviranje, podjela tetovaža

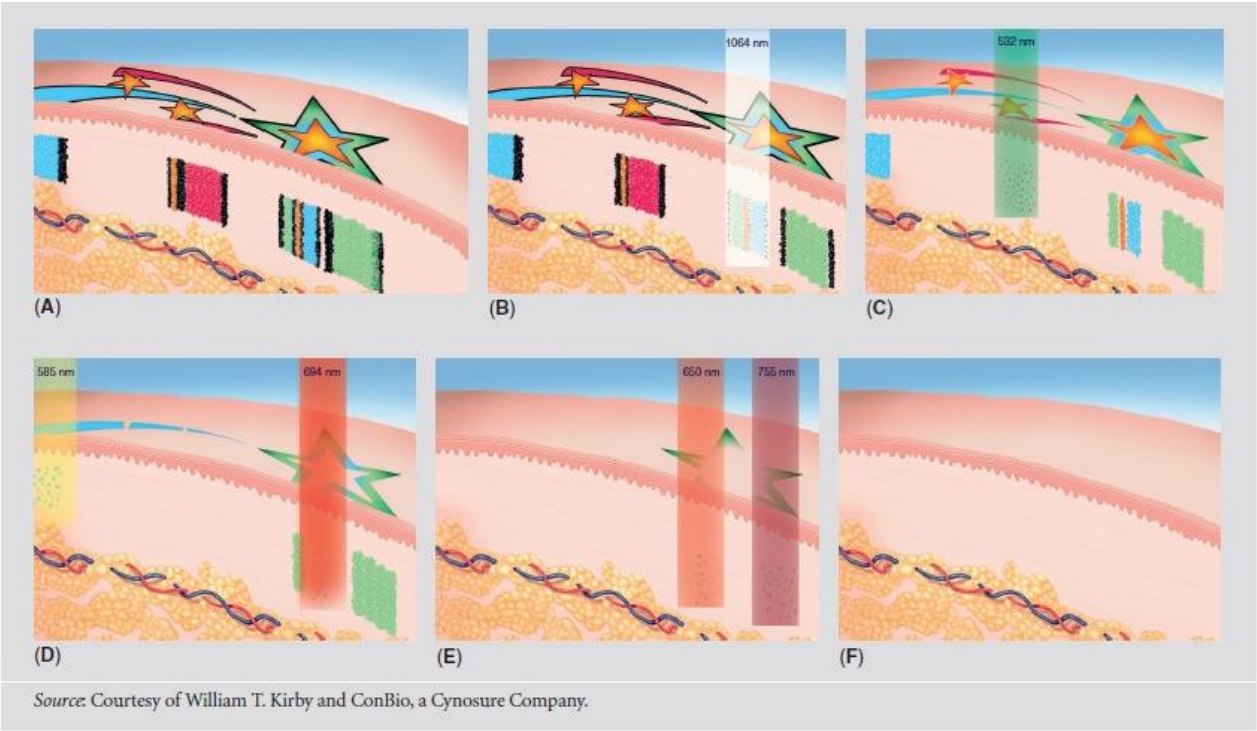
Proces tetoviranja predstavlja injektiranje pigmenata boje u stanice kože na oko milimetar dubine. Pigment se ubrizgava pomoću vibrirajuće igle i električnog držača ruke. Još uvijek nije potpuno objašnjeno kako pigmenti utječu na organizam. Ono što se zasigurno zna je to da dio boje kod procesa tetoviranja prelazi na susjedne limfne čvorove i dovodi do promjene njihove boje. [44]

Postoji pet vrsta tetovaža:

- Profesionalne tetovaže koje rade registrirani tattoo umjetnici koristeći profesionalnu opremu za tetoviranje.
- Amaterske tetovaže izvode pojedinci ili njihovi prijatelji bockanjem tinte, ugljena ili pepela pod kožu iglom
- Traumatske tetovaže nastaju nekakvom traumom, npr. eksplozijom, kemijskim djelovanje ili nakon prometne nesreće. [45]
- Kozmetičke tetovaže se odnose na trajni make-up poput linija na očima, ruža za usne, rumenila, iscrtavanja obrva ili imitacije kose. .
- Medicinske tetovaže se koriste kod pacijenata s posebnim stanjima i kroničnim oboljenjima kako bi upozorili zdravstvene djelatnike u slučaju nužde. Također, liječnici često koriste tetovaže da bi označili određena mjesta zbog ponavljanja primjena ili terapije zračenjem. .[46]

### 3.5.2. Lasersko uklanjanje tetovaža

Lasersko uklanjanje tetovaža se također temelji na procesu selektivne fototermolize. U ovom slučaju ciljaju se pigmenti tinte koji se nalaze u tetovaži, što je vidljivo na slici 3.8. Nekoliko čimbenika ima važan utjecaj na lasersko uklanjanje tetovaža. Prvi čimbenik je boja pigmenta. Kako se svaki pigment nalazi na različitoj valnoj duljini, bitno je odabrati odgovarajuću vrstu lasera za svaki pigment. Crni pigment apsorbira valnu duljinu unutar crvenog i infracrvenog dijela spektra pa se za uklanjanje crnog pigmenta koriste Q-switch laseri: rubinski valne duljine 694 nm, aleksandrit valne duljine 755 nm ili Nd:YAG valne duljine 1064 nm. Plavi i zeleni pigment apsorbiraju valnu duljinu od 600 do 800 nm pa su rubinski laser valne duljine 694 nm i aleksandrit laser valne duljine 755 nm najbolji izbor za uklanjanje ta dva pigmenta. Crveni, narančasti i žuti pigment apsorbiraju zelenu svjetlost pa se za njihovo uklanjanje koristi Q-switch Nd:YAG laser valne duljine 510 nm. [32]




**Sl. 3.8.** Princip laserskog uklanjanja tetovaže: (A) Netretirana tetovaža u različitim bojama; (B) Uklanjanje crne boje pomoću lasera valne duljine 1064 nm; (C) Uklanjanje narančaste i crvene boje pomoću lasera valne duljine 532 nm; (D) Uklanjanje plave boje pomoću lasera valne duljine 585 ili 694 nm; (E) Uklanjanje zelene boje pomoću lasera valne duljine 650 ili 735 nm; (F) Tkivo nakon uklanjanja svih pigmenata [47]

Drugi važan čimbenik je vrsta tetovaže, odnosno radi li se o profesionalnoj ili amaterskoj tetovaži. Kod profesionalnih tetovaža čestice tinte se nalaze dublje nego kod amaterskih tetovaža pa je zato potrebna veća dubina prodiranja lasera. Zbog dubine čestica tinte za uklanjanje amaterskih tetovaža je potrebno 5 do 10 tretmana, dok je za uklanjanje profesionalnih tetovaža potrebno 15 do 20 tretmana laserom. Lokacija tetovaže je također bitan čimbenik. Zbog sporijeg limfnog protoka tetovaže na listovima i podlaktici se sporije uklanjaju od tetovaža na leđima ili abdomenu. Idući važan čimbenik je starost tetovaže. Što je tetovaža starija, teže je ukloniti pigment jer se nalazi dublje u koži pa je potrebno više tretmana nego kod mlađih tetovaža. Kao kod pigmentnih lezija, postoperativna njega se sastoji od mazanja tretiranog područja odgovarajućim kremama i izbjegavanja izlaganja suncu. Kod uklanjanja malih tetovaža uglavnom se ne koristi anestezija, dok se kod uklanjanja većih tetovaža koristi topikalna anestetska krema ili lokalna anestezija. [29]

**Sl. 3.9**. Originalna tetovaža/ tetovaža nakon 4 tretmana laserom /tetovaža nakon 5 tretmana laserom [48]

## 3.6. Struktura ljudske dlake

### 3.6.1. Svojstva ljudske dlake

Dlake su rožnate tvorevine u obliku tvrdih elastičnih niti čija je glavna zadaća sprječavanje prekomjernoga gubitna tjelesne topline i zaštita od štetnih vanjskih utjecala. Sastoje se od donjega dijela koji je duboko usađen u kožu te od vanjske, dugačke i tanke cilindrične niti. Dlake pokrivaju gotovo cijelu površinu kože, a najgušće su na glavi, oko 600 dlaka/$cm^2$, dok su na ostalim dijelovima oko 60 dlaka/$cm^2$. Dlake izrastaju iz folikula koji je smješten u dermisu, a sastoje se od dva dijela: dijela ispod kože, odnosno korijena dlake i dijela iznad kože, odnosno stabljike dlake. Glavninu dlake čini kora u čijoj se sredini nalazi tanka moždina, a izvana ju oblaže kutikula. [49]

Postoji tri vrste dlaka: lanugo, velus i terminalne dlake. Lanugo dlake su mekane i nepigmentirane dlačice koje prekrivaju fetus i nestaju u razdoblju nakon rođenja. Zamjenjuju ih velus dlake koje su također nepigmentirane i imaju promjer od 30 do 50 μm. U pubertetu ih zamjenjuju terminalne dlake, koje su tamnije i deblje promjera od 150 do 300 μm. [50,51]

Boja dlake je određena količinom pigmenta u folikulu dlake. Melanocit, odnosno stanica kože koja proizvodi melanin, proizvodi dva tipa melanina: eumelanin, odnosno crno-smeđi pigment, i feomelanin, odnosno crveni pigment. Prekomjerna i neželjena dlakavost predstavlja estetski problem, pogotovo kod žena.

### 3.6.2. Utjecaj lasera na folikul dlake

U današnje vrijeme uklanjanje neželjenih dlaka je postao svjetski trend te je uklanjanje neželjenih dlaka laserom najtraženija procedura u kozmetičkoj dermatologiji. Alternativne metode za uklanjanje neželjenih dlaka podrazumijevaju izbjeljivanje, čupanje, brijanje, uklanjanje voskom ili depilacijskim kremama. Nažalost, ove metode nisu trajno rješenje i često mogu biti naporne, bolne i mogu uzrokovati iritacije kože. Elektroliza ili elektroepilacija dlaka je metoda za uklanjanje dlaka kod kojih se pomoću tanke sonde zabijene u folikul dlake pušta električna struja te se postiže učinak duljeg trajanja bez rasta novih dlaka. Međutim, ova tehnika je nepraktična kod tretiranja većih područja i ne postiže se isti učinak kod svakog pacijenta. [51]

Za trajno uklanjanje neželjenih dlaka najviše se koristi laser. Lasersko uklanjanje dlaka se također temelji na procesu selektivne fototermolize gdje melanin u folikulu dlake predstavlja ciljni kromofor. Melanin može apsorbirati valnu duljinu i crvenom i bliskom infracrvenom području (NIR, skraćeno od engl. Near-infrared). Crveno područje obuhvaća elektromagnetsko zračenje s valnom duljinom od 620 do 750 nm, dok blisko infracrveno područje obuhvaća valnu duljinu od 700 do 2500 nm. Za uklanjanje dlaka koriste se rubinski, aleksandrit, diodni i Nd;YAG laser, te IPL uređaji. Dugotrajni učinak laserskog uklanjanja dlaka temelji se na ispravnoj korelaciji trajanja pulsa, širine snopa i gustoće energije. [30] Gustoća energije predstavlja količinu energije oslobođenu na određenom području. Duljina pulsa je duljina izlaganja laserskome zračenju, dok širina snopa predstavlja promjer laserske zrake. Oko 15-30% dugotrajnog uklanjanja dlaka se može postići jednim tretmanom laserom ako su korišteni optimalni parametri. Preostale dlake su nakon svakog tretmana tanje i svjetlije. [51]

Rubinski laser pulsa dugog trajanja valne duljine 694 nm bio je prvi laser koji se koristio za selektivno uklanjanje folikula dlake. Ova vrsta lasera koristi se kod Fitzpatrickovih tipova kože 1 do 3. Aleksandrit laser pulsa dugog trajanja valne duljine 755 nm koristi se kod Fitzpatrickovih tipova kože 1 do 4. Diodni laser pulsa dugog trajanja valne duljine od 800 do 810 nm se koristi kod pacijenata Fitzpatrickovih tipova kože 1 do 5. Dva dugotrajna istraživanja pokazala su približno 40% smanjenja neželjenih dlaka 20 mjeseci nakon jednog ili dva tretmana diodnim laserom (9 mm širina snopa, duljina pulsa 5-30 ms, gustoća energije 12-40 J/cm$^2$). te 84% smanjenja neželjenih dlaka godinu dana nakon 4 tretmana diodnim laserom (9 mm širina snopa, duljina pulsa 5-30 ms, gustoća energije 12-40 J/cm$^2$). Ta dva istraživanja su dokazala da je diodni laser pulsa dugog trajanja idealan izbor za dugotrajno uklanjanje neželjenih dlaka. Nd:YAG laser pulsa dugog trajanja je najbolja kombinacija sigurnosti i uspješnosti kod

pacijenata Fitzpatrickovih tipova kože 6. Dokazano je smanjenje rasta neželjenih dlaka lica, pazuha i nogu za 70-90% godinu dana nakon tromjesečnog tretmana Nd:YAG laserom (5 mm širina snopa, duljina pulsa 50 ms, gustoća energije 40-50 $J/cm^2$) . IPL uređaji koji emitiraju polikromatsku nekoherentnu svjetlost valne duljine od 400 do 1200 nm se također koriste za uklanjanje neželjenih dlačica. Dokazano je smanjenje rasta neželjenih dlačica od 50% do 60% 12 tjedana nakon jednog tretmana IPL uređajem, te za 75% 6 mjeseci nakon višestrukih tretmana. [51]

Prije svakog procesa laserskog uklanjanja dlaka pacijentu trebaju biti objašnjeni mogući rizici koji obuhvaćaju hipo/hiperpigmentaciju, vodene mjehuriće, modrice, ožiljke, ulceracije i folikulitis. Ako je potrebno koristi se topikalna anestetska krema koja se nanosi 30-60 minuta prije tretmana. Područje koje će biti tretirano laserom treba biti obrijano i bez porezotina. Također, na područje koje će biti tretirano laserom se nanosi tanak sloj hladnog gela. [51]

# 4. MJERE SIGURNOSTI

Za vrijeme laserskog tretmana bitna je sigurnost pacijenta i osoblja koje se nalazi u operacijskoj dvorani. Osobe koje izvode laserske tretmane trebaju biti svjesne rizika i obrazovane o mjerama zaštite ovisno o tipu lasera koji koriste. [52] Laserski tretmani se trebaju odvijati u posebno dizajniranim operacijskim dvoranama koje odgovaraju kriterijima sigurnosti od laserskog zračenja. Na ulazu u dvoranu treba stajati upozoravajući znak (Sl 3.10.) za prisutnost laserskog zračenja u dvorani. Broj osoblja u dvorani treba biti ograničen i odgovarati broju osoblja potrebnom za određeni tretman. Laserski sustavi se ne smiju koristiti u blizini zapaljivih materijala. Vrata dvorane i prozori trebaju biti zatvoreni tijekom laserskog tretmana. Treba izbjegavati metalne instrumente i predmete (satove, nakit..) u dvorani zbog refleksije laserske zrake. [53]

**Sl. 3.10.** Znak koji upozorava na lasersko zračenje [54]

Prilikom izlaganja laserskome zračenju najosjetljivije su oči pa njima treba posvetiti posebnu zaštitu. Ne smije se gledati direktno u lasersku zraku pa se za zaštitu očiju koriste se zaštitne naočale s filterom koji odgovara zaštiti od laserskog zračenja određene valne duljine. Također, potrebno je zaštititi dijelove kože na kojima se ne vrši tretman laserom. Lice se štiti posebnim zaštitnim maskama, dok se za ruke koriste rukavice. [53]

Laseri se, ovisno o količini emisije zračenja i trajanju zračenja, dijele u 4 klase prikazane u tablici 3.3..

| OZNAKA KLASE | OPIS ŠTETNOSTI ZRAČENJA | ZAŠTITNA OPREMA |
|---|---|---|
| 1 | Zračenje emitirano laserom nije opasno | nije potrebna |
| 1M | Oči su sigurne kada se koriste optički instrumenti (npr. mikroskop, povećalo...), oči nisu sigurne kada se koriste optički instrumenti | potrebne zaštitne naočale kod korištenja optičkih instrumenata |
| 2 | Vidljiva svjetlost (400-700 nm). Oči su sigurne ako se ne gleda u lasersku zraku duže od 0.25 s | nije potrebna |
| 2M | Vidljiva svjetlost (400-700 nm), nije sigurno za oči ako se koriste optički instrumenti | potrebne zaštitne naočale kod korištenja optičkih instrumenata |
| 3R | Zračenje ovih lasera prekoračuje maksimalno dozvoljeno izlaganje zračenju | zaštitne naočale preporučene |
| 3B | Uzrokuju oštećenje kože i očiju direktnim gledanjem u zraku | zaštitne naočale obavezne |
| 4 | Čak i raspršene laserske zrake mogu biti opasne, opasnost od izbijanja vatre, štetnost za kožu | zaštitne naočale, zaštitna odjeća |

**Tab. 3.3**. Klasifikacija lasera prema štetnom utjecaju na kožu [29, 51]

# 5. ZAKLJUČAK

Od svoga otkrića laseri su toliko napredovali da nam je teško zamisliti život bez njih. U dermatologiji se koriste za rješavanje gotovo svih dermatoloških „problema“, pružajući sigurnu i pouzdanu metodu. Skoro svi laseri koji se koriste u dermatologiji rade na principu selektivne fototermolize pa je bitno odabrati laser odgovarajuće valne duljine koji odabrani ciljni kromofor može apsorbirati. Također je važna sigurnost pacijenta i osoblja prilikom laserskog tretmana pa se prilikom izvođenja laserskog tretmana mora koristiti odgovarajuća zaštitna oprema. Budući da su laseri otkriveni tek sredinom prošloga stoljeća i da su stalno u napretku, vjeruje se da će se u budućnosti razviti još mnogo vrsta lasera koji će rješavati mnogo zahtjevnije i kompleksnije probleme.

## LITERATURA

[1] M, Beech, The Physics of Invisibility: A Story of Light and Deception, Springer-Verlag, New York, 2012.

[2] H, Skenderović, Laseri, fotonski snopovi, Zbornik 15. ljetne škole mladih fizičara, str. od 10 do 17, Zagreb, 1999.

[3] http://sirisaacne.weebly.com/accomplishments.html, pristup ostvaren 03.09.2017.

[4]D, Lelas, Fizika 2, Predavanje 8: Fizikalna optika, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split, dostupno na: http://adria.fesb.hr/~zmiletic/Fizika%202/8.%20Fizikalna%20optika/Fizika2_Razlikovni_Predavanje8.pdf, pristup ostvaren 03.09.2017.

[5] http://www.ss-prva-tehnicka-tesla-zg.skole.hr/uploads/media/vecernja/upload09032016/Valna_optika.pdf, pristup ostvaren 03.09.2017.

[6] Boundless, Young's Double Slit Experiment, dostupno na: https://www.boundless.com/physics/textbooks/boundless-physics-textbook/wave-optics-26/diffraction-175/young-s-double-slit-experiment-637-10928/, pristup ostvaren 03.09.2017.

[7] M, Živkovi;, B, Živković, Od metafizike do fizike svjetla, . Filozofska istraživanja, 26(3), 559-570, UDK 111:535

[8] S, Ledinek, Zračanje mobitela: vječna priča o štetnom (ne)djelovanju na ljudski organizam, dostupno na;http://www.racunalo.com/zracenje-mobitela-vjecna-prica-o-stetnom-nedjelovanju-na-ljudski-organizam/, pristup ostvaren 03.09.2017.

[9]C, Raulin; S, Karsai, Laser and IPL Technology in Dermatology and Aesthetic Medicine, Springer-Verlag, Berlin, 2011.

[10]T, Ban, Laseri u znanosti i tehnologiji, Državni seminar za učitelje i nastavnike fizike u osnovnim i srednjim školama, Zadar, 2008.

[11]E, Cartlidge, Laser pioneer dies, Physics World, svibanj 2007., dostupno na: http://physicsworld.com/cws/article/news/2007/may/10/laser-pioneer-dies, pristup ostvaren 03.09.2017.

[12]E, Simpson, The Basic Principle of Laser Technology, Uses and Safety Measures in Anaesthesia, Anaesthesia tutorial of the week 255, UK, 2012.

[13] G, Batinjan; D, Gabrić Pandurić; I, Filipović Zore, Mehanizmi djelovanja lasera i aplikacija diodnog lasera u stomatologiji, Sonda, str 35 do 37, rujan, 2013.

[14]Wikipedia, Laser, dostupno na: https://hr.wikipedia.org/wiki/Laser, pristup ostvaren 03.09.2017.

[15]L, Bistrinčić, Fizika lasera, Fakultet elektrotehnike i računarstva Zagreb, dostupno na: https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/L._Bistricic_-Fizika_lasera.pdf, pristup ostvaren 03.09.2017.

[16] H, Foth, Prinnciples of Lasers, dostupno na: http://www.newbooks-services.de/MediaFiles/Texts/8/9783527319978_Excerpt_001.pdf, pristup ostvaren 03.09.2017.

[17] M, Eichhorn, Laser Physics, Graduate Texts in Physics, Springer International Publishin Switzerland, 2014.

[18]G, Allen; A, Vaniya; Z, Zhang, Overview of Lasers, Chemistry LibreTexts, dostupno na: https://chem.libretexts.org/Core/Analytical_Chemistry/Instrumental_Analysis/Lasers/Overview_of_Lasers, pristup ostvaren 03.09.2017.

[19] http://dl4a.org/uploads/pdf/Lit_SkinStruct_Bensouillah_Ch01.pdf, pristup ostvaren 03.09.2017.

[20] https://sites.google.com/site/ljudskotijeloiosjetila/koza, pristup ostvaren 03.09.2017.

[21] S, Sachdeva, Fitzpatrick skin typing: Applications in dermatology, Indian J Dermatol Venereol Leprol, 75:93-97, siječanj-veljača 2009.

[22] D, Rašić, Koža i laser, Aqua Med, dostupno na: http://www.aquamed.hr/hr/blog-clanci/216-koza-i-laser, pristup ostvaren 03.09.2017.

[23] Struna, Hrvatsko strukovno nazivlje, Snellov zakon loma, dostupno na: http://struna.ihjj.hr/naziv/snellov-zakon-loma/9123/, pristup ostvaren 03.09.2017.

[24]M, Mohammed; Sarah T, Jawad; Q, Abdul; A.A. Zaidan; B.B. Zaidan; A.W. Naji; Ibraheem T. Abdul Qader, 2011. An Overview of Laser Principle, Laser-Tissue Interaction Mechanisms

and Laser Safety Precautions for Medical Laser Users. International Journal of Pharmacology, 7: 149-160, 2011.

[25] S, Thomsen, PATHOLOGIC ANALYSIS OF PHOTOTHERMAL AND PHOTOMECHANICAL EFFECTS OF LASER–TISSUE INTERACTIONS. Photochemistry and Photobiology, 53: 825–835. doi:10.1111/j.1751-1097.1991.tb09897.x, 1991.

[26] I, Bago Jurić; I, Anić, Primjena lasera u dezinfekciji i čišćenju korijenskih kanala zuba:pregledni rad, Acta stomatol Croat., 48(1), str od 6 do 15, 2014.

[27] D, Gabrić Pandurić, Disertacija, dostupno na http://bib.irb.hr/datoteka/472563.Tekst.pdf, pristup ostvaren 03.09.2017.

[28] A.J, Welch; J.H., Torres; W, Cheong, Laser Physics and Laser-Tissue Interaction, Texas Heart Institute Journal, 16:141-149,1989.

[29] K, Sardana; V, Garg, Lasers in Dermatological Practice, Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd, New Delhi, 2014.

[30] Z, Bukvić Mokos, Primjena lasera u dermatologiji, Medicus, 16: 87-93, 2007.

[31] K, Sardana; V, Garg, Lasers in Dermatological Practice Chapter 3: Pigmented Lesions and Tattoos, Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd, New Delhi, 2014.

[32]EL, Tanzi; JR, Lupton; TS, Alste, Lasers in dermatology: four decades of progress. J Am Acad Dermatol, 49:1-31, srpanj 2003.

[33]M, Bardhoshi; N, Gutknecht; E, Xhajanka; E, Bardoshi; A, Qafmolla; D, Gjini; E, Gjini, Laserski tretman uklanjanja vaskularne lezije usne, Dental Tribune BiH Edition, 6-8, lipanj 2015.

[34] L, Lubina; M, Šimundić; D, Gabrić Pandurić, HEMANGIOM- patologija i dijagnostika, Sonda, lipanj 2009.

[35]N, Puđa, Upotreba lasera u savremenoj medicini, Vršac, 2005.

[36]S, Stošić, Savremeni koncept klasifikacije vaskularnih anomalija glave i vrata, MD-Medical Data, 3(4), ID: 187823628, UDK: 616.1-007.1, 383-386, prosinac 2011.

[37] ARCADIA Plastična i etetska kirurgija, Vaskularne anomalije kože i hemangiomi, dostupno na: http://poliklinika-arcadia.hr/hr/djecja-kirurgija/7-djeja-kirurgija/4-vaskularne-anomalije-koe?showall=1, pristup ostvaren 03.09.2017.

[38] http://www.cvlc.com/restoring-patients-confidence-with-laser-treatment/, pristup ostvaren 03.09.2017.

[39] O, Kovačević, Poremećaji hiperpigmentacije kože- hipermelanoze- upotreba IPL-a ili lasera, Medical izdanje br. 18, dostupno na: http://www.medicalcg.me/izdanje-br-18/poremecaji-hiperpigmentacije-koze-hipermelanoze-upotreba-ipl-a-ili-lasera/, pristup ostvaren 03.09.2017.

[40]Poliklinika Poliderma, Savjeti tima: Madeži, dostupno na: https://www.poliderma.hr/Savjeti-tima/Madezi, pristup ostvaren 03.09.2017.

[41]Poliklinika Poliderma, Tehnologije: Q-switch laser, dostupno na: https://www.poliderma.hr/Tehnologije/Q-switch-laser, pristup ostvaren 03.09.2017.

[42] DJ, Goldberg, Laser Dermatology, Springer-Verlag, Berlin, 2005.

[43] http://www.justaboutskin.com/2015/09/light-devices-ipl-vs-laser/, pristup ostvaren 03.09.2017.

[44] M, Gradinac, Trend, tradicija, ritual ili... , Vaše zdravlje, br 72, lipanj 2010, dostupno na; http://www.vasezdravlje.com/izdanje/clanak/1968/1/, pristup ostvaren 03.09.2017.

[45] http://www.auralasers.com/dermatologija/, pristup ostvaren 03.09.2017.

[46] Hrvatsko društvo za bolesti jetre “Hepatos“, Istina o tetoviranju, dostupno na: http://hepatos.hr/vijesti-iz-svijeta/502-istina-o-tetoviranju.html, pristup ostvaren 03.09.2017.

[47] MP, Goldman; RE, Fitzpatrick; EV, Ross; SL, Kilmer; RA, Weiss, Lasers and Energy Devices for the Skin:Tatto removal, CRS Press Taylor&Francis Group, Boca Ration Florida, 2013.

[48] Bodylase, Laser Tattoo Removal before and after gallery, dostupno na: http://www.getbodylase.com/before-and-after-gallery/laser-tattoo-removal-before-and-after-gallery/, pristup ostvaren 03.09.2017.

[49] Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Medicinski leksikon, dostupno na: http://medicinski.lzmk.hr/dlake/, pristup ostvaren 03.09.2017.

[50]D, Kaliterna, Epilacija – trajno odstranjivanje dlaka, dostupno na: http://www.cybermed.hr/clanci/epilacija_trajno_odstranjivanje_dlaka , pristup ostvaren 02.09.2017.

[51] MP, Goldman; RE, Fitzpatrick; EV, Ross; SL, Kilmer; RA, Weiss, Lasers and Energy Devices for the Skin:Hair removal, CRS Press Taylor&Francis Group, Boca Ration Florida, 2013.

[52] J, Goldoni, Zaštita od neionizirajućih zračenja u medicini, Arh hig rada toksikol, 2:175-187, 1994.

[53] L, Fodor, Y, Ullmann, M, Elman, Aesthetic Applications of Intense Pulsed Light, Springer-Verlaig, London, 2011.

[54] http://www.store-safe.com/store-safe-products/safety-signs/signs/hazard-warning-signs/laser-radiation-avoid-eye-amp-skin-1, pristup ostvaren 03.09.2017.

## SAŽETAK

Glavni zadatak ovog rada bio je opisati korištenje lasera u dermatologiji. Objašnjeni su pojmovi laser  i svjetlost. Zatim je opisana povijest razvoja lasera i princip rada lasera. Također, objašnjena je struktura ljudske kože, utjecaj lasera na tkivo te Fitzpatrickova skala tipova kože. Navedene su vrste lasera koji se koriste u dermatologiji, koju kožnu promjenu liječe te valna duljina na kojoj rade. Zatim su opisani laserski tretmani uklanjanja kožnih promjena: vaskularnih lezija, pigmentnih lezija, tetovaža i dlaka. Na kraju su objašnjene mjere sigurnosti kod upotrebe lasera.



**Ključne riječi**: laser, svjetlost, koža, dermatologija


## „LASERS IN DERMATOLOGY“


## ABSTRACT

The main task of this final paper was to explain the use of lasers in dermatology. Terms of light and laser are explained. Then, history of laser and laser basic principle are described. Also, structure of human skin, laser tissue interaction and Fitzpatrick classification of skin type are described. Types of lasers used in dermatology, what treatment are they used for and their wavelength are mentioned. Then, laser skin treatments: treatment of vascular lesions, treatment of pigment lesions, hair and tattoo removal are described. In the last part laser safety measures are explained.



**Key words:** laser, light, skin, dermatology

# ŽIVOTOPIS

Ivana Puljić rođena je 8. lipnja 1995. godine u Našicama. Osnovnu školu pohađala je od 2002. do 2010. godine u Osnovnoj školi Augusta Harambašića u Donjem Miholjcu. Godine 2010. upisuje Opću gimnaziju u Srednjoj školi Donji Miholjac gdje sve razrede prolazi s odličnim uspjehom. Nakon završetka srednje škole upisuje preddiplomski studij računarstva na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku.