

4

LASERSÄTEILYLLE ALTISTUMINEN

Reijo Visuri, Maila Hietanen, Lasse Ylianttila

SISÄLLYSLUETTELO

4.1	Lasereiden käyttö teollisuuden työstöprosesseissa	116
4.2	Laserin käyttö lääketieteessä	121
4.3	Laserin käyttö kosmetiikassa	125
4.4	Laserin käyttö tietoliikenteessä	127
4.5	Laserin käyttö kuluttajatuotteissa	130
4.6	Laserin käyttö opetuksessa	131
4.7	Laserin käyttö viihtessä	132
4.8	Laserin sotilaskäyttö	138

Ensimmäiset laserlaitteet kehitettiin 1960-luvulla. Lasertekniikkaa hyväksikäytetään nykyään monenlaisissa käyttötarkoituksissa ja uusia sovelluskohteita syntyy koko ajan lisää. Tässä luvussa esitellään lasersäteilyn käyttöä teollisuuden työstöprosesseissa, lääketieteellisissä ja kosmeettisissa toimenpiteissä, viihde- ja opetuskäytössä sekä kuluttajatuotteissa, kuten lasersoittimissa, sekä sotilaskäytössä.

Koska lasersäteily voi pahimmillaan aiheuttaa vakavia silmävaurioita ja jopa näön menetyksen, laserlaitteita käytettäessä on aina otettava huomioon turvallisuusseikat. Tästä syystä lasersäteilylle altistumista arvioidaan myös laskuesimerkkien kautta, joissa tutustutaan turvaetäisyyden ja laitteen enimmäisarvojen laskemiseen luvussa 2 esitettyjen kaavojen avulla. Laserin käyttöön liittyvät kotimaiset määräykset ja laserlaitteiden valvonta käsitellään yksityiskohtaisesti luvussa 9. Työpaikkojen ja työkalujen laser-turvallisuutta valvovat työsuojeluviranomaiset. Laserturvallisuuden yleiset periaatteet työpaikoilla on käsitelty luvussa 3, kohdassa 3.6.

4.1 Lasereiden käyttö teollisuuden työstöprosesseissa

Laseria käytetään teollisuuden materiaalien työstämisessä, jossa tarvitaan hyvin suuria tehoja. Suuritehoisten eli yli 0,5 kW laserlaitteiden käyttö eri materiaalien teollisissa työstöprosesseissa, kuten leikkauksessa, hitsauksessa ja pintakäsittelyssä, on yleistynyt nopeasti viime vuosina. Yleisimmin käytetyt teollisuuslaserit, neodymium:YAG-laserit (Nd:YAG-laserit) ja hiilidioksidilaserit (CO₂-laserit), toimivat infrapunasaiteilyn alueella, mikä voi aiheuttaa yllättäviä vaaratilanteita säteen näkymättömyyden vuoksi. Lisäksi joissakin työstöprosesseissa syntyy koherentin ja monokromaattisen lasersäteen ohella laajakaistaista epäkoherenttia optista säteilyä – lähinnä ultraviolettisäteilyä ja kirkasta näkyvää valoa – jotka saattavat olla niin voimakkaita, että niiltä tulee suojautua.

Kiinteän olomuodon Nd:YAG-laserissa aktiivisena väliaineena toimii yttrium-alumiini-kide, jossa osa yttrium-atomeista on korvattu neodyymio-ioneilla (Nd³⁺). Kiteeseen pumpataan energiaa optisesti suurteholampulla, esimerkiksi xenon-lampulla, tai diodilaserilla, jonka aallonpituus säädetään neodyymin absorptiospektriin sopivaksi.

Hiilidioksidilaserissa aktiivisena väliaineena on hiilidioksidi (CO₂), johon pumpataan energiaa sähköisesti. Elektrodiin välissä vallitsevan jännitteen avulla synnytetään pienipaineinen kaasupurkaus. CO₂-molekyylit virittyvät

joko suoraan elektronitörmäysten tai kaasuun seostettujen typpimolekyylien (N_2) törmäysten avulla.

Yleisimmin käytetty Nd:YAG-laserin aallonpituus on 1,064 μm ja CO_2 -laserin aallonpituus 10,6 μm . Nd:YAG-laserien tehot ovat tavallisesti muutamia kilowatteja, kun taas CO_2 -lasereiden säteilyteho voi olla jopa 20 kW.

Laserilla tehtävään materiaalien termiseen työstöön sisältyy erilaisia vaiheita, joita ovat:

- materiaalin kuumeneminen
- materiaalin sulaminen
- materiaalin höyrystyminen
- materiaalin ionisoituminen.

Kuumenemisessa työstettävän materiaalin pintalämpötila ei nouse sulamislämpötilan yläpuolelle. Aineeseen absorboituvan lasersäteen energiatiheys on pienempi kuin mitä tarvitaan materiaalin lämpötilan nostamiseksi sulamislämpötilaan. Prosessia sovelletaan materiaalien karkaisussa.

Lasersäteen energiatiheyden kasvaessa saavutetaan materiaalin pinnan sulamislämpötila. Sulamisprosessia käytettäessä säteen tehoisuus ja vaikutusaika mitoitetaan siten, että materiaali sulaa vain säteilytetyltä alueelta. Sulamisprosessia hyödynnetään pintakäsittelyssä ja sulahitsauksessa.

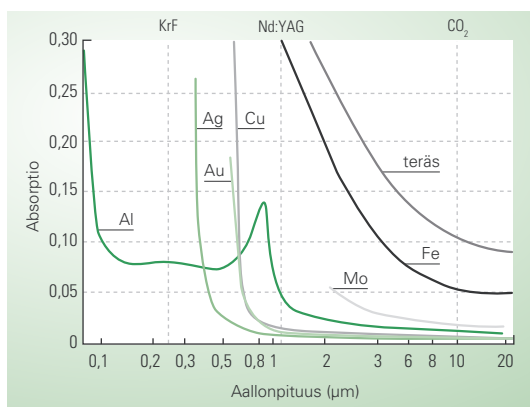
Höyrystymisessä lasersäteen energiatiheyttä kasvatetaan, kunnes työstettävän materiaalin pinnalla saavutetaan höyrystymislämpötila. Materiaalin pintaan muodostuu höyrykanava, jonka kautta laserenergia tunkeutuu materiaalin sisään. Höyrystyvän aineen paine tasapainottaa ympäröivän sulan hydrostaattisen paineen. Höyrystymisprosessia hyödynnetään syvähitsauksessa.

Hyvin suurilla lasersäteiden energiatiheyksillä höyrystynyt materiaali ionisoituu ja vuorovaikutusvyöhykkeelle muodostuu fotoindusoitunutta plasmaa. Plasma koostuu työstämateriaalin neutraalien atomien lisäksi niiden ioneista sekä vapaista elektroneista. Höyryplasmapiilvi laajenee suurella nopeudella siihen kohdistuvan lasersäteilyn suunnassa, ja syntyvä kova paine siirtää höyryä ja kiinteän aineen rajapinnalla olevan sulan pois, mitä voidaan hyödyntää esimerkiksi poraamisessa ja leikkaamisessa.

Laserilla työstäminen edellyttää, että lasersäteily pääsee tunkeutumaan ja absorboitumaan materiaaliin. Materiaalin absorptiokyky riippuu lähinnä lämpötilasta ja vaikuttavan säteilyn aallonpituudesta (kuva 4.1.).

Pääsääntöisesti jalometallit, kupari ja alumiini ovat jokseenkin vaikeita työstettäviä laserilla, kun taas rauta, nikkeli ja tina ovat puolestaan hyvin työstettäviä. Materiaalin lämmönjohtavuuden noustessa työstettävyys lasersäteellä heikkenee.

Lasertyöstössä esiintyviä vaaroja ovat erityisesti metallipinnoista heijastuvat näkymättömät infrapuna-alueen lasersäteet, joilta tulee suojautua käyttämällä asianmukaisia silmiensuojaimia ja suojavaatetusta.



Kuva 4.1 Muutamien metallien absorptiokyky aallonpituuden funktiona

Ag = hopea, Al = alumiini, Au = kulta, Cu = kupari, Fe = rauta, Mo = molybdeeni

Laserleikkaus

Muihin teollisuuden yleisesti käyttämiin leikkausmenetelmiin verrattuna lasersäde tuottaa suuren tehotiheyden avulla runsaasti ja tarkasti energiaa pienelle alueelle. Näin voidaan työstää kapeita railoja, mikä mahdollistaa mutkikkaidenkin muotojen leikkaamisen ilman lämpövääristymistä. Siten lasersäde soveltuu erityisesti vapaiden ja monimuotoisten muotojen leikkaamiseen. Laserleikatussa kappaleessa vältytään yleensä myös leikkauksen jälkeiseltä työltä, esimerkiksi leikkausreunojen siistimiseltä ja kappaleiden oikaisulta, joten lasertyöstetty kappale on välittömästi valmis ja viimeistelty.

Laserleikkausmenetelmät jaetaan kolmeen ryhmään:

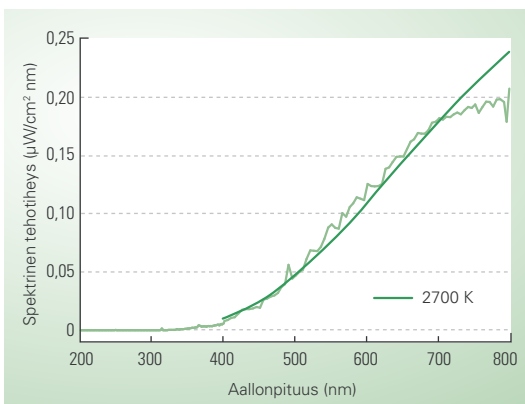
- sublimaatioleikkaus
- sulatusleikkaus
- laserpolttoleikkaus.

Sublimaatioleikkauksessa lasersäteen intensiteetti on suuri ja materiaali poistuu täysin höyryolomuodossa leikkausrailosta. Sublimoituminen tarkoittaa sellaista olomuodonmuutosta, jossa aine muuttuu suoraan kiinteästä kaasuksi ilman nestemäistä välitilaa. Sublimaatioleikkausmenetelmän etuja ovat erittäin sileät, uurteettomat ja hapettumattomat leikkauspinnat sekä pieni lämpövaikutusalue ja kiderakenteen muutosvyöhyke. Menetelmää käytetään hienoleikkattaessa ohuita levyjä pulssitetulla Nd:YAG-laserilla.

Lasersulatusleikkauksessa sulanut materiaali poistetaan leikkausrailosta kaasusuihkun avulla. Suurpainesulatusleikkauksessa erittäin korkean kaasunpaineen aiheuttama liikemäärä kiihdyttää sulaa niin, että se työnnyty pois railosta tarttumatta leikkattavan materiaalin alareunaan. Sublimaatioleikkaukseen verrattuna sulatusleikkauksessa saavutetaan selvästi korkeampia leikkausnopeuksia. Menetelmää käytetään työstettäessä metalleja, lasia tai muovia jatkuvatoimisilla tai pulssitetuilla CO₂- ja Nd:YAG-lasereilla.

Laserpolttoleikkauksessa materiaalin palaminen happisuihkussa tuo lisää lämpöenergiaa, mikä nopeuttaa työstöä ja lisää leikkausnopeutta. Lisäksi niukkaseosteisten terästen hapettunut sula on juoksevampaa kuin pelkkä metallisula. Erityisesti rakenneteräkset soveltuvat laserpolttoleikkaukshoitteiksi.

Myös laserleikkauksessa esiintyviä vaaroja ovat mahdolliset metallipinnoista heijastuvat näkymättömät infrapuna-alueen lasersäteet, joilta tulee suojautua käyttämällä asianmukaisia silmiensuojaimia ja suojavaatetusta.



Kuva 4.2 Ruostumattoman teräksen Nd:YAG-laserhitsauksesta mitattu spektrijakauma ja mustan kappaleen säteilyspektri (2 700 K)

Lasertyöstössä syntyvä sekundaarisäteily

Lasertyöstössä aine lämpenee niin korkeaan lämpötilaan, että se alkaa säteillä sekundaarista UV-säteilyä ja näkyvää valoa mustan kappaleen tavoin (luku 8, kuva 8.4). Työterveyslaitoksessa tehdyissä lasertyöstössä syntyvää sekundaarisäteilyä koskevissa tutkimuksissa UV-säteilyn ja näkyvän valon on todettu olevan merkityksettömän vähäistä sekä CO₂-laserleikkauksessa että Nd:YAG-laserleikkauksessa ja -hitsauksessa (kuva 4.2). Sen sijaan CO₂-laserhitsauksessa havaittiin syntyvän merkittävästi sekundaarisäteilyä UV-alueella. Erityisesti ruostumattoman ja haponkestävän teräksen CO₂-laserhitsauksessa mitatut UV-säteilyn tehotiheydet olivat niin voimakkaita, että yhden metrin etäisyydellä turvalliset altistumisajat ilman silmien ja ihon suojausta olivat yleisesti alle minuutin ja joissakin tilanteissa vain muutamia sekunteja. Korkeita UV-säteilyn ja lyhytaaltoisen eli niin sanotun "sinisen valon" tehotiheyksiä mitattiin myös CO₂-laserilla tehdyissä pinnoitusprosesseissa. UV-säteilyltä suojautumista on käsitelty luvussa 6, UV-säteilylle altistuminen ja siniseltä valolta suojautumista luvussa 8, Muu optinen säteily.

Laserhitsaus

Laserhitsauksessa säde voidaan kuljettaa valokaapelia pitkin, kuten Nd:YAG-laserissa, tai säde kohdistetaan työstökappaleen pintaan peilien ja linssien avulla, kuten CO₂-laseria käytettäessä. Kappaleeseen absorboituva säteily sulattaa materiaalia kohdasta mihin säteily osuu. Mitä korkeammaksi lasersäteilyn tehotiheyttä kasvatetaan, sitä enemmän kappale kuumenee ja hitsausvyvyys kasvaa. Syvätunkeumahitsauksessa työstökappaleen pinnalta poistuva metallihöyry muodostaa kappaleeseen pienen reiän, jota kautta lasersäteily pääsee tunkeutumaan syvälle aineeseen.

Laserhitsauksessa esiintyviä vaaroja ovat sekä heijastuneet lasersäteet että hitsauksessa syntyvä UV-säteily ja kirkas valo, joilta tulee suojautua käyttämällä sekä lasersäteilyltä että laajakaistaiselta optiselta säteilyltä suojaavia hitsausmaskeja ja -vaatetusta.

4.2 Laserin käyttö lääketieteessä

Lasersäteilyä käytetään menestyksellisesti muun muassa kirurgisissa ja gynekologisissa toimenpiteissä sekä korva-nenä-kurkkutautien ja silmä- ja ihotautien hoidossa. Lääketieteellisissä toimenpiteissä käytetyimpiä lasertyyppisiä ovat hiilidioksidi-, argon-, krypton- ja Nd:YAG-laserit. Argon- ja kryptonlaserit kehitettiin 1960-luvulla ja niitä on yhä käytössä kirurgisina peruslasereina. Kirurgisissa toimenpiteissä hiilidioksidilaseria on käytetty 1970-luvulta lähtien ja Nd:YAG-laseria 1980-luvulta lähtien. Diodi- ja puolijohdelaserien saapuminen lääketieteellisten lasereiden markkinoille viime vuosien aikana on merkinnyt laserlaitteiden koon sekä energiatarpeen pienenemistä.

Kohdatessaan kudoksen lasersäde osittain heijastuu sen pinnasta, mutta myös tunkeutuu kudoksen sisään riippuen kohdekudoksen rakenteesta ja kudostyypistä. Tunkeutumissyvyyteen vaikuttavia tekijöitä ovat kudoksen verisuonitus, kudoksen väri eli pigmentoituminen, kovuus ja vesipitoisuus. Laserin tunkeutumissyvyys riippuu myös säteilyn aallonpituudesta, jota laserlaite tuottaa. Optisen säteilyn, jota lasersäteilykin on, tunkeutuminen silmään on esitetty kuvassa 3.1 (luku 3) ja tunkeutuminen ihoon kuvassa 5.1 (luku 5).

Argon-kaasulaser on silmälääketieteessä eniten käytetty lasertyyppi, jonka pääkäyttöalueena on diabeettisen verkkokalvosairauden (retinopatian) hoito. Sokeutumisen ehkäisemiseksi vihreän valon aallonpituudella toimivalla lasersäteilyllä koaguloidaan verkkokalvolle muodostuneita verisuonia, jotka ovat syntyneet diabeteksen komplikaationa ja haittaavat näkemistä. Excimer-kaasulasereita käytetään puolestaan silmän taittovirheen korjauksissa, jolloin sarveiskalvon pintaa säteilytetään 193 nm UV-aallonpituudella toimivalla argonfluoridi excimer -laserilla. Verkkokalvon muotoa voidaan muuttaa haihduttamalla kudosta halutusta kohdasta tai tekemällä tarkkoja laserviiltoja sopiviin kohtiin.

Korva-, nenä- ja kurkkutautien hoidoissa käytetään eniten CO₂-laseria, jonka 10 600 nm aallonpituudella toimivalla infrapunasäteellä tehdään äänihuuli- ja kuuloluuoperaatioita. CO₂-laseria käytetään myös gynekologisissa toimenpiteissä, muun muassa poltettaessa kohdunkaulanaluetta. CO₂-laserin käyttö syöpä- samoin kuin muussa kirurgiassa aloitettiin jo 1970-luvulla. Urologiassa Nd:YAG-laseria käytetään menestyksekkäästi esimerkiksi eturauhasen pienentämisoperaatioissa. 1990-luvulla otettiin käyttöön Holmium-laser syöpäsolujen tuhoamiseen sekä rakko- ja munuais- kivien hoitoihin.

Kosmeettista laserkirurgiaa käytetään arpien, luomien, tatuointien, pigmenttimuutosten, ihon kasvainten ja pintaverisuonten poistoon, ihoryppyjen ja liiallisen karvankasvun hoitoon sekä silmäluomien muovaukseen. Ihon verisuonimuutosten hoidoissa sekä arpien, pintaverisuonten ja tuli- sekä hämähäkkiluomien poistossa käytetään argonlaserin ja Nd:YAG-kidelaserin muunnosta eli niin sanottua KTP-laseria (aallonpituus 532 nm). Diodi-, rubiini- ja alexandriittilasereita käytetään karvanpoistoon. CO₂-laser soveltuu syylien, känsien ja luomien poistamiseen.

Taulukossa 4.1 on esitetty lääketieteellisessä käytössä olevia lasereita ja lasertyyppisiä sekä niiden käyttöaloja ja -kohteita. Kaikki leikkaamiseen, hyydyttämiseen ja kudosten poistamiseen polttamalla käytettävät laserit kuuluvat suuritehoisiin lasereihin eli ne kuuluvat turvallisuusluokkiin 3B ja 4.

Laser-tyyppi	Laser	Aallonpituus (nm) Toimintamuoto	Käyttökohde
Kaasu	Hiilidioksidi (CO ₂)	10 600 jatkuva/ pulssitoiminen	Laserkirurgia Syöpäkudoksen poistaminen höyryttämällä Korva-, nenä- ja kurkkutaudit Äänihuuli- ja kuuloluu- operaatiot Gynekologia Kohdunkaulan alueen operaatiot kudosta polttamalla Ihotaudit Ihokasvainten poisto
Kaasu	Argon (Ar)	457, 488, 514 jatkuvatoiminen	Silmätaudit Retinopatian ja glaukooman eli silmänpainetaudin hoitaminen Tähystykset
Kaasu	Krypton (Kr)	647 jatkuvatoiminen	Silmätaudit Glaukooman hoitaminen
Excimer	Argonfluoridi (ArF)	193 pulssitoiminen	Silmätaudit Silmän taittovirheen korjaus
Kiinteä olomuoto	532 KTP-laser eli vihreä diodilaser (YAG-laserin muunnos)	532 pulssitoiminen	Korva-, nenä- ja kurkkutaudit Silmätaudit Urologia Eturauhasen pienentäminen Tähystykset
Kiinteä olomuoto	Neodyymirikastettu YAG laser (Nd:YAG)	1 064 pulssitoiminen	Laserkirurgia Ihotaudit Syntymämerkkien ja tatuointien poisto Ihokarvojen poisto Urologia
Kiinteä olomuoto	Holmium YAG	2 096 pulssitoiminen	Syöpäsolujen sekä munuais- ja virtsakivien tuhoaminen
Kiinteä olomuoto	Rubiini	694 pulssitoiminen	Ihotaudit

Taulukko 4.1 Yleisimmät lääketieteellisissä toimenpiteissä käytettävät laserit

FAKTALAATIKKO 4.2

Lasersäteilyn kudosisvaikutukset

Lasersäteily vaikuttaa kudoksessa usean erilaisen mekanismin välityksellä. Lasersäteilyn vaikutus kudoksessa voi olla kudosta koaguloiva eli hyydyttävä. Tätä ominaisuutta käytetään hyväksi esimerkiksi poistettaessa ja tuhottaessa kasvaimia. Laserilla saadaan aikaan myös kudoksen höyrystymistä, jota käytetään hyväksi poraavassa ja leikkaavassa toimenpiteessä. Laserin vaikutus on fotokemiallinen, kun lasersäteilyllä aktivoidaan ja muokataan jonkun tietyn molekyylin rakennetta, esimerkiksi fotodynaamisessa hoidossa (Photo Dynamic Treatment, PDT). Fotodynaamista hoitoa käytetään esimerkiksi tuhottaessa kasvaimia. Lasersäteilyn paineaaltovaikutusta eli fotoakustisista vaikutuksista hyödynnetään veren glukoosipitoisuuden eli verensokerin tutkimuksissa.

Fotoablaatiassa puolestaan lasersäteilytyksen seurauksena molekyylien sidokset katkeilevat ja kudosta saadaan haihtumaan hallitusti säteilytykskohdasta. Tämä saadaan aikaan excimer-laserilla, joka tuottaa hyvin voimakkaita ja lyhyitä pulsseja, jotka ovat kestoaltaan tyypillisesti 20 nanosekuntia. Vaurioalue on hyvin paikallinen, koska säteily absorboituu alle 100 µm syvyyteen ja se voidaan fokuoida hyvin tarkasti haluttuun kohtaan. Excimer-laserilla hoidetaan usein silmän taittovirheitä.

Laki terveydenhuollon laitteista ja tarvikkeista (1505/1994, 12 §) asettaa yleiset velvoitteet lasersäteilyn ammattimaisille käyttäjille terveydenhuollon yksiköissä tai terveydenhuollon ammattihenkilöille. Tämän lain perusteella Lääkelaitos valvoo lääketieteellisissä toimenpiteissä käytettävien optista säteilyä tuottavien laitteiden vaatimustenmukaisuutta ja käyttöä.

Laitevaatimukset

Lääketieteellisissä toimenpiteissä käytettäville lasereille on esitetty yksityiskohtaiset vaatimukset standardissa IEC 60601-2-22 ”Medical electrical equipment, Part 2. Particular requirements for safety - Specification for diagnostic and therapeutic laser equipment”. Lääketieteelliseen käyttöön tarkoitetuille luokkien 3B ja 4 laserlaitteille on asetettu lisävaatimuksia, joita käsitellään tarkemmin faktalaatikossa 4.3. Lisävaatimusten tarkoitus on estää laserista aiheutuva vaara potilaille ja käyttökäyttökunnalle.

Lääketieteelliseen käyttöön tarkoitettujen luokkien 3B ja 4 laserlaitteiden lisävaatimukset (IEC 60601-2-22)

1) Terapeuttisten kirurgisten lasereiden osalta on tärkeää tietää emissiotasot ja niiden tarkkuus. Kyseisille lasereille vaaditaan, että laserin ulostuloteho voidaan säätää tietyille tasolle 20 prosentin epävarmuudella ja että laitteen oma mittaussysteemi voidaan kalibroida. Käyttöohjeissa pitäisikin antaa ohjeet säännölliselle laitteiston kalibroinnille.

2) Lääketieteelliseen käyttöön tarkoitetuissa lasereissa pitäisi olla ihmissilmän nähtävissä oleva kohdistin, jotta varsinaisella operatiivisella lasersäteellä ei vahingossa osuttaisi hoidettavan alueen ohi. Kohdistinsäde on normaalisti näkyvän valon alueella toimiva lasersäde. Jos luokan 2 laserin, jonka maksimiulostuloteho on yksi milliwatti (mW), tuottama piste ei ole selvästi erotettavissa, tehoa voidaan nostaa viiteen milliwattiin saakka, joka vastaa luokan 3R laserin maksimitehoa.

3) Luokkien 3B ja 4 laserlaitteissa, joihin vaaditaan lukollinen kytkin, tulee käyttöohjeessa olla maininta, että laitteen ollessa poissa käytöstä avain on poistettava luvattoman käytön estämiseksi. Jos silmiensuojaimien käyttöä edellytetään, ne tulee spesifioida. Käyttöohjeisiin tulee sisällyttää opastus optisten kuitujen käytöstä samoin kuin varoitus siitä, että vikatilanteessa tulee noudattaa annettuja suosituksia, jotta kuidulle ja/tai potilaalle ei aiheudu vahinkoa.

4) Lääketieteellisessä laserlaitteessa pitää olla hälytyslaite, joka antaa näkyvän varoitussignaalin laitteen ollessa käyttövalmiina. Laserlaitteessa pitää olla myös näkyvä tai kuuluva hälytyslaite, joka ilmoittaa laserin olevan toiminnassa. Kyseiset hälytyslaitteet korvaavat lasersäteilyn yleisen varoitusmerkin, joka on määritelty perusstandardissa IEC 60825-1 kaikille luokkiin 3B ja 4 kuuluville laserlaitteille. Luokan 4 laitteille on myös erityisvaatimuksia koskien laseremission jatkuvuutta ja emissiotasoa, esimerkiksi sähkökatkotilanteessa, ja tästä syystä laitteessa on oltava näyttö, joka kertoo laitteen tehon tai energian.

5) Laitekohtaisiin käyttöohjeisiin on sisällytettävä tieto turvaetäisyyksistä koskien kaikkia käytettäviä lisälaitteita, joilla voidaan muuttaa lasersäteen ulostuloa. Käyttöohjeissa pitäisi antaa kuvaus

säteen eri ulostulojärjestelmistä. Lisäksi tiedot säteilyn divergenssistä eli hajontakulmasta, pulssin kestosta ja suurimmasta ulostulotehosta tulisi ilmoittaa samoin kuin ajan myötä odotettavat muutokset näissä parametreissa.

6) Lääkinnällisessä laserlaitteessa perusstandardin IEC 60825-1 mukainen lasersäteen lähtöaukon merkitseminen voidaan korvata yleisellä lasersäteilyn varoitusmerkillä säteen lähtöaukon läheisyydessä (kuva 3.13 luvussa 3). Jos varoitusmerkin kiinnittäminen on epäkäytännöllistä esimerkiksi optisen kuidun päähän, merkki voidaan sijoittaa itse päälaitteeseen tekstin kanssa, joka ilmoittaa, että lasersäteen lähtöaukko on kuidun päässä.

7) Luokan 3B ja 4 lääkinällinen laserlaite tarvitsee erillisen hätäkatkaisimen, joka on riippumaton kaikista muista systeemeistä, joilla laser voidaan pysäyttää. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että laitteen pääkytkin ei ole riittävä tähän vaatimukseen. Luokan 3B laserit, joita ei käytetä kirurgisiin ja silmään liittyviin toimintoihin ja jotka toimivat aallonpituusalueella 600–1 400 nm, on vapautettu hätäkatkaisinta koskevasta vaatimuksesta, jos ne täyttävät seuraavat vaatimukset:

- emittoituva säteily on viisi kertaa pienempi kuin ihoaltistusraja ja säteilyn keskimääräinen teho on pienempi kuin 50 mW.
- säteilyn keskimääräinen teho on suurempi kuin 50 mW eikä ihoaltistusraja ylity.

Vapautus hätäkatkaisinvaatimuksesta koskee pääasiassa suhteellisen pienitehoisia terapialasereita.

4.3 Laserin käyttö kosmetiikassa

Rajanveto sille, onko laserin käyttö lääketieteellistä vai kosmeettista, ei ole aina yksiselitteistä, koska myös kosmeettisissa käsittelyissä saatetaan muokata kudosta laserin avulla. Laitemarkkinoilla on tarjolla erilaisia kosmetiikkaan, akupunktuuriin ja mitä erilaisimpien sairauksien hoitoon tarkoitettuja laserlaitteita. Laitteille on tyyppillistä, että osa laitteista on hyvin pienitehoisia kuuluen laserluokkiin 1–3. Heikkotehoisia lasereita, joiden terapeuttinen teho perustuu johonkin muuhun kuin selvään lämpövaikutukseen, kutsutaan myös ”soft-lasereiksi”.

Laitteiden myyjien mukaan niillä voidaan hoitaa erilaisia sairauksia, kuten hermo-, nivel- ja lihaskipuja, rasitus- ja urheiluvammoja, palovammoja, säärihaavoja ja iskiasvaivoja. Laitemyyjät esittävät soft-laserien vaikutusperustaksi erilaisia biologisia tapahtumia, kuten solutason aineenvaihdunnan ja erilaisten aineiden, esimerkiksi endorfiinien ja prostaglandiinien, erittymisen, jotka vaikuttavat muun muassa kiputiloihin. Soft-laseria koskevia tutkimuksia löytyy paljon, mutta niiden tieteellinen taso ei ole välttämättä kovin korkeatasoista.

Kosmeettisten lasereiden tulee täyttää laserstandardissa IEC 60825-1 esitetyt vaatimukset samalla tavoin kuin mikä tahansa muun laserlaitteen. Myöskään sosiaali- ja terveysministeriön väestön altistumista koskevassa asetuksessa (294/2002) lasersäteilylle annetut enimmäisarvot ja altistusraajat eivät saa ylittyä niin, että lasersäteily aiheuttaa kudonsvaurioita. Säteilylainsäädännössä ei ole yksilöityjä pätevyysvaatimuksia kosmeettisen laserin vastuuhenkilölle tai käyttöhenkilökunnalle. Laseria käyttävän on kuitenkin tunnettava ja osattava laitteen turvallinen käyttö. Jos jotain sattuu, hän ei voi vedota tietämättömyyteen, vahinkoon, käyttöohjeiden puuttumiseen tai muihin syihin. Kosmeettisten laserien turvallisuusmääräyksistä on lisää luvussa 9.

Hampaiden valkaisu

Kosmeettinen hammashoito on yleistynyt viime vuosien aikana. Hampaiden valkaisussa käytetään useita teholtaan ja aallonpituudeltaan erilaisia valon tai säteilyn lähteitä. Lasereiden lisäksi käytetään loistediodeja eli LEDejä sekä halogeeni-, plasma- ja infrapunalamppuja. Valon ja säteilyn lähteiden aallonpituudet vaihtelevat UV-aallonpituuksista (350 nm) IR-säteilyalueelle (10 600 nm) asti.

Neljää valkaisumenetelmää vertailleen tutkimuksen mukaan etu valon käytöstä on epävarmaa, vaikka valo lisäsi tutkimuksessa valkaisutehoa (Luk ym., 2004). Hampaan kuivuminen lämmityksen yhteydessä on todennäköistä ja kuivumista pidetään syynä siihen, että valon käytön yhteydessä saadaan vaaleammat hampaat. Väri palautuu, kun hammas kostuu uudelleen.

Näkyvän valon ja säteilyn käytöllä voi olla riskejä ja sivuvaikutuksia. Laser voi vahingoittaa esimerkiksi pehmytkudoksia ja hammasrakenteita. Sinisen valon ja laserin käyttö lisää sekä potilaan että henkilökunnan suojautumisen tarvetta suojalasein (Bruzell, 2004; Bruzell ym., 2004). Yleisesti uusien menetelmien kanssa kannattaa olla varovainen, kunnes niiden tehosta ja riskeistä on saatu riippumatonta kliinistä tutkimustietoa (Bruzell ja Dahl, 2005).

4.4 Laserin käyttö tietoliikenteessä

Optisella tiedonsiirrolla tarkoitetaan signaalin siirtämistä valon muodossa optista kuitua pitkin lähettimestä vastaanottiin. Optisen kuidun materiaali on sulatettua kvartsilasia. Lähetin muuntaa sähköisen signaalin valon muotoon ja vastaanotin puolestaan ottaa signaalin vastaan ja muuntaa sen sähköiseen muotoon jatkokäsittelyä varten. Laserlähettimien käyttö parantaa tiedonsiirron nopeutta, luotettavuutta ja laatua. Kehittyvät tekniikat edistävät lisäksi vuorovaikutteisten palveluiden kuten netin, puhelimen ja videoneuvottelun samanaikaista käyttöä. Optisia kuituja käytetään tietoliikennesovellusten lisäksi muun muassa televerkkojen runkokaapeloinnissa ja lähiverkkojen yhdyskaapeleina. Vaikka optinen kuitu soveltuu vain kiinteään ”lankaverkkoon”, sitä voidaan käyttää myös langattoman tiedonsiirron osana.

Laite- ja käyttöturvallisuus

Optisessa kuituverkossa lasersäteily on normaalissa käyttötoiminnassa täysin suljettu kuidun ja päätelaitteen sisään. Pelkästään lasersäteilyä koskevan perustandardin IEC 60825-1 käyttö ei kuitenkaan ole riittävää optisiin kuituihin perustuvien tiedonsiirtojärjestelmien turvallisuutta ajatellen. Tällaiset järjestelmät eivät sisällä yksittäisiä kokonaisuuksia, jotka voitaisiin tunnistaa laserlaitteeksi ja luokitella perinteisellä tavalla. Jos kuitukaapeli pääsee irtoamaan kytkennästään tai kaapeli rikkoutuu, lasersäteilylle voi altistua hyvinkin kaukana itse lasersäteilyn lähteestä. Edellä mainitut vikatilanteet voivat aiheuttaa erilaisia vaaratilanteita riippuen missä osassa optista kuituverkkoa ne tapahtuvat, koska teho jakautuu verkossa useisiin kuituihin ja koska verkossa voidaan käyttää kuituvahvistimia. Näiden kysymysten käsittelemiseksi on kehitetty standardi ”IEC 60825-2 ”Safety of laser products-Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCS)”.

IEC 60825-2 käyttää käsitettä ”vaaratasot (hazard levels)” optisten kuitujen sijaintipaikkojen turvallisuutta arvioitaessa. Vaarataso määritetään paikoissa, jossa lasersäteilylle voi altistua helposti, kuten komponentin mahdollisen rikkoutumisen tai kaapelirikon yhteydessä, tai kun lasersäteilyn kohteeksi joutuu melko ennakoitavasti, esimerkiksi kaapelin irrottamisesta tai käyttäjän virheestä johtuvassa tilanteessa. Edellä mainituissa tilanteissa laserremissiota arvioidaan samalla tavalla kuin laserlaitteen säteilytehoa arvioidaisiin luokitustarkoituksia tehtäessä. Optisen kuitusysteemin vaaraa kuvataan koko systeemin vaaratasona, joka sisältää tasot I,

1M, 2, 2M, 3R, 3B ja 4. Täten esimerkiksi tietylle kuituliittimelle voidaan määrittää vaarataso 1M tarkoittaen, että liittintä pois kytkettäessä säteilyvaara on samantasoinen (ekvivalentti) luokan 1M laserlaitteen aiheuttaman vaaran kanssa.

Vaaratason määrittäminen perustuu siis ”järkevästi ennakoitavissa” olevaan vaaratilanteeseen, kuten komponenttivikaan tai kuidun katkeamiseen. Tämä puolestaan vaatii laitteiston rakentajan tekemän riskiarvioinnin, jossa arvioidaan vian tai muun vaarallisen tapahtuman todennäköisyys, erityisesti ottaen huomioon mahdolliset viat sähköisissä piireissä. Standardin liite antaa ohjeistusta vika-analyysiin ja virheellisten toimintojen arviointiin.

Optisia kuituja käsittelevässä standardissa määritellään myös lasersäteilyn sijaintipaikat, joihin on joko valvottu, rajoitettu tai rajoittamaton pääsy alueelle. Sijaintipaikkaa, johon on valvottu pääsy, voivat käyttää ainoastaan sellaiset henkilöt, jotka ovat saaneet riittävän koulutuksen laser-turvallisuudessa ja ne, jotka suorittavat systeemin huoltotyötä. Esimerkkinä tällaisista sijaintipaikoista ovat kytkentäkeskukset. Sijaintipaikka, johon on rajoitettu pääsy, ei ole yleisölle avoin, kuten vartioidut teollisuuden ja kaupan toimitilat sekä rajoitetut alueet junissa, laivoissa tai muissa kulkuneuvoissa. Rajoittamattoman pääsyn sijaintipaikkoja ovat puolestaan asunnot, yleiset toimisto- ja teollisuustilat sekä yleisölle avoimet alueet.

Sallitut vaaratasot eri optisten kuitujen sijaintipaikoissa ovat seuraavat:

- vaaratasot 1, 1M, 2, 2M, 3R tai 3B valvotussa paikassa
- vaaratasot 1, 1M, 2, 2M tai 3R rajoitetussa paikassa
- vaaratasot 1, 1M, 2 tai 2M rajoittamattomassa paikassa.

Optisissa kaapeleissa tulee olla asianmukaiset merkinnät, jotta ne voidaan erottaa sähkökaapeleista. Jos yksittäisessä kuidussa on useita aallonpituuksia tai käytössä on nauhakuitukaapeli, joka sisältää useita lähteitä, nämä pitää arvioida samalla tavalla kuin yksittäiset laserlähteet. Tämän lisäksi turvallisen työskentelyn menettelytavat ja siihen liittyvä koulutus pitää olla osana työhön perehdytystä ja osana käytännön toimintaa kaikissa optiseen kuituverkkoon liittyvissä testaus- ja mittaustoiminnoissa, joissa on mahdollisuus altistua suuritehoiselle lasersäteelle.

ESIMERKKI 4.1

Tiedonsiirtolaserin lasertehon laskeminen

Optisen monimuotokuidun ytimen halkaisija on $100\ \mu\text{m}$ ja kuidusta ulostulevan säteen divergenssi φ on $0,353\ \text{mrad}$. Kuinka suuri kuidun päästä tuleva jatkuvatoiminen laserteho voi olla, että kuidun päästä tuleva säteily on turvallinen silmille $70\ \text{mm}$ etäisyydellä? Säteilyn aallonpituus on $850\ \text{nm}$. Lasersäteilyn altistumisrajat on esitetty luvussa 3, kohdassa 3.3.

Lasersäteily lähtee halkaisijaltaan $100\ \mu\text{m}$ kuidun päästä, jolloin laserlähteen kulmakoko on alle $1,5\ \text{mrad}$, joten enimmäisarvo on

$$E_{MPE} = 10 \cdot C_4 \cdot C_7\ \text{W/m}^2. \quad (4.1)$$

Säteilyn aallonpituus on $850\ \text{nm}$, jolloin taulukon 3.5 (luku 3) mukaan $C_4 = 10^{0,002(\lambda-700)} = 10^{0,002(850-700)} = 2$ ja $C_7 = 1$. Enimmäisarvo on tällöin $E_{MPE} = 20\ \text{W/m}^2$. Taulukosta 3.2 (luku 3) saadaan rajoittavan aukon halkaisijaksi $d_a = 7\ \text{mm}$. Enimmäisarvon mukainen suurin teho rajoittavalle aukolle on

$$P_a = E_{MPE} \cdot \pi \cdot \left(\frac{d_a}{2}\right)^2 = 0,77\ \text{mW}. \quad (4.2)$$

Säteen halkaisija $70\ \text{mm}$ etäisyydellä on

$$d_{63} = r\varphi = 0,353 \cdot 70\ \text{mm} = 24,7\ \text{mm}. \quad (4.3)$$

Säteen halkaisija on suurempi kuin rajoittavan aukon halkaisija $d_a = 7\ \text{mm}$. Rajoittavan aukon läpi menevä saadaan kaavan 2.50 (luku 2) mukaan

$$P_a = \eta P_0 = \left(1 - e^{-\left(\frac{d_a}{d_{63}}\right)^2}\right) P_0 = \left(1 - e^{-\left(\frac{7}{24,7}\right)^2}\right) P_0 = 0,077 P_0. \quad (4.4)$$

Suurin silmäturvallinen kuidusta ulostuleva teho on

$$P_{0,\text{max}} = \frac{P_a}{\eta} = \frac{0,77\ \text{mW}}{0,077} = 10\ \text{mW}. \quad (4.5)$$

4.5 | Laserin käyttö kuluttajatuotteissa

Viime aikoina moni ammattikäytössä ollut laserlaite on päätynyt kuluttajakäyttöön arkiseksi kuluttajatuotteeksi, joka on helposti hankittavissa esimerkiksi internetin verkkomyynnin kautta. Esimerkkejä tällaisista lasereista ovat muun muassa laserosoittimet eli niin sanotut ”laserpointterit”, disko­käyttöön tarkoitetut valotehosteet eli showlaserit, erilaiset tähtäin- ja kohdistinlaserit sekä purjehtijoille, eränkävijöille ja rakentajille tarkoitetut laseretäisyysmittarit ja laservatupassit. Kuluttajien käsiin voi joutua voimakkaitakin laserlaitteita, joilla ei aina ole edes yleisen laserturvallisuusstandardin edellyttämiä suojalaitteita ja käyttöohjeita.

Kotikäyttöön tarkoitettujen lasten lelujen tulee olla täysin turvallisia. Mikäli lelussa käytetään laserdiodia, laserin tulee kuulua turvallisuusluokkaan 1, joka ei aiheuta vaaraa normaaleissa käyttöolosuhteissa. Lelut kuuluvat lelu­direktiivin (88/378/ETY) piiriin ja niiden turvallisuudesta on säädetty laissa lelujen turvallisuudesta (287/1997). Kuluttajavirasto on lelujen osalta valvova viranomainen.

Laserosoittimet ovat yksinkertaisimmillaan kädessä pidettäviä ja paristoilla toimivia sekä yleensä kynänmuotoon koteloituja laserdiodeja, joita käytettiin alun perin ”karttakeppinä” esitys- ja luentotarkoituksissa. Laserosoit­timen säde on pistemäinen ja sillä osoitetaan esityksessä sen kiinnostavimpia kohtia. Laserosoitin voidaan liittää osoittimeksi tai tähtäimeksi esimerkiksi aseisiin ja välineisiin, joilla pitää määrittää paikka tarkasti. Usein osoittimen ammatillista tai vastavuoroisesti harraste- ja kuluttaja­käyttöä on vaikea erottaa toisistaan. Halvimmat laserosoittimet toimivat 650–670 nm aallonpituudella ja lasersäde on tällöin punainen. Myös oranssia ja keltaista väriä tuottavia halpoja laserosoittimia on markkinoilla. Sen sijaan 2000-luvulla markkinoille tulleet vihreät ja siniset osoittimet ovat tekniikaltaan monimutkaisempia kuin edellä mainitut, koska vihreällä ja sinisellä aallonpituusalueella laserdiodeja ei ole yleisesti saatavilla. Vihreä (532 nm) ja sininen (473 nm) väri tuotetaan epäsuoralla prosessilla ja täl­löin puhutaankin niin sanotuista diodipumpatuista lasereista. Vihreän ja sinisen laserosoittimen teho voi nousta jopa satoihin milliwatteihin, jolloin ne kuuluvat turvallisuusluokkaan 3B, jolla maksimi ulostuloteho on 500 mW. Uudet teholtaan yli 5 mW:n osoittimet eivät täytä enää kaikkia stan­dardissa EN 60825-1 esitettyjä luokan 3B lasereiden vaatimuksia. Niistä puuttuvat esimerkiksi avainkytkin ja säteen suljिन. Näin ollen ne ovat vaarallisia joutuessaan lasereihin perehtymättömän käsiin.

Valtioneuvoston asetuksen (VNa 291/2008) mukaisesti laserosoittimeksi voidaan hyväksyä vain turvallisuusluokan 2 tai alemman luokan laite.

Luokan 2 lasersoittimen suurin sallittu säteilyteho on yksi milliwatti. Poikkeuksen muodostavat kokonaisuutena asennettavat AV-laitteistot, joiden varustukseen kuuluu lasersoittimeksi tarkoitettu 3R luokan laite, jonka ominaisuuksiin ja käyttöön liittyen asetuksesta poikkeaminen on perusteltua ja laitetta voidaan käyttää turvallisesti. Luokan 3R lasersoittimen suurin sallittu säteilyteho on viisi milliwattia.

Valtioneuvoston asetuksen (VNa 291/2008) mukaisesti yleisissä tiloissa käytettävissä laserpeleissä ja muissa niihin verrattavissa harrastetuotteissa saa olla enintään turvallisuusluokkaan 2 kuuluva laserlaite. Valtioneuvoston asetusta ei kuitenkaan sovelleta leluihin, vaan kyseessä olevat laitteet on tarkoitettu esimerkiksi laserpelihalleihin tai muihin vastaaviin valvottuihin tiloihin, joissa pelien käyttäjät opastetaan käyttämään laseria turvallisesti. Pelihallissa pelin käynnistyksen suorittaa pelin valvoja.

4.6 | Laserin käyttö opetuksessa

Kouluissa, yliopistoissa ja korkeakouluissa käytetään pienitehoisia lasereita fysiikan perusopetuksessa. Yleisimmin käytetään turvallisuusluokkaan 2 kuuluvia helium-neon-kaasulasereita demonstraatioihin, oppilastoihin, kuten esimerkiksi laserin aallonpituuden määrittämiseen ja valon heijastumis-, taittumis- sekä polarisaatioilmiöiden tutkimiseen, sekä optisten pöytien komponenttien suuntaukseen.

Fysiikan opetuksen lisäksi harjoitusten tavoitteena tulisi olla laserturvallisuuskulttuurin opettaminen. Oppilaille ja opiskelijoille tulee aina antaa laserturvallisuuskoulutusta ennen harjoitustöiden aloittamista, vaikka silmän sulkeutumiskehoitus suojaa käytännössä silmää, jos turvallisuusluokan 2 laserin tuottama lasersäde tai sen heijastus osuisi vahingossa silmään. Keskeistä on, että suoraa tai heijastunutta sädettä ei katsota, tuijoteta eikä sitä suunnata toiseen ihmiseen.

Tutkimuskäytössä käytetään kaikenlaisia kuviteltavissa olevia lasereita pienitehoisista luokan 1 lasereista aina suuritehoisiin luokan 4 lasereihin asti. Silmävaarallisiin turvallisuusluokkiin 3R, 3B ja 4 kuuluvien laserien kanssa työskennellessä tulee erityistä huomiota kiinnittää laserturvallisuuteen. Tutkimustyössä työskennellään usein säteen läheisyydessä, laserjärjestelmään tehdään muutoksia ja ne kootaan ja suunnataan usein laboratorion henkilökunnan toimesta. Tällöin työympäristö ei välttämättä tarjoa suojaa lasersäteitä vastaan, jolloin henkilökohtainen suojautuminen on erityisen tärkeää. Suuri osa tutkimusympäristössä tapahtuneista

silmävaurioon johtaneista tapaturmista on sattunut, kun laserjärjestelmällä on tehty pikaisia kokeita tai säätöjä, eikä suojalaseja ole vaivauduttu käyttämään työn tilapäisyydestä johtuen. Tutkimuslaitteistojen riskialttiuden vuoksi oikean turvallisuuskulttuurin luomiseen ja työhön perehdyttämiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota. Työhön perehdyttämisen tärkeys koskee erityisesti opintojen loppuvaiheessa olevia opiskelijoita ja jatko-opiskelijoita, jotka otetaan mukaan laboratorioiden tutkimustoimintaan.

4.7 | Laserin käyttö viihteessä

Laseria käytetään nykyisin valotehosteena muun muassa erilaisissa konserteissa, diskoissa, ravintoloissa ja erilaisissa juhlatilaisuuksissa sekä sisätiloissa että ulkona. Alun perin ”laser showt” otettiin käyttöön taidenäytelyissä ja teatterilavasteissa 1960-luvun loppupuolella. Tällöin käytettiin staattisia peilien kautta heijastuvia lasersäteitä ja lasertekniikkaa apuna käyttäen muodostettiin hologrammeja eli kolmiulotteisia kuvia, joita heijastettiin seinille. Varhaisissa laseresityksissä käytettiin äänen visuaaliseen ilmentämiseen heijastavaa kalvoa, joka oli kiinnitetty kovaäänisiin. Lasersäteen osuessa peilimäiseen pintaan sen heijastukset tuottivat seinälle tai varjostimelle kuvioita musiikin tahdissa. Säteiden keilaamiseen käytettiin myös motorisoituja kääntyviä ja pyöriä peilejä. Tekniikka on kuitenkin kehittynyt huomasti näistä ajoista. Nykyajan tarkoilla ja erittäin nopeilla lasersäteen paikan ilmaisevilla ja sädettä ohjaavilla galvanometreillä, mikrotietokoneilla ja digitaalitekniikalla keilaava grafiikka ja animaatiot ovat tulleet mahdollisiksi.

Alusta alkaen showkäytössä on ollut sekä pienitehoisia ulostuloteholtaan alle viisi milliwattia olevia laitteita että suuritehoisia laserlaitteita. Ensimmäisissä laseresityksissä käytettiin argon- ja krypton- sekä helium-neonlasereita. Argonlasereilla ulostuloteho voi olla kymmeniä watteja, kryptonilla muutamia watteja ja helium-neon-kaasulasereilla milliwatteja. Nykyään vesijäähdytteiset argon- ja krypton-laserit on pääosin korvattu halvemmilla puolijohdetekniikkaan perustuvilla lasereilla. Yleisessä käytössä ovat esimerkiksi kiinteän olomuodon RGB-diodilaserit (red-green-blue), joista saadaan 100–1 000 mW lasertehoa punaisella, vihreällä ja sinisellä aallonpituudella.

Yleisöesityksissä laserturvallisuuden kannalta oleellisia asioita ovat laserin käyttöön liittyvien vaarojen ymmärtäminen, käyttöympäristön valvonta ja ongelmatilanteiden ennakointi. Laserin käyttäjä on aina vastuussa turvallisuudesta. Tästä syystä on keskeistä, että henkilöt, jotka käyttävät

laserlaitteita ja ovat vastuussa toiminnasta ja turvallisuudesta, ovat tietoisia säteilyn aiheuttamista vaaroista, erityisesti silmille, ja siitä miten tulee toimia vaaratilanteiden ehkäisemiseksi ja poistamiseksi. Laserilla ei siis saa aiheuttaa vaaraa itselle, muille eikä ympäristölle.

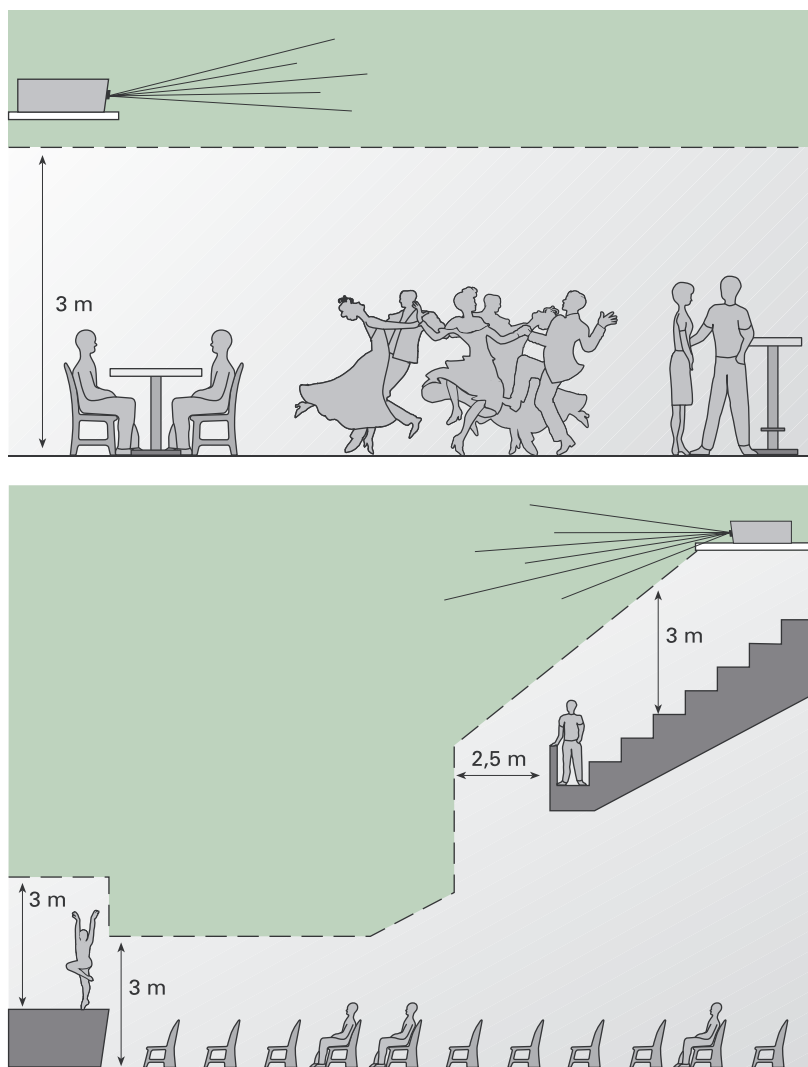
Yleisoesityksissä käytettävät laserlaitteet voivat aiheuttaa vaaratilanteita etenkin silloin, jos lasersäde osuu suoraan tai heijastumalla silmään. Silmään osuessaan laser saattaa aiheuttaa häikäisyä ja väliaikaisia näköhäiriöitä, kuten jälkikuvia. Pahimmassa tapauksessa säde vaurioittaa verkkokalvoa ja erityisesti silmän tarkkan näön aluetta. Seuraus tästä voi olla näön huomattava heikkeneminen tai jopa näön menetys. Suuritehoisimmat lasersäteet voivat myös polttaa ihoa ja aiheuttaa palovaaran. Tärkein turvallisuusvaatimus on se, ettei edes pienitehoista lasersädettä, jonka säteilyteho on pienempi kuin viisi milliwattia, saa suunnata ihmistä kohti. Vain luokkaan 1 kuuluvat lelut ja vastaavat pienlaserit ovat vapaat suuntausta koskevasta vaatimuksesta. Laserlaitteita käytettäessä on ehdottomasti noudatettava niiden asennus- ja käyttöohjeita sekä varo-ohjeita. Lasersäteiden suuntaaminen ihmisiin suuressa yleisötapauksessa onkin säteilylakiin perustuvien säteilyturvallisuusperiaatteiden vastaista.

Laserin kanssa verkkokalvovaurion riski ei pienene säteilylähteestä etäännyttäessä, kuten tavallisessa epäkoherentissa valolähteessä, vaan vaara-etäisyys voi olla kymmeniä tai jopa satoja metrejä. Heijastunut säde peilimäisestä pinnasta, esimerkiksi tasaisesta lasista ja kiiltävästä metallista sekä maalipinnasta, on yhtä vaarallinen kuin itse laserista lähtenyt säde. Hajaheijastuksessa lasersäde emittoituu laajahkolta säteilypinnalta eri suuntiin hajaantuen, mikä synnyttää suurikokoisen kuvan verkkokalvolle. Hyvin voimakkailla luokan 4 lasereilla kuitenkin tällainen hajaheijastus voi olla vaarallinen joka suuntaan useiden metrien etäisyydelle, koska heijastuspinta kuvautuu liian kirkkaana kuvana verkkokalvolle. Turvallisin tilanne on silloin, kun pinta on hajaheijastava ja säteilyä hyvin absorboiva. Lasersäteen levittäminen pienentää riskiä, koska teho- tai energiatiheys pienenee. Toisaalta myös divergenssi eli säteen hajontakulma suurenee, minkä johdosta vaara-alue voi moninkertaistua edellyttäen, että laserin säteilyteho tai -energia on riittävän suuri.

Asennus- ja käytöturvallisuusvaatimukset

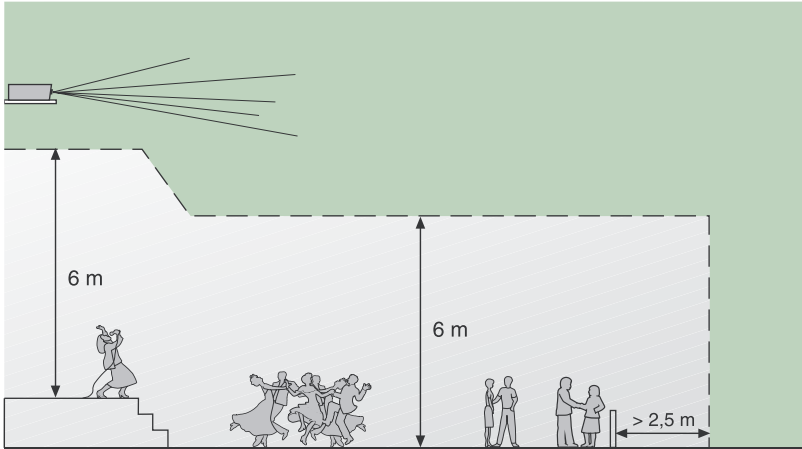
Yleisoesityksissä, kuten viihdetapahtumissa, käytettävät suuritehoiset laserlaitteet voivat aiheuttaa vaaratilanteen erityisesti silloin, jos lasersäde osuu suoraan tai heijastumalla silmään. Tällaisten tilanteiden välttämiseksi Säteilyturvakeskus on julkaissut ohjeen ST 9.4 ”Yleisoesityksissä käytettävien

suuritehoisten laserlaitteistojen säteilyturvallisuus”. Ohjeessa on esitetty laserlaitteistoja, niiden varustelua, asennusta ja käyttöturvallisuutta koskevat säteilyturvallisuusvaatimukset, jotka on otettava huomioon yleisöesityksiä järjestettäessä. Laitteiston rakennetta ja varustelua koskevia vaatimuksia on käsitelty tämän kirjan luvussa 3, kohdissa 3.4–3.6. Asennus- ja käyttöturvallisuusvaatimukset esitetään seuraavaksi tiivistetyssä muodossa.



Kuva 4.3 Lasersäteiden etäisyydet yleisötilasta valvotussa esityksessä

Valvotussa esityksessä lasersäteitä ei saa olla alueella, jota rajaavat turvaetäisyydet ovat kolme metriä pystysuunnassa ja 2,5 metriä vaakasuunnassa (kuvissa harmaa alue).



Kuva 4.4 Lasersäteiden etäisyydet yleisötilasta valvomattomassa esityksessä

Valvomattomassa esityksessä lasersäteitä ei saa olla alueella, jota rajaavat turvaetäisyydet ovat kuusi metriä pystysuunnassa ja 2,5 metriä vaakasuunnassa (kuvassa harmaa alue).

Laserin käyttöpaikalle johtavat kulkureitit on selvästi merkittävä asianmukaisilla varoituskilvillä, kuten kuvassa 3.14 luvussa 3 esitetään. Laitteen käyttäjän ja mahdollisen apuhenkilöstön tulee nähdä ja valvoa koko sitä aluetta, jossa lasersäteet kulkevat. Tällaista esitystilannetta kutsutaan ”valvotuksi esitykseksi”. Tällöin yleisötilassa standardin SFS-EN 60 825-1 mukaiset altistumisen enimmäisarvot eivät saa ylittyä alueella, jossa yleisö voi oleskella kolmen metrin korkeuteen asti eivätkä 2,5 metriin vaakasuorassa suunnassa. Käytännössä tämä yleensä tarkoittaa, että säteitä ei saa esiintyä yleisötilassa (kuva 4.3).

Laserlaitteita saa käyttää ilman jatkuvaa valvontaa vain kuvassa 4.4 esitetyn mukaisesti silloin, kun säteiden korkeus yleisötilasta on yli kuusi metriä eikä sivullisten ole mahdollista päästä muuttamaan säteiden suuntausta. Esimerkkinä tällaisesta ”valvomattomasta esityksestä” on laserin käyttö ulkona, jolloin käyttäjä ei pysty näkemään kaikkien lasersäteiden kulkua.

Lasersädettä ei saa suunnata ihmistä kohti. Säteen osuminen silmään tai iholle on estettävä ja säteen asettamista silmien tasolle on vältettävä. Suojaamattomiin esiintyjiin, laitteiston käyttäjiin ja muihin työntekijöihin kohdistuva säteily ei näytöksen aikana myöskään saa ylittää altistumisen enimmäisarvoja. Ne alueet, joilla enimmäisarvot voivat ylittyä, on määritettävä ja merkittävä mahdollisimman selvästi. Vaara-alueille on estettävä yleisön pääsy sekä niitä on valvottava esityksen aikana. Esitys on keskeytettävä välittömästi

turvallisuutta vaarantavan häiriön sattuessa. Vahingosta tai ilmeisestä vaaratilanteesta on viipymättä ilmoitettava Säteilyturvakeskukselle.

Laitteisto saadaan koota ja suunnata vain tehtävään perehtyneen henkilön valvonnassa. Ennen esitystä on varmistuttava säteiden suuntauksesta ja kaikkien turvalaitteiden toiminnasta pienintä mahdollista tehoa käyttäen. Säteiden kulkuun vaikuttavat peilit, peilipallot ja muut heijastavat pinnat on asennettava kiinteästi ja tukevasti siten, että ne eivät muuta säteiden suuntausta. Tämän lisäksi säteet on päätettävä absorboivaan ja paloturvalliseen materiaaliin.

Sekä laitteiston käyttöturvallisuusohje (Säteilyturvakeskuksen ohje ST 9.4 mukaan lukien) että laitteiston asennusohje on oltava aina laitteiston käyttöpäikällä. Laserlaite saa olla toiminnassa vain tehtävään nimetyn laitteiston käyttöön koulutetun ja laserturvallisuuteen perehtyneen henkilön valvonnassa. Kun laite ei ole toiminnassa, on se lukittava tai sen on oltava lukitussa tilassa.

Yleisoesitysten valvonta

Säteilyturvakeskus valvoo yleisoesityksissä käytettäviä suuritehoisia laserlaitteita ja niiden käytön turvallisuutta laitteiden käyttöpaikoille tehtävillä tarkastuksilla. Suuritehoisiksi laserlaitteiksi luetaan turvallisuusluokkiin 3B ja 4 kuuluvat laserlaitteet, joiden säteilyteho on suurempi kuin viisi milliwattia. Jokaisesta laseresityksestä on ilmoitettava kirjallisesti Säteilyturvakeskukselle ja ulkona pidettävistä esityksistä myös Ilmailulaitos Finavialle. Valvontamenettelyt on esitetty yksityiskohtaisesti ST-ohjeessa 9.4 sekä jäljempänä tämän kirjan luvussa 9.

ESIMERKKI 4.2

Keilaavan vihreän showlaserin enimmäisarvojen laskeminen

Vihreä ($\lambda = 532 \text{ nm}$) 20 mW keilaava laser muodostaa ”tunnelin”. Laserefektiä katsotaan kymmenen metrin etäisyydellä, jossa ”tunnelin” halkaisija on kolme metriä. Kuvion toistotaajuus on $f = 120 \text{ Hz}$ ja säteen divergenssi $\varphi = 0,5 \text{ mrad}$. Ylittyvätkö enimmäisarvot, kun altistuksen oletetaan olevan satunnainen ($T = 0,25 \text{ s}$)?

Koska kyseessä on lyhytaikainen altistus, verrataan altistusta ainoastaan termisen vaurion enimmäisarvoihin. Lasersäteen halkaisija

kymmenen metrin etäisyydellä on noin $10 \text{ m} \cdot 0,0005 = 5 \text{ mm}$, joka on pienempi kuin näkyvän säteilyn rajoittava aukko 7 mm . Altistusarvioinnin kannalta koko säteen teho menee siis silmään. Kuvion keilauksen (skannauksen) aikana säde kulkee useasti silmän yli. Säteen pulssipituus t sen kulkiessa silmän yli saadaan laskemalla ympyrän kehällä kulkevan säteen nopeus ja vertaamalla sitä rajoittavan aukon halkaisijaan 7 mm ,

$$t = \frac{d_a}{2\pi r \cdot f} = \frac{0,007 \text{ m}}{3 \text{ m} \cdot \pi \cdot 120 \text{ Hz}} = 6,2 \text{ } \mu\text{s}. \quad (4.6)$$

Pulssitetulle lähteelle tarkastellaan yksittäisen pulssin, keskimääräisen tehon ja pulssijonon enimmäisarvoja ja käytetään niistä tiukinta. Enimmäisarvot on annettu liitteessä 3.

Yksittäinen pulssi

Yksittäiselle pulssille enimmäisarvo on

$$H_{MPE} = C_6 \cdot 5 \text{ mJ/m}^2. \quad (4.7)$$

Koska kyseessä on pistelähde ($\alpha < 1,5 \text{ mrad}$) on $C_6 = 1$ ja $H_{MPE} = 5 \text{ mJ/m}^2$. Lasersäteen yksittäisen pulssin energiatiheys on

$$H = \frac{20 \text{ mW} \cdot 6,2 \text{ } \mu\text{s}}{(0,0035 \text{ m})^2 \pi} = 3,2 \text{ mJ/m}^2, \quad (4.8)$$

joten altistus yksittäiselle pulssille on alle enimmäisarvon.

Keskimääräinen teho

Enimmäisarvo $0,25 \text{ s}$ altistukselle on

$$H_{MPE} = C_6 \cdot 18 \cdot t^{0,75} \text{ J/m}^2 = 6,36 \text{ J/m}^2. \quad (4.9)$$

Skannauksen aikana säde osuu silmään $0,25 \text{ s}$ aikana 30 kertaa, jolloin $H = 30 \cdot 3,2 \text{ mJ/m}^2 = 96 \text{ mJ/m}^2$, joten altistus on alle keskimääräisen tehon enimmäisarvon.

Pulssijono

Koska säteen pulssinpituus $6,2 \mu\text{s}$ on alle toistuvan altistuksen minimikeston $18 \mu\text{s}$, käytetään altistusaikana minimikestoa $18 \mu\text{s}$. Minimikeston aikana tulevien pulssien teho lasketaan yhteen. Tässä tapauksessa minimikeston aikana ei tule muita pulsseja, joten lasersäteen pulssin energiatiheys on $H = 3,2 \text{ mJ/m}^2$.

Enimmäisarvo pulssijonolle on

$$H_{MPE} = N^{-0,25} \cdot 5 \text{ mJ/m}^2. \quad (4.10)$$

Pulssien lukumäärä N altistuksen aikana on 30, jolloin $H_{MPE} = 30^{-0,25} \cdot 5 \text{ mJ/m}^2 = 2,1 \text{ mJ/m}^2$. Altistus ylittää pulssijonon enimmäisarvon.

Näistä kolmesta ehdosta pulssijonon enimmäisarvo on tiukin ja altistus ylittää lasersäteilylle annetun enimmäisarvon.

4.8 Laserin sotilaskäyttö

Laserteknologian kehittymisen seurauksena laserien käyttö sotilaallisessa tutkimuksessa ja kenttäkäytössä on lisääntynyt. Sotilaskäytössä lasereita käytetään ensisijaisesti laseretäisyysmittareissa etäisyyden määrittämiseen maalista, maalinosoittamiseen ja -paikantamiseen sekä tulituksen tarkkailuun ja tuliaseharjoitteluun. Maalinosoituslasereilla on sotatoimissa tapahtunut silmien sokeutumista ja nämä laserjärjestelmät voivatkin olla huomattavasti haitallisempia silmille kuin asetta simuloivat laserit.

Lasereita, joita käytetään simuloimaan suoraa tulta aseesta, ovat yleensä pienitehoisia laserdiodijärjestelmiä. Näillä lasereilla silmävaurion riski on yleensä suhteellisen pieni, mutta joillakin lasereilla paljaalle silmälle määritetyt altistusraajat voivat ylittyä alle kymmenen metrin etäisyyksillä.

Sotilaskäytössä olevien laitekohtaisten että käytössä noudatettavien säteilyturvallisuusohjeiden tulee perustua voimassa oleviin laserstandardeihin. Kaikille laserin käyttäjille tulee myös antaa laserturvallisuuskoulutusta ennen laserlaitteiden käyttöä.

Suomessa puolustusvoimat huolehtivat lähtökohtaisesti itse puolustusvoimien laserlaitteiden tarkastamisesta ja muun turvallisuusvalvonnan toteutuksesta. Puolustusvoimain asianomaisen yksikön pyynnöstä STUK voi tarkastaa yksittäisen säteilylaitteen tai säteilynkäyttötoiminnan. Tällöin STUK tekee toimenpiteensä asiantuntijaviranomaisena.

Ennen lasereiden käyttöönottoa kenttäolosuhteissa on välttämätöntä, että

- Henkilöstö on koulutettu lasereiden turvalliseen käyttöön.
- Lasereiden turvallisuusluokka on määritetty.
- Turvaetäisyydet on laskettu paljaalle silmälle, katseltaessa kiikareilla tai käytettäessä suojalaseja.
- Laitekohtaisiin käyttöohjeisiin on sisällytetty selkeät tiedot muun muassa laserin turvallisuusluokasta ja turvaetäisyyksistä, suojalaitteista ja varoitoimista.
- Laitteisiin on kiinnitetty turvallisuusluokakohtaiset varoituskilvet.

Lasereiden kenttäkäytössä suositellaan noudatettaviksi tapauskohtaisesti soveltaen seuraavia pääperiaatteita ja varotoimia:

- Huolehditaan, että laserlaitteiden käyttäjät sekä käyttöalueella työskentelevät saavat turvallisuuden kannalta välttämättömät tiedot laitteiston ominaisuuksista, käytöstä, varoitusmerkeistä, henkilökohtaisen suojautumisen tarpeesta sekä muista vaadittavista varoitoimenpiteistä.
- Arvioidaan, heijastukset huomioon ottaen, se alue, jolla silmäaltistusrajat ylittyvät. Tällä alueella käytetään silmiensuojaimia ja suojaamattomien henkilöiden pääsy kyseiselle alueelle estetään.
- Laitteisto saa olla toiminnassa vain laitteiston käyttöön koulutetun ja laserturvallisuuteen perehtyneen henkilön valvonnassa.
- Ennen käyttöä on varmistuttava säteiden suuntauksesta ja kaikkien turvalaitteiden toiminnasta pienintä mahdollista tehoa käyttäen.
- Laitteiston käyttäjän on valvottava koko sitä aluetta, jossa lasersäteet kulkevat. Kun laite ei ole toiminnassa, on se lukittava tai sen on oltava lukitussa tilassa.
- Laitteiden käyttö on keskeytettävä välittömästi säteilyvaaraa aiheuttavan häiriön sattuessa.

Laskuesimerkki sotilaskäytössä olevasta laseretäisyyssmittarin turvaetäisyyden laskemisesta löytyy kirjan lopusta liitteestä I.

KIRJALLISUUTTA

Lasereiden käyttö teollisuuden työstöprosesseissa

Hietanen M, Honkasalo A, Laitinen H, Lindroos L, Welling I, von Nandelstadh P. Evaluation of hazards in CO₂ laser welding and related processes. *Annals of Occupational Hygiene* 36:183–188, 1992.

Hietanen M, Kauhaniemi P, von Nandelstadh P. Teollisuuslasereiden tuot-
tama sekundäärisäteily. Tutkimusraportti. Työterveyslaitos, Helsinki, 1997.

Hurup K, Glansholm A, Hietanen M, von Nandelstadh P, Schröder K. Secondary radiation associated with laser material processing. *Proceedings of the Industrial Laser Safety Forum '95, May 3–5, Copenhagen, 90–99, 1995.*

Laserin käyttö lääketieteessä

Henderson R, Schulmeister, K. *Laser Safety*. Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2004.

IEC. Medical electrical equipment – Part 22: Particular requirements for basic safety and essential performance of surgical, cosmetic, therapeutic and diagnostic laser equipment. IEC 60601-2-22:2007–05. Third edition. Geneva: IEC, 2007.

IEC TR 60825–8:2006-12. Second edition. Safety of laser products – Part 8: Guidelines for the safe use of laser beams on humans. Geneva: IEC, 2006.

Laki terveydenhuollon laitteista ja tarvikkeista (1505/1994).

Viherkoski E. Laserit lääketieteessä. Kirjassa: Sora T, Antikainen P, Laisalmi M, Vierula S, toim. *Sairaanhoidon teknologia*, 207–212; WSOY, Helsinki, 2002.

Laserin käyttö kosmetiikassa

Bruzell EM. Spør NIOM. Herdelamper og øyeskader. *Nor Tannlegeforen Tid* 2004; 114:138–139; *Tandlægebladet* 2004; 108: 238–239; *Tandläkartidningen* 2004; 96: 56-8; *Suomen Hammaslääkärilehti*, 7: 440–442, 2004.

Bruzell Roll E, Jacobsen N, Hensten-Pettersen A. Health hazards associated with curing light in the dental clinic. *Clinical Oral Investigation*, 8: 113–117, 2004.

Luk K, Tam L, Hubert M. Effect of light energy on peroxide tooth bleaching. *Journal of American Dental Association*, 135: 194–201, 2004.

Valtonen, EJ. Soft laser – vuosikymmenen suurin lääketieteellinen huijaus. Suomen Lääkärilehti, 13/1990 vsk 45, 1267–1269, 1990.

Laserin käyttö tietoliikenteessä

Henderson R, Schulmeister, K. Laser Safety. Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2004.

IEC. Safety of laser products – Part 2: Safety of optical laser communication systems (OFCS). IEC 60825–2:2007-01. Edition 3.1. Geneva: IEC, 2007.

Laserin käyttö kuluttajatuotteissa, opetuksessa ja viihteessä

Asetus ionisoimattoman säteilyn valvonnasta (1306/1993).

Asetus ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta. Asetus perusteluineen. Säteilysuojelu, Säteilyturvakeskus, Helsinki, 2002.

CENELEC. Safety of laser products - Part 1: Equipment classification and requirements. EN 60825-1.

Henderson R, Schulmeister, K. Laser Safety. Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, 2004.

IEC. Safety of laser products - Part 3: Guidance for laser displays and shows. IEC/TR 60825-3:2008-03. Edition 2.0. Geneva: IEC, 2008.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus ionisoimattoman säteilyn väestölle aiheuttaman altistumisen rajoittamisesta (294/2002).

Säteilylaki (592/1991).

Valtioneuvoston asetus laserlaitteista ja niiden tarkastuksesta (291/2008).

Viranomaisohjeet, ST 9.4 Yleisoesityksissä käytettävien suuritehoisten laserlaitteistojen säteilyturvallisuus, Helsinki, 2007.

Vuorisalo K, Jokela K. Laser ja sen sovellukset Suomessa. STL-B 40. Säteilyturvallisuuslaitos, Helsinki, 1982.

Laserin sotilaskäyttö

Sliney DH, Wolbarsht ML. Safety with lasers and other optical sources. A comprehensive handbook. Plenum Press, New York, 1980.