JÓZSEF ATTILA TUDOMÁNYEGYETEM
OPTIKAI ÉS KVANTUMELEKTRONIKAI TANSZÉK

VÉDEKEZÉS AZ INTENZÍV LÉZERSUGÁRZÁSSAL SZEMBEN

SZAKDOLGOZAT

OVÁRDICS ANDREA
V. ÉVES FIZIKA TANÁR SZAKOS HALLGATÓ

JÓZSEF ATTILA TUDOMÁNYEGYETEM
Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék
SZEGED

TÉMAVEZETŐ: DR. KLEBNICZKI JÓZSEF EGYETEMI ADJUNKTUS

SZEGED

1999.

Tartalomjegyzék

Bevezetés 1

I. A lézersugárzás biológiai hatásai

A lézersugár hatása az élő szövetekre 2

A lézersugár és az élő szövet kölcsönhatása 2

A bőr 5

A szem felépítése 7

A lézersugár hatása a szemre 11

A lézersugár hatása a testre 14

Küszöbszintek 15

II. A lézerek típusai

A lézerek típusai 18

A lézerek osztályba sorolása 21

III. Biztonsági előírások 29

Biztonsági előírások .....

Feliratok, jelölések 33

A lézerek működésével járó egyéb veszélyek 35

Összefoglalás 36

Ábrák jegyzéke 37

Táblázatok jegyzéke 38

Irodalomjegyzék 39

BEVEZETÉS

A lézereket széles körben alkalmazzák a műszaki és a tudományos életben, a gyógyászatban, a hadiiparban, sőt manapság a mindennapi életünkhöz tartoznak (CD-lejátszó, vonalkód leolvasó, telekommunikáció, fénytechnikai eszközök, lézeres mutatópálca stb.).

Mivel a kis területre koncentrálható nagy energiájú vagy intenzitású lézersugárzás számos baleset okozója lehet, a lézerek használatához fokozott óvatosság, a biztonságtechnikai rendszabályok betartása szükséges.

A lézerekből származó veszélyeket nehéz általánosítani, minthogy azok a lézersugárzás hullámhosszától, intenzitásától, a megvilágítás időtartamától és a besugárzás helyétől erősen függenek. Természetesen a lézerbalesetek elsősorban a szemet érintik, mert ha a lézerfény a szembe kerül, azt a szaruhártya fókuszálja, és viszonylag kis intenzitású fény is maradandóan károsítja a szemet. Ezzel a témával kapcsolatban számos tanulmány készült, behatóan tanulmányozták a szem spektrális áteresztési karakterisztikáját, az emberi recehártya pigmens epitéliumának és az érhártyának abszorpcióját stb. Ugyanakkor a nagy teljesítményű lézerfény a test egész felületén is okozhat égési sérüléseket, és egyéb károsodásokat.

A különböző lézerek alkalmazására megadhatók olyan általános üzemeltetési eljárások és óvintézkedések, amelyekkel ezek a baleseti kockázatok csökkenthetők.
Ebben a dolgozatban bemutatom a lézerfény hatásait, elsősorban ara koncentrálva, hogy milyen károsodás keletkezhet a biológiai szövetekben. Ezután összefoglalom azokat az óvó rendszabályokat, amelyeket az Európai Közösség országaiban bevezettek a, lézerek alkalmazásával kapcsolatban. Meghatározom azokat a biztonságtechnikai követelményeket, amelyek a JATE Optikai és Kvantumelektronikai Tanszék oktatói és kutatói laboratóriumaiban működő lézerek működtetésénél be kell tartani.

I. A lézersugárzás biológiai hatásai

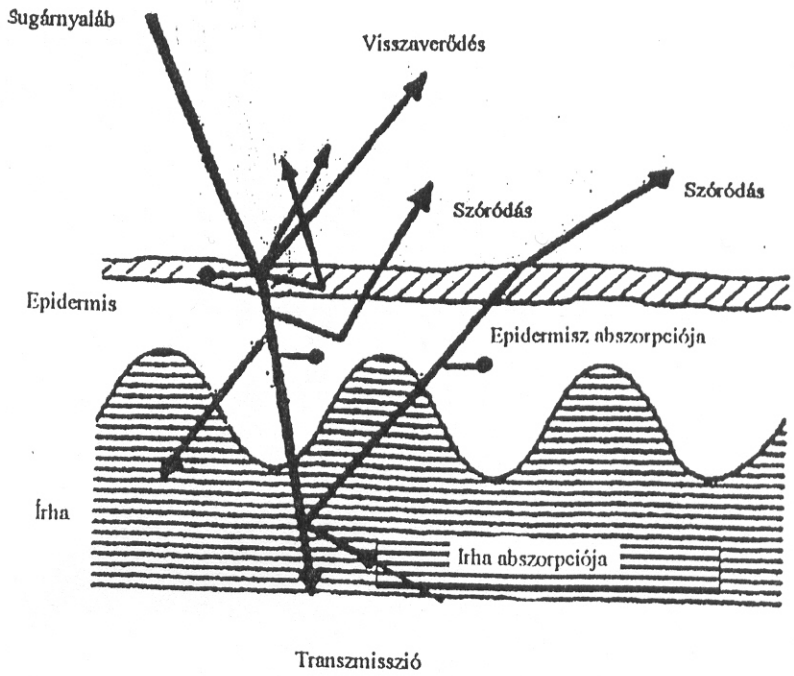
A lézersugár hatása az élő szövetekre

A lézersugár hatása az élő szövetekre soktényezős folyamat eredménye. Ez a hatás alapvetően két tényezőtől függ: az alkalmazott lézersugártól és az illető szövet milyenségétől. Az alkalmazott lézersugár hullámhossza, teljesítménye, a besugárzás ideje és módja (impulzus, folyamatos, Q-kapcsolt stb.), a kezelt szövet fajtája (abszorpciós, szóródási, felszíni tulajdonságok stb.), hővezetési viszonyai és a vérátáramlás mennyisége a legfontosabb meghatározók. Mindezek mellett a létrejövő szöveti hatást befolyásolja a hűtés, folyadékáramoltatás, a lézersugár vezetésének eszközei és más tényezők is.

Az élő szövet optikailag heterogén, az egyes szövetelemek a monokromatikus sugárzás iránt különösen érzékenyek. Színük szerint a szövetek a színkép eltérő helyein abszorbeálnak. Azonos teljesítmény esetén nagyobb hatás attól a frekvenciától várható, amely a szövet abszorpciós sávjába esik. Biológiai hatást éppen ezért befolyásolja pl.: a szövetek vérellátottsága.

A lézersugár és az élő szövet kölcsönhatása

A lézersugár és az élő szövet közötti kölcsönhatás során a szövet a lézersugarat visszaverheti (reflexió), szórhatja, elnyelheti (abszorpció) és átengedheti (transzmisszió). Általában ezeknek a hatásoknak valamilyen kombinációja valósul meg.



1. ábra: A lézersugár és az élő szövet kölcsönhatása [1]

A szövetekben létrejövő reakciók fő csoportjai a következők:

1. *Fotokémiai hatások*

- fotogerjesztés: különböző anyagok pl. enzimek, fehérjék fotoaktiválása
- fotokemoterápia
- fotorezonancia
- biostimulációs effektus létrejötte
- enzimműködési változások
- változás a membrántevékenységben
. a sejtek működésének megváltozása

2. *Fototermikus hatások*

- *fototermolízis*: 45°C-nál nem magasabb hőmérséklet esetén jön létre, enzimindukció, sejtmembrán változások, ödéma kialakulása figyelhető meg.
- *fotohipertermia:* 45-60°C hőmérsékleten a membránok súlyosan károsodnak, roncsolódnak, ödéma jön létre.
- *proteindenaturáció:* 60°C felett alakul ki, fehérje koaguláció és elhalás észlelhető.
- *fotokoaguláció:* esetén 60-100°C között kollagén denaturálódás és a membránok teljes roncsolódása észlelhető.

-*fotokarbonizáció:* 150°C-on a víztartalom elpárologtatása közben zajlik le.

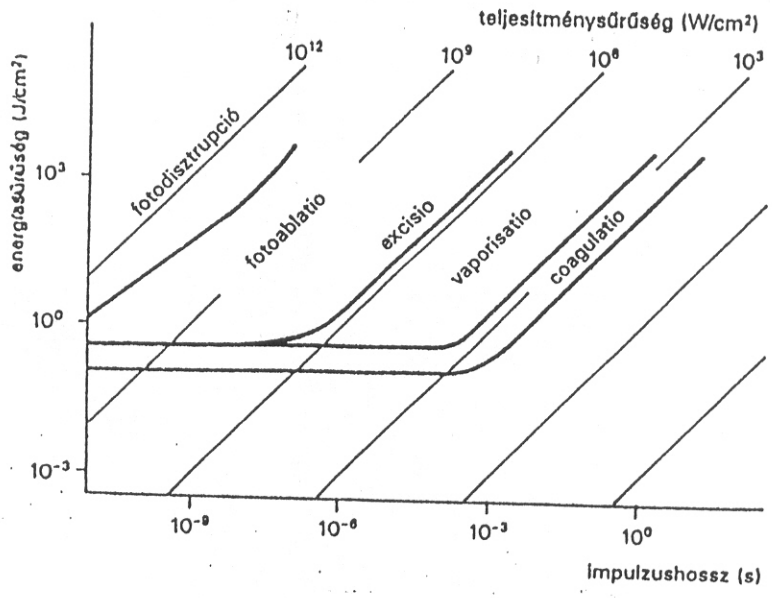
-*fotovaporizáció:* 300°C-on jön létre, a szövetek elpárolognak, helyükön sebzés, vágás alakul ki.

Az 1. táblázatban látható a hőmérséklet emelkedésének hatása a szövetekre [5]:

Hőmérséklet (°C)	Szöveti hatás	Színeződés	Mechanikai hatás
37	nincs		
40	Enzimindukció		Fellazulás
45	Ödéma, membrán fellazulás		
60	Fehérje denaturálódás, koaguláció	Fehéredés	
80	Kollagén denaturálódás	Barnulás	
100	Égés		Zsugorodás
150	Szenesedés	Feketedés	Nyomás, ütés
300	Elpárolgás		Kirobbantás

3. *Fotodistruptiós hatások*

Ennek során a rendkívül magas fényintenzitás robbanásos szövetelhalást okozó fotoablációs hatása és a mechanikus lökéshullámok keltése révén roncsolja, robbantja szét a szöveteket.

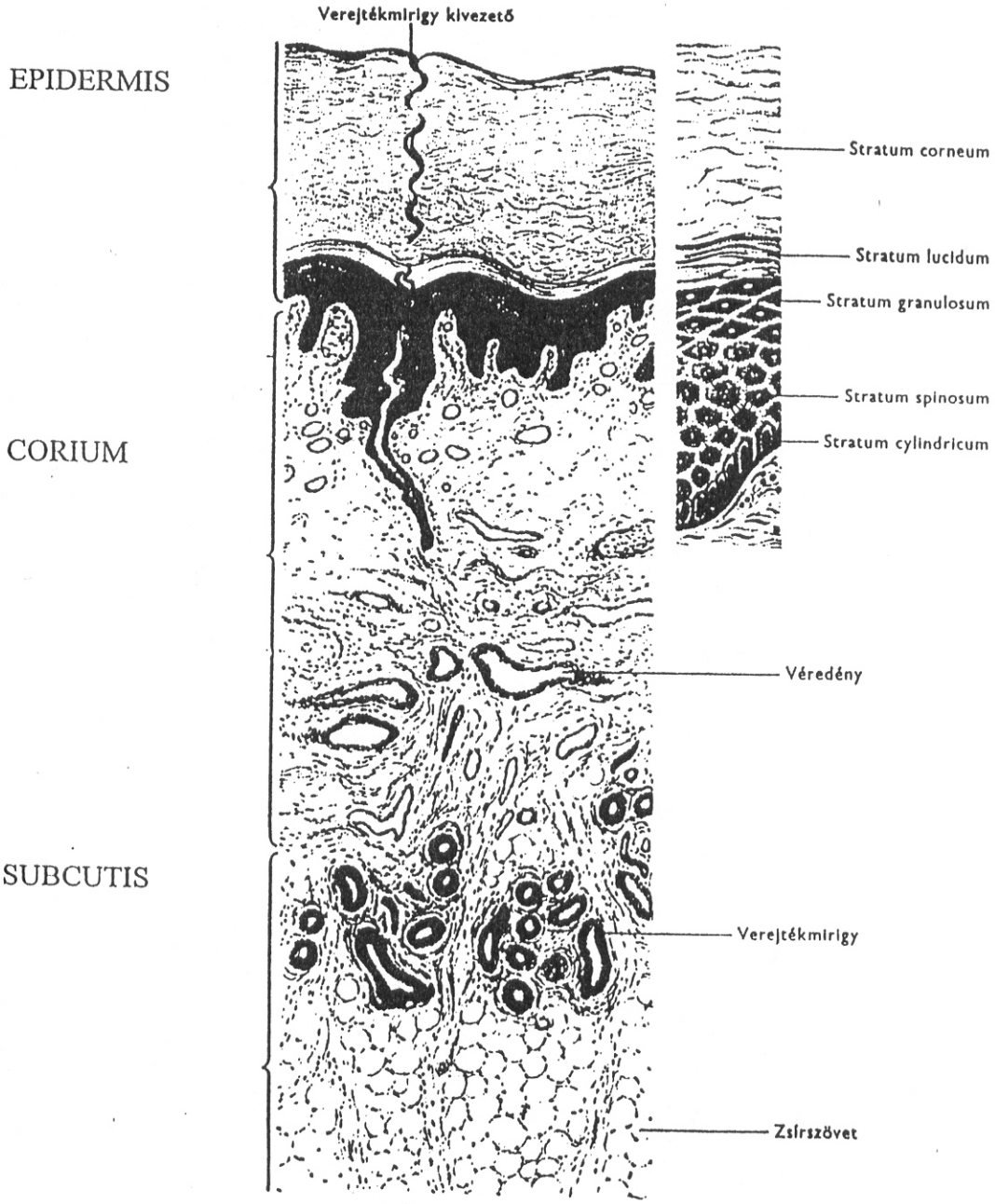


2. ábra: A lézersugárzás különböző típusú szöveti hatásai [2, 5]

A bőr (*cutis*)

A test felszínét a külvilág felé a bőr fedi, amely a testnyílásoknál nyálkahártyában folytatódik. A bőr működése az élet szempontjából pótolhatatlan, feladata sokrétű. Fizikai, bakteriális és kémiai behatások ellen védi a szervezetet. Emellett részt vesz a fénykárosodások kivédésében a bőrben levő pigmentanyagok segítségével.

Bőr szöveti szerkezetét mutatja be a 3. ábra [6]*:*



Az ember bőre három részből áll: *hámréteg (epidermis), irha (corium)* és a *bőralja (subcutis).*

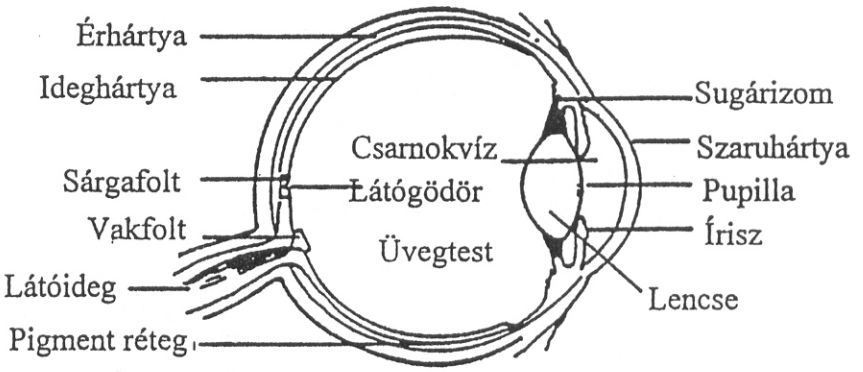
Az ember hámrétegét többrétegű laphám alkotja, amelynek az állandó szarusodás következtében elpusztult felső réteg pótlása az alsó, csírázó réteg (*stratum germinativum*) állandó osztódásával történik. Az epidermisz sejtjei szorosan illeszkednek egymáshoz, sejtközötti állomány nincs. A hámréteg nem rendelkezik saját érhálózattal, a tápanyag diffúzióval az alatta levő rétegekből történik. Az epidermisz alatt húzódik a bőr kötőszöveti rétege az irha. Felépítésében kollagén és elasztikus rostok, kötőszöveti sejtek, pigmentsejtek, receptorsejtek, zsírszövet, mirigyek, vér- és nyirokerek vesznek részt. Az irha két rétegre különül: a felső, laza szerkezetű (*stratum spongiosum*) és a mélyebben fekvő tömöttrostos rétegre (*stratum compactum*). A stratum spongiosum kötőszöveti sejtekben, receptorokban, kapilláris hálózatban dúsabb, mint a stratum compactum. A stratum compactum kötőszöveti rostokban gazdag, tömött réteg, sejtjei csaknem kizárólag rostképző sejtek fibroblasztok. A bőr legalsó rétege a *bőralja (subcutis*), laza szerkezetű, változatos felépítésű és vastagságú kötőszövet, gyakran nagy mennyiségű zsírszövetet is tartalmaz.

A szem felépítése

Az ember fényérző- vagy látószerve a *szem*. A látószerv (*organon visus*) a *szemgolyó*-ból, a *látóideg*ből és a szem *segédszerv*eiből áll. Mindezek a szervek a hozzájuk tartozó erekkel, idegekkel együtt zsírpólyába ágyazva a csontos szemüregben (*orbita*) helyezkednek el.

1. **Szemgolyó** (*Bulbus oculi)*

A *szemgolyó* a szemgödörben levő, nagyjában gömb alakú test.



4. ábra: A szem felépítése [1]

A szem burkai. Három szemburok van: *külső, középső és belső*. A három szemburok egymásra boruló rétegeket alkot, amelyek görbülése a szemgolyó alakját követi. A *szem külső burka* erős, rostos tok, amely körülfogja a szemgolyót. Hátulsó nagyobb, fehér színű, átlátszatlan része az *ínhártya (sclera),* elülső kisebb része pedig az átlátszó *szaruhártya* (*cornea*).

Az *ínhártya* képezi a külső burok 4/5-öd részét, amely éles széllel elől a *szaruhártyába* megy át. Az *ínhártya* fehér színű, vererekben gazdag, 0,3–1,5 mm vastagságú, tömöttrostos kötőszövetből álló hártya, a szemgolyó legnagyobb részének a védőburka és szilárd váza. A szem hátulsó pólusától 3-4 mm-re a középsík felé szitaszerűen át van lyuggatva, mert itt lépnek ki a látóideg rostjai. A szemgolyó ekvátora előtt és mögött az ínhártyán tapadnak a szemmozgató izmok.

A *szaruhártya* a szemgolyó elülső oldalán levő sima, óraüvegszerűen domború 12-13 mm átmérőjű, 0,8-1,1 mm vastagságú lemez. Az élő emberben, ha ép a

szaruhártya, akkor teljesen átlátszó. A szaruhártya két különböző részből áll. Az egyik amely kifelé határolja, többrétegű el nem szarusodó laphám, amely sok idegvégződést tartalmaz. A másik része, amely a fő tömeget alkotja, kötőszövet, melynek vastagsága változó.

A *szemgolyó középső burka* egymástól jól elkülöníthető három részből áll. Hátulsó része az ínhártyához szorosan illeszkedő *érhártya,* elülső része a *szivárvány-hártya*. A két rész között levő gyűrűszerű megvastagodás, a *sugártest,* képezi a középső szemburok harmadik részét.

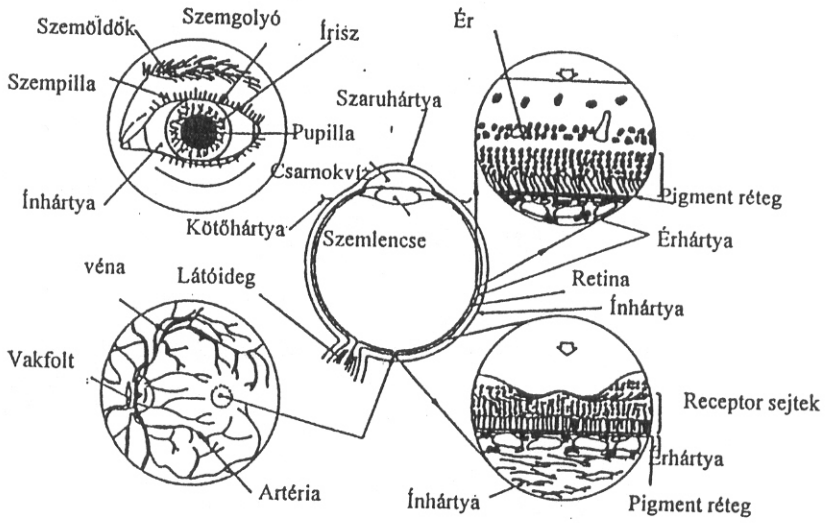
Az *érhártya (chorioidea)* a középső szemburok legnagyobb részét alkotja. Hajszálerekben rendkívül gazdag, pigmentsejteket és rugalmasrostokat tartalmazó kötőszövet.

Az *érhártya* elöl éles határ nélkül átmegy a *sugártestbe (corpus ciliare)*. A sugártest a középső szemburok gyűrűszerűen megvastagodott része. A legnagyobb tömegét a *sugárizom (musculus ciliaris)* képezi. A sugártesteken erekben gazdag kiemelkedéseket találunk *(processus ciliares)*, melyek a csarnokvizet termelik. A *sugártest* felszínéről indulnak ki a lencsefüggesztő rostok, melyek a sugárizommal együtt szabályozzák a lencse domborúságát.

A *sugártest* elülső részéből indul ki, és annak közvetlen folytatása a *szivárványhártya (iris)*. A vázát laza szerkezetű, erekben és pigmentsejtekben gazdag kötőszövet alkotja. A *szivárványhártya* a szemgolyó elülső felében levő rekeszszerű lemez, amely a szemgolyó üregét kisebb elülső és nagyobb hátsó részre osztja. Az *iris* közepén kb. 4 mm átmérőjű kerek nyílás van, ez a pupilla. A pupilla tágasságát a *szivárványhártyá*ban levő két simaizom szabályozza. Az iris a retinát érő fénysugarak hatására reflexszerűen működik, mégpedig mindkét szemben egyszerre és azonos módon. A pupilla erős fény hatására reflektorikusan szűkül, sötétben pedig tágul. A pupilla tágasságának a változásai szabályozzák a szembe jutó fény mennyiségét, a fényerőhöz való alkalmazkodást.

A szemgolyó belső burka az *ideghártya (retina)*. A *retina* fátyolszerű, fehéres színű, szakadékony hártya. A pálcika és csapsejtek a retina fényérzékeny sejtjei, ezek alkotják az egyik réteget, míg a pigmentsejtek a pigmentréteget képezik. A retinának azt a részét, ahol a belőle eredő finom idegrostok közös idegnyalábbá, a látóideggé egyesülnek, *látóidegfő*nek nevezzük. A látóideg kilépési helyén, a retinán, nyílás van, ezért itt a fényérzékelés nem lehetséges, amiért a szemgödörnek ezt a területét

vakfoltnak (macula coeca) nevezik. A látóidegfő központjától oldalra 4 mm távolságra van az ideghártya legnevezetesebb területe a *sárgafolt (macula lutea)*, amely közepén lévő mélyedés, a látógödör, az éles látás helye, itt találhatók a csapsejtek legnagyobb számban.



5. ábra: A szem szöveti felépítése [3]

A szem fénytörő közegei

A szaruhártya, a csarnokvíz, a szemgolyó belsejét kitöltő szemlencse és az üvegtest alkotják a szem fénytörő közegeit. A lencse és az üvegtest a szembe jutó fénysugarakat összegyűjti és az ideghártyára vetíti.

A *szemlencse (lens crystallina)* kettősen domború, teljesen átlátszó, víztiszta test. Elülső felszíne elzárja a pupillát, hátulsó domborúbb felszíne pedig az üvegtest mélyedésébe illeszkedik. A lencsefüggesztő rostok megfeszülésekor a lencse elülső felszíne ellaposodik, ellazulásuk esetén pedig a lencse rugalmassága következtében kidomborodik. A lencsefüggesztő rostok megfeszülése és ellazulása a sugárizom működésének a következménye. A sugárizom, a lencsefüggesztő rostok és a lencse rugalmassága a szem alkalmazkodó képességének a legfontosabb tényezői.

Az *üvegtest (corpus vitreum)* golyó alakú, kocsonyás állományú, teljesen átlátszó test. Elülső felszínén mélyedés van, amelybe a lencse hátulsó felszíne illeszkedik be. Az üvegtestet kívülről finom, szerkezet nélküli tok veszi körül. Az üvegtest anyagának 98%-a víz, a többi fehérje, cukor és NaCl. Az üvegtestben a folyékony elemek mellett rostok is vannak. Ezek a rostok a retina termékei, egymással kereszteződnek, a közöttük maradó tereket kocsonyaszerű anyag tölti ki.

A szemgolyónak a lencse és az üvegtest által ki nem töltött üregét *szemcsarnoknak* nevezzük. A szaruhártya és az iris közötti tágabb rés az *elülső szemcsarnok*. A szivárványhártya és a lencse között levő keskeny rés a *hátulsó szemcsarnok*. A két szemcsarnok a pupillán keresztül van összeköttetésben. A két szemcsarnokot a *csarnokvíz (humor aquaeus)* tölti ki.

A csarnokvíz víztiszta, teljesen átlátszó, gyengén lúgos folyadék, amelyet a sugártest kiemelkedéseinek érfonatai termelnek. A csarnokvíz átitatja és táplálja az üvegtestet, a lencsét és a szaruhártyát, végül fenntartja a szem belső nyomását.

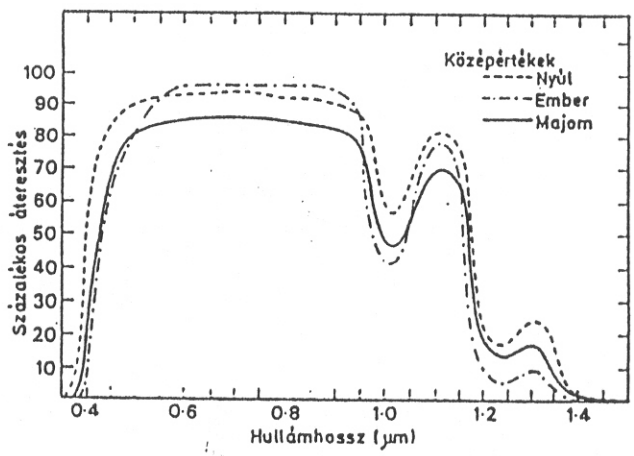
A szem segédszervei között említhetjük a *kötőhártyát (conjuctiva)*. Érzékeny, vékony hártya, amely a szemhéjakat összeköti a szemgolyóval. A kötőhártya beborítja a szemhéjak belső felszínét és a szemgolyó elülső részét a szaruhártyáig.

A lézersugár hatása a szemre

A lézerek sugárzása alapvetően nem ionizáló, viszonylag sekély behatolással. Bizonyos lézerek balesetveszélyesek lehetnek, de a baleseteket rendszerint néhány egyszerű óvintézkedéssel meg lehet előzni. Leginkább a szemet veszélyeztetik, bár nagy teljesítmények esetén, a testfelületen is okozhatnak sérüléseket.

A szem fő részeit az előző fejezet mutatta be. A beeső sugarat először a szaruhártya fókuszálja, a kép élesre állítását a szemlencse végzi. A szivárványhártya változtatható fényrekeszként működik és nyílása a ráeső fény intenzitásától függően változik. A beeső fény a ideghártya felületére fókuszálódik.

A szem spektrális áteresztési karakterisztikáját behatóan tanulmányozták, ez a 6. ábrán látható [2].

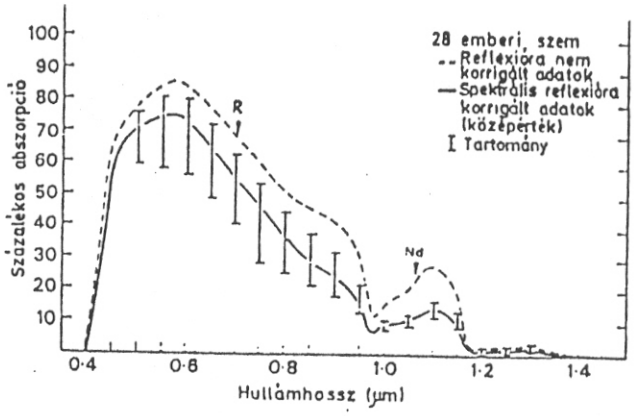


6. ábra: Azonos intenzitású fény százalékos spektrális áteresztése az emberi, a majom- és a nyúlszem közegein

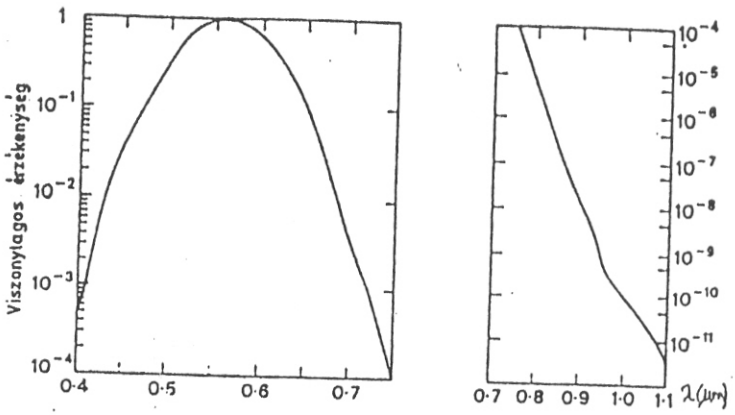
A szem 0,4-1,3 μm sugárzás számára átlátszó optikai közegeinek az áteresztési karakterisztikája megközelítőleg olyan, mint 22 mm vastagságú vízrétegé. A látható tartományban a beeső sugárzás kis része nyelődik el és verődik vissza, míg az 1,1 μm-nél nagyobb hullámhosszú fénynek már mintegy 50%-a visszaverődik.

A 7. ábra mutatja be a százalékos abszorpciót a retinán és az érhártyán. [2]

A 8. ábrán az emberi szem érzékenysége látható a hullámhossz függvényében.[2]



7. ábra

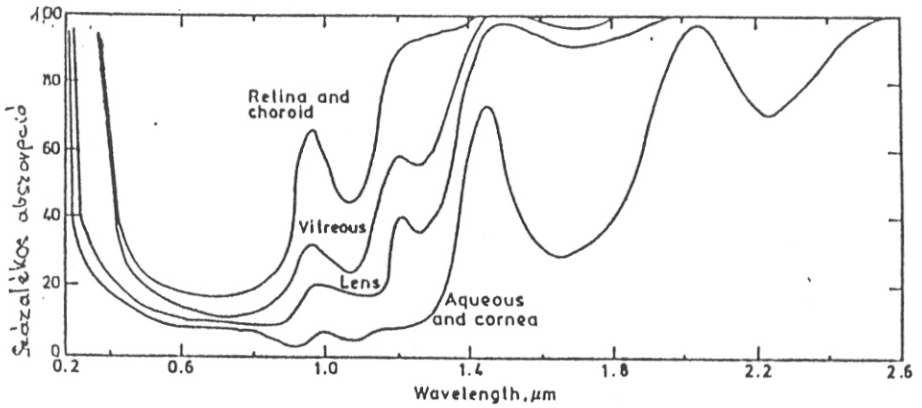


8. ábra

Összehasonlítva a szem elülső részének áteresztését a retina és az érhártya abszorpcióját visszaadó görbével, valamint a szem látóképességi karakterisztikájával kitűnik, hogy a szem a látható (kb. 0,4μm-0,7μm) tartományon túli közeli infravörös hullámhosszak átbocsátására is képes. Ez adott esetben ugyanolyan veszélyes lehet, mint a látható fény, bár tudatosan nem lehet a retinára fókuszálni.

A látható tartományban a szaruhártya és a szemlencse képes a fény fókuszálására a retinán. A pupillanyílás által szabályozott, maximálisan 7 mm-ig terjedő átmérőjű fénynyaláb a szaruhártyán kb. 10 μm átmérőjű foltnagyságra fókuszálható, ami $5*10^5$–szeres energiasűrűség növekedésnek felel meg a retinán a szaruhártyára eső energiasűrűséghez viszonyítva.

A szaruhártya a kb. 0,2 μm alatti és kb. 0,9 μm feletti hullámhosszúságú fényt fokozott mértékben abszorbeálja, kb. 1,5 μm feletti hullámhosszakon pedig a szaruhártya abszorpciója majdnem teljes.



9. ábra: Összefoglaló ábra a szem abszorpciójáról

(Wavelength = hullámhossz, aqueus and cornea = csarnokvíz és szaruhártya, lens = szemlencse, vitrous = üvegtest, retina and coroid = ideghártya és érhártya)

A szem fent említett tulajdonságai miatt a lézerbalesetek elsősorban a szemet veszélyeztetik.

A nagyteljesítményű sugárterhelés vagy a kisteljesítményű, de hosszú ideig tartó sugárterhelés hatása a 0,4-1,3 μm terjedő tartományban, ahol a szem elülső része átlátszó, a retinaszövetet károsíthatja úgy, hogy sérülést idéz elő a pigmens epitéliumban, ami maradandó vakságra vezethet. Ezenkívül károsodást okozhat még az abszorpció a szaruhártyán és a környező területeken is. Károsodhat a retinát körülvevő perifériális terület is, amely inkább az általános tájékozódást szolgálja.

A retina jelentős mértékű károsodását a szenvedő fél azonnal észreveszi, először mint fehér foltot, amely több nap elteltével fekete folttá válik.

Mind rövidebb, mind a hosszabb hullámhosszú sugárzás, amelyet elnyel a szaruhártya illetve a szemlencse, kis teljesítményeken is hályogot idéz elő, még akkor is, ha az intenzitás olyan alacsony, hogy semmilyen érzetet nem okoz.

Mintegy 0,32 μm alatti ibolyántúli hullámhosszak szemgyulladást okoznak. Ez a sugárzás láthatatlan és a hatása gyakran csak később jelentkezik. Ugyanolyan érzést okoz, mintha a szembe homok jutott volna, s amiatt keletkezik, hogy a szaruhártya felülete felhorzsolódik és az idegszövetet szabaddá teszi. A szaruhártya sejtjei folyamatosan pótlódnak. Az intenzív sugárzás még okozhatja a csarnokvíz gyors kiterjedését, és így a szaruhártya maradandó sérülését idézheti elő. Kisebb sérüléseket a környezet tárgyairól visszaverődő sugárzás is okozhat, jóllehet ezeket a sérüléseket többnyire csak mikroszkóp alatt lehet észrevenni.

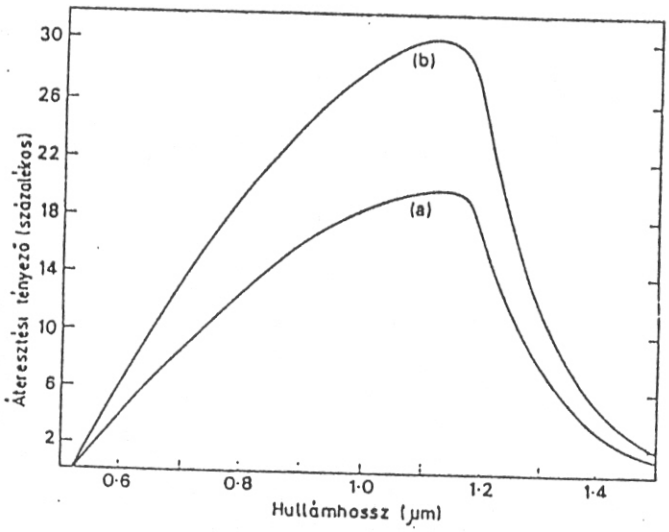
így a szaruhártya maradandó sérülését idézheti elő. Kisebb sérüléseket a környezet tárgyairól visszaverődő sugárzás is okozhat, jóllehet ezeket a sérüléseket többnyire csak mikroszkóp alatt lehet észrevenni.

A lézerekkel kapcsolatos bejelentett balesetek jórészt szemsérülések [5]:

Év	Hely	Lézertípus	Sérülés
1964	USA	rubin	retinasérülés
1965	USA	rubin	centrális látásvesztés
1966	USA	rubin	maculaégés (sárgafoltégés)
1971	Hollandia	rubin	üvegtest bevérzés
1977	USA	Nd:YAG	vakság
1978	Franciaország	Nd:YAG	átmeneti látásvesztés
1979	Franciaország	CO_2	gégeégés
1981	USA	CO_2	légcsőégés
1982	Franciaország	Nd:YAG	átmeneti látásvesztés
1983	USA	festéklézer	maculaégés
1984	Izrael	infravörös	látás elvesztése

A lézersugár hatása a testre

Az emberi bőrön bekövetkező sérülés mértéke szintén függ a lézersugár hullámhosszától és a szövet tulajdonságaitól. A hullámhossz nagysága befolyásolja a behatolás mélységét. A következő ábrán az emberi nyak szövetének spektrális áteresztését.



10. ábra: 5mm vastag emberi szövet (nyak) spektrális áteresztő-képessége [2]

a) külső áteresztőképesség

b)belső áteresztőképesség 34%-os reflexiós veszteséget feltételezve.

Az áteresztés a közeli infravörösben kb. 1μm-ig növekszik, azonban a hullámhossz további növekedésével csökken, ennek magyarázata az, hogy a víz abszorpciója nő. Ha a felület abszorpcióját is számításba vették, akkor 1μm-en kb. 18% a transzmisszióra való képessége, és így e hullámhosszaknál igen mély sebek keletkezhetnek. A középső infravörös és az ultraibolya tartományban az abszorpció nagy, itt égési sérülések inkább a felületre korlátozódnak. Még a közvetett sugárzás is káros hatásokat idézhet elő nagy teljesítményű lézerek (4. osztályba sorolt) esetében.

Táblázatban foglalom össze a lézersugárzás hatását a *szemre és a bőrre*:

Hullámhossz (nm)	*Szem*	*Bőr*
UV-C (180-280)	szemgyulladás	bőrpír
UV-B (280-315)	szemgyulladás	fokozott bőrpír
UV-A (315-400)	hályog	fotoszenzitív reakciók
Látható (400-780)	hályog és a szemlencse égési sérülése	a bőr égése
IR-A (780-1400)	hályog és retina égése	a bőr égése
IR-B (1400-3000)	szaruhártya égése	a bőr égése
IR-C (3000-10^6)	szaruhártya égése	a bőr égése

Küszöbszintek

A küszöbértékek specifikációja a lézerek biztonságos megfigyelésére, meg nem határozott környezetben, természeténél fogva nehéz. A maximális sugárterhelési szintekre különféle ajánlások vannak, amelyek széles tartományban változnak. A nagymértékű eltérések oka a hullámhossz, impulzusintenzitás és impulzus-időtartam változó hatása, valamint az a nehézség, hogy az állatok és halott emberek szemén elvégzett kísérletek eredményeit az élő emberi szemre vonatkoztatják. A minimális károsodási szint pontos meghatározása azért is nehéz, mert nem ismertek pontosan a halmozódó sugárterhelés hatásai. A küszöbérték és az elfogadott biztonsági szint közti különbség a különböző intézmények által elfogadott álláspontok szerint is változik; így

pl.: a fegyveres erőknél egyetlen impulzus által okozott sugárterhelési veszély a küszöbérték közelében még elfogadható, míg laboratóriumban ismételt sugárterhelés ugyanezen a szinten már nem.

Az impulzuslézerek hatása az impulzus intenzitásától és időtartamától függ. Ugyanazon energia kimenet esetén a Q-kapcsolású vagy módusszinkronizált lézerek által okozott veszély nagyobb, mint az egyszerű impulzuskimenetnél.

A British Standards Institution által ajánlott gyakorlati szabályzat a következő maximális biztonságos sugárterhelési szinteket adja meg [3]:

A retina maximálisan megengedhető sugárterhelési szintjei a lézersugárzás esetére, közvetlen megvilágításnál vagy tükröző reflexiónál

	Impulzusenergia sűrűség (J/m^2)	*Impulzusenergia sűrűség (J/m^2)*	*Teljesítménysűrűség (W/m^2)*
Lézertípus	Q-kapcsolású: T=1ns-1μs ismétlési frekvencia <10Hz	Hosszú impulzusú: T=1μs- 0,1s ismétlési frekvencia <10Hz	Folytonos üzemű és hosszú időtartamú sugárterhelés
Rubin (0,69μm)	$1,6*10^2$	$5,2*10^3$	$1,8*10^3$
NdYAG(1,06μm)	$9,4*10^2$	$1,5*10^4$	$1,0*10^4$
He-Ne (0,63μm)	-	-	$1,5*10^3$
Argon (0,51μm)	-	-	$1,5*10^3$

2. táblázat

A szaruhártya maximálisan megengedhető sugárterhelési szintjei lézersugárzás esetére, közvetlen megvilágításnál vagy tükröző reflexiónál (7 mm-es pupilla)

	Impulzusenergia sűrűség (J/m^2)	*Impulzusenergia sűrűség (J/m^2)*	*Teljesítménysűrűség (W/m^2)*
Lézertípus	Q-kapcsolású: T=1ns-1μs ismétlési frekvencia <10Hz	Hosszú impulzusú: T=1μs- 0,1s ismétlési frekvencia <10Hz	Folytonos üzemű és hosszú időtartamú sugárterhelés
Rubin (0,69μm)	$3*10^{-4}$	$1*10^{-2}$	$4*10^{-3}$
NdYAG(1,06μm)	$2*10^{-3}$	$3*10^{-2}$	$2*10^{-2}$
He-Ne (0,63μm)	-	-	$3*10^{-3}$
Argon (0,51μm)	-	-	$3*10^{-3}$

3. táblázat

A 2. táblázat a sugárterhelésnek azokat a megengedhető maximális értékeit tartalmazza, melyek a retina sérülésére vonatkoznak, s melyeket a látható tartományban végzett károsodásméréséből határoztak meg. A 3. táblázat az ennek megfelelő maximálisan megengedhető sugárterhelési szintek a szaruhártyán a 2. táblázatból adódnak az értékek $5*10^{-5}$-nel való szorzásával (az összehasonlítás alapjául az elernyesztett szemet tekintjük a látható tartományban). Ismétlődő impulzusok sorozata esetén nem szabad túllépni sem az impulzus csúcsenergiát, sem a folyamatos energiaszinteket.

Az 2. és a 3. táblázatban feltüntetett küszöbértékeket más hullámhosszakra is vonatkoztatni lehet abban a tartományban, amelyben a szem átlátszó, felhasználva a retina abszorpció hullámhosszfüggési görbéjét, valamint ha feltételezzük, hogy 100%-os pillanatnyi energia éri a retinát 0,56μm-en, vagyis azon a hullámhosszon, amely a szem csúcsérzékenységének felel meg.

0,4μm alatt és 1,4μm felett a szaruhártya sérülése a fő veszély. Minthogy a fókuszálás a retinán nem következik be, a küszöbszintek lényegesen lazíthatók, azonban csak kevés hozzáférhető adat van a látható tartományon kívüli küszöbértékekről. A látható fény tartományán kívül, kb. 0,4μm alatt a BS 4803 által ajánlott biztonságos sugárterhelési szintnek nem szabad egy napra a 130 J/m^2 vagy egy percre a 2,16 W/m^2 értéket meghaladnia, vagy ennek megfelelő nagyobb sűrűséget rövidebb időtartamra. Az infravörös hullámhosszakon kb. 1,4μm felett az egyetlen impulzusból származó maximális megvilágítási energiasűrűség 1 kJ/m^2, folyamatos sugárterhelés esetén pedig az átlagos szint legfeljebb 500 W/m^2 lehet. A maximális sugárterhelési szintek a bőrön, a szemet kivéve, minden lézer esetén azonosak: 1 kJ/m^2 egyetlen impulzusnál és 1 kW/m^2 folyamatos megvilágításnál. Az ANSI (Committee of the American National Standards Institute) szabvány az egész optikai színképre kiterjed és megadja a maximális sugárterhelési szinteket a szemre és a test többi részére is, közvetett és közvetlen megvilágítás esetére valamint különböző impulzus- és megvilágítási időkre.

II. A lézerek típusai

A lézerberendezéseket csoportosíthatjuk a lézer aktív anyaga szerint:

1. gázlézerek
2. folyadéklézerek
3. szilárdtestlézerek.

Másik csoportosítási szempont a működési üzemmód:

1. Folyamatos
2. impulzus
3. Q-kapcsolt üzemmódú.

1. A gázlézerek

A gázlézerek családjában az aktív anyag gáz, illetve gázkeverék. Csoportosításuk lehetséges szempontja a lézerátmenetek vizsgálatával:

a. *Atomlézerek* esetében a lézerátmenet az atomok energiaszintjei között történik. Ilyen pl. 633nm hullámhosszon működő He- Ne lézer.

b. *Ionlézerek* esetében az átmenet az ionok szintjei között jön létre. Ide tartozik a 485nm és 515nm hullámhosszakon működő argonion lézer.

c. *Molekulalézerek* csoportjában az átmenetek az infravörös tartományban a molekulák rezgési és rotációs szintjei között mennek végbe. Ilyen a 10,6μm- en működő CO_2 lézer.

Argonlézer

Az argonlézer vagy argonion lézer a nemesgázion lézerek közé tartozik, melyek a színkép látható és a közeli ultraibolya tartományban sugároznak. Fényerősítő közege kis nyomású argongáz, melyet 30- 50A erősségű egyenárammal gerjesztenek. A nagy áramterhelés miatt a lézercső kapillárisa grafitból vagy berillium- oxid kerámiából készül. A fényerősítés a legerősebb az 515nm zöld és a 488nm kékeszöld átmenetnél. A fényerősítés keletkezésében döntő szerepük van az erősáramú kisülés elektronjainak, melyek ionizálják az argonatomok egy részét, majd különböző gerjesztett

ionállapotokba hozzák. Az argonion lézer néhány wattos teljesítménye az optikai tartományban igen jelentős, rendkívül intenzív, monokromatikus, koherens fényforrás.

Hélium- neon lézer

A hélium- neon lézernek a lézeraktív anyaga a neon. A héliumgáz a neonatomok ütközéses gerjesztésére szolgál. Ez a lehetőség a hélium egy hosszú élettartamú metastabil energianívójának tulajdonítható. A neonatom rendelkezik olyan lehetséges felső energiaállapottal, mely a héliuméval azonos energiájú. Az ütközéskor bekövetkező rezonancia típusú energiaátadás egyrészt a neon egyik felső energiaszintjének betöltöttségét, másrészt a héliumatom sugárzásmentes alapállapotba kerülését eredményezi.

Excimerlézerek

Az excimerlézerek aktív közege nemesgáz és halogénelemek vegyülete pl. KrF, XeCl. Az ilyen molekulák a gerjesztett nemesgázok vegyületei, időlegesen maradnak fenn. Erre utal az elnevezésük is: EXCIMER-*EXC*ited d*IMER* azaz gerjesztett kétatomos vegyület. A lézereknek ebben a típusában halogéngáz vagy halogénvegyület és nemesgáz, valamint héliumgáz keverékén nagy nyomás alatt, keresztirányú elektródok között igen erős és rövid áramimpulzust engednek át. Az excimer gerjesztett állapot és az alsó molekulaállapot közötti átmenethez az ultraibolya tartományba eső sugárzás tartozik. Az ultraibolya excimer lézersugár a szövetbe érkezés helyén igen erősen abszorbeálódik, és a szöveti közegben az elektronokat és a molekulatöredékeket kiszakítja a környezetéből.

2. A folyadéklézerek (festéklézerek)

A festéklézerek aktív anyaga szerves festékanyagok híg oldata. Az oldószer lehet víz, etanol stb., szerves festékanyagként pedig eddig több mint 200 különféle festéktípust dolgoztak ki (xantének, kumarinok, akridinek stb.). A működési tartomány felöleli a közeli ultraibolya, a látható és a közeli infravörös tartományt. A festékmolekulák általában erősen abszorbeálnak és jól fluoreszkálnak.

3. Szilárdtestlézerek

A szilárdtest lézerek közül a Nd: YAG lézer működésének jellemzőit ismertetem.

Neodímium YAG lézer

A lézer aktív anyaga Nd^{3+} ionokkal adalékolt YAG kristály (*I*ttrium-*A*lumínium-*G*ránit). A kristálynak az üvegekénél jobb hővezető képessége teszi lehetővé a folytonos üzemű működtetést, de szükség van állandó áramoltatásos vízhűtésre. A lézerfény hullámhossza 1,06 μm, az infravörös tartományba esik, szabad szemmel nem látható, ezért a biztonságos üzemeltetéshez jelzőfény alkalmazása szükséges.

A lézerberendezések osztályba sorolása

A lézerberendezések 1, 2 3/A, 3/B, 4 osztályokba sorolhatók. Itt a hullámhossz, a sugárzási teljesítmény, továbbá impulzuslézereknél a sugárzási időtartam szabják meg a veszélyességi fokozatot. Az osztályba sorolás a gyártók illetve a forgalmazók feladata. Fel kell tüntetniük az osztályt a készüléken és a gépkönyvben.

1. osztályba sorolt lézerek biztonságosak, felépítésük következtében (teljesen zárt készülék belsejében működik a lézer) pl.: CD lemezjátszó.

2. osztályba sorolt lézerek kis teljesítményűek, melyek látható sugárzást bocsátanak ki (400- 760nm), folyamatos teljesítményük nem több mint 1mW.

3/A osztályba sorolt lézerek, melyek teljesítménye 5mW-ig terjed a 400-760 nm-es hullámhossz tartományban. Közvetlen belenézés vagy optikai eszközökön át történő sugárnyalábba történő nézés veszélyes lehet. A látható lézernyalábba való belenézés okozta szemsérülés a fej mozgatásával vagy a szem lehunyásával, pislogással elkerülhető.

3/B osztályba tartozó lézerek a látható vagy a láthatatlan tartományba tartoznak és nem lépik túl folyamatos teljesítményben a 0,5W-os határt. A nyalábba való közvetlen belenézés mindig veszélyes. A diffúz felületről visszaverődő fényfolt szemlélése 13 cm-nél messzebbről nem veszélyes, legfeljebb 10s- ig.

4. osztályba sorolt lézerek nagy teljesítményűek, teljesítményük folyamatos üzemmódban meghaladja a 0,5W-ot. Ezek a lézertermékek kifejezetten veszélyesek a szemre és a bőrre. A nyalábba nézés és a diffúz felületről szóródó fény szemlélése egyaránt szemsérülést okozhatnak.

Impulzuslézerek esetén a megengedhető maximális expozíciót a következő táblázatok tartalmazzák lézerosztályokra lebontva. A táblázatokban szereplő C korrekciós együtthatókat szintén táblázatban adom meg a [3] irodalom alapján.

Wave-length λ nm \ Emission duration t s	< 10^{-9}	10^{-9} to 10^{-7}	10^{-7} to $1{,}8\times10^{-5}$	$1{,}8\times10^{-5}$ to 5×10^{-5}	5×10^{-5} to 1×10^{-3}	1×10^{-3} to 3	3 to 10	10 to 10^{3}	10^{3} to 10^{4}	10^{4} to 3×10^{4}
180 to 302,5	$2{,}4\times10^{4}$ W	$2{,}4\times10^{-6}$ J								
302,5 to 315		$7{,}9\times10^{-7}\,C_1$ J ($t < T_1$)					$7{,}9\times10^{-7}\,C_2$ J ($t > T_1$)	$7{,}9\times10^{-7}\,C_2$ J		
315 to 400		$7{,}9\times10^{-7}\,C_1$ J						$7{,}9\times10^{-3}$ J	$7{,}9\times10^{-6}$ W	
400 to 550	200 C_6 W	$2\times10^{-7}\,C_6$ J		$7\times10^{-4}\,t^{0.75}\,C_6$ J				$3{,}9\times10^{-3}\,C_6$ J		$3{,}9\times10^{-7}\,C_6$ W
550 to 700								($t < T_2$) $7\times10^{-4}\,t^{0.75}\,C_6$ J	$3{,}9\times10^{-3}\,C_3C_6$ J ($t > T_2$)	$3{,}9\times10^{-7}C_3C_6$W
700 to 1 050	200 C_4C_6 W	$2\times10^{-7}\,C_4\,C_6$ J		$7\times10^{-4}\,t^{0.75}\,C_4\,C_6$ J					$1{,}2\times10^{-4}\,C_4\,C_6$ W	
1 050 to 1 400	$2\times10^{3}C_6C_7$ W	$2\times10^{-6}\,C_6\,C_7$ J			$3{,}5\times10^{-3}\,t^{0.75}\,C_6\,C_7$ J				$6\times10^{-4}\,C_6\,C_7$ W	
1 400 to 1 500	8×10^{5} W	8×10^{-4} J				$4{,}4\times10^{-3}\,t^{0.25}$ J	$5{,}4\times10^{-2}\,t^{0.25}$ J	10^{-2} W		
1 500 to 1 800	8×10^{6} W	8×10^{-3} J					0,1 J			
1 800 to 2 600	8×10^{5} W	8×10^{-4} J				$4{,}4\times10^{-3}\,t^{0.25}$ J	$5{,}4\times10^{-2}\,t^{0.25}$ J			
2 600 to 4 000	8×10^{4} W	8×10^{-5} J	$4{,}4\times10^{-3}\,t^{0.25}$ J							
4 000 to 10^{6}	10^{11} W·m^{-2}	100 J·m^{-2}	$5{,}6\times10^{3}\,t^{0.25}$ J·m^{-2}					10^{3} W·m^{-2}		

For correction factors and units, see "Notes to tables 1 to 4"

4. táblázat: 1. osztályba sorolt lézerek maximális megengedett emissziós szintje [3]

Wavelength λ nm \ Emission duration t s	< 10^{-9}	10^{-9} to 10^{-7}	10^{-7} to $1{,}8 \times 10^{-5}$	$1{,}8 \times 10^{-5}$ to 5×10^{-5}	5×10^{-5} to 1×10^{-3}	1×10^{-3} to 0,25	0,25 to 3	3 to 10	10 to 10^3	10^3 to 3×10^4
180 to 302,5	$1{,}2 \times 10^5$ W and 3×10^{10} W·m^{-2}	$1{,}2 \times 10^{-4}$ J and 30 J·m^{-2}								
302,5 to 315		4×10^{-6} C_1 J and C_1 J·m^{-2} ($t < T_1$)				4×10^{-6} C_2 J and C_2 J·m^{-2} ($t > T_1$)			4×10^{-6} C_2 J and C_2 J·m^{-2}	
315 to 400		4×10^{-6} C_1 J and C_1 J·m^{-2}							4×10^{-2} J and 10^4 J·m^{-2}	4×10^{-5} W and 10 W·m^{-2}
400 to 700	1 000 C_6 W and 5×10^6 C_6 W·m^{-2}	10^{-6} C_6 J and 5×10^{-3} C_6 J·m^{-2}		$3{,}5 \times 10^{-3}$ $t^{0.75}$ C_6 J and 18 $t^{0.75}$ C_6 J·m^{-2}			5×10^{-3} C_6 W and 25 C_6 W·m^{-2}			
700 to 1 050	1 000 C_4C_6 W and 5×10^6 C_4C_6 W m^{-2}	10^{-6} C_4C_6 J and 5×10^{-3} C_4C_6 J·m^{-2}		$3{,}5 \times 10^{-3}$ $t^{0.75}$ C_4C_6 J and 18 $t^{0.75}$ C_4C_6 J·m^{-2}						6×10^{-4} C_4C_6 W and 3,2 C_4C_6 W·m^{-2}
1 050 to 1 400	10^4 C_6C_7 W and 5×10^7 C_6C_7 W m^{-2}	10^{-5} C_6 C_7 J and 5×10^{-2} C_6 C_7 J·m^{-2}			$1{,}8 \times 10^{-2}$ $t^{0.75}$ C_6 C_7 J and 90 $t^{0.75}$ C_6 C_7 J·m^{-2}					3×10^{-3} C_6C_7 W and 16 C_6C_7 W·m^{-2}
1 400 to 1500	4×10^6 W and 10^{12} W·m^{-2}	4×10^{-3} J and 10^3 J·m^{-2}				$2{,}2 \times 10^{-2}$ $t^{0.25}$ J and 5 600 $t^{0.25}$ J·m^{-2}		$0{,}27$ $t^{0.25}$ J and 5 600 $t^{0.25}$ J·m^{-2}	5×10^{-2} W and 10^3 W·m^{-2}	
1 500 to 1 800	4×10^7 W and 10^{13} W·m^{-2}	4×10^{-2} J and 10^4 J·m^{-2}						0,5 J and 10^4 J·m^{-2}		
1 800 to 2 600	4×10^6 W and 10^{12} W·m^{-2}	4×10^{-3} J and 10^3 J·m^{-2}				$2{,}2 \times 10^{-2}$ $t^{0.25}$ J and 5 600 $t^{0.25}$ J·m^{-2}		$0{,}27$ $t^{0.25}$ J and 5600 $t^{0.25}$ J·m^{-2}		
2 600 to 4 000	4×10^5 W and 10^{11} W·m^{-2}	4×10^{-4} J and 100 J·m^{-2}	$2{,}2 \times 10^{-2}$ $t^{0.25}$ J and $5{,}6 \times 10^3$ $t^{0.25}$ J·m^{-2}							
4 000 to 10^6	10^{11} Wm^{-2}	100 J·m^{-2}	$5{,}6 \times 10^3$ $t^{0.25}$ J·m^{-2}						10^3 W·m^{-2}	

5. táblázat: 3/A. osztályba sorolt lézerek maximális megengedett emissziós szintje [3]

Wavelength λ nm	Emission duration t s	Class 2 AEL
400 to 700	$t < 0{,}25$ $t \geq 0{,}25$	Same as Class 1 AEL $C_6 \times 10^{-3}$ W *
* For correction factor and units see "Notes to tables 1 to 4".		

6. táblázat: 2. osztályba sorolt lézerek maximális megengedett emissziós szintje [3]

Wavelength λ nm \ Emission duration t s	$< 10^{-9}$	10^{-9} to 0,25	0,25 to 3×10^4
180 to 302,5	$3{,}8 \times 10^5$ W	$3{,}8 \times 10^{-4}$ J	$1{,}5 \times 10^{-3}$ W
302,5 to 315	$1{,}25 \times 10^4\ C_2$ W	$1{,}25 \times 10^{-5}\ C_2$ J	$5 \times 10^{-5}\ C_2$ W
315 to 400	$1{,}25 \times 10^8$ W	0,125 J	0,5 W
400 to 700	3×10^7 W	0,03 J for $t < 0{,}06$ s 0,5 W for $t \geq 0{,}06$ s	0,5 W
700 to 1 050	$3 \times 10^7\ C_4$ W	0,03 C_4 J for $t < 0{,}06\ C_4$ s 0,5 W for $t \geq 0{,}06\ C_4$ s	0,5 W
1 050 to 1 400	$1{,}5 \times 10^8$ W	0,15 J	0,5 W
1 400 to 10^6	$1{,}25 \times 10^8$ W	0,125 J	0,5 W

7. táblázat: 3/B. osztályba sorolt lézerek maximális megengedett emissziós szintje [3]

Parameter	Spectral region nm	Figures
$C_1 = 5{,}6 \times 10^3 f^{0{,}25}$	302,5 to 400	1
$T_1 = 10^{0{,}8(\lambda-295)} \times 10^{-15}$ s	302,5 to 315	2
$C_2 = 10^{0{,}2(\lambda-295)}$	302,5 to 315	3
$T_2 = 10 \times 10^{0{,}02(\lambda-550)}$ s	550 to 700	4
$C_3 = 10^{0{,}018(\lambda-550)}$	550 to 700	5
$C_4 = 10^{0{,}002(\lambda-700)}$	700 to 1 050	6
$C_4 = 5$	1 050 to 1 400	6*
$C_5 = N^{-1/4}$ **	400 to 10^6	7
$C_6 = 1$ pour $\alpha \leq \alpha_{min}$	400 to 1 400	–
$C_6 = \alpha / \alpha_{min}$ for $\alpha_{min} < \alpha \leq \alpha_{max}$	400 to 1 400	–
$C_6 = \alpha_{max} / \alpha_{min}$ for $\alpha > \alpha_{max}$	400 to 1 400	–
$C_7 = 1$	1 050 to 1 150	8
$C_7 = 10^{0{,}018(\lambda-1150)}$	1 150 to 1 200	8
$C_7 = 8$	1 200 to 1 400	8

* Not used in AEL tables. See MPEs for skin.

** C_5 is only applicable to pulse durations shorter than 0,25 s.

8. táblázat: Korrekciós együtthatók [3]

A tanszéken használt lézerberendezések jellemző adatai

Folytonosüzemű lézerek

(9. táblázat)

Lézer típusa	P (W)	$\rho_p * 10^4$ (W/m^2)
Hélium- neon (633 nm)	10^{-3} - $6*10^{-2}$	0,31 - 1,9
Nd:YAG (512nm)	5 - 10	$1{,}6*10^2$ - $3{,}2*10^2$
Argon (488, 512 nm)	5	$1{,}6*10^6$

Impulzusüzemű lézerek

(10. táblázat)

Lézer típusa	E_{imp} (J)	t_{imp} *10^{-8} (s)	f (Hz)	P' (W)	ρ'*10^2 (W/m^2)	P *10^5 (W)	ρ*10^5 (W/m^2)
Excimer (248, 308nm)	0,1	2	1-50	0,1- 5	1,5-70	50	7*10^4
Nd:YAG (1053nm)	0,1	3*10^{-3}	1	0,1	3,2*10^2	3,3*10^4	10^{10}
Nd:YAG (532nm)	1	0,8	10	10	3,2*10^2	1,3*10^3	3,9*10^6
Festéklézerek (350-700nm)	10^{-3}	10^{-4}-1	1-50	10^{-3}-5*10^{-2}	3,2-1,6*10^2	10^4-1	3,2*10^9-3,2*10^5
Titán-zafír (800 nm)	2*10^{-9}	10^{-6}-2*10^{-6}	10^8	0.2	2,6*10^3	2	2,6*10^6
Titán-zafír (erősített) (750-800nm)	0,01	10^{-6}-2*10^{-6}	10	0,1	12	10^7	1,3*10^{12}

A táblázatban szereplő átlagteljesítmény (P'), átlagteljesítmény sűrűség (ρ'), valamint a csúcsteljesítmény (P) és csúcsteljesítmény sűrűség (ρ) értékeket a következőképpen számoltam ki:

$P' = E_{imp} * f$, ahol E_{imp}: a lézerimpulzus energiája, f: ismétlési frekvencia

$\rho' = P'/A$, ahol A: nyalábméret, kör alakú nyalábkeresztmetszetet feltételezve

(P' és ρ' ismerete szükséges pl: ha a lézertermékek termikus hatásait vizsgáljuk.)

$P = E_{imp} / t_{imp}$, ahol t_{imp}: az impulzus hossza

$\rho = P/A$.

(P illetve ρ ismerete akkor szükséges, ha pl. nagy intenzitású lézersugár hatását vizsgáljuk a szemre.)

A tanszéki lézerek besorolása lézerosztályokba:

(11. táblázat)

Lézer típusa	Hullámhossz (nm)	Lézerosztály
He-Ne folytonos	633	3/B
Nd:YAG (rekv. kétsz.	512	4
Argon	488,515	4
Excimer	248, 308	4

Lézer típusa	Hullámhossz (nm)	Lézerosztály
Nd:YAG	1065 532	3/B 4
Festéklézerek	350- 700	3/B
Ti-zafír	800	3/B
Erősített Ti-zafír	750- 800	4

Biztonsági előírások

1. A 3/A-nál magasabb osztályba sorolt lézerek esetén lézerbiztonsági felelős kinevezésére van szükség.

2. A biztonsági megbízott a következőkért felelős:

   a) Megfelelő biztonsági módszereket kell megszerveznie és fenntartania a 3. pont alatt felsoroltak értelmében.

   b) Minden veszélyeztetett dolgozó folyamatos azonosítása és gondoskodás azok biztonsági begyakorlottságáról.

   c) Elkezdett és napra kész állapotról feljegyzést kell készíteni.

   d) Kapcsolattartás az Egészségügyi Szolgálattal, közölni kell velük minden olyan esetet, ami tudomására jut véletlen sugárterhelésről.

3. Be kell tartani és tartatni a következő általános biztonsági intézkedéseket:

   a) Meg kell határozni azokat a területeket, ahol lézereket alkalmaznak és **"Vigyázat: Lézer"** felirattal el kell látni minden ezekre a területekre vezető bejáratot.

   b) Ahol csak lehetséges, minden munkát teljesen zárt sugárral kell végezni. Ahol erre nincs lehetőség, ott a lézert kezelő személynek a következő feliratot kell elhelyeznie: **"Lézeres vizsgálat van folyamatban. Tilos védőszemüveg nélkül belépni!"** és piros fénynek kell égnie minden bejáratnál, ha a lézer használatban van. Ezen jelzés hatékonyságának a biztosítására csak a használat időtartama alatt szabad a jelzést működtetni.

   c) Ahol olyan körülmények között alkalmazzák a lézert, amelyek eltérnek a teljesen zárt sugárnyalábtól, minden jelenlevő személynek védőszemüveget kell hordania. A kezelő személy felelős annak ellenőrzéséért, hogy megfelelő szemüveg és szemvédő álljon rendelkezésre és, hogy minden jelenlevő személy viselje a védőszemüvegeket. Bárkit, aki nem veszi tudomásul ezeket az utasításokat, jelentenie kell a biztonsági megbízottnak. Ha a lézersugár közvetlen hozzáférhetőségére van szükség, akkor a karokat be kell burkolni, és védőkesztyűt viselni.

   d) Minden olyan váratlan eseményt a lehető leghamarabb jelenteni kell a megbízottnak, és ha olyan jellegű, akkor a szokott csatornákon keresztül balesetként kell jelenteni.

e) Teljes szemvizsgálatot kell végezni azoknál a személyeknél, akik esetleg lézersugárzásnak lesznek kitéve, mielőtt még ilyen munkakörbe kerülnének és azután hat hónaponkénti időközönként a szemvizsgálatot meg kell ismételni, beleértve a szaruhártya vizsgálatát is. Ezeket a vizsgálatokat szemész szakorvossal kell elvégeztetni, akit minden egyes ott dolgozó munkaköri leírásával is el kell látni, a róla szóló ismert feljegyzések részleteivel együtt.

4. Megszakító használata

a) Megszakító kapcsolót kell alkalmazni a 3/B és a 4. osztályba sorolt lézereknél, kivéve azokat a 3/B lézereket, amelyek hullámhossza 400-700 nm-ig terjed és a maximális kibocsátási szint nem haladja meg a 2. osztályba sorolt lézereknél engedélyezett érték ötszörösét.

b) Amikor a külső megszakító kapcsolót használjuk a lézernek be kell fejezni a fénykibocsátást. Ha ezt a megszakítást úgy érjük el, hogy az energiaforráshoz való csatlakozást megszüntetjük, akkor az impulzus üzemű berendezéseknél emellett minden olyan maradék energiát el kell vezetni, ami további lézerimpulzusok kialakulásához vezethet.

c) A külső megszakító kapcsoló visszakapcsolása nem szabad, hogy veszélyes szintű lézersugárzás kibocsátását okozza.

d) Fényzár (shutter) használata kötelező.

e) A fényzárt a lézerburkolatba, vagy azon kívül helyezzük el, ekkor praktikusan a lehető legközelebb a lézerhez.

f) Legyen erős és hibamentes konstrukció.

g) A lézerhez szilárdan rögzítsük.

h) Biztosítsuk azt, hogy jól látható legyen, amikor ki van kapcsolva.

i) Biztosítsuk, hogy a külső megszakító kapcsolóval összeköttetésben legyen.

6. Biztonsági indító kulcsot 3/B és 4. osztályba sorolt lézerek esetén kell alkalmazni, hogy elkerüljük az illetéktelen személy bekapcsolhassa a lézert. (Nem szükséges használni azoknál a 3/B lézereknél, amelyek hullámhossztartománya 400-700 nm, és a 2. osztálynál megengedett kibocsátási szint ötszörösét nem éri el.)

7. Figyelmeztető hangjelzés használata a 3/b és 4. osztályba tartozó lézerek esetén szükséges, a bejárati ajtó(k) nyitásával egyidőben.

8. A lézerkimenetet abszorbeáló burkolatra kell irányítani, elfelé a többi dolgozótól. A nagyteljesítményű impulzus vagy folyamatos üzemű berendezésekből kilépő nem kívánt

sugárzás különböző módokon disszipálódhat (vezetődhet el). Az abszorbeáló anyagnak tűzállónak és megfelelő hőelnyelő képességűnek kell lennie.

9. Az általános megvilágítási szintnek magasnak kell lennie, hogy a pupilla állandóan szűk legyen, és így az esetleges sugárterhelés hatása a minimumra csökkenjen. A visszaverő felületekről, beleértve a falakat és a mennyezetet is, a tükröző reflexiókat a minimumra kell csökkenteni. A 3/B és 4. osztályba sorolt lézerek esetén különösen szükséges a tükröződés megelőzése. Ügyelni kell arra, hogy a látható tartományban kis visszaverőképességű festékeknek gyakran nagy lehet a visszaverőképessége az infravörös tartományban.

10. A lézerrel közvetlenül nem dolgozó személyzetnek, karbantartóknak, takarítóknak stb. külön engedélyre legyen szükségük, hogy a szigorított területre belépjenek.

11. Képzés:

A lézerrendszerek használata még nagy távolságból is nagy veszélyt jelenthet, ha optikai segédeszközöket használnak. Csak az működtetheti a rendszert, aki megfelelő szintű képzést kapott. A képzésnek minimálisan a következőket kell tartalmaznia:

a) A lézerrendszer működésének alapos megismertetése.
b) Veszélyre felhívó jelzések pontos ismerete.
c) Személyvédelem szükségessége.
d) Baleset bejelentési eljárások ismerete.
e) A lézer szemre és bőrre gyakorolt biológiai hatásainak ismerete.

12. Optikai védelem:

Csak olyan védőeszközöket lehet használni, amit a szakhatóság jóváhagyott, pl. amit olyan elnyelő szűrővel láttak el, ami megakadályozza a lézersugár átjutását.

13. Nyílt lézersugár pályájának jelentősen az ember fejmagassága felett vagy alatt kell haladnia. Tehát 1,3 m alatt és 2 méter felett, amely határokat ki kell terjeszteni, ha a helyiségben olyan eszközöket alkalmazunk pl. szék, létra; ami a normális fejmagasságot megváltoztatja. Ez alól csak különleges körülmények esetén tehetünk kivételt, ha a szakhatóság engedélyezi.

Az alábbi táblázatban foglalom össze az általánosan szükséges követelményeket:

Követelmények	1.	2.	3/A	3/B	4
Lézerbiztonsági felelős	-	-	-	+	+
Lézertermék regisztrációja	-	-	+	+	+
Házirend	-	-	-	+	+
Kizárólag kijelölt területen használható	-	-	-	+	+
Figyelmeztető hangjelzés a bejáratnál	-	-	-	+	+
Figyelmeztető fényjelzés a bejáratnál	-	-	-	+	+
Megszakító kapcsoló	-	-	-	+	+
Nyalábnyelő és gyengítő	-	-	+	+	+
Zárt nyalábút	-	-	-	+	+
Tükröző reflexió megelőzése	-	-	-	+	+
Követelmények betartása optikai segédeszközök használatakor	-	-	+	+	+
Biztonsági indítókulcs	-	-	-	+	+
Képzés	-	+	+	+	+
Védőszemüveg	-	-	-	+	+
Védőruha	-	-	-	-	+(lehet)

12. táblázat

Feliratok, jelölések

1. Az 1, 2, 3/A, 3/B, 4 osztályba sorolt lézerekre figyelmeztető feliratok elhelyezése szükséges. Minden lézert a követelményeknek megfelelően kell feliratozni. A jelölések, feliratok legyenek fixen, tisztán láthatóan és jól olvashatóan elhelyezve, és ha szükséges (pl.: megrongálódott) ismét feliratozni kell.
2. A feliratok kerete és a szimbólum legyen fekete színű, a háttér sárga, kivétel az 1. osztály, ahol ez a színkombinációt nem szükséges használni. A feliratok és a tábla méreteire javaslat található a felhasznált irodalomban.
3. Meg kell határozni azokat a területeket, ahol lézereket alkalmaznak, és a lézerkészülék használati területére vezető összes bejáratot a lézersugár veszélyére felhívó figyelmeztető táblával kell ellátni, és a **„Vigyázat: lézersugárzás!"** feliratot kell elhelyezni.
4. A munkát lehetőleg zárt lézersugárral végezzük, ahol erre nincs lehetőség, ott a lézert kezelő személynek a következő feliratot kell elhelyezniük: **„Lézer működik! Tilos szemvédő nélkül belépni!"**, és piros fénynek kell égnie minden bejáratnál, ha a lézer használatban van.
5. Az 1. osztályba sorolt lézertermékre a következő feliratot kell elhelyezni:

„1. osztályba sorolt lézer"

A 2. osztályba sorolt lézerekre ragasztandó:

„Lézersugárzás!

Tilos a sugárnyalábba belenézni!"

„2. osztályba sorolt lézer"

A 3/A osztály lézereinél:

„Lézersugárzás!
Tilos a sugárnyalábba direkt vagy optikai műszerekkel belenézni!"
„3/A osztályba sorolt lézer"

3/B osztály lézereinél:

„Lézersugárzás!
Kerüld el a lézernyalábot!"
„3/B osztályba sorolt lézer"

4. osztály lézereinél:

„Lézersugárzás!
Kerüld el a szem, illetve a bőr besugárzását, a direkt és a visszavert sugárzást is!"
„4. osztályba sorolt lézer"

6. Minden a 3/B és 4. osztályba sorolt lézer esetében szükséges további felirat:

„Lézer apertúra!"

7. Ha az emittált sugárzás hullámhossza a 400-700 nm-es tartományon kívül esik, akkor a **„Lézersugárzás!"** feliratot módosítani szükséges **„Nem látható lézersugárzás!"**-ra. Ha a kibocsátott lézersugárzás hullámhossztartománya a 400-700 nm-es tartományba és ezen kívül is esik, a felirat **„Látható és nem látható lézersugárzás!"**

A lézerek működésével járó egyéb veszélyek

1. Tűz- és robbanásveszély

   Tilos a lézer közelében gyúlékony vagy robbanásveszélyes anyagok használata és tárolása. A lézersugarat csak tűzálló anyagból készült eszközzel lehet körülhatárolni.

2. A legtöbb lézerkészülék nagyfeszültséggel működik (U>1 kV), ezért az érintésvédelmi szabályokat be kell tartani:

   Ezért tilos a készülékbe belenyúlni és azt megbontani a megbízott szakemberen kívül!

3. A szem és a bőr sérülése, égése

   A 4. osztályba sorolt lézerek potenciális veszélye a direkt sugár és a reflexió útján a szembe került sugárzás. Ennek érdekében a lézereket csak kijelölt, ellenőrzött területeken lehet használni és működtetni. A 4. osztályba sorolt lézerek esetében már a diffúz visszaverődés is sérülést okozhat.

4. Zajártalom

   A lézerkészülék működése során a nagyfeszültségű tápegység által generált zajszint eléggé magas lehet, az ismétlődő impulzusok, vagy az ultrahang halláskárosodást okozhat.

5. Azoknál a készülékeknél, melyek feszültsége 5 kV felett van, röntgen sugárzást bocsáthatnak ki.

6. Toxicitás

   a) A lézerekkel történő anyagbesugárzás esetében előfordulhat, hogy a reakció során mérgező anyagok szabadulhatnak fel.

   b) A lézer működtetésekor használatos hűtőfolyadék párologhat, és ez mérgező lehet az emberi szervezetre.

   c) A lézerkészülék meghibásodása esetén a légtérbe kerülhet a lézer aktív anyaga, amely szintén mérgező lehet.

Összefoglalás

A lézerek széles körű alkalmazása a dolgozatban is ismertetett következmények miatt (látásromlás, bőr sérülése) fokozott óvatosságot igényel. A biztonsági rendszabályok betartása révén csökken a lézerek alkalmazásából, használatából eredő kockázat az ember és környezete számára.

A különböző lézerek alkalmazására megadhatók olyan általános üzemeltetési eljárások és óvintézkedések, amelyekkel a baleseti kockázatok csökkenthetők.

Ebben a dolgozatban bemutattam a lézerfény hatásait elsősorban arra koncentrálva, hogy milyen károsodás keletkezhet a biológiai szövetekben, majd összefoglaltam azokat a rendszabályokat, amelyeket az Európai Közösség országaiban bevezettek a lézerek alkalmazásával kapcsolatban.

A dolgozatban felhasznált abszorpciós-, transzmissziós-, szemérzékenységi grafikonok és a szemsérülés- és a küszöbszintek táblázata az *irodalom*ban megjelölt könyvekből származnak.

Ábrák jegyzéke

1. ábra	A lézersugár és az élő szövet kölcsönhatása	3. old.
2. ábra	A lézerek különböző típusú szöveti hatásai	4. old.
3. ábra	A bőr szöveti szerkezete	5. old.
4. ábra	A szem felépítése	7. old.
5. ábra	A szem szöveti felépítése	9. old.
6. ábra	Azonos intenzitású fény százalékos spektrális áteresztése az emberi, a majom- és a nyúlszem közegein	11. old.
7. ábra	A százalékos abszorpció a retinán és az érhártyán	12. old.
8. ábra	Az emberi szem érzékenysége a hullámhossz függvényében	12. old.
9. ábra	Összefoglaló ábra a szem abszorpciójáról	13. old.
10. ábra	5mm vastag emberi szövet(nyak) spektrális áteresztőképessége	14. old.

Táblázatok jegyzéke

1. tábl.	A hőmérséklet emelkedésének hatása a szövetekre	4. old.
2. tábl.	A retina maximálisan megengedhető sugárterhelési szintjei	16. old.
3. tábl.	A szaruhártya maximálisan megengedhető sugárterhelési szintjei	16. old.
4. tábl.	Az 1. osztályba sorolt lézerek maximális megengedett emmissziós szintje	22. old.
5. tábl.	A 3/A. osztályba sorolt lézerek maximális megengedett emmissziós szintje	23. old.
6. tábl.	A 2. osztályba sorolt lézerek maximális megengedett emmissziós szintje	24. old.
7. tábl.	A 3/B. osztályba sorolt lézerek maximális megengedett emmissziós szintje	24. old.
8. tábl.	Korrekciós együtthatók	25. old.
9. tábl.	Jellemző adatok folytonos lézerekre	25. old.
10. tábl.	Jellemző adatok impulzuslézerekre	26. old.
11. tábl.	A tanszéki lézerek besorolása	27. old.
12. tábl.	A biztonsági követelmények	32. old.

Irodalomjegyzék

[1] A. F. McKinlay, F. Harlen, M. J. Whillock: Hazards of Optical Radiation: A Guide to Sources Uses and Safety; IOP Publishing Ltd. 1988

[2] John Harry: Ipari lézerek és alkalmazásuk; Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1979

[3] Europan Standard (1994) Safety of Laser products Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide

[4] H. P. Berlien, G. Biamino, G. J. Müller: Safety and laser tissue interaction

[5] Gáspár L. - Kásler M.: Laserek az orvosi gyakorlatban; Springer Hungarica Kiadó Kft. 1993

[6] Ábrahám- Bende- Megyeri: Anatómia-Élettan; Tankönyvkiadó, Budapest 1973

[7] Szentágothai J.: Funkcionális anatómia I-III., Akadémiai Kiadó, Budapest