ΠΗΓΕΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΕ ΑΙΣΘΗΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΨΥΧΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ: ΜΕΤΡΟΛΟΓΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ

Ασπασία Πετρή και Ευθύμιος Καραμπέτσος
Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Γραφείο Μη Ιοντιζουσών Ακτινοβολιών,
Πατριάρχου Γρηγορίου και Νεαπόλεως, Αγία Παρασκευή, Τ.Θ. 60092, Τ.Κ. 15310
e-mail: aspasia.petri@eeae.gr

Περίληψη

Η έκθεση σε πηγές οπτικής ακτινοβολίας, σε αισθητικές και ψυχαγωγικές εφαρμογές, είναι ευρεία και στη χώρα μας. Πηγές σύμφωνης οπτικής ακτινοβολίας, δηλαδή lasers, χρησιμοποιούνται σε δημοφιλείς εφαρμογές αισθητικής, όπως είναι η αποτρίχωση, αλλά και για την παραγωγή οπτικών θεαμάτων για το κοινό, όπως είναι τα laser shows. Πηγές ασύμφωνης οπτικής ακτινοβολίας, κυρίως IPLs (Intense Pulsed Light sources) και LEDs (Light Emitting Diodes), επίσης χρησιμοποιούνται σε δημοφιλείς αισθητικές πρακτικές, όπως είναι η αποτρίχωση και οι διάφορες τεχνικές για αντιγήρανση. Επιπλέον, κυκλοφορούν στο εμπόριο και διατίθενται ελεύθερα στο κοινό φορητές συσκευές οπτικών ακτινοβολιών για αισθητικές εφαρμογές.
Η ΕΕΑΕ, στο πλαίσιο του προγράμματος «ΑΥΡΑ», προβαίνει σε έλεγχο της αγοράς προκειμένου να αξιολογήσει την έκθεση του κοινού σε πηγές οπτικών ακτινοβολιών, σε αισθητικές και ψυχαγωγικές εφαρμογές, από πλευράς ακτινοπροστασίας. Για το σκοπό αυτό καταγράφει τις πηγές οπτικών ακτινοβολιών που χρησιμοποιούνται στις εν λόγω εφαρμογές και ελέγχει τη συμμόρφωσή τους με τις οριακές τιμές έκθεσης. Προκειμένου να υλοποιηθεί ο έλεγχος συμμόρφωσης εντοπίστηκαν και αναλύθηκαν τα ειδικά μετρολογικά προβλήματα που υπεισέρχονται στις επιτόπιες μετρήσεις των πηγών οπτικής ακτινοβολίας σε χώρους αισθητικής και ψυχαγωγίας.
Στην παρούσα εργασία αξιολογείται η διακινδύνευση από την έκθεση σε πηγές οπτικής ακτινοβολίας σε αισθητικές και ψυχαγωγικές εφαρμογές. Η έκθεση σε ακτινοβολία laser σε laser shows κρίθηκε ως η πιο επικίνδυνη περίπτωση έκθεσης. Οι επιτόπιες μετρήσεις ακτινοβολίας laser σε laser shows είναι αναγκαίες για την αξιολόγηση της διακινδύνευσης κάθε εμπλεκόμενου (κοινό, καλλιτέχνες, εργαζόμενοι) ξεχωριστά. Για το λόγο αυτό αναπτύσσονται τα μετρολογικά ζητήματα που προκύπτουν. Συγκεκριμένα: υπάρχουν πρότυπα ειδικά για τις μετρήσεις αυτές; Ποια είναι τα μεγέθη που πρέπει να μετρηθούν δεδομένου ότι υπάρχουν οριακές τιμές έκθεσης; Ποιος είναι ο κατάλληλος εξοπλισμός μέτρησης και ποια η μεθοδολογία μέτρησης laser σε laser shows προκειμένου να μετρηθούν τα μεγέθη που απαιτούνται για τον έλεγχο συμμόρφωσης με τις οριακές τιμές έκθεσης σε ακτινοβολία laser;

Λέξεις-Κλειδιά: οπτική ακτινοβολία, laser, αξιολόγηση διακινδύνευσης, μετρολογικά ζητήματα

Abstract

The exposure to a wide range of artificial optical radiation sources in the aesthetics and the entertainment industry is prevailing in the country. Coherent light sources, namely lasers, are used in popular cosmetic procedures, such as hair removal, and in laser light shows. Non coherent light sources mainly Intense Pulsed Light sources (IPLs) and Light Emitting

Diodes (LEDs) are also routinely used in various mainstream cosmetic procedures, including hair removal and skin rejuvenation. Also, home-use IPLs for hair removal are commercially available and are becoming increasingly popular.
Herein, the risk from exposure to artificial optical radiation sources that are used in the cosmetic and the entertainment industry is assessed. Risk assessment revealed the exposure to laser radiation at laser shows as the most hazardous one. In situ laser radiation measurements at laser shows are necessary in order to assess the risk for the general public, the performers and the technicians individually. For this purpose the metrological problems that arise are presented and discussed. Indicatively: Do relevant measurements standards exist? Which quantities should be measured in order to evaluate compliance with the exposure limits to laser radiation? Which is the most suitable measuring equipment and measurements methodology in order to assess compliance with the exposure limits to laser radiation during laser shows?

Keywords: optical radiation, laser, risk assessment, metrological problems.

1. Εισαγωγή

Πλήθος πηγών οπτικής ακτινοβολίας, μικρού σχετικά κόστους, έχουν γίνει εμπορικά διαθέσιμες τις τελευταίες δεκαετίες χάρη στην τεχνολογική πρόοδο. Οι πηγές της οπτικής ακτινοβολίας διακρίνονται σε σύμφωνες και ασύμφωνες (Κουρής 2016). Πηγές σύμφωνης οπτικής ακτινοβολίας είναι τα laser. Πηγές ασύμφωνης ακτινοβολίας είναι όλες οι υπόλοιπες πηγές οπτικής ακτινοβολίας, δηλαδή οι λαμπτήρες, οι δίοδοι εκπομπής φωτός (Light Emitting Diodes, LEDs) και οι πηγές έντονου παλμικού φωτός (Intense Pulsed Light sources, IPLs). Χρησιμοποιούνται σε μεγάλο φάσμα εφαρμογών από τη βιομηχανία και την ιατρική μέχρι τις επικοινωνίες και την ψυχαγωγία.

Το κοινό μπορεί καθημερινά να έχει πρόσβαση ή να εκτεθεί σε πιθανά ισχυρή οπτική ακτινοβολία, ακόμη και χωρίς να το γνωρίζει. Τέτοιες περιπτώσεις έκθεσης εντοπίζονται σε αισθητικές και σε ψυχαγωγικές εφαρμογές. Σε περιζήτητες αισθητικές εφαρμογές, όπως είναι η αποτρίχωση και οι θεραπείες αντιγήρανσης, χρησιμοποιούνται laser, IPLs και LEDs. Η αποτρίχωση με laser ή IPL είναι η πιο δημοφιλής και συχνή αισθητική εφαρμογή. Τα τελευταία χρόνια μάλιστα κυκλοφορούν στο εμπόριο και διατίθενται ελεύθερα στο κοινό φορητές συσκευές οπτικών ακτινοβολιών, κυρίως IPLs, για αποτρίχωση. Στον τομέα της ψυχαγωγίας χρησιμοποιούνται laser για την παραγωγή οπτικών εφέ (laser shows) σε ανοιχτούς ή κλειστούς χώρους, όπου συγκεντρώνονται εκατοντάδες ή χιλιάδες άνθρωποι. Κάθε μια από τις εφαρμογές αυτές μπορεί να εκθέσει το κοινό – είτε πρόκειται για καταναλωτή, για πελάτη ή για θεατή – αλλά και τους εργαζόμενους σε κίνδυνο εξαιτίας της έκθεσης σε οπτική ακτινοβολία. Έχουν καταγραφεί βλάβες του δέρματος (εγκαύματα, φουσκάλες, αλλαγές στο χρώμα του δέρματος) και των ματιών από πηγές οπτικής ακτινοβολίας στην αισθητική, αλλά και βλάβες στα μάτια σε laser shows (Arpansa 2017, Murphy & Makhov 2012).

Η χρήση των πηγών οπτικής ακτινοβολίας σε αισθητικές και ψυχαγωγικές εφαρμογές είναι κατά βάση ανεξέλεγκτη στη χώρα μας. Δεν απαιτούνται ειδικά προσόντα για τους χειριστές των πηγών οπτικής ακτινοβολίας σε αισθητικές εφαρμογές. Μόνη εξαίρεση αποτελούν οι χειριστές των laser για αποτρίχωση, οι οποίοι σύμφωνα με την εγκύκλιο του Υπουργού Υγείας με Α.Π.:1517/19-4-2017 πρέπει να είναι δερματολόγοι, πλαστικοί χειρουργοί ή αισθητικοί των ΑΤΕΙ. Στα κέντρα αισθητικής ωστόσο, τα laser για αποτρίχωση πολλές φορές τα χειρίζονται άτομα τα οποία δεν έχουν την απαιτούμενη εξειδίκευση. Επιπλέον εκτελούνται και άλλες αισθητικές πράξεις με laser, όπως θεραπείες

αντιγήρανσης ή αφαίρεση τατουάζ. Επίσης, πολλές από τις αισθητικές πράξεις γίνονται με IPL ή LED. Ούτε για τους χειριστές των laser στα laser shows απαιτούνται ειδικά προσόντα. Οι απαραίτητες γνώσεις για την ασφαλή χρήση των laser, των IPL και των LED προέρχονται κυρίως από τους κατασκευαστές των πηγών. Όλες οι παραπάνω περιπτώσεις αφορούν χρήση των πηγών οπτικής ακτινοβολίας από κάποιου είδους επαγγελματία. Διατίθενται όμως ελεύθερα στο εμπόριο συσκευές laser ή IPL για αποτρίχωση, με μικρό σχετικά κόστος, τις οποίες μπορεί να αγοράσει και να χρησιμοποιεί ο καθένας μόνος του, χωρίς να υπάρχει κάποια ειδική απαίτηση ή προϋπόθεση για την προμήθειά τους.

Στην Ελλάδα λοιπόν: α) η χρήση των πηγών οπτικής ακτινοβολίας σε αισθητικές και ψυχαγωγικές εφαρμογές είναι ευρεία, β) μεγάλος αριθμός ατόμων εκτίθεται σε αυτές καθημερινά, γ) δεν υπάρχει σαφές πλαίσιο όσον αφορά την ασφάλεια της χρήσης τους και δ) υπάρχουν αμφιβολίες για την επάρκεια της κατάρτισης των χειριστών των εν λόγω πηγών. Ως εκ τούτων, χρειάζεται να αξιολογηθεί η διακινδύνευση του κοινού και των εργαζομένων εξαιτίας της έκθεσης σε πηγές οπτικής ακτινοβολίας σε αισθητικές και ψυχαγωγικές εφαρμογές. Η ΕΕΑΕ, στο πλαίσιο του προγράμματος «Αξιολόγηση των δραστηριοτήτων σε εθνικό επίπεδο για την προστασία από τις ιοντίζουσες και τις μη ιοντίζουσες ακτινοβολίες – Δράσεις ευαισθητοποίησης» με την κωδική ονομασία ΑΥΡΑ (ΕΠΑνΕΚ 2014-2020), προβαίνει σε έλεγχο της αγοράς προκειμένου να αξιολογήσει την έκθεση του κοινού σε πηγές οπτικών ακτινοβολιών, σε αισθητικές και ψυχαγωγικές εφαρμογές, από πλευράς ακτινοπροστασίας. Η αξιολόγηση της διακινδύνευσης γίνεται συνυπολογίζοντας τη σοβαρότητα των βλαβών που μπορεί να προκύψουν από την έκθεση στην οπτική ακτινοβολία και την πιθανότητα εμφάνισης των βλαβών αυτών ανά εφαρμογή (αισθητική, ψυχαγωγία) και πηγή (laser, IPL, LED).

2. Αξιολόγηση διακινδύνευσης σε πηγές οπτικής ακτινοβολίας σε αισθητικές και ψυχαγωγικές εφαρμογές

2.1 Αναγνώριση κινδύνων

Η οπτική ακτινοβολία είναι μη ιοντίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, με ενέργεια μικρότερη από τις ακτίνες Χ και μεγαλύτερη από τα μικροκύματα. Αποτελείται από την υπεριώδη (100 – 400 nm), την ορατή (380 – 780 nm) και την υπέρυθρη (780 nm – 1 mm) ακτινοβολία. Απορροφάται από τους εξωτερικούς ιστούς του σώματος, δηλαδή το δέρμα και τα μάτια, οπότε οι επιπτώσεις της περιορίζονται κυρίως σε αυτούς. Οι κίνδυνοι που εγκυμονεί εξαρτώνται κύρια από το μήκος κύματος και από την ποσότητα της ενέργειας που απορροφάται. Η σοβαρότητα της επίπτωσης εξαρτάται από το μήκος κύματος, την πυκνότητα ισχύος, τη διάρκεια της έκθεσης, τη διάμετρο της δέσμης και το είδος του ιστού (Lynga & Urban 2017).

Η ακτινοβολία laser μπορεί να εστιαστεί σε πολύ μικρή επιφάνεια αλλά και να διαδοθεί σε πολύ μεγάλες αποστάσεις χωρίς ιδιαίτερη εξασθένηση. Μπορεί δηλαδή να βλάψει τα μάτια και το δέρμα ακόμα και από μεγάλες αποστάσεις (Κουρής 2016, Lynga & Urban 2017). Και η ακτινοβολία των LEDs μπορεί να εστιαστεί σε μικρές περιοχές, με συνέπεια να μπορεί να βλάψει τα μάτια ακόμη και εάν είναι σχετικά χαμηλή. Οι πηγές IPL εκπέμπουν ισχυρούς παλμούς ασύμφωνου φωτός και αποτελούν κίνδυνο για τα μάτια και το δέρμα, εξαιτίας της μεγάλης έντασης και του ευρέος φάσματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας (Lynga & Urban 2017).

Με το Π.Δ. 82/2010 (ΦΕΚ 145/Α/1-9-2010) έχει ενσωματωθεί στο ελληνικό δίκαιο η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2006/25/ΕΚ, η οποία καθορίζει τις οριακές τιμές έκθεσης σε σύμφωνη και ασύμφωνη οπτική ακτινοβολία για τους επαγγελματικά εκτιθέμενους. Η International

Commission on Non Radiation Protection (ICNIRP) ωστόσο, η οποία έχει ορίσει τα όρια έκθεσης και από την οποία η Ευρωπαϊκή Οδηγία υιοθέτησε τις οριακές τιμές έκθεσης, δεν διακρίνει ανάμεσα στους επαγγελματικά εκτιθέμενους και το κοινό. Οι οριακές τιμές έκθεσης είναι οι ίδιες για κάθε κατηγορία πληθυσμού.

Τα χαρακτηριστικά της έκθεσης σε πηγές οπτικής ακτινοβολίας σε αισθητικές εφαρμογές είναι διαφορετικά από ότι σε ψυχαγωγικές εφαρμογές. Η βασική διαφορά έγκειται στο είδος της έκθεσης, δηλαδή αν είναι ηθελημένη ή ακούσια. Στις αισθητικές εφαρμογές, η έκθεση είναι ηθελημένη. Ο σκοπός της έκθεσης σε laser, IPL ή LED είναι το αισθητικό αποτέλεσμα. Ο πελάτης δηλαδή επιλέγει μόνος του να υποβληθεί σε μια αισθητική εφαρμογή laser, IPL ή LED και μάλιστα πληρώνει για την υπηρεσία αυτή. Επίσης οι καταναλωτές για να κάνουν αποτρίχωση μόνοι τους, στην άνεση του σπιτιού τους, επιλέγουν να αγοράσουν και χρησιμοποιούν συσκευές αποτρίχωσης laser ή IPL. Το κοινό δηλαδή (ως πελάτης ή ως καταναλωτής) επιλέγει να εκτεθεί και γνωρίζει ότι εκτίθεται σε ακτινοβολία, μολονότι ενδεχομένως δεν έχει επίγνωση των κινδύνων που αυτή ενέχει.

Στις ψυχαγωγικές εφαρμογές, αντίθετα, η έκθεση είναι ακούσια. Το κοινό επιλέγει και πηγαίνει για να παρακολουθήσει ένα θέαμα (συναυλία, παράσταση κ.α.), στο οποίο παράλληλα γίνεται laser show. Δεν επιλέγει να εκτεθεί σε ακτινοβολία για να διασκεδάσει. Πολλές φορές μάλιστα μπορεί να μην το έχουν ενημερώσει ότι εκτίθεται σε ακτινοβολία laser, ούτε ερωτάται για το αν θέλει να εκτεθεί, ούτε φυσικά έχει πληρώσει για να εκτεθεί. Είναι ανάλογη, για παράδειγμα, με την έκθεση του χρήστη του κινητού τηλεφώνου στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του κινητού - σκοπός της χρήσης του είναι η επικοινωνία, όχι η έκθεση του χρήστη.

Μια δεύτερη διαφορά εντοπίζεται στο ότι σε αισθητικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται κυρίως laser κλάσης 1C. Laser της κλάσης 1C είναι laser κλάσης 3 ή 4 τα οποία εκπέμπουν μόνο όταν είναι σε επαφή με τον ιστό στόχο (π.χ. δέρμα). Η ακτινοβολία τους περιορίζεται με μηχανικά μέσα ώστε η έκθεση των ματιών να μην είναι δυνατή υπό ευλόγως προβλέψιμες συνθήκες και να μην υπάρχει διαρροή ακτινοβολίας (ΕΛΟΤ ΕΝ 60825-1:2014). Το γεγονός αυτό προκαλεί τεχνικές και πρακτικές δυσκολίες όσον αφορά τις επιτόπιες μετρήσεις ακτινοβολίας laser σε ινστιτούτα αισθητικής για τον προσδιορισμό των επιπέδων έκθεσης του εκτιθέμενου. Πρέπει καταρχάς να εντοπιστεί ένα ευλόγως πιθανό σενάριο τυχαίας ή μη σκόπιμης έκθεσης. Εξαιτίας όμως του τρόπου λειτουργίας των laser κλάσης 1C δεν είναι ρεαλιστικό ένα εύλογο πιθανό σενάριο τυχαίας έκθεσης. Επίσης είναι πρακτικά δύσκολο να δεσμεύσει κανείς χώρο και χρόνο στα ινστιτούτα αισθητικής προκειμένου να κάνει μετρήσεις. Ο πρώτος λόγος είναι ότι αυτό έχει μεγάλο οικονομικό κόστος για την επιχείρηση. Επίσης οι ιδιοκτήτες είναι απρόθυμοι να επιτρέψουν μετρήσεις από τη στιγμή που δεν υπάρχει νομοθεσία για να τις επιβάλλει.

Αντίθετα, είναι εφικτό να γίνουν μετρήσεις της έκθεσης σε ακτινοβολία laser σε laser shows καθώς η πρόσβαση είναι σε αυτά είναι σχετικά απρόσκοπτη. Οι μετρήσεις μπορεί να γίνουν κατά τη διάρκεια των προετοιμασιών, όπου υπάρχει σχετική άνεση χρόνου και χώρου για να υλοποιηθούν. Μπορεί δηλαδή να μελετηθεί ο χώρος, το που είναι εγκατεστημένο το laser, που κατευθύνονται οι δέσμες, που στέκονται και κινούνται οι θεατές και οι εργαζόμενοι, ποια είναι τα χειρότερα σενάρια έκθεσης ξεχωριστά για κάθε κατηγορία εκτιθέμενων. Με τον τρόπο αυτό δεν παρεμποδίζεται η εκδήλωση.

Τέλος, στα ινστιτούτα αισθητικής πηγαίνει κάποιος μόνος του για να εκτεθεί στην ακτινοβολία. Σε περίπτωση ατυχήματος μπορεί να εκτεθούν στην οπτική ακτινοβολία το πολύ δυο άνθρωποι, ο χειριστής και ο πελάτης. Αντίθετα, στα laser shows εκτίθενται στην ακτινοβολία laser ταυτόχρονα εκατοντάδες ή χιλιάδες άνθρωποι.

Για τους παραπάνω λόγους η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην αξιολόγηση της διακινδύνευσης από ακτινοβολία laser σε laser shows.

2.2 Αξιολόγηση διακινδύνευσης των laser σε laser shows

Τα laser shows λαμβάνουν χώρα είτε σε ανοιχτούς χώρους (π.χ. γήπεδα) είτε σε κλειστούς χώρους (π.χ. αίθουσες συναυλιών, κλαμπ). Οι δέσμες laser δημιουργούν διάφορους σχηματισμούς πάνω από τους θεατές ή σαρώνουν τους θεατές.

Στα laser shows χρησιμοποιούνται CW laser που εκπέμπουν ορατή ακτινοβολία. Χρησιμοποιούνται laser κλάσης 3B, στα οποία η ισχύς της ακτινοβολίας εκπομπής είναι από 5 έως 500 mW, και κλάσης 4, στα οποία η ισχύς της ακτινοβολίας εκπομπής είναι μεγαλύτερη από 500 mW και μπορεί να ξεπεράσει τα 40 W. Μερικά laser χαμηλού κόστους μπορεί να είναι κλάσης 3R, στα οποία η εκπεμπόμενη ισχύς είναι από 1 έως 5 mW. Στην ελληνική αγορά διατίθενται laser ισχύος από 40 mW μέχρι 5 W (http://www.djshop.gr/pl/lasers-6141.htm?lang=el&path=-1427713295). Μπορεί να χρησιμοποιηθούν ωστόσο και laser με εκπομπή στο υπεριώδες (200 - 400 nm) για προκαλέσουν φθορισμό σε ειδικούς στόχους. Την τελευταία δεκαετία, εξαιτίας της μεγάλης μείωσης του κόστους παραγωγής, του μεγέθους και της ισχύος τροφοδοσίας, άλλαξε ο τρόπος χρήσης και ο αριθμός των laser στα laser shows. Ενώ δέκα χρόνια παλαιότερα σε μια τυπική συναυλία χρησιμοποιούνταν λιγότερα από 10 laser με ισχύ μέχρι 10 W, το 2017 χρησιμοποιούνταν 30 με 40 laser ισχύος μεγαλύτερης από 30 W. Επίσης είναι εμπορικά διαθέσιμα πολλά φτηνά laser ισχύος 1 με 2 W τα οποία χρησιμοποιούνται σε μικρούς χώρους διασκέδασης (π..χ. κλαμπ), δημιουργώντας μια νέα κατηγορία χρηστών. https://www.laserstoday.com/2017/06/laser-safety-in-entertainment-applications/).

Δεδομένου ότι πλέον χρησιμοποιούνται περισσότερα, φθηνότερα και μεγαλύτερης ισχύος laser σε περισσότερες περιπτώσεις και ο αριθμός των ατόμων που εκτίθεται είναι μεγαλύτερος σε σχέση με το παρελθόν είναι αναγκαίο, να αξιολογηθεί προσεκτικά η διακινδύνευση στα laser shows εξαιτίας της έκθεσης σε ακτινοβολία laser. Η αξιολόγηση της διακινδύνευσης από τα laser σε laser shows ακολουθεί στους παρακάτω Πίνακες 1 - 4.

Πίνακας 1. Αναγνώριση κινδύνων laser σε laser shows

Κίνδυνοι laser (Lynga & Urban 2017, ΕΛΟΤ EN 60825-1:2014)	
Κλάση 3R	Χαμηλός κίνδυνος για τα μάτια. Κανένας για το δέρμα. Η οριακή τιμή έκθεσης μπορεί να ξεπεραστεί αν δει κανείς άμεσα τη δέσμη όμως ο κίνδυνος τραυματισμού είναι μικρός
Κλάση 3B	Η άμεση θέαση της δέσμης ενέχει κίνδυνο για τα μάτια αλλά δεν υπάρχει κάποιος κίνδυνος από τις διάχυτες ανακλάσεις. Ορισμένα ισχυρά laser της κλάσης 3B μπορεί να προκαλέσουν μικροτραυματισμούς στο δέρμα
Κλάση 4	Η άμεση θέαση της δέσμης καθώς και η θέαση διάχυτων ανακλάσεων είναι επικίνδυνη για τα μάτια. Υπάρχουν κίνδυνοι και για το δέρμα. Τα laser κλάσης 4 μπορούν να κόψουν και να κάψουν το δέρμα. Επιπλέον, μπορούν να προκαλέσουν ανάφλεξη εύφλεκτων υλικών αλλά και φωτιά

Πίνακας 2: Συχνότητα εμφάνισης και σοβαρότητα των παραγόντων κινδύνου στα laser shows

ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ	
3 Συχνή	5 ή περισσότερες φορές κάθε 2 χρόνια
2 Περιστασιακή	1 έως 5 φορές κάθε 2 χρόνια
1 Σπάνια	Έως μία φορά κάθε 2 χρόνια
ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑ ΒΛΑΒΗΣ	
3 Κρίσιμη	Έγκαυμα στα μάτια –Σημαντική μείωση ή απώλεια της όρασης

	Έγκαυμα στο δέρμα Νοσηλεία σε νοσοκομείο Μόνιμη αναπηρία με δυσμενείς επιπτώσεις στην επαγγελματική και κοινωνική ζωή
2 Σημαντική	Βλάβη στα μάτια Ερύθημα στο δέρμα Απαραίτητη η ιατρική φροντίδα Αδυναμία άμεσης επιστροφής στην επαγγελματική και κοινωνική ζωή εξαιτίας της βλάβης (π.χ. επιστροφή μετά από μια εβδομάδα)
1 Ασήμαντη / Αμελητέα	Παροδική ενόχληση στα μάτια (π.χ. θολή όραση). Αποκατάσταση της όρασης μέσα σε 2-3 h Ελαφρύ ερύθημα στο δέρμα Μπορεί να χρειαστούν πρώτες βοήθειες αλλά συνήθως δεν απαιτείται ιατρική φροντίδα Άμεση επιστροφή στην εργασία και στις υπόλοιπες δραστηριότητες.

Πίνακας 3: Κατάταξη και Αξιολόγηση της διακινδύνευσης

ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ / ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ		**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ / ΕΠΙΠΕΔΟ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ**					
	Μη αποδεκτή διακινδύνευση / Απαιτείται η άμεση αντιμετώπιση της διακινδύνευσης με κατάλληλες διορθωτικές ενέργειες και η παρακολούθηση αυτών	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ	3			
	Σοβαρή διακινδύνευση / Απαιτείται η παρακολούθηση της διακινδύνευσης και ενδεχομένως η λήψη διορθωτικών ενεργειών		2			
	Αποδεκτή διακινδύνευση / Συνήθως απαιτείται η παρακολούθηση της διακινδύνευσης		1			
				1	2	3
				ΣΟΒΑΡΟΤΗΤΑ		

Πίνακας 4: Διεργασία διαχείρισης της διακινδύνευσης των laser σε laser shows (ΕΛΟΤ ISO 31000 : 2014)

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ	
Περιγραφή & αιτία διακινδύνευσης	• Το laser να βρίσκεται σε χώρο εύκολα και άμεσα προσβάσιμο από το κοινό και τους εργαζόμενους. Ως εκ τούτου, κάποιος από τους εμπλεκόμενους μπορεί να βρεθεί μπροστά στην έξοδο του laser την ώρα που αυτό ακτινοβολεί. • Όχι σωστός προσανατολισμός της δέσμης laser, δηλαδή η δέσμη να έχει προσανατολιστεί στο επίπεδο των θεατών ή το επίπεδο της σκηνής. Ως εκ τούτου, η ακτινοβολία μπορεί να πλήξει τους θεατές, τους καλλιτέχνες ή τους υπόλοιπους εργαζόμενους στο χώρο.
Εμπλεκόμενα/ενδιαφερόμενα μέρη	Θεατές (κοινό), καλλιτέχνες, χειριστές laser, λοιποί εργαζόμενοι
Υπάρχουσες ενέργειες / μέτρα ελέγχου-χειρισμού της διακινδύνευσης	Οι οδηγίες ασφαλούς χρήσης δίνονται από τον κατασκευαστή Εμπειρική γνώση του χειρισμού, της τοποθέτησης και του προσανατολισμού της δέσμης laser
Επίπεδο υπαρχόντων μέτρων	Ανύπαρκτο

ελέγχου: (Ανύπαρκτο, Χαμηλό, Μεσαίο, Υψηλό, Πολύ υψηλό)	
ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ	
Συχνότητα εμφάνισης	Περιστασιακή
Σοβαρότητα	Σημαντική
Αξιολόγηση/επίπεδο διακινδύνευσης	Σοβαρή διακινδύνευση
Αποτίμηση της διακινδύνευσης	Απαιτείται η παρακολούθηση της διακινδύνευσης και ενδεχομένως η λήψη διορθωτικών ενεργειών
ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ	
Διορθωτικές ενέργειες / μέτρα αντιμετώπισης και παρακολούθησης της διακινδύνευσης/ χρόνος/υπεύθυνος/απαιτήσεις	Νομοθεσία για τη ρύθμιση της ασφάλειας από πλευράς ακτινοπροστασίας στα laser shows η οποία μεταξύ άλλων θα προβλέπει τα εξής: • Μελέτες εγκατάστασης και προσανατολισμού της δέσμης laser • Μετρήσεις στα σημεία όπου μπορεί να βρεθούν οι εμπλεκόμενοι προκειμένου να αξιολογηθεί η μελέτη • Εκπαίδευση των χειριστών • Προειδοποιητικές πινακίδες
ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ	
Συχνότητα εμφάνισης	Σπάνια
Σοβαρότητα	Σημαντική
Αξιολόγηση/επίπεδο διακινδύνευσης	Αποδεκτή διακινδύνευση
Αποτίμηση διακινδύνευσης	Απαιτείται η παρακολούθησή της
ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ	
Απροειδοποίητοι έλεγχοι (επιτόπιες μετρήσεις για τον προσδιορισμό της έκθεσης και συμμόρφωση ή όχι με τα δηλωθέντα στη μελέτη) μια φορά το χρόνο Συνεχιζόμενη εκπαίδευση των χειριστών	

3. Μετρολογικά ζητήματα μετρήσεων laser σε laser shows

Στη χώρα μας δεν γίνονται μελέτες εγκατάστασης και λειτουργίας laser σε laser shows, ούτε οι εγκαταστάτες ή οι χειριστές τους είναι εκπαιδευμένοι. Γενικότερα δεν υφίσταται νομοθετικό πλαίσιο το οποίο να ρυθμίζει τα θέματα ακτινοπροστασίας από τα laser σε laser shows. Επιπλέον η αξιολόγηση της διακινδύνευσης δε μπορεί να γίνει με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά των laser που δίνει ο κατασκευαστής γιατί αυτά δεν είναι πάντα επαρκή ή αξιόπιστα. Ακόμη και όταν είναι επαρκή, ο τρόπος χειρισμού της δέσμης laser μπορεί να μεταβάλει τα επίπεδα της ακτινοβολίας του. Ως εκ τούτων οι επιτόπιες μετρήσεις είναι το μόνο αξιόπιστο μέσο προσδιορισμού της έκθεσης σε ακτινοβολία laser προκειμένου να αξιολογηθεί το επίπεδο διακινδύνευσης στα laser shows για κάθε εμπλεκόμενο ξεχωριστά. Οι επιτόπιες μετρήσεις ακτινοβολίας laser σε laser shows είναι απαραίτητες για να ληφθούν πληροφορίες για την πραγματική έκθεση κάθε εμπλεκόμενου (θεατής, καλλιτέχνης, εργαζόμενος) στο χώρο που κινείται (πλατεία, θεωρεία, σκηνή, κτλ).

Εφόσον οι μετρήσεις έχουν νόημα και είναι αναγκαίο να γίνουν, το μετρολογικό ερώτημα που τίθεται εύλογα στη συνέχεια είναι εάν οι μετρήσεις είναι εφικτές. Δηλαδή, αν είναι πρακτικά δυνατό να υλοποιηθούν επιτόπιες μετρήσεις ακτινοβολίας laser σε laser shows Το ερώτημα αυτό συγκροτείται από μια σειρά επιμέρους μετρολογικών ζητημάτων (ΜΖ).

ΜΖ 1. Υπάρχουν πρότυπα ειδικά για τις μετρήσεις laser σε laser shows;

ΜΖ 2. Ποια είναι τα μεγέθη τα οποία χρειάζεται να μετρηθούν για την εκτίμηση της έκθεσης στην ακτινοβολία laser σε laser shows, δεδομένου ότι υπάρχουν οριακές τιμές έκθεσης σε ακτινοβολία laser (Ευρωπαϊκή Οδηγία 2006/25/ΕΚ);

ΜΖ 3. Υπάρχει κατάλληλος εξοπλισμός μέτρησης ακτινοβολίας laser σε laser shows προκειμένου να μετρηθούν τα μεγέθη που απαιτούνται για τον έλεγχο συμμόρφωσης με τις ανωτέρω οριακές τιμές έκθεσης σε σύμφωνη ακτινοβολία;

ΜΖ 4. Ποια η μεθοδολογία μέτρησης ακτινοβολίας laser σε laser shows; Σε ποια σημεία πρέπει να γίνουν μετρήσεις; Ποια είναι δηλαδή τα πιθανά σενάρια έκθεσης;

Η προσέγγιση που αναπτύσσει η ΕΕΑΕ στο πλαίσιο του προγράμματος «ΑΥΡΑ» για να αντιμετωπίσει τα παραπάνω μετρολογικά ζητήματα (ΜΖ) αναλύεται στη συνέχεια.

ΜΖ 1. Πρότυπα μετρήσεων laser σε laser shows

Η τεχνική έκθεση IEC/TR 60825-3:2008 δίνει οδηγίες για την εγκατάσταση laser για laser shows με σκοπό την ασφάλεια των θεατών, των καλλιτεχνών και των εργαζομένων, αλλά δεν κάνει καμία αναφορά σε μετρήσεις. Η τεχνική έκθεση IEC/TR 60825-13:2011 παρέχει πρακτικές οδηγίες για μεθοδολογίες μέτρησης των προσιτών ορίων εκπομπής (accessible emission limits, AELs) της ακτινοβολίας εκπομπής για διάφορα συστήματα laser. (Τα AELs αφορούν ασφάλεια προϊόντος και τους κατασκευαστές προκειμένου να χαρακτηρίσουν ένα laser ως προς τον κίνδυνο που αυτό ενέχει). Ορισμένες από αυτές τις πρακτικές οδηγίες αφορούν τις δέσμες σάρωσης. Η περίπτωση αυτή ταιριάζει με τις συνθήκες έκθεσης στα laser shows. Επομένως οι μετρήσεις laser σε laser shows καλύπτονται από τα πρότυπα κατά γενικό τρόπο, δεν υπάρχει δηλαδή ειδικό πρότυπο αποκλειστικά για τις εν λόγω μετρήσεις.

ΜΖ 2. Μετρούμενα μεγέθη

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2006/25/ΕΚ, οι οριακές τιμές έκθεσης σε ακτινοβολία laser δίνονται ως έκθεση σε ακτινοβολία (radiant exposure, J m^{-2}) ή πυκνότητα ισχύος (irradiance, W m^{-2}) στον κερατοειδή χιτώνα ή το δέρμα ανάλογα με το μήκος κύματος και τη διάρκεια της έκθεσης, μέσα από συγκεκριμένο διάφραγμα περιορισμού (7 mm).

Επομένως για την εκτίμηση της έκθεσης σε ακτινοβολία laser σε laser shows πρέπει καταρχάς να είναι γνωστό το μήκος κύματος του laser. Αν δεν είναι γνωστό, θα πρέπει να μετρηθεί. Στη συνέχεια, τα μεγέθη που χρειάζεται να μετρηθούν είναι η ισχύς (power), η ενέργεια (energy), η πυκνότητα ισχύος και η έκθεση σε ακτινοβολία. Χρειάζεται βεβαίως να προσδιοριστεί και η διάρκεια της έκθεσης. Δυο ακόμη μεγέθη που χρειάζονται για την εκτίμηση της έκθεσης είναι η διάμετρος της δέσμης (beam diameter) και η απόκλιση της δέσμης (beam divergence) (IEC/TR 60825-13:2011).

ΜΖ 3. Εξοπλισμός μέτρησης

Για τη μέτρηση της ισχύος των CW laser, όπως είναι αυτά που χρησιμοποιούνται στα laser shows χρησιμοποιούνται ακτινόμετρα/μετρητές ισχύος. Τα laser όμως στα laser shows, εξαιτίας του τρόπου που δημιουργούν τα διάφορα μοτίβα ή τις δέσμες σάρωσης στους θεατές, δημιουργούν συνθήκες έκθεσης σε παλμική ακτινοβολία. Έτσι λοιπόν χρειάζεται να μετρηθεί η μέγιστη ισχύς της δέσμης σάρωσης και να είναι γνωστή η συχνότητα της σάρωσης. Επειδή η συχνότητα της σάρωσης μπορεί να είναι πολύ μεγάλη, είναι αναγκαίο ο εξοπλισμός μέτρησης να έχει πολύ γρήγορη απόκριση.

Στην αγορά διατίθεται μια μεγάλη γκάμα μετρητών ισχύος laser. Οι μετρητές καλύπτουν διάφορες φασματικές περιοχές και επίπεδα ισχύος. Το κόστος των μετρητών ισχύος για τις πιο συνηθισμένες εφαρμογές laser είναι της τάξεως των μερικών χιλιάδων ευρώ. Οι

μετρητές αυτοί θα μπορούσαν να είναι κατάλληλοι και για τη μέτρηση της πυκνότητας ισχύος ή της έκθεσης σε ακτινοβολία στατικών δεσμών laser σε laser shows εάν διέθεταν τα απαιτούμενα διαφράγματα περιορισμού. Συνήθως όμως οι κοινοί μετρητές ισχύος δεν διαθέτουν αυτό το απαιτούμενο διάφραγμα και ο ενδιαφερόμενος θα πρέπει να το προμηθευτεί ξεχωριστά από την αγορά προκειμένου να είναι σωστή η μέτρηση για τη σύγκριση με τις αντίστοιχες οριακές τιμές έκθεσης. Τα τελευταία χρόνια έχουν κυκλοφορήσει και μετρητές που απευθύνονται αποκλειστικά στη μέτρηση δεσμών σάρωσης, όπως είναι αυτές που απαντώνται στα laser shows. Οι μετρητές μπορούν να μετρήσουν ταχύτατα τη μέγιστη ισχύ δεσμών σάρωσης μεγάλης συχνότητας, τεχνικό χαρακτηριστικό που είναι απαραίτητο για τις μετρήσεις των δεσμών σάρωσης στα laser shows. Το κόστος απόκτησής τους είναι της τάξεως των μερικών χιλιάδων ευρώ. Κάποιοι μάλιστα διαθέτουν και τα απαιτούμενα διαφράγματα περιορισμού. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η άμεση σύγκριση του μετρούμενου μεγέθους με την αντίστοιχη οριακή τιμή έκθεσης και η ρεαλιστική εκτίμηση της έκθεσης σε κάθε σημείο.

Με βάση τα παραπάνω, όσον αφορά τον εξοπλισμό μέτρησης ακτινοβολίας laser σε laser shows, προτείνεται η χρήση ενός μετρητή ισχύος laser με δυνατότητα μέτρησης τουλάχιστον έως 40 W, για τις μετρήσεις των στατικών δεσμών laser. Για τη μέτρηση των δεσμών σάρωσης, προτείνεται η χρήση ενός μετρητή laser ταχύτατης απόκρισης. Οι μετρητές θα συνοδεύονται από διάφραγμα περιορισμού 7 mm προκειμένου να γίνεται άμεση σύγκριση με τις οριακές τιμές έκθεσης σε ακτινοβολία laser όπως ορίζονται στην Ευρωπαϊκή Οδηγία. Εάν υπάρχει η υποψία ότι τα επίπεδα εκπεμπόμενης ισχύος μπορεί να ξεπεράσουν το κατώφλι ανοχής του αισθητήρα του μετρητή τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα οπτικά φίλτρα (neutral density) για την εξασθένιση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

ΜΖ 4. Πιθανά σενάρια έκθεσης και μεθοδολογία μέτρησης

Οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται σε εκείνα τα σημεία στα οποία είναι δυνατή η παρουσία ανθρώπου κατά τη λειτουργία ή τη συντήρηση του laser. Γίνονται οι εξής παραδοχές: Θεωρείται η πλησιέστερη απόσταση στη δέσμη laser που μπορεί να προσεγγίσει ο εμπλεκόμενος. Θεωρείται ότι ο εμπλεκόμενος κοιτά άμεσα/απευθείας τη δέσμη. Οι μετρήσεις μπορεί να γίνουν χωρίς διάφραγμα περιορισμού (με τον τρόπο αυτό γίνεται υπερεκτίμηση της έκθεσης – εάν δεν ξεπερνιέται το όριο έκθεσης, τότε δε θα ξεπερνιέται αν χρησιμοποιηθεί και το διάφραγμα περιορισμού) (IEC/TR 60825-13:2011, Bonner 2012).

Η τεχνική έκθεση IEC/TR 60825-3:2008 ορίζει τα επίπεδα μέγιστης επιτρεπόμενης έκθεσης για τους θεατές, τους καλλιτέχνες και τους εργαζόμενους σε συνθήκες κανονικής λειτουργίας του laser αλλά και σε περιπτώσεις ευλόγως προβλέψιμων σφαλμάτων. Επομένως, αναπτύσσονται σενάρια έκθεσης για κάθε κατηγορία εκτιθέμενου (κοινό, καλλιτέχνης, εργαζόμενος) και πιθανή έκθεση (στατική δέσμη, δέσμη σάρωσης), ξεχωριστά. Είναι απαραίτητη, συνεπώς, η αυτοψία του χώρου διεξαγωγής του laser shows και η προσεκτική μελέτη των δυνατών ή πιθανών κινήσεων του κοινού, των καλλιτεχνών και των εργαζομένων.

Με βάση τα προηγούμενα, ένα ρεαλιστικό και πιθανό σενάριο χειρότερης περίπτωσης έκθεσης αφορά τον χειριστή του laser και την περίπτωση του να βρεθεί ακριβώς μπροστά από την έξοδο του laser ενώ αυτό είναι σε λειτουργία και να δει απευθείας τη δέσμη. Η μεθοδολογία της μέτρησης στην περίπτωση αυτή είναι η εξής: Προσδιορίζεται το μήκος κύματος του laser. Γίνεται μέτρηση της πυκνότητας ισχύος ή της έκθεσης σε ακτινοβολία στην πλησιέστερη απόσταση από την έξοδο του laser που θα μπορούσε να βρεθεί ο χειριστής. Η δέσμη στην περίπτωση αυτή θεωρείται στατική. Άρα ως εξοπλισμός

μέτρησης χρησιμοποιείται μετρητής ισχύος laser και το κατάλληλο διάφραγμα περιορισμού. Θεωρείται διάρκεια έκθεσης 0.25s – είναι ο χρόνος αντίδρασης του ανθρώπου στην οπτική ακτινοβολία που δέχεται (να ανοιγοκλείσει τα βλέφαρα, να αποστρέψει το βλέμμα ή το κεφάλι του). Με βάση το μήκος κύματος του laser και το χρόνο έκθεσης εντοπίζεται η οριακή τιμή έκθεσης σε ακτινοβολία laser στην Ευρωπαϊκή Οδηγία 2006/25/ΕΚ. Κατόπιν συγκρίνεται η μετρηθείσα τιμή με την κατάλληλη οριακή τιμή έκθεσης.

4. Συμπεράσματα

Ανακεφαλαιώνοντας, η παρούσα εργασία ασχολήθηκε με την αξιολόγηση της διακινδύνευσης από την έκθεση σε πηγές οπτικής ακτινοβολίας σε αισθητικές και ψυχαγωγικές εφαρμογές. Συνοπτικά, η έκθεση στα laser shows είναι ακούσια, δεν είναι ηθελημένη, ενδεχομένως να μην είναι καν γνωστή, ούτε ζητείται συγκατάθεση για αυτή και αφορά εκατοντάδες ή χιλιάδες άτομα ταυτόχρονα. Με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε, η διακινδύνευση της έκθεσης σε ακτινοβολία laser σε laser shows κρίθηκε μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της έκθεσης σε laser, IPL ή LED σε αισθητικές εφαρμογές.

Οι επιτόπιες μετρήσεις είναι το μόνο διαθέσιμο μέσο προσδιορισμού της έκθεσης σε ακτινοβολία laser σε laser shows προκειμένου να αξιολογηθεί το επίπεδο διακινδύνευσης. Επιπλέον είναι πρακτικά εφικτές (π.χ. σχετικά απρόσκοπτη πρόσβαση στο χώρο). Για να υλοποιηθούν ωστόσο πρέπει να αντιμετωπιστεί μια σειρά μετρολογικών ζητημάτων, καθώς τα πρότυπα καλύπτουν μερικώς τις επιτόπιες μετρήσεις laser σε laser shows. Είναι αναγκαία η μέτρηση της πυκνότητας ισχύος ή της έκθεσης σε ακτινοβολία και είναι απαραίτητο να είναι γνωστά το μήκος κύματος και ο χρόνος έκθεσης προκειμένου να γίνει τη σύγκριση με τις οριακές τιμές έκθεσης (όπως δίνονται στη Ευρωπαϊκή Οδηγία 2006/25/ΕΚ). Υπάρχουν μετρητές laser οι οποίοι μετρούν τα ζητούμενα μεγέθη καθιστώντας δυνατή την άμεση σύγκριση των μετρούμενων τιμών με τα όρια, χωρίς περαιτέρω επεξεργασία. Στη συνέχεια, για κάθε εκτιθέμενο ξεχωριστά, δηλαδή το κοινό, τους καλλιτέχνες και τους υπόλοιπους εργαζομένους, εντοπίζονται οι δυσμενέστερες περιπτώσεις έκθεσης και πραγματοποιούνται οι μετρήσεις των προαναφερθέντων μεγεθών.

5. Βιβλιογραφία

ΕΛΟΤ EN 60825-1:2014. Safety of laser products - Part1: Equipment classification and requirements. International Standard, 5, pp.1–13.

ΕΛΟΤ ISO 31000:2014. Διαχείριση της διακινδύνευσης – Αρχές και κατευθυντήριες οδηγίες

Κουρής Σ. "Φυσική των λέιζερ", Ελληνικά Ακαδημαϊκά Συγγράμματα και Βοηθήματα, 2016. https://repository.kallipos.gr/handle/11419/5366 [Accessed 16/3/2018]

Arpansa. "Analysis of Public Submissions – Consultation Regulatory Impact Statement in the use of Intense Pulsed Light (IPLs) Sources and Lasers 1for Cosmetic or Beauty Therapy. Technical Report", 2017. https://www.arpansa.gov.au/sites/g/files/net3086/f/tr177.pdf [Accessed 20/3/2018].

IEC/TR 60825-13:2011. Safety of laser products - Part 13: Measurements for classification of laser products.

Lyngå C. and Urban D., "Laser and Visible Radiation Hazards to the Eye and Skin". In Non-ionizing Radiation Protection, pp. 111–133. 2017 Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc

Murphy P. and Makhov G., "Scanning Audiences at Laser Shows: Theory, Practice and a Proposal", 2012. http://www.ilda.com/resources/Safety/audience-scanning_overview_latest.pdf [Accessed 20/3/2018].

Bonner R., O'Hagan J.B. and Khazova M., Assessment of personal exposures to optical radiation in large entertainment venues Radiat Prot Dosimetry, 149(3) p.p. 225-237, 2012