



Nevarnosti pri delu z laserji in zaščita pred njimi

Mario Kalčič, univ. dipl. inž. str.

str. 22-25

1 UVOD

Kadar govorimo o laserjih, se ne moremo izogniti nekakšnemu pridihi futurističnosti. Tehnologija, ki zaenkrat morda še nima velikega vpliva na življenje posameznika, vendar ga bo v prihodnosti imela. Resničnost je nekoliko drugačna.

1.1 ZGODOVINSKO OZADJE

Laserji niso novost. Že štirideset let se uporabljajo v vsakodnevni praksi. Leta 1917 je Albert Einstein postavil temeljno teorijo delovanja laserjev. Theodore H. Maimann je leta 1960 izdelal prvi rubinski laser. Čez štiri leta sta mu sledila še neodimijev in ogljikov laser.

1.2 LASERJI DANES

Od takrat se je laser razširil v številne industrije in tudi v medicino. V vsakodnevem življenju najdemo laserje v DVD predvajalnikih, čitalnikih črtnih kod, so tudi osnovna modernih optičnih telekomunikacijskih povezav.

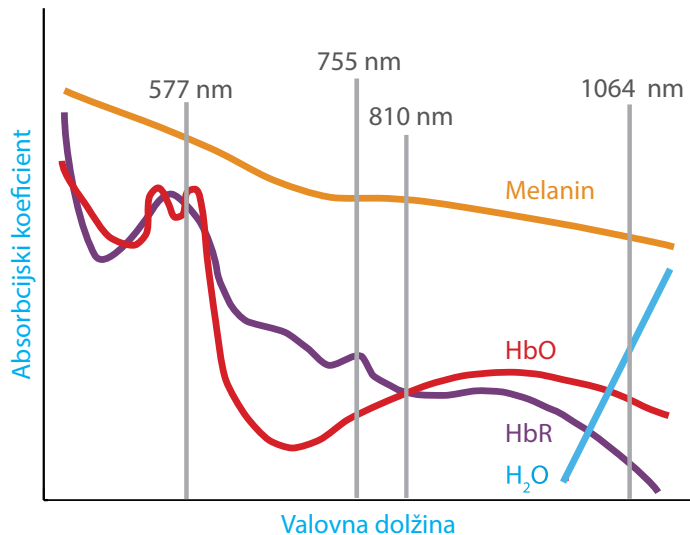
2 LASER

Kratice LASER je akronim besed »Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation«.

2.1 KAKO DELUJE?

Atomi (elektroni) se lahko nahajajo v različnih energijskih nivojih. Iz enega v drug energijski nivo lahko prehajajo na tri načine: s spontano emisijo, absorpcijo in stimulirano emisijo. Pri spontani emisiji atom sam od sebe preide v nižje energijsko stanje in pri tem odda foton. Pri absorpciji atom preide v višje stanje tako, da absorbira foton. Pri stimulirani emisiji, ki je najpomembnejša za razumevanje delovanja laserjev, pa foton povzroči, da atom preide v nižje stanje in pri tem odda dodaten foton.

Laser je v splošnem sestavljen iz treh delov: medija, ki generira svetlobo, napajalnega sistema, s katerim poskrbimo za vzbujanje atomov, ki mu sledi sevanje, in resonatorja, ki curek natančno usmeri. Pri emisiji atomi sevajo enakomerno po celem prostoru in poskrbeti moramo, da se energija skoncentrira v ozkem curku. To dosežemo, če damo sevajoči medij v cev, ki jo z obeh strani zapremo z zrcaloma. Če pride do stimulirane emisije, na primer v smeri osi med zrcaloma, pride do odboja in ponovne stimulirane emisije. V nasprotnem primeru (če sevanje ne poteka na osi) pa sevanje zapusti laserski medij. Tako dobimo ojačanje le v eni smeri in naivno bi pričakovali, da bo prišlo med zrcaloma v cevi do neskončnega ojačanja, kar pa se seveda zaradi izgub in končne velikosti ojačevalnega medija ne zgodi. V praksi prepusti eno zrcalo (včasih obe) del svetlobe; bodisi skozi odprtino ali skozi delno prepustno zrcalo. Svetloba, ki izstopa, formira laserski curek.



2.2 LASTNOSTI LASERSKEGA SEVANJA

- » **Monokromatičnost**, kar pomeni, da seva svetlobo ene same valovne dolžine. Valovno dolžino določa medij v optičnem resonatorju.
- » **Koherentnost**; svetlobni valovi so prostorsko in časovno koherentni.
- » **Vzporednost**; svetlobni valovi so vzporedni, kar omogoča prevajanje svetlobnega žarka po optičnih vlaknih brez razpršitve le-tega.

2.3 POMEN LASERJEV V MEDICINI

Medicina izkorišča monokromatičnost laserske svetlobe. Različna tkiva različno absorbirajo različne valovne dolžine. Tarča, ki absorbira lasersko svetlobo, se imenuje kromofor. Kromofori so melanin, hemoglobin, voda in hidroksiapatit.

Svetlobno energijo iz laserjev krajših valovnih dolžin dobro absorbirata melanin in hemoglobin. Energijo iz laserjev daljših valovnih dolžin pa dobro absorbirata voda in hidroksiapatit. Absorbirana energija kromofore segreje do takšne mere, da razpadejo na manjše delce (ki jih nato odstrani naš imunski sistem) ali pa izparijo.

Uporaba

Laserji se trenutno uporabljajo v dermatologiji, kirurgiji, ginekologiji, oftalmologiji in v dentalni medicini.

4 DELITEV LASERJEV

Glede na aktivni medij jih delimo na:

- » trdne,
- » plinske,
- » polprevodniške.

4.1 DELITEV PO KLASIFIKACIJSKIH RAZREDIH:

Svetovna zdravstvena organizacija (WHO) je leta 1982 objavila shemo klasifikacije laserskih naprav in jo tudi priporočila v uporabo. Ta shema izhaja iz treh vidikov, ki (skupaj) določajo nevarnosti, ki jih povzročajo laserji. S tem odraža tudi potrebo po uporabi varovalnih sredstev oziroma po kontrolnih ukrepih:

- » nevarnost, ki izvira iz laserja,
- » okolje, v katerem se laser uporablja, in
- » osebe, ki upravlja z laserjem in je delovanju laserja lahko izpostavljeno.

Osnova za klasifikacijo laserjev je sposobnost, da s primarnim ali odbitim žarkom povzročijo poškodbe oči ali kože.

Laserske sisteme delimo v štiri razrede, ki jih opisuje standard EN-207:

- » Laserji in laserski sistemi razreda 1;
- » Vidni laserji in laserski sistemi razredov 2 in 2a;
- » Laserji in laserski sistemi razreda 3a in 3b;
- » Laserji in laserski sistemi razreda 4.

V medicini se največkrat uporabljajo laserji razredov 3b in 4.

5 NEVARNOSTI PRI DELU Z LASERJEM

Laserji oddajajo žarke iz nevidnega in vidnega dela svetlobnega spektra. Vidno sevanje (ultravijolično, infrardeče in vidno) sodi med neionizirajoča sevanja.

Nevarnosti za oči:

Glede na dolžino laserskega sevanja so ob neposredni izpostavitvi možne poškodbe očesne mrežnice ali roženice oziroma obeh. Lahko pride do kronične poškodbe očesne mrežnice, če je predolgo izpostavljena laserskem žarku.

Nevarnosti za kožo:

V primeru neposrednega stika visokoenergijskega laserja s kožo se pojavijo opekline. Nekateri laserji s specifičnimi ultravijoličnimi valovnimi dolžinami lahko privedejo do nastanka kožnega raka.

Ostale nevarnosti:

Možnost električnega udara, nastanek dražečega dima, sevanje X žarkov (pri napačni napetosti), nevarni hladilni plini (N₂).

5.1 MEHANIZEM POŠKODB

Biološki učinki laserskega sevanja so rezultat interakcije več mehanizmov:

- » termalnega,
- » akustičnega,
- » optičnega,
- » fotokemičnega.

Variirajo z valovno dolžino in trajanjem izpostavljenosti laserskemu sevanju. Za primer vzemimo valovne dolžine med 400 nm in 1400 nm: v tem pasu je glavni mehanizem poškodbe mrežnice termalni učinek. Povrhne poškodbe roženice in kože nastopijo pri valovnih dolžinah, večjih od 1400 nm. Termoakustične poškodbe nastanejo takrat, kadar je trajanje izpostavljenosti manjše od 0,1 ms. V UV predelu optičnega spektra prevladujejo fotokemične poškodbe. Prav tako je fotokemična poškodba glavna poškodba pri daljši izpostavljenosti (10 sekund ali več) vidnemu sevanju krajših valovnih dolžin.

6 NEVARNOSTI ZA OČI

Lasersko sevanje predstavlja nevarnost različnim strukturam očesa. Stopnja nevarnosti je odvisna od tega, koliko sevanja določena struktura absorbira.

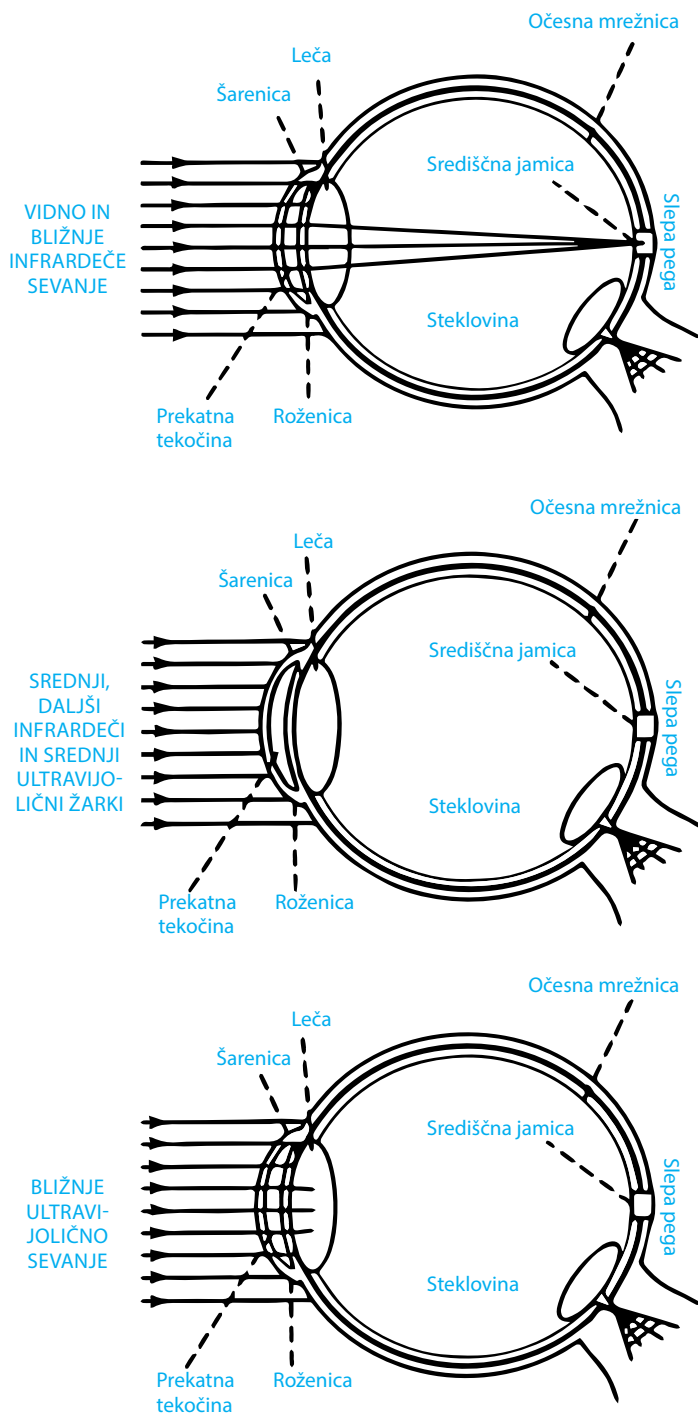
Pri delu z laserji, ki delujejo v območju med 400 in 1400 nm, so možne poškodbe mrežnice. Če je oko izpostavljeno neposrednemu curku svetlobe iz laserja, nastane na mrežnici zelo majhna žariščna poškodba. Svetloba se pri prehodu skozi lečo fokusira in je zato lahko koncentracije energije, ki doseže mrežnico, tudi do sto tisočkrat večja kot energija običajne svetlobe.

Valovne dolžine pod 400 in nad 1400 nm povzročajo predvsem poškodbe roženice. Roženica absorbira ultravijolične valovne dolžine od (180 do 315 nm), ki povzročajo "varilni flash" oziroma vnetje roženice.

Sevanje blizu ultravijoličnega (UV-A) med (315 in 400 nm) se absorbira v leči. Lahko povzroči nastanek očesne mreže in vnetje roženice.

Kadar koli lasersko sevanje doseže očesno lečo (neposredno ali posredno), lahko povzroči poškodbe očesnih struktur.





Valovna dolžina	Poškodbe oči
180–315 nm (UV-B, UV-C)	fotokeratitis
315–400 nm (UV-A)	fotokemična katarakta
400–780 nm (vidna svetloba)	fotokemična poškodba mrežnice, opekline mrežnice
780–1400 nm (blizu-IR)	katarakta, opekline mrežnice
1.4–3.0µm (IR)	katarakta, opekline roženice, poškodbe proteinov v prekatni vodki
3.0 µm–1 mm	opekline roženice

Dolgo infrardeče sevanje (IR – C) valovnih dolžin 3µm–1 mm absorbirajo veznica, sprednji del roženice in delno solzna tekočina. Nekateri srednje infrardeči žarki (IR – B) med 1,4 in 3 µm prodrejo globlje in lahko prispevajo k nastanku očesne mreže. Prav tako lahko očesno mrežo povzroči daljše izpostavljanje kratkemu infrardečem sevanju (IR – A).

6.1 OSEBNA VAROVALNA SREDSTVA ZA OČI

Čeprav je tehnika nadzorovanja laserskega žarka z zaščitno ograjo mnogo bolj sprejemljiva kot uporaba varovalnih očal, poznamo primere, kjer so varovalna očala najboljši varnostni ukrep. Pomembno je, da je na varovalnih očalih vidno označeno, za katere valovne dolžine se jih lahko uporablja, saj s tem ukrepom zmanjšamo večino nepotrebnih poškodb. Če se uporabljajo varovalna očala na prostem, morajo vsebovati konveksne leče, ki zmanjšajo nevarnosti, povzročene z dodatno refleksijo.



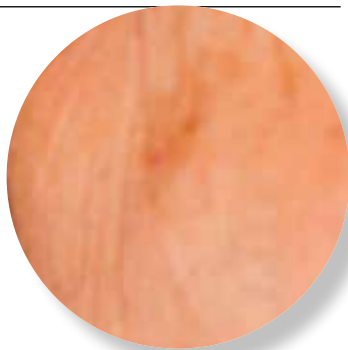
Laserji imajo danes širok spekter uporabe, med drugim se uporabljajo tudi za kozmetične in zdravstvene namene. Širok spekter uporabe pomeni, da je nujno jasno določiti, kako se jih varno uporablja.

Kako se določajo varovalna sredstva oziroma kontrolni ukrepi? Glede na tri vidike, ki opredeljujejo nevarnosti, ki jih povzročajo laserji:

- 1 nevarnost, ki izvira iz **laserja**,
- 2 **okolje**, v katerem se laser uporablja, in
- 3 **osebje**, ki upravlja z laserjem in je delovanju laserja lahko izpostavljeno.

7 NEVARNOSTI ZA KOŽO

Kožne poškodbe so bile navadno obravnavane kot sekundarne poškodbe. Vendar se z vse večjo razširjenostjo uporabe laserjev, ki oddajajo v ultravijoličnem spektralnem območju, veča tudi pomen poškodb kože.



Največ možnih poškodb na koži se pripeti z UV – B žarki (280–380 nm).

Poškodbe kože so:

- » eritem,
- » opekline II. stopnje (pri intenzivni ekspoziciji).

Poleg tega lahko lasersko sevanje povzroči tudi:

- » kožnega raka,
- » pospešeno staranje kože,
- » hiperpigmentacije (navadno posledica dolgotrajne izpostavljenosti),
- » sušenje kože.

Občutljivost kože variira glede na debelino stratum corneum in glede na vsebnost melanina.

8 VREDNOSTI IZPOSTAVLJENOSTI

To so z izračunom ali meritvijo ugotovljene vrednosti sevalne energije, sevalnega pretoka ali sevalne gostote, ki med trajanjem izpostavljenosti odbitega/razpršenega laserskega sevanja neposredno ali razpršeno pada na oko/oči in/ali kožo.

Primerjava vrednosti izpostavljenosti z maksimalno dopustno vrednostjo poda podatek o nevarnosti vpadnega sevanja.

8.1 Maksimalna dopustna vrednost izpostavljenosti

Maksimalne dopustne vrednosti (vrednost MPE, krajše za maximum permissible exposure) so namenjene uporabnikom laserskih naprav in so postavljene pod znanimi mejami nevarnosti. Temeljijo na najnovejših informacijah, pridobljenih z eksperimentalnimi testi. Meje (MPE) se morajo uporabljati kot vodilo pri kontroli izpostavljenosti in se jih ne sme jemati kot točno določeno mejo med varnostjo oziroma nevarnostjo.

9 NEVARNOST ELEKTRIČNEGA UDARA

Priključna napetost laserja je 380 V, pri razelektritvi anode pa doseže celo 19 kV. Ko laser obratuje, je strogo prepovedano odpirati pokrov, ker lahko pride do električnega udara in s tem smrti delavca!

Za preprečitev tega uporabljamo stikalno varnostno napravo, ki jo namestimo na pokrov električne naprave. Konstruirana je tako, da ob odstranitvi pokrova izklopi laser. Stikalo mora biti nameščeno tako, da ga ni mogoče vključiti, če je pokrov odprt.

10 NEVARNOSTI LASERJEV VISOKIH MOČI

Pri delu z laserjem lahko nastanejo dim, para ali hlapi. V dimu lahko najdemo ogljikov monoksid, policiklične ogljikovodike in ostale toksične pline v sledeh. Ti lahko dražijo zgornje dihalne poti.

Čeprav v praksi še ni bilo dokazanega primera prenosa infekcijske bolezni, kljub temu teoretično obstaja nevarnost prenosa. V dimu (pri terapiji bradavic) so našli celotno DNA papilomavirusov, ki bi teoretično lahko okužila prisotno osebo. Poleg tega bi v dimu lahko bili tudi drugi infekcijski agensi, zato sta potrebna ustrezen prezračevalni sistem in uporaba kirurških mask.

Poznamo tudi druge nevarnosti, ki se pojavljajo v povezavi z laserji visokih moči, kot so:

- » uporaba globoko ohlajenih plinov (tekoči dušik); v kontaktu s kožo povzročajo opekline,
- » nepravilno plombirane jeklenke lahko povzročijo eksplozijo,
- » nezadostna ventilacija lahko privede do povečane koncentracije tekočega plina, ki hlapi (ponavadi dušik) v zraku.

Nevarnosti hrupa, ki jih povzročajo laserji, so redke. Vendar pa lahko vžig impulznega laserja visokih moči preseže 140 dB.

11 KEMIČNE NEVARNOSTI

Nekateri materiali, ki sestavljajo strukturo laserja, so lahko nevarni in/oziroma vsebujejo toksične substance (kemični laserji, barve ipd.). Poleg tega lahko reakcije, ki jih povzroča laser, sprožijo specifične nevarnosti in plinske produkte.

12 DRUGE SEKUNDARNE NEVARNOSTI

- » Laserji z visoko močjo lahko povzročajo neprijeten hrup;
- » sevanje X žarkov zaradi napačne napetosti (< 15 kV);
- » nevarnosti ohlajevalnih plinov (tekoči dušik N₂).

12 KRONIČNA IZPOSTAVLJENOST

Maksimalna dopustna vrednost izpostavljenosti laserskemu sevanju je bila postavljena zato, da bi izključili dolgoročne posledice takšne izpostavljenosti. Brez natančnega poznavanja mehanizmov nastanka poškodb ne moremo z gotovostjo trditi, da se neželeni učinki ne bodo pojavili nekaj let ali desetletij po izpostavljenosti nizkim odmerkom laserskega sevanja. O dolgoročni (kronični) izpostavljenosti laserskemu sevanju so na voljo le maloštevilni podatki.

14 VARNOSTNI POSTOPKI

Kontroliranje nevarnosti pri izžarevanju je odvisno in se razlikuje od:

- » klasifikacije laserja,
- » okolja, kjer se laser uporablja in
- » uporabnikov.

Ameriški nacionalni inštitut za standardizacijo (ANSI) razvršča laserje in njihove nevarnosti po klasifikacijah. Uporabniki lahko na ta način določijo, katera pravila ustrezajo za njihovo posebno okolje, če upoštevamo, da so okolje in ljudje potencialno izpostavljeni vidnemu sevanju, ki ga povzroča laser.

14.1 SPLOŠNI VARNOSTNI UKREPI

Splošno veljavni pravni predpisi, ki bi zajeli celoten spekter varnosti pri delu z laserjem, še ne obstajajo. Priporočila za zdravstveno in delovno zaščito pri delu z laserskimi napravami so sledeča:

14.1.1 Delovni prostor

- » Prostori, v katerih se dela z laserskimi napravami, morajo obvezno imeti opozorilni znak »NEVARNOST LASERSKEGA SEVANJA«.
- » Vstop v prostore z opozorilnim znakom je dovoljen le pooblaščenemu osebju.
- » Delovni prostor mora biti svetlo osvetljen, da se prepreči adaptacija oči na temo.

14.1.2 Delovno mesto

- » Laserske naprave morajo biti zasenčene, da usmerjeno primarno in sekundarno sevanje ne moreta izhajati.
- » Na vsaki laserski napravi mora biti opozorilo, ki opozarja na uporabo varovalnih filtrov za oči.

Če laserskih naprav ni mogoče zasenčiti, so potrebni naslednji ukrepi:

- » Pri impulznih laserjih in laserjih, ki delujejo v nevidnem območju, mora biti stanje obratovanja laserja označeno z optičnim in/ali zvočnim signalom. Barva optičnega signala mora biti izbrana tako, da znak kljub uporabi varovalnih filtrov za oči ostane viden.
- » Laserski žarek mora biti na primeren način omejen na dolžino, potrebno za delo.
- » Odbojne površine na območju poti žarka morajo biti odstranjene ali zakrite.
- » V usmerjeni laserski žarek ne smemo gledati niti z zasenčenimi očmi.

14.1.3 Splošne smernice

- » Delavci, ki delajo na laserskih napravah, morajo biti pred njihovo namestitvijo, kakor tudi najmanj enkrat letno, okulistično pregledani. Pri nastopu motenj vida mora biti prizadeti nemudoma prostovoljno okulistično pregledan.

14.2 SPLOŠNA VARNOSTNA PRAVILA ZA DELO Z LASERJI

Potrebno je zagotoviti ukrepe, ki bodo preprečili direktno gledanje žarka, kot so:

- » z laserjem se nikoli ne meri v človeško oko;
- » potrebno je nositi varovalna očala;
- » med delovanjem laserja mora na vidnem mestu goreti rdeča luč;
- » pot žarka je treba ograditi, kolikor je le mogoče;
- » zavarovati je potrebno možne obiskovalce, da niso izpostavljeni možnim nevarnostim;
- » prizadevati si, da je pot žarka nad ali pod očesno mejo za sedeči oziroma stoječi položaj;
- » zagotoviti, da laser deluje le v prostoru, kjer je poskrbljeno za varnost.

Laser je potrebno primerno označiti:



14. ZAKLJUČEK

Kljub temu, da je laserska tehnologija relativno nova, so bile v preteklih tridesetih letih narejene številne raziskave o bioloških učinkih laserskega sevanja. Neposredna izpostavljenost laserskemu sevanju je redka, saj je neposredni žarek navadno mali in zgoščen, poleg tega pa so dovolj že skromni varovalni ukrepi, da učinkovito preprečimo neposredno izpostavljenost žarku. Poudarek je na zaščiti poti žarka in uporabi zaščitnih očal.

Zaradi zelo hitrega širjenja laserske tehnologije na številna področja industrije, znanosti, medicine in splošno uporabnih predmetov raste tudi potreba za kodeks ravnanja in postopkov dela pri rokovanju z laserji. [31](#)

15. VIRI

1. OMAHEN, Blaž. Zahteve za varno delo operaterja na CO2 industrijskem laserju : diplomska naloga. Ljubljana: [B.Omahen], 1999. Koomentor Mario Kalčič
2. Occupational Safety and Health Administration, 2008 [URL: <http://www.osha.gov/SLTC/laserhazards/recognition.html>], 12. 11. 2008
3. Kvakadabra – časopis za tolmačenje znanosti, 24. 11. 2008 [URL: <http://www.kvakadabra.net/index.html?vprasanja/teksti/laser.htm>], 25. 10. 2008
4. Wikipedia, the free encyclopedia, 2008 [URL: <http://en.wikipedia.org/wiki/Laser>], 3. 11. 2008
5. ICNIRP, 2008 [<http://www.icnirp.de/documents/laser180nm+.pdf>], 2. 11. 2008
6. Predavanja. Mario Kalčič
7. Witlof Bruner, Lasertechnik Eine Einfuhrung, Heidelberg 2000