



# A KÉZI LÉZERES HEGESZTÉS BIZTONSÁGI KÉRDÉSEI

## SAFETY QUESTIONS CONCERNING MANUAL LASER WELDING

Nagy Balázs Ákos,<sup>1</sup> Gáti József,<sup>2</sup> Kovács Tünde Anna<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ÓE-BGK GTI Anyagtechnológiai Tanszék, Budapest, Magyarország, [nagy.balazs@bgk.uni-obuda.hu](mailto:nagy.balazs@bgk.uni-obuda.hu)

<sup>2</sup> ÓE-BGK GTI Anyagtechnológiai Tanszék, Budapest, Magyarország, [gati.jozsef@uni-obuda.hu](mailto:gati.jozsef@uni-obuda.hu)

<sup>3</sup> ÓE-BGK GTI Anyagtechnológiai Tanszék, Budapest, Magyarország, [kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu](mailto:kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu)

### Abstract

Manual laser welding equipment is increasingly used in industry. Unfortunately, the safety regulation of this equipment is not yet fully developed, and in this paper, the authors have attempted to provide a summary study of the safety classes and current standards for laser welding equipment. The harmful effects of laser radiation on the human body (skin, eyes) and the environment are described. The authors also provide protection recommendations on the need to signal the dangers and how to avoid them and summarise the most important rules in ten points.

**Keywords:** *laser welding, laser safety, diffuse radiation, normal optical hazard distance (NOHD).*

### Összefoglalás

Egyre nagyobb számban alkalmaznak az iparban kézi lézeres hegesztőberendezéseket. Sajnos, a biztonsági szabályozása ezeknek a berendezéseknek még nem kiforrott, ezért ebben a munkában a szerzők igyekeztek egy összefoglaló tanulmányt készíteni a lézerberendezések biztonsági osztályairól és jelenleg érvényes szabványairól. Bemutatásra kerülnek a lézersugárzás emberi szervezetre (bőr, szem), valamint a környezetre gyakorolt káros hatásai. A veszélyek jelzésének szükségességére, valamint elkerülésére védelmi ajánlásokat is tesznek a szerzők, eredményként pedig tíz pontban a legfontosabb szabályokat foglalják össze.

**Kulcsszavak:** *lézeres hegesztés, lézerbiztonság, szórt sugárzás, normál veszélyességi távolság (NOHD).*

## 1. Bevezetés

Napjainkban több lézeres technológia létezik, rengeteg feladatra optimalizálva. Egyes esetekben elhanyagolhatjuk a sugárzás káros hatásait (1-es és 2-es osztályú lézerek), viszont ipari környezetben, ahol nagy teljesítménysűrűséget alkalmazunk, figyelembe kell venni a megmunkálás területén létrejövő indirekt sugárzást (reflexió) [1–5]. A sugárzásokat osztályokba sorolták, biztonsági előírásokat írtak elő, melyeket szabványok rögzítenek (EU: IEC 60825-1; USA: ANSI Z136), az előírások betartását pedig törvény írja elő [6]. A lézerek sugárzásbiztonsági előírásait több szabványban is megtaláljuk, és csak e szabványok előírásait alkalmazhatjuk [4, 7, 8].

Az első lézer (Theodore Maiman, Hughes Kutatóintézet, Kalifornia, 1960) szilárdtestlézer volt,

mely a rubinban a korundot szennyező krómionokat gerjesztette fotonokkal. Két évre rá született meg az első gázlézer (William R. Bennett, Don Herriott és Alfonso Arons Hughes Kutatóintézet, Kalifornia, 1961), amelyben He-Ne-gázkeverék volt a lézerközeg, amelyet elektromos kisüléssel emeltek magasabb energiaszintre [9, 10].

Az első lézerek megjelenése után hamar felmerült az igény a különböző lézerközegek és típusok hullámhosszának és tulajdonságainak tanulmányozására. Az említett He-Ne-lézerek a látható vörös fény tartományban működnek, viszonylag egyszerűen vizsgálhatók voltak (optikai prizma segítségével), viszont komoly spektroszkópai ismeretek kellettek az egyes lézerek hullámhosszának detektálására. 1976-ra az USA-ban ezen ismeretek alapján kategóriákba sorolták a lézereket (ANSI Z136.1: Safe Use of Lasers): négy főosztályt

határoztak meg. Ezen amerikai szabvány kellően megengedő volt, így válaszként 1994-ben megalkották az IEC 60825-1 szabványt, mely ugyanazon osztályozást vette alapul.

## 2. A biztonsági osztályok

### 2.1. Szabvány szerinti osztályozás

Az IEC 60825-1 szabvány a lézeres eszközök osztályozásakor az alábbi tényezőket veszi figyelembe: sugárzási teljesítmény ( $W$ ,  $mW$ ), hullámhossz ( $nm$ ,  $\mu m$ ), expozíciós idő ( $s$ ), sugárzás típusa (folyamatos üzemi, impulzusos üzemi). A négy fő osztályon kívül külön betűvel ( $M$ ) alosztályokat is megkülönböztettek.

Az 1. osztályba sorolt lézeres eszközök közé tartoznak azok a berendezések, melyek hullámhossztartománya nem veszélyes az emberi szervezetre, sőt, ezek a készülékek általában zárt rendszerűek (pl.: CD-olvasó).

Az 1M osztályba tartoznak a 302,5-től 400 nm-ig terjedő lézeres eszközök, melyek optikai erősítés nélkül nem veszélyesek az emberi szervezetre (pl.: lézeres mutató).

A 2. osztályba tartoznak a 400–700 nm közötti hullámhosszú, kis teljesítményű (1 mW) lézerberendezések. Optikai erősítés nélkül nem igényel védőeszközt, hisz az emberi szem automatikus pislogási reflexe (0.25 s) kellő védelmet biztosít (pl.: lézermutató), az 1. osztály előírásai érvényesek.

A 2M osztályra igazak a 2. osztály irányelvei, viszont optikai eszköz közbeiktatásával veszélyessé válik az emberi szemre (pl.: jelölőlézerek).

A 3R (3A) osztály lézerberendezései 1–5 mW közötti teljesítménnyel működnek a látható fény hullámhosszán (400–700 nm). Rövid idejű besugárzás ( $< 0,25 s$ ) folyamán nem veszélyeztet az emberi szemet, viszont hosszabb ideig fenntartva a kölcsönhatást, képes a szem gyújtólencsén keresztül károsítani azt. Ilyen berendezéseken vagy alkalmazott környezetében figyelmeztető táblákat, matricákat kell elhelyezni, védőszemüveg használata ajánlott (pl.: közepes teljesítményű lézeres vágógépek).

A 3B osztályba soroltak már kifejezetten károsak a szemre még szórt sugárzás esetén is. Ezekre a készülékekre igazak, hogy folyamatos üzemi, 5 mW és 500 mW közötti teljesítményen üzemelnek (pl.: ipari/orvosi lézerberendezések). Védőszemüveg használata kötelező!

A 4-es osztályú lézergyártmányok szem- és bőrkárosodást okoznak, sőt, potenciális tűzveszélyt jelentenek. Az előző osztály határértékeit meg-

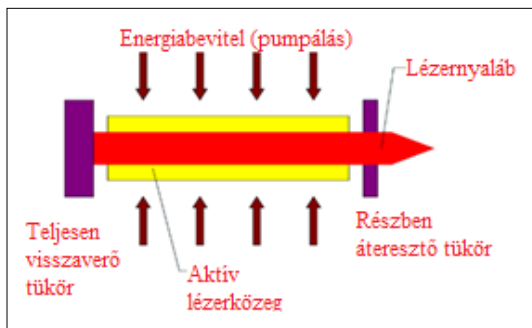
haladó készülékek tartoznak ide, védőeszközök használata kötelező (pl.: ipari anyagmegmunkáló lézerek) [4, 7, 8, 11].

Biztonságos üzemeltetés érdekében meg kell ismerkednünk a különböző lézerközeggel képzett nyaláb tulajdonságaival. Két fő csoportot emelünk ki az ipari alkalmazások terén: szilárdtestlézerek (esetünkben szállítók) és gázlézerek (általában  $CO_2$ -lézerek). A lézernyaláb kialakulását sematikus az 1. ábra mutatja be.

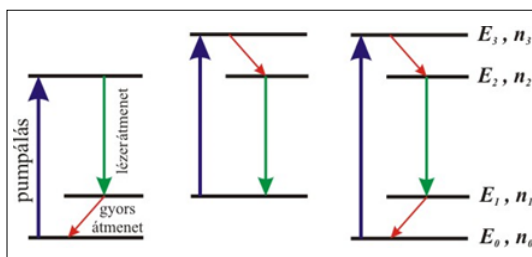
### 2.2 Hullámhossz szerinti osztályozás

#### 2.2.1. Szilárdtestlézerek

Ez a lézertípus rudat, korongot vagy üvegszálat használ lézerközegként, amelyek kiváló törésmutatójú kristályok ( $Y_3Al_5O_{12}/YAG$ : ittrium-alumínium-gránát,  $YVO_4$ : ittrium-ortovanadát), dőpolva vannak olyan alkotókkal (neodímium, erbium, itterbium stb.), melyeket magasabb energiaszintre lehet kényszeríteni külső gerjesztéssel (villanólámpákkal vagy diódlézerekkel). A populációinverzió kialakulásához nem elegendő két energianívó, hiszen a gerjesztett részecske azonnal nyugalmi állapotra törekszik, így a gyakorlatban 3 és 4 energianívós rendszerek jellemzőek (2. ábra). Mai napig igaz, hogy általában  $Nd:YAG$  kristállyal szerelik az ilyen típusú lézereket, melyekben



1. ábra. A lézernyaláb kialakulásának vázlata



2. ábra. Három és négy energianívós rendszerek vázlata [12]

808 nm-en sugárzó diódlézerekkel gerjesztik a rendszer legmagasabb energiaszintjére a neodimiumionokat ( $\text{Nd}^{+3}$ ). Ezt követi egy sugárzásmentes átmenet, amely energianívó alatt a kristályrács rezgésének energiája jóval kisebb, mint a rendszer energiája, tipikusan 1064 nm-es hullámhosszúságú fotonok kibocsátását eredményezve. Ahhoz, hogy körfolyamatként fent tudjuk tartani a lézersugárzást, a kisugárzás alsó energiaszintjéről el kell juttatni a neodimiumionokat ún. hegemón állapotba, hogy újra a rendszer legnagyobb energiaszintjére lehessen juttatni az aktív lézereközéget [1, 5, 10].

### 2.2.2. $\text{CO}_2$ -lézerek

Ipari megmunkálás folyamán alkalmazhatunk légnemű lézereközéget, nagy teljesítménysűrűségi igény esetén általában szén-dioxidot ( $\text{CO}_2$ ). A gázközeg kvarcüveg csőben található, gerjesztését villamos tér segítségével oldjuk meg (egyenáramú, nagyfrekvenciás gerjesztéssel). A  $\text{CO}_2$ -lézer a szén-dioxid-molekula vibrációs szintjei között működik. Ez a legnagyobb teljesítményű gázlézer, amelynek határfoka is a legnagyobb (15–20%). A lézereközeg  $\text{CO}_2$ -,  $\text{N}_2$ -, He- vagy  $\text{H}_2\text{O}$ -gőz körülbelül 1:1:8 arányú keveréke. Négy energianívós rendszer: gázszüléssel a nagyszámú  $\text{N}_2$ -molekula gerjesztődik, hosszú élettartamú, metastabil állapotban feldúsul, majd ütközéssel átadja energiáját a szén-dioxid-molekuláknak. Lézerátmenet a két rezgési állapotok között jön létre, jellemzően 10600 nm-es hullámhosszúságú sugárzás csatolható ki. A He vagy a vízgőz segíti az alsó lézernívók kiürítését az energiaátadás során (ütközéses energiaátadás) [1, 10].

A gerjesztés hatására, a lézereközeg függvényében más-más hullámhosszúságú elektromágneses sugárzás indukálódik, amelyek az emberi szervezetre veszélyt rejthetnek, ha a gépkezelő a munkatérben belül tartózkodik. A továbbiakban csak a szórt sugárzás elleni védelemmel foglalkozunk.

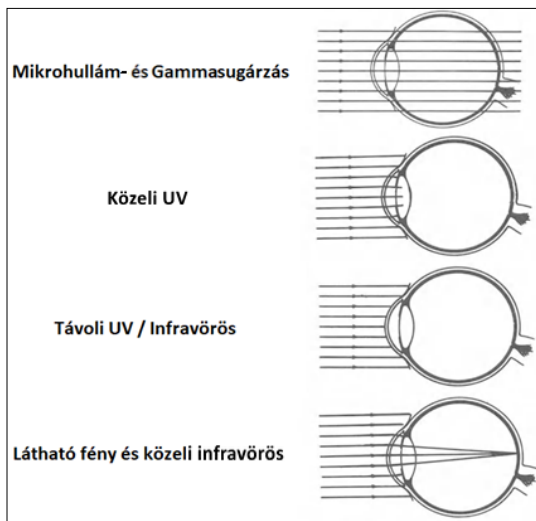
## 3. Veszélyeztetett területek

### 3.1. Szem

Az emberi test legérzékenyebb szerve sugárzás szempontjából a szem, elsősorban ennek védőeszközeit kell biztosítani munkavégzés során. A 3. ábrán látható, ahogy szemünk viselkedik egyes sugárzásokra.

Általános eset:

$$NOHD = \sqrt{\frac{4 \cdot P \cdot \alpha}{\pi \cdot MPE \cdot \omega_0^2}} = (m) \quad (1)$$



3. ábra. Emberi szem viselkedése egyes sugárzásokkal szemben, sematikus ábra

Multimódusú fényvezető szál (fiber) esetén:

$$NOHD = \sqrt{\frac{1,79}{NA}} \cdot \sqrt{\frac{P}{\pi \cdot MPE}} = (m) \quad (2)$$

ahol:

- $P$  a lézer teljesítménye (W),
- $\alpha$  a nyaláb divergenciája (rad),
- $\omega_0$  a nyaláb kezdeti sugara (m),
- $MPE$  a maximálisan megengedett expozíció ( $\text{W/m}^2$ ),
- $NA$  a numerikus apertúra.

A szem védelmére szemüvegeket alkottak különböző törésmutatójú lencsékkel annak függvényében, milyen hullámhosszoknak álljon ellent. A legelterjedtebb szabvány ilyen termékekre az MSZ EN 207:2020, de létezik amerikai megfelelője (AISI Z136.3), viszont ez a szabvány a szemüvegekkel szemben csak az optikai sűrűséget határozza meg, az európai jóval szigorúbb. Elmondható, hogy nincs olyan termék a piacon, amely minden hullámhosszon biztonságosan alkalmazható, így az adott lézergéphez kell kiválasztani a védőeszközt. Azért, hogy biztosítani tudjuk a védelmet, meg kell tudnunk határozni a szemüveg biztonsági osztályát.

Az ilyen eszközöket tesztelik piacra kerülés előtt, melyből képesek meghatározni a legfontosabb mérőszámot, az optikai sűrűséget, amely a sugárzással szembeni hatékonyságot jelöli. Érvényes az, hogy minél nagyobb ez az érték, annál hatásosabban véd az adott sugárzással szemben, viszont érdemes meghatározni a minimum

biztonsági szintet, mivel a költségek is nőnek az optikai sűrűséggel. Ismernünk kell, hogy milyen hullámhosszon, mekkora teljesítménnyel, mekkora nyalábátmérővel és milyen üzemmódban üzemel a készülékünk. Ezeknek tudatában a MSZ EN 207:2020 szabványban található táblázatból kiolvashatjuk a minimális biztonsági fokozatot, amelyet teljesítenünk kell biztonságos üzemeltetés folyamán. A védőszemüvegek dokumentációjában található egy diagram, amely az egyes hullámhosszokon az áteresztőképességet és az optikai sűrűséget mutatja, ennek megfelelően válasszunk védőeszközt. Érdeemes meghatározni a normál veszélyességi távolságot (NOHD), melyet tudatni és betartatni kell a gépközlelővel (1), (2) [2, 7].

### 3.2. Bőr

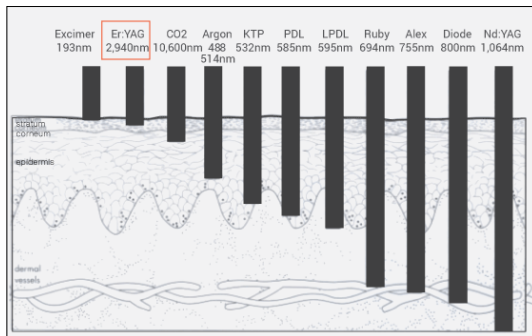
Az emberi bőr véd minket a környezet veszélyeitől, viszont e mesterséges besugárzás ellen kevésbé hatékony. Különböző hullámhosszokon a sugárzás képes mélyebbre hatolni az emberi bőrben, ezeknek lesz is egy rájuk jellemző károsodási mechanizmusuk. Az 4. ábrán látható, hogy két esetben nagy az eltérés: a CO<sub>2</sub>-lézer hullámhossza az hámrétegig hatol, bőrünk hővezetés útján károsodik, túlmelegedhet, esetleg koaguláció (irreverzibilis) léphet fel.

A szilárdtestlézerek kicsi hullámhosszú sugárzása eljut bőrünk legmélyebb rétegeibe, ahol a bőrünkben levő vizet elpárologtatja. A hajszálerekben a víz mellett van vas is a vérünkben, mely szívesen elnyeli ezt a hullámhosszt (5. ábra). A túlhevített vasatomok felrobbannak, és a véráramban a „salak” majdan hajszálereket tömíthet el (a szemben vannak a legvékonyabb erek).

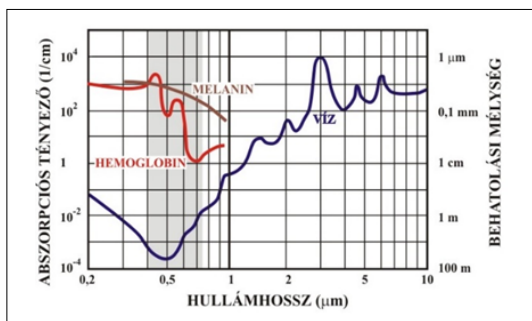
E veszélyek elkerülése érdekében a test minden részét le kell fedni, a védőruházat anyagának el kell nyelnie a jelen levő sugárzást károsodás nélkül. A CO<sub>2</sub>-lézerfény nagy hullámhossza miatt a hagyományos hegesztőruházat (marhabőr) elegendő védelmet ad, míg a szilárdtestlézer sugárzása ellen más speciális anyagokat (kompozitokat) kell alkalmazni. Mindig győződjünk meg, hogy a védőeszközaink képesek ellátni funkciójukat [3].

### 3.3. Környezet

Tudatában a lézerfény károsító hatásainak, a munkaterületet el kell szigetelni a külvilágtól, erre alkalmas anyagokat kell választani a sugárzás hullámhossza függvényében. A célunk, hogy ne jusson ki sugárzás: vagy a sugárzás visszaverése, vagy az elnyelése lehet a megoldás alapelve. Utóbbit választva, hisz bent használják a készüléket, CO<sub>2</sub>-lézer működésénél védelmet nyújt a plexi (PMMA), viszont a közeli infravörös hul-



4. ábra. Az emberi bőrbe különböző lézersugárzások behatolási mélysége [14]



5. ábra. Az emberi testben (bőrben) található folyadékok viselkedése különböző lézersugárzások esetén [15]

lámoknak átlátszó. Erre a hullámhosszra alkalmazhatunk speciális burkolóelemeket, speciális szendvicspaneleket (Al-lemezek között grafit), költséghatékony megoldásként reflektáló építőelemeket belülről abszorbeáló réteggel bevonva (festés, bevonatolás, más anyagú panel rögzítése). Különös tekintettel kell lennünk azon terület sugárzásának elnyelésében, mely felé a fényforrás áll (vastagabb fényelnyelő réteg). Érdeemes olyan ajtó kialakítást választani, hogy biztonsági kapcsolót tudjon üzemeltetni, mert csak zárt térben csatlakozhatunk ki lézerfényt. Biztonságtechnikai okokból a munkaterületre azon kívül tartózkodónak be kell tudnia nézni, ha esetleges komplikáció lépne fel a lézerforrás üzemeltetése közben. Erre a szemüvegekhez hasonló módon alkotott ablakok állnak rendelkezésre, melyre igazak a szemüveg lencséjének választásának vezérelve. A környezetben létrejövő légnyomú fém elszívását biztosítani kell. Anyagmozgatás okán érdemes a LEAN-elveket követni mechanikai sérülések elkerülése érdekében, a veszélyjelzéseket és kötelezettségeket (pl.: védőruházat viselete) fel kell tüntetni (6. ábra) [6].

#### 4. Védelmi ajánlás a közeli infravörös sugárzási tartományban

Az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kara tervezi a CLOOS Magyarország Crown International Kft. támogatásával telepíteni egy kézi lézeres hegesztőgépet, mely szállézeres hegesztőberendezés. Legfontosabb ismértve, hogy a lézerközeg szilárd test, növelt fajlagos felületű (vékony szál), maximális teljesítménye 2000 W és a közeli infravörös (1080nm, gépkönyv szerint  $1070 \pm 20$  nm) tartományú hullámhosszon üzemel. Ezen hullámhossztartomány veszélyes lehet a gépkezelőre nézve, hiszen a sugárzás 17%-a képes az emberi bőr legmélyebb rétegébe eljutni (hipodermis), ami az előzőekben taglalt károsodásokat okozhatja. Ami még tetézi a problémát, hogy e sugárzás az emberi szem látóidegeit képes „kiégetni”, ezzel vakfoltokat generálni a gépet üzemeltetőnek (irreverzibilis folyamat). E veszélyek miatt az egyéni és környezeti biztonságot biztosítani kell. Megoldásként szemüveggént meghatározott biztonsági faktorút választunk specialistáktól, nem érdemes ezen spórolni, mert a szemünk fénye foroghat kockán: pl. Laservision, UVEX és NoIR [16, 17]. Ruházat terén olyan szövetet kell választani, mely fémszálakat tartalmaz (rozsdamentes acél, ezüst), nem mellesleg ergonomikus. Kabát és nadrág terén ajánlhatók az ISA Technology termékei, melyek sugárzás és hőhatás ellen is védenek [18]. Kesztyűként elterjedtek a fehér pigmentált termékek a titán-dioxid ( $\text{TiO}_2$ ) visszaverő-képessége miatt [2, 7]. Guide 70 nevű terméket használnak a legtöbben, akik kézi lézerekkel foglalkoznak [20]. Lábviselés terén munkavédelmi cipők alkalmazhatók. A környezet az előbb említett költséghatékony mó-

don képzelhető el, tolóajtót alkalmazva a biztonsági retesz működtetése érdekében. A közeli infravörös tartományban üzemelő lézerekkel jellemző a fémgőzök felszabadulása; ezen a téren az elszívást és levegő tisztítását az ipari elszívók kielégítik.

#### 5. Következtetések

A manapság egyre népszerűbb kézi lézeres berendezések veszélyt hordoznak a gépkezelőre nézve, hiszen egy légtérben tartózkodnak. Az ipari lézereknek is a munkatere el van burkolva, hogy megvédje a kezelőt. Kézi egység alkalmazásakor a munkaterületen belül levőket a biztonsági öltözetek, a területen kívülieket a hermetikusan záró burkolóelemek védik.

Az ilyen készülékek „olcsók” és könnyen beszerezhetők, többféle feladatot is végezhetnek (tisztító lézer), viszont téves az a hiedelem, miszerint veszélymentes. Meg kell ismerkednünk és kockázatelemzést kell végrehajtani a veszélyforrásokkal, hogy nagy szakértelemmel meg tudjuk alkotni a biztonságos lézergép-üzemeltetést.

Végezetül a 7. ábrán látható szabályok betartására kell minden intézkedést megtenni.



6. ábra. Kötelezettségeket és veszélyeket ábrázoló piktogramok

1. Soha ne nézzon közvetlenül a lézer-sugárba.
2. Soha ne irányítsa a sugarat más emberre.
3. Ne nézzon 3R osztályú vagy nagyobb teljesítményű lézerbe optikai eszközökkel.
4. A lézereket csak a használatukra kijelölt helyen működtesse.
5. A sugárnyaláb útját jóval a szem-magasság fölé/alá helyezze álló vagy ülő helyzetbe.
6. Mindig szétszóróan visszaverő sugárvédőket használjon.
7. Távolítson el minden fényvisszaverő tárgyat, például ékszereket vagy szerszámokat a sugárútból.
8. A 3B és 4 osztályú lézerterületre csak arra felhatalmazott személyzet léphet be.
9. Mindig viseljen lézerszemüveget, ha 4 osztályú láthatatlan sugárnak van kitéve.
10. Mindig biztonságos beállításokat tegyen.

7. ábra. Vezérelvek sérülésmentes lézerműködtetés érdekében [21]



## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Christopher Dawes: *Laser Welding*. Abington Publishing, Cambridge, 1992.
- [2] David Sliney, Myron Wolbarsht: *Safety with Lasers and Other Optical Sources*. Springer Science+Business Media, New York, 1980.
- [3] Halász G.: *Kézi lézeres berendezések biztonságos használata*. Hegesztéstechnika, 35/1. (2024), 41–47.
- [4] Bagyinszki Gy.: *Lézerek alkalmazásának technológiai és biztonságtechnikai szempontjai*. XI. Nemzeti és IV. GTE-MHtE-DVS hegesztési Konferencia, Budapest, 2004, 14–30.
- [5] Bitay E.: *Lézeres felületkezelés és modellezés*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2007.  
<https://doi.org/10.36242/mtf-04>
- [6] 2012. évi I. törvény a munka törvénykönyvéről: 51. § és 86. §
- [7] Ken Barat: *Laser Safety: Tools and Training*. Second Edition, Taylor & Francis LTD, Broken Sound Parkway, 2017.
- [8] Bagyinszki Gy., Bitay E.: *Lézeres anyagmegmunkálás veszélyessége*. Műszaki Tudományos Füzetek - FMTÜ, 18. (2013) 51-56.  
<https://doi.org/10.36243/fmtu-2013.05>
- [9] Kovács Z.: *A lézerek működési alapjainak és a lézersugárzás alkalmazásainak tanítása*. Doktori értekezés, József Attila Tudományegyetem, Szeged, 1995.
- [10] Buza G.: *Lézersugaras technológiák I.*, Edutus Főiskola. Budapest, 2012.
- [11] California Institute of Technology: *Laser Safety Manual*. Caltech Environmental Health and Safety Office, California, 2023.
- [12] Online tananyag: *Lézerek az Orvostudományban, Szegedi Tudományegyetem*.  
[https://titan.physx.u-szeged.hu/tamop411c/public\\_html/Lézerek\\_az\\_orvostudományban/23\\_a\\_polulciinverzi\\_s\\_energiaszint\\_smk.html](https://titan.physx.u-szeged.hu/tamop411c/public_html/Lézerek_az_orvostudományban/23_a_polulciinverzi_s_energiaszint_smk.html) (2024)
- [13] Seiji Katayama: *Handbook of Laser Welding Technologies*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2013.
- [14] <https://wtlaser-en.com/144> (2024)
- [15] Buza G.: *Lézersugaras technológiák tegnap, ma, holnap*. Nagy energiasűrűségű ankét, Magyar Hegesztési Egyesület, Kecskemét, 2023. október 26., előadás-prezentáció.  
[https://maheg.hu/wp-content/uploads/2023/11/Buza\\_Nagy\\_energiasurusegu.pdf](https://maheg.hu/wp-content/uploads/2023/11/Buza_Nagy_energiasurusegu.pdf)
- [16] <https://www.uvex-laservision.de/> (2024)
- [17] <https://www.noirinsight.com/> (2024)
- [18] Meszlényi Gy., Bitay E.: *The Role of Focus Position in Single Pulse Laser Drilling of Highly Reflecting Materials*. Acta Materialia Transylvanica, 2/1. (2019) 61–68.  
<https://doi.org/10.33924/amt-2019-01-10>
- [19] <https://www.isatechnologies.com/> (2024)
- [20] <https://guidegloves.com/> (2024)
- [21] Tóth László: *A kézi lézeres hegesztőgépek biztonságtechnikája*. Nagy energiasűrűségű ankét, Magyar Hegesztési Egyesület, Kecskemét, 2023. október 26. előadás-prezentáció.  
[https://maheg.hu/wp-content/uploads/2023/11/Lezervedelem\\_PPT\\_MDTL-231026-Nagy\\_energiasurusegu\\_Anket.pdf](https://maheg.hu/wp-content/uploads/2023/11/Lezervedelem_PPT_MDTL-231026-Nagy_energiasurusegu_Anket.pdf)