ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΚΤΙΝΟΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΜΑΥΡΙΣΜΑΤΟΣ ΜΕ ΤΑ ΟΡΙΑ ΥΠΕΡΙΩΔΟΥΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

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

Για τις επιτόπιες μετρήσεις της υπεριώδους ακτινοβολίας των μηχανημάτων τεχνητού μαυρίσματος στις επιχειρήσεις παροχής αντίστοιχων υπηρεσιών, είναι απαραίτητο ο εξοπλισμός μέτρησης να είναι φορητός, απλός και εύχρηστος και οι μετρήσεις με αυτόν να μην είναι χρονοβόρες. Τα ακτινόμετρα ευρέος φάσματος είναι όργανα χαμηλού σχετικά κόστους τα οποία πληρούν τις παραπάνω προδιαγραφές. Μετρούν την ολική τιμή του μετρούμενου μεγέθους σε μια ευρεία φασματική περιοχή και είναι ιδιαίτερα πρακτικά και χρήσιμα για τις αρμόδιες εθνικές αρχές που πραγματοποιούν ελέγχους προκειμένου να διερευνήσουν τη συμμόρφωση με τα όρια.

Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται μετρήσεις υπεριώδους ακτινοβολίας από μηχανήματα τεχνητού μαυρίσματος σε επιχειρήσεις παροχής παροχής αντίστοιχων υπηρεσιών όπως αυτές πραγματοποιήθηκαν με τέσσερα διαφορετικά ακτινόμετρα ευρέος φάσματος. Επίσης γίνεται εκτίμηση και παρουσιάζεται η διευρυμένη αβεβαιότητα μέτρησης για κάθε ακτινόμετρο. Με κριτήρια το είδος των μετρήσεων που πραγματοποιεί κάθε ακτινόμετρο και τη διευρυμένη αβεβαιότητα της μέτρησης με αυτό, τα ακτινόμετρα συγκρίνονται μεταξύ τους προκειμένου να επιλεχθεί το καταλληλότερο για να χρησιμοποιηθεί ως εξοπλισμός μέτρησης κατά τους επιτόπιους ελέγχους συμμόρφωσης της εκπεμπόμενης από τα μηχανήματα τεχνητού μαυρίσματος υπεριώδους ακτινοβολίας με το όριο 0,3 W/m^2 ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος που ορίζεται στο πρότυπο ΕΛΟΤ ΕΝ 60335-2-27:2013.

Επιπροσθέτως καθορίζονται τα κριτήρια για την αξιολόγηση της συμμόρφωσης ή μη με το όριο των 0,3 W/m^2, δεδομένων των μετρούμενων τιμών και του διαστήματος εμπιστοσύνης αυτών. Καθορίζονται δηλαδή τα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία θα συμπεραίνεται α) πότε υπάρχει υπέρβαση του ορίου, β) πότε υπάρχει πιθανή υπέρβαση του ορίου ή γ) πότε δεν διαπιστώνεται υπέρβαση του ορίου.

Λέξεις-Κλειδιά: μετρήσεις υπεριώδους ακτινοβολίας, μηχανήματα τεχνητού μαυρίσματος, διασύγκριση, αβεβαιότητα μέτρησης, κριτήρια σύγκρισης με όρια.

Abstract

The measurement equipment used for the in situ sunbeds' ultraviolet radiation measurements at the artificial tanning premises for compliance assessment with the 0,3 W/m^2 erythemal irradiance limit is necessary to be portable and simple to use. Radiometers possess such characteristics. Four different broadband erythemal weighted radiometers were used during the first surveillance action of the artificial tanning sector in Greece in order to compare them under real sunbed's radiation measurement conditions and to choose the most suitable for compliance inspections. Herein this intercomparison of the four different radiometers is presented and analyzed. Furthermore, a rationale is

introduced in order to justify the measurement's result regarding compliance with the limit, taking into account the measurement's expanded uncertainty. According to this approach, compliance, probable non-compliance or non-compliance is verified when the measurement's result does not, probably or does exceed the 0,3 W/m^2 limit, respectively.

Keywords: sunbeds' ultraviolet radiation measurements, radiometers, uncertainty, compliance assessment

1. Εισαγωγή

Το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 60335-2-27:2013 ισχύει στην Ευρωπαϊκή Ένωση και ρυθμίζει τα όρια υπεριώδους ακτινοβολίας εκπομπής των μηχανημάτων τεχνητού μαυρίσματος όπως επίσης και τα όρια δόσεων των χρηστών. Συνοπτικά, το όριο ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος στο φάσμα του υπεριώδους (250 – 400 nm) είναι 0,3 W/m^2 και το όριο πυκνότητας ισχύος στο φάσμα του UVC (200 – 280 nm) είναι 0,003 W/m^2. Επίσης ανάλογα με την μετρούμενη ερυθηματώδη πυκνότητα ισχύος στο φάσμα του UVA (320 – 400 nm) και UVBC (250 – 320 nm), τα μηχανήματα τεχνητού μαυρίσματος κατατάσσονται σε τύπο UV 1, 2, 3 ή 4 (ΕΛΟΤ EN 60335-2-27:2013).

Ως εξοπλισμός μέτρησης κατά τους επιτόπιους ελέγχους υπεριώδους ακτινοβολίας εκπομπής των μηχανημάτων τεχνητού μαυρίσματος χρησιμοποιούνται είτε ακτινόμετρα ευρέος φάσματος σταθμισμένα με το φάσμα ερυθηματώδους δράσης της υπεριώδους ακτινοβολίας είτε φασματοφωτόμετρα διπλού μονοχρωμάτορα. Τα ακτινόμετρα είναι όργανα χαμηλού κόστους, φορητά και εύχρηστα, χαρακτηριστικά κατάλληλα για τους επιτόπιους ελέγχους ρουτίνας. Καταγράφουν την ολική ακτινοβολία σε μια φασματική περιοχή και εάν συνδυαστούν κατάλληλα φίλτρα τότε μπορούν να αποδώσουν την ενεργό τιμή της ακτινοβολίας. Στα σταθμισμένα με το φάσμα ερυθηματώδους δράσης ακτινόμετρα έχει ενσωματωθεί κατάλληλο οπτικό φίλτρο ώστε να προσομοιώνεται η ικανότητα κάθε μήκους κύματος της υπεριώδης ακτινοβολίας στο να προκαλέσει ερύθημα. Ως αποτέλεσμα αποδίδεται η ερυθηματώδης πυκνότητα ισχύος (Diffey 2002, Hülsen and Gröbne 2007, Larason and Cromer 2001).

Η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) στο πλαίσιο των αρμοδιοτήτων της, ξεκίνησε το 2013 την πρώτη δράση καταγραφής της υπεριώδους ακτινοβολίας των μηχανημάτων τεχνητού μαυρίσματος στη χώρα, με βασικό στόχο τον έλεγχο της συμμόρφωσης της υπεριώδους ακτινοβολίας των μηχανημάτων τεχνητού μαυρίσματος με το όριο 0,3 W/m^2. Κατά τους ελέγχους αυτούς, ως εξοπλισμός μέτρησης χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα διαφορετικά, σταθμισμένα με το φάσμα ερυθηματώδους δράσης, ακτινόμετρα ευρέος φάσματος. Τα κριτήρια που τέθηκαν για την αξιολόγηση των ακτινομέτρων ήταν η πρακτικότητα και η λειτουργικότητά τους κατά τους επιτόπιους ελέγχους, το είδος των μετρήσεων που εκτελούν και η διευρυμένη αβεβαιότητα μέτρησης με κάθε ακτινόμετρο. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διασύγκριση των τεσσάρων ακτινομέτρων και επιλέγεται το ακτινόμετρο – εξοπλισμός μέτρησης για τους επιτόπιους ελέγχους.

Επιπροσθέτως θέτονται τα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία θα συμπεραίνεται α) πότε υπάρχει υπέρβαση των ορίων, β) πότε υπάρχει πιθανή υπέρβαση των ορίων ή γ) πότε δεν διαπιστώνεται υπέρβαση των ορίων, δεδομένων των μετρούμενων τιμών και του 95,45% διαστήματος εμπιστοσύνης αυτών.

Παρουσιάζονται, τέλος, τα αποτελέσματα των ελέγχων συμμόρφωσης των μηχανημάτων τεχνητού μαυρίσματος στη χώρα με βάση τις τιμές ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος του επιλεγμένου ως εξοπλισμού μέτρησης ακτινομέτρου και τα καθορισμένα κριτήρια για την αξιολόγηση της συμμόρφωσης με το όριο των 0,3 W/m^2.

2. Μεθοδολογία

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις υπεριώδους ακτινοβολίας σε 26 οριζόντια μηχανήματα τεχνητού μαυρίσματος (μέσα στα οποία ο χρήστης ξαπλώνει) και σε 26 κάθετα μηχανήματα (μέσα στα οποία ο χρήστης στέκεται όρθιος). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν το διάστημα Οκτώβριος 2013 – Φεβρουάριος 2015 σε 25 επιχειρήσεις παροχής υπηρεσιών τεχνητού μαυρίσματος σε διάφορες πόλεις πανελλαδικά. Σκοπός ήταν να συγκριθούν τα ακτινόμετρα μεταξύ τους κάτω από πραγματικές συνθήκες ελέγχων και μετρήσεων και να επιλεχθεί το καταλληλότερο ακτινόμετρο προκειμένου αυτό να αποτελεί τον βασικό εξοπλισμό μέτρησης κατά τους ελέγχους. Μετρήθηκε η ερυθηματώδης πυκνότητα ισχύος στο φάσμα του UV (250 – 400 nm) και η πυκνότητα ισχύος στο φάσμα του UVC (200 – 280 nm). Έγιναν επίσης μετρήσεις ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος ή πυκνότητας ισχύος στη UVA (320 – 400 nm) και UVBC (250 – 320 nm) περιοχή με όποιο ακτινόμετρο είχε τη σχετική δυνατότητα.

2.1 Εξοπλισμός μέτρησης

Ως εξοπλισμός μέτρησης χρησιμοποιήθηκαν συνολικά τέσσερα ακτινόμετρα ευρέος φάσματος: α) το Solarmeter 7.5 (Solartech) [1], β) το HD 2302.0 με τον ακροδέκτη LP471 ERY (Delta OHM S. r. L.) [2], γ) το HD2302.0 με τον ακροδέκτη LP471 A-UV_{eff} (Delta OHM S. r. L.) [3] και δ) το $X1_4$ – E_{ery} and E_{UVC} με τον ακροδέκτη XD-45-ERYC-4 (Gigahertz-Optik GmbH) [4].

2.1.1 Ποιοτικά / λειτουργικά χαρακτηριστικά ακτινομέτρων

Το Solarmeter 7.5 είναι ένα φτηνό, μικρό και εύχρηστο ακτινόμετρο. Τα υπόλοιπα τρία ακτινόμετρα αποτελούνται από δυο ξεχωριστά κομμάτια τη βασική μονάδα και τον ακροδέκτη ο οποίος συνδέεται με τη βασική μονάδα με ένα καλώδιο. Είναι επίσης μικρά και εύχρηστα όργανα αλλά ακριβότερα σε σχέση με το Solarmeter 7.5, με ακριβότερο όλων το $X1_4$+ XD-45-ERYC-4.

Όσον αφορά τη μέτρηση με το Solarmeter 7.5, ο χειριστής πρέπει να κρατά πατημένο ένα κουμπί πάνω στο σώμα του ακτινομέτρου για να πάρει τη μέτρηση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο χειριστής να τοποθετεί το σώμα του μέσα σχεδόν στο μηχάνημα και να εκτίθεται διαρκώς στην υπεριώδη ακτινοβολία. Για τη μέτρηση με τα υπόλοιπα ακτινόμετρα, ο αισθητήρας τοποθετείται μέσα στο μηχάνημα τεχνητού μαυρίσματος και ο χειριστής μπορεί να καταγράψει τις μετρήσεις έξω από το μηχάνημα χωρίς να εκτίθεται στην ακτινοβολία του. Επιπλέον, ο ακροδέκτης XD-45-ERYC-4 διαθέτει μια ειδική υποδοχή για την προσαρμογή του στην κεφαλή τριπόδου, ιδιότητα η οποία συμβάλλει στη μείωση των αβεβαιοτήτων καθώς ελαχιστοποιεί την αλληλεπίδραση του χειριστή με τον

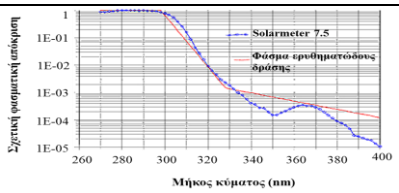
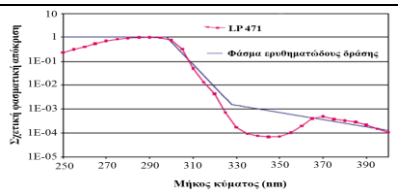
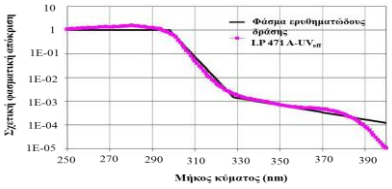
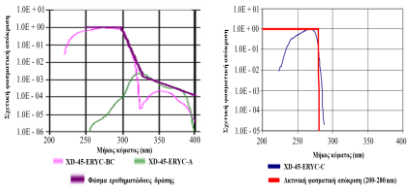
[1] https://www.solarmeter.com/model75.html, τελευταία πρόσβαση 4/2/2016
[2] Delta Ohm, HD 2302.0 photoradiometer manual
[3] http://www.deltaohm.com/ver2012/index.php?main_page=product_info&cPath=1_11_27&products_id=49, τελευταία πρόσβαση 4/2/2016
[4] http://www.gigahertz-optik.de/en-us/product/X14, τελευταία πρόσβαση 4/2/2016

ακροδέκτη. Οι ακροδέκτες LP471 ERY και LP471 A-UV_{eff} μπορούν επίσης να προσαρτηθούν σε τρίποδο χρησιμοποιώντας έναν ειδικό προσαρμογέα αλλά η διαδικασία αυτή είναι χρονοβόρα και μη πρακτική για τους ελέγχους ρουτίνας.

2.1.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Στον Πίνακα 1 που ακολουθεί δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ακτινομέτρων και οι φασματικές αποκρίσεις των αισθητήρων τους.

Πίνακας 1. Ακτινόμετρα μέτρησης, περιοχές μέτρησης και φασματική απόκριση αισθητήρων ακτινομέτρων

Ακτινόμετρο	**Είδος μέτρησης**		**Φασματική απόκριση**
	Ερυθηματώδης πυκνότητα ισχύος (W/m^2)	**Πυκνότητα ισχύος (W/m^2)**	
Solarmeter 7.5	280-400 nm		
HD 2302.0+LP 471ERY	250-400 nm		
HD 2302.0+LP 471 A-UV_{eff}	250-400 nm 250-320 nm	320-400 nm	
$X1_4$+XD-45-ERYC-4	250-400 nm 250-320 nm 320-400 nm	200-280 nm	

2.2 Πρωτόκολλα μέτρησης

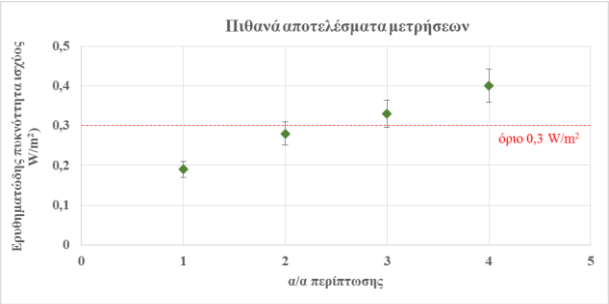
Οι ακροδέκτες τοποθετήθηκαν μέσα στα μηχανήματα τεχνητού μαυρίσματος σε σημεία που αντιστοιχούσαν σε σημεία μέγιστης έκθεσης – ελάχιστης απόστασης του σώματος του χρήστη από τους λαμπτήρες και ήταν στραμμένοι προς αυτούς. Στα κάθετα μηχανήματα έγιναν τέσσερις μετρήσεις κατά μήκος ενός κατακόρυφου άξονα σε απόσταση 35 cm από τους λαμπτήρες. Στα οριζόντια μηχανήματα έγιναν ξεχωριστά μετρήσεις στην κάτω και στην πάνω επιφάνεια λαμπτήρων. Οι μετρήσεις έγιναν σε τέσσερα διαφορετικά σημεία κατά μήκος του κεντρικού άξονα κάθε επιφάνειας. Τα σημεία μέτρησης, σε κάθε μηχάνημα τεχνητού μαυρίσματος, αντιστοιχούσαν σε σημεία του σώματος του χρήστη - περίπου στα γόνατα, στην κοιλιακή και θωρακική περιοχή και στο κεφάλι. Σε κάθε σημείο γίνονται τρεις μετρήσεις και η μέση τιμή αυτών των

μετρήσεων συνιστά το αποτέλεσμα της μέτρησης στο συγκεκριμένο σημείο. Αναλυτικά τα πρωτόκολλα μέτρησης περιγράφονται στο (Petri and Karabetsos 2015).

2.3 Ανάλυση δεδομένων

Προκειμένου να ελεγχθεί η συμμόρφωση με το όριο των 0,3 W/m^2, χρησιμοποιείται η μέγιστη τιμή ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος μέσα στο μηχάνημα, καθώς θεωρείται η χειρότερη περίπτωση έκθεσης, συνυπολογίζοντας και τη διευρυμένη αβεβαιότητα της μέτρησης. Επίσης, τέθηκαν τα κριτήρια για την εξαγωγή συμπερασμάτων που προκύπτουν από τη σύγκριση των μετρούμενων τιμών με τα αντίστοιχα όρια, λαμβάνοντας υπόψη και την διευρυμένη αβεβαιότητα της μέτρησης με κάθε ακτινόμετρο. Καθορίστηκαν δηλαδή τα κριτήρια σύμφωνα με τα οποία θα συμπεραίνεται: α) πότε υπάρχει υπέρβαση των ορίων, β) πότε υπάρχει πιθανή υπέρβαση των ορίων ή γ) πότε δεν διαπιστώνεται υπέρβαση των ορίων, δεδομένων των μετρούμενων τιμών και του διαστήματος εμπιστοσύνης αυτών. Κατ' αυτόν τον τρόπο εάν το αποτέλεσμα της μέτρησης, συνυπολογίζοντας τη διευρυμένη αβεβαιότητα για διάστημα εμπιστοσύνης 95,45% (k=2):

1. Δεν υπερβαίνει το όριο 0,3 W/m^2 (βλ. περίπτωση 1 στο διάγραμμα του Σχήματος 1) τότε το συμπέρασμα θα είναι συμμόρφωση με το όριο.
2. Πιθανώς υπερβαίνει το όριο 0,3 W/m^2 (βλ. περιπτώσεις 2 και 3 στο διάγραμμα του Σχήματος 1) τότε το συμπέρασμα θα είναι πιθανή μη συμμόρφωση με το όριο.
3. Υπερβαίνει το όριο 0,3 W/m^2 (βλ. περίπτωση 4 στο διάγραμμα του Σχήματος 1) τότε το συμπέρασμα θα είναι μη συμμόρφωση με το όριο.



Σχήμα 1: Σενάρια αποτελεσμάτων μετρήσεων και συμπέρασμα σχετικά με τη συμμόρφωση με το όριο, λαμβάνοντας υπόψη την απεικονιζόμενη διευρυμένη αβεβαιότητα

3. Αποτελέσματα

3.1 Διασύγκριση ακτινομέτρων

Μέσα σε κάθε μηχάνημα τεχνητού μαυρίσματος πραγματοποιούνταν έως και 8 μετρήσεις ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος, ανάλογα με το είδος του μηχανήματος. Για τη διασύγκριση των ακτινομέτρων ελήφθησαν υπόψη όλες οι τιμές που μετρήθηκαν μέσα σε κάθε μηχάνημα τεχνητού μαυρίσματος.

Προκειμένου να εκτιμηθεί εάν είναι στατιστικά σημαντικές οι διαφορές στις τιμές ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος σε σχέση με το ακτινόμετρο που χρησιμοποιήθηκε έγινε ανάλυση διακύμανσης με τη μέθοδο one – way ANOVA (Analysis of Variance) και ακολούθησε ανάλυση με τη μέθοδο Student's t-test. Το επίπεδο εμπιστοσύνης που χρησιμοποιήθηκε σε όλους τους στατιστικούς ελέγχους ήταν 95% ($P \leq 0,05$).

Σύμφωνα με τη μέθοδο ANOVA υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά ανάμεσα στις τιμές ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος ανάμεσα στα ακτινόμετρα (P value: 3,13E-09,

βλ. Πίνακα 2). Περαιτέρω ανάλυση με το Student's t-test έδειξε πως μόνο ανάμεσα στα ακτινόμετρα HD 2302.0 + LP471 ERY και HD 2302.0+LP471A-UV_{eff} οι διαφορές στις μετρηθείσες τιμές ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος δεν ήταν στατιστικά σημαντικές (P-$value_{HD\ 2302.0\ +\ LP471\ ERY\ vs\ HD\ 2302.0+LP471A-UVeff}$: 0,406, βλ. Πίνακα 2).

Πίνακας 2. Ανάλυση διακύμανσης και Student's t-test, επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

Anova: Single Factor

SUMMARY

Groups	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
Solarmeter 7.5	265	84,98	0,32	0,05
HD2302.0 + LP471ERY	270	98,46	0,37	0,07
HD2302.0+LP471A-UV_{eff}	239	91,54	0,38	0,06
$X1_4$ + XD-45-ERYC-4	270	124,86	0,46	0,09

Student's t-test

	Solarmeter 7.5	**HD2302.0+ LP471ERY**	**HD2302.0+ LP471A-UV_{eff}**	**$X1_4$+ XD-45-ERYC-4**
Solarmeter 7.5		0,034	0,002	1,86E-10
HD2302.0 + LP471ERY	0,034		0,406	2,5E-05
HD2302.0+LP471A-UV_{eff}	0,002	0,406		4E-04
$X1_4$ + XD-45-ERYC-4	1,86E-10	2,5E-05	4E-04	

ANOVA

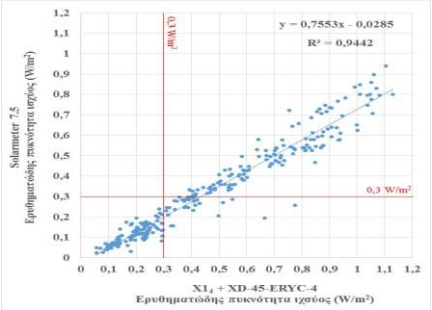
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	2,82	3	0,94	14,46	3,13E-09	2,61
Within Groups	67,73	1040	0,07			
Total	70,55	1043				

Επιπλέον κατασκευάστηκαν διαγράμματα διασποράς χρησιμοποιώντας το ένα από τα τέσσερα ακτινόμετρα ως ακτινόμετρο αναφοράς και συγκρίνοντας τις τιμές των υπολοίπων τριών με αυτό. Στο Σχήμα 2 παρουσιάζονται τα διαγράμματα διασποράς των τιμών ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος που μετρήθηκαν με το ακτινόμετρο Solarmeter 7.5 (Σχήμα 2(α)), το HD 2302.0 + LP471 ERY (Σχήμα 2(β)) και το HD 2302.0+LP471A-UV_{eff} (Σχήμα 2(γ)) ως προς αυτές που μετρήθηκαν με το $X1_4$ + XD-45-ERYC-4. Διαπιστώθηκε ισχυρή γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στις τιμές κάθε ακτινομέρου εκ των τριών σε σχέση με το ακτινόμετρο αναφοράς, με συντελεστές συσχέτισης $R^2_{Solarmeter\ 7.5\ vs\ X14\ +\ XD\text{-}45\text{-}ERYC\text{-}4}$ = 0,94 (Σχήμα 2(α)), $R^2_{HD\ 2302.0\ +\ LP471\ ERY\ vs\ X14\ +\ XD\text{-}45\text{-}ERYC\text{-}4}$ = 0,95 (Σχήμα 2(β)) και $R^2_{HD\ 2302.0+LP471A\text{-}UVeff\ vs\ X14\ +\ XD\text{-}45\text{-}ERYC\text{-}4}$ = 0,97 (Σχήμα 2(γ)).

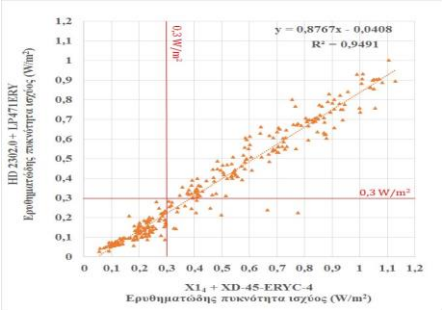
Το κρίσιμο ερώτημα ωστόσο που εγείρεται είναι πως μπορεί να αξιολογηθεί η συμμόρφωση με το όριο 0,3 W/m^2 όταν υπάρχει διαφωνία ανάμεσα στις τιμές που μετρά το ακτινόμετρο αναφοράς και το συγκρινόμενο με αυτό ακτινόμετρο. Για παράδειγμα, υπάρχουν 32 περιπτώσεις που το Solarmeter 7.5 καταγράφει τιμή μικρότερη των 0,3 W/m^2 σε σύγκριση με το $X1_4$ + XD-45-ERYC-4, 34 περιπτώσεις όταν συγκρίνεται το HD 2302.0 + LP471 ERY και 9 περιπτώσεις όταν το HD 2302.0+LP471A-UV_{eff} συγκρίνεται με το $X1_4$ + XD-45-ERYC-4. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως καθώς βελτιώνεται η τεχνολογία των ακτινομέτρων (ξεκινώντας από το Solarmeter 7.5 και καταλήγοντας στο HD 2302.0+LP471A-UV_{eff}) οι περιπτώσεις διαφωνίας με το $X1_4$ + XD-45-ERYC-4 μειώνονται, έτσι μόνο 9 περιπτώσεις διαφωνίας διαπιστώνονται όταν το HD 2302.0+LP471A-UV_{eff} συγκρίνεται με το $X1_4$ + XD-45-ERYC-4 από 32 με το Solarmeter 7.5.

Στο διάγραμμα του Σχήματος 2(δ) δίνονται οι σχετικές διαφορές ανάμεσα στις τιμές καθενός εκ των τριών ακτινομέτρων καθώς συγκρίνονται με τις τιμές του $X1_4$ + XD-45-ERYC-4. Διαπιστώνεται πως τα ακτινόμετρα Solarmeter 7.5, HD 2302.0 + LP471 ERY

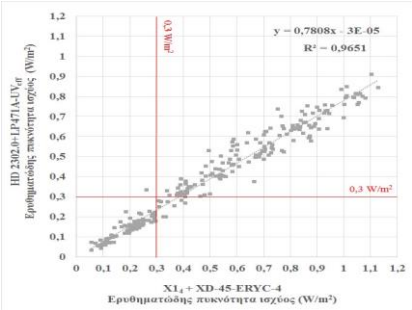
και HD 2302.0+LP471A-UV_{eff} συγκρινόμενα με το $X1_4$ + XD-45-ERYC-4 υποεκτιμούν τις τιμές ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος. Φαίνεται μάλιστα πως υπάρχει μια τάση να υποεκτιμούν περισσότερο ειδικά τις τιμές χαμηλότερες από το όριο των 0,3 W/m^2.



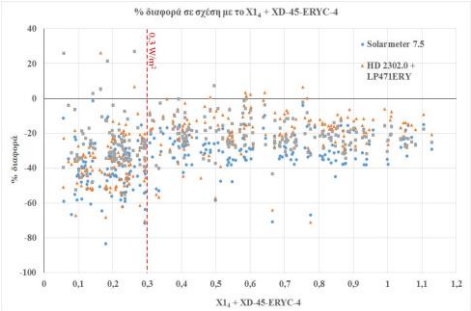
α



β



γ



δ

Σχήμα 2. Διαγράμματα διασποράς: α) Solarmeter 7.5 vs $X1_4$ + XD-45-ERYC-4, β) HD 2302.0 + LP471 ERY vs $X1_4$ + XD-45-ERYC-4, γ) HD 2302.0+LP471A-UVeff $_{vs}$ $X1_4$ + XD-45-ERYC-4, δ) Σχετικές διαφορές ανάμεσα στις τιμές των Solarmeter 7.5 (τρίγωνο), HD 2302.0 + LP471 ERY (τελεία) και HD 2302.0+LP471A-UV_{eff} (ρόμβος) και του $X1_4$ + XD-45-ERYC-4

3.2 Έλεγχος συμμόρφωσης με το όριο 0,3 W/m^2

3.2.1 Εκτίμηση αβεβαιοτήτων

Η εκτίμηση της αβεβαιότητας μέτρησης με καθένα από τα ακτινόμετρα έγινε σύμφωνα με το ISO/IEC Guide 98-3 (2008). Η διευρυμένη αβεβαιότητα μέτρησης με κάθε ακτινόμετρο για διάστημα εμπιστοσύνης 95,45% (συντελεστής κάλυψης k=2) δίνεται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Διευρυμένη αβεβαιότητα μέτρησης για διάστημα εμπιστοσύνης 95,45% (συντελεστής κάλυψης k=2)

Ακτινόμετρο	Ακροδέκτης	Περιοχή μέτρησης	Διευρυμένη αβεβαιότητα (%)
Solarmeter 7.5		280–400 nm	± 11,93
HD 2302.0 + LP471ERY		250–400 nm	± 18,07
HD 2302.0 + LP471A-UV_{eff}		250–400 nm	± 18.27
$X1_4$ + XD-45-ERYC-4	UV	250–400 nm	± 9,81
	UVA	320 – 400 nm	± 5,04
	UVBC	250 – 320 nm	± 8,42
	UVC	254 nm	± 3,79

Για την εκτίμηση των αβεβαιοτήτων Τύπου Α έγιναν τρεις διαδοχικές μετρήσεις σε κάθε σημείο μέτρησης. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν όταν η ακτινοβολία εκπομπής των λαμπτήρων είχε σταθεροποιηθεί και οι διακυμάνσεις στις μετρούμενες τιμές ήταν ασήμαντες. Ως εκ τούτου, οι αβεβαιότητες Τύπου Α θεωρήθηκαν αμελητέες. Για τον

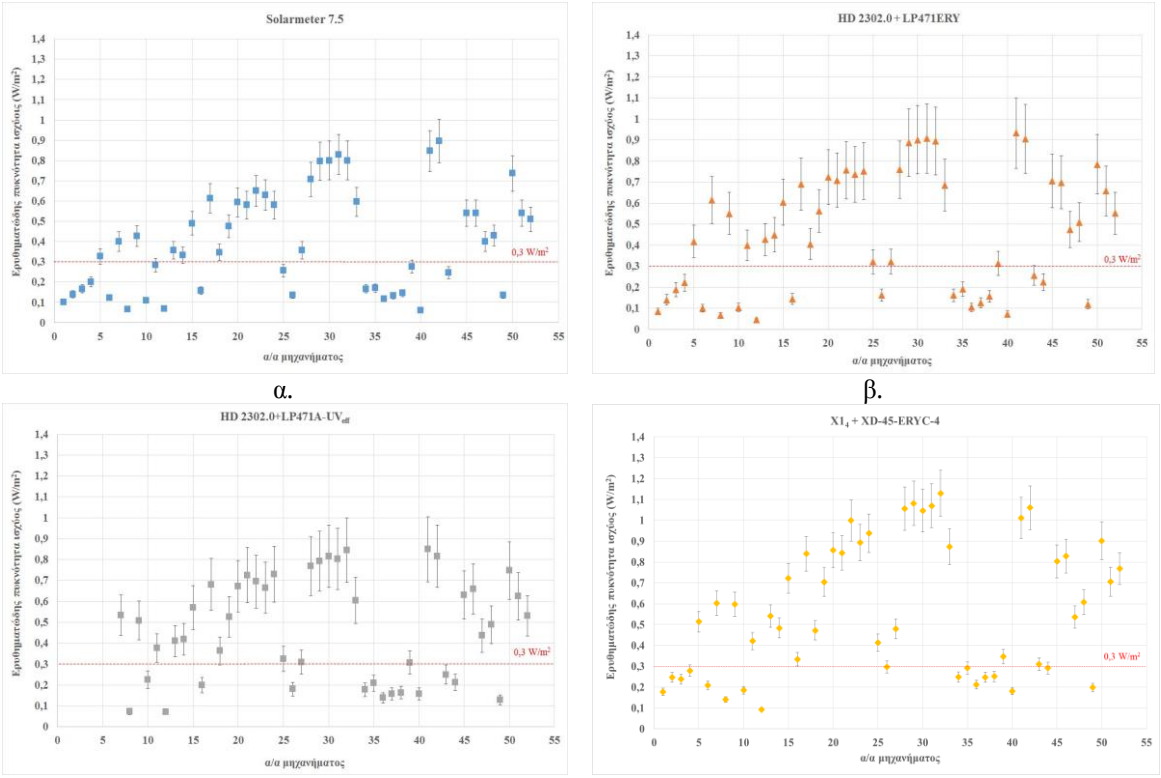
υπολογισμό των αβεβαιοτήτων Τύπου Β αξιοποιήθηκαν όλες οι διαθέσιμες πληροφορίες. Πηγές αβεβαιότητας είναι η αβεβαιότητα της βαθμονόμησης, η αβεβαιότητα που οφείλεται στη συνημιτονιακή απόκριση και την επίδραση της θερμοκρασίας στα ακτινόμετρα καθώς και η αβεβαιότητα που σχετίζεται με την τοποθέτηση των ακροδεκτών των ακτινομέτρων στις θέσεις μέτρησης.

3.2.2 Μέγιστες τιμές ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος

Όσον αφορά τον έλεγχο της συμμόρφωσης με το όριο των 0,3 W/m^2, λαμβάνεται υπόψη η μέγιστη τιμή ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος μέσα σε κάθε μηχάνημα τεχνητού μαυρίσματος καθώς θεωρείται η δυσμενέστερη περίπτωση έκθεσης. Σύμφωνα με τη μέθοδο ανάλυσης διακύμανσης one – way ANOVA (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%), η διαφορά ανάμεσα στις μέγιστες τιμές ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος που αποδίδει κάθε ακτινόμετρο είναι στατιστικά σημαντική (P-value: 0,02). Περαιτέρω ανάλυση με το Student's t-test (επίπεδο εμπιστοσύνης 95%) έδειξε πως μόνο η διαφορά στις μέγιστες τιμές ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος ανάμεσα στα ακτινόμετρα Solarmeter 7.5 και $X1_4$ + XD-45-ERYC-4 είναι στατιστικά σημαντική (P-value: 0,003).

3.2.3 Συμμόρφωση με το όριο

Οι μέγιστες τιμές ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος μέσα σε κάθε μηχάνημα τεχνητού μαυρίσματος, μετρημένες με κάθε ακτινόμετρο, δίνονται στα διαγράμματα του Σχήματος 3. Η διευρυμένη αβεβαιότητα μέτρησης με το κάθε ακτινόμετρο επίσης δίνεται στα διαγράμματα με τις γραμμές σφάλματος.



Σχήμα 3. Μέγιστες τιμές ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος μέσα σε κάθε μηχάνημα τεχνητού μαυρίσματος με το ακτινόμετρο: α) Solarmeter 7.5, β) HD 2302.0 + LP471ERY, γ) HD 2302.0+LP471A-UV_{eff} και δ) $X1_4$ + XD-45-ERYC-4

Στον Πίνακα 4 συνοψίζονται τα συμπεράσματα αναφορικά με τη συμμόρφωση της υπεριώδους ακτινοβολίας εκπομπής των μηχανημάτων τεχνητού μαυρίσματος με το όριο των 0,3 W/m^2, σύμφωνα με τα κριτήρια που ορίστηκαν στην παράγραφο 2.3.

Πίνακας 4. Εκτίμηση συμμόρφωσης με το όριο ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος 0,3 W/m^2

Ακτινόμετρο	**Συμμόρφωση** (μη υπέρβαση του ορίου 0,3 W/m^2)	**Πιθανή μη συμμόρφωση** (πιθανή υπέρβαση του ορίου 0,3 W/m^2)	**Μη συμμόρφωση** (υπέρβαση του ορίου 0,3 W/m^2)
Solarmeter 7.5	18	**5** (α/α μηχανήματος: 5, 11, 14 & 39 Σχήμα 5 α.)	28
HD 2302.0 + LP471ERY	18	**4** (α/α μηχανήματος 25, 27, 39 & 43 Σχήμα 5 β.)	30
HD 2302.0 + LP471A-UV$_{eff}$	14	**3** (α/α μηχανήματος 25, 27 & 39 Σχήμα 5 γ.)	29
X1$_4$ + XD-45-ERYC-4	13	**5** (α/α μηχανήματος 4, 26, 35, 43 & 44 Σχήμα 5 δ.)	34

4. Συμπεράσματα – Συζήτηση

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι η αξιολόγηση της συμμόρφωσης της υπεριώδους ακτινοβολίας από τα μηχανήματα τεχνητού μαυρίσματος με το όριο των 0,3 W/m^2 εξαρτάται ισχυρά από το ακτινόμετρο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος. Οι διαφορές στις μετρηθείσες τιμές είναι δικαιολογημένες και εύλογα μπορούν να αποδοθούν στη διαφορετική φασματική απόκριση κάθε ακτινομέτρου (βλ. Πίνακα 1). Δυο επιτακτικά ζητήματα ωστόσο εγείρονται όταν μια ρυθμιστική αρχή πραγματοποιεί ελέγχους συμμόρφωσης με το όριο των 0,3 W/m^2 της υπεριώδους ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τα μηχανήματα τεχνητού μαυρίσματος. Το πρώτο σχετίζεται με τον εξοπλισμό μέτρησης – δηλαδή ποιο ακτινόμετρο, ειδικότερα, είναι καταλληλότερο για τις επιτόπιες μετρήσεις υπεριώδους ακτινοβολίας από τα μηχανήματα τεχνητού μαυρίσματος στις αντίστοιχες επιχειρήσεις ώστε να αξιολογηθεί η συμμόρφωση με το όριο και η επιβολή κυρώσεων σε περίπτωση υπερβάσεων. Το δεύτερο αφορά την τεκμηρίωση της συμμόρφωσης ή μη συμμόρφωσης με το όριο.

Αναφορικά με το πρώτο ζήτημα, την επιλογή του καταλληλότερου ακτινομέτρου, από τη διασύγκριση των τεσσάρων ακτινομέτρων προέκυψε πως το ακτινόμετρο X1$_4$ + XD-45-ERYC-4 είναι το πλέον κατάλληλο και αυτό που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί κατά τους επιτόπιους ελέγχους συμμόρφωσης ως εξοπλισμός μέτρησης. Το ακτινόμετρο X1$_4$ + XD-45-ERYC-4 μετρά την ερυθηματώδη πυκνότητα ισχύος της υπεριώδους ακτινοβολίας στο φάσμα 250 – 400 nm, με τη μικρότερη διευρυμένη αβεβαιότητα μέτρησης ανάμεσα στα τρία ακτινόμετρα που πραγματοποιούν την ίδια μέτρηση στην ίδια φασματική περιοχή (βλ. Πίνακα 3). Μπορεί εύκολα να προσαρτηθεί σε τρίποδο, μειώνοντας την αβεβαιότητα που σχετίζεται με την τοποθέτηση του αισθητήρα αλλά και περιορίζοντας την έκθεση του χειριστή στην υπεριώδη ακτινοβολία του μηχανήματος τεχνητού μαυρίσματος. Επιπλέον καθώς μπορεί να μετρήσει ταυτόχρονα ερυθηματώδη πυκνότητα ισχύος στη UVA και UVBC περιοχή καθώς και πυκνότητα ισχύος στη UVC, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για έλεγχο συμμόρφωσης με όλα τα όρια που θέτει το πρότυπο ΕΛΟΤ ΕΝ 60335-2-27:2013, δυνατότητα που δεν έχουν τα άλλα ακτινόμετρα.

Αναφορικά με το δεύτερο ζήτημα, την τεκμηρίωση της συμμόρφωσης ή της μη συμμόρφωσης με το όριο, τέθηκαν τα κριτήρια που αναπτύχθηκαν στην παράγραφο 2.3

λαμβάνοντας υπόψη και τη διευρυμένη αβεβαιότητα της μέτρησης. Σε περίπτωση διαπίστωσης πιθανής μη συμμόρφωσης με το όριο των 0,3 W/m^2 είναι απαραίτητο να γίνουν επαναληπτικές μετρήσεις με μεγαλύτερη ακρίβεια. Προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια θα μπορούσαν να ληφθούν μέτρα προκειμένου να μειωθεί η αβεβαιότητα της μέτρησης (π.χ. μεγαλύτερη προσοχή στην τοποθέτηση των αισθητήρων στα σημεία μέτρησης), θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένα ακτινόμετρο μεγαλύτερης ακρίβειας (εν προκειμένω, για παράδειγμα, από τα τρία διαθέσιμα ακτινόμετρα που μετρούσαν στο φάσμα 250 – 400 nm επιλέχθηκε για τον έλεγχο συμμόρφωσης με το όριο των 0,3 W/m^2 και την εξαγωγή συμπερασμάτων το ακτινόμετρο με τη χαμηλότερη διευρυμένη αβεβαιότητα μέτρησης (βλ. Πίνακα 2)) ή ακόμη και ένα φασματοφωτόμετρο διπλού μονοχρωμάτορα.

Τα συμπεράσματα από την πρώτη δράση καταγραφής της υπεριώδους ακτινοβολίας των μηχανημάτων τεχνητού μαυρίσματος στην Ελλάδα βασίζονται, συνεπώς, στις μετρήσεις που έγιναν με το ακτινόμετρο $X1_4$ + XD-45-ERYC-4. Σύμφωνα με τις μετρήσεις αυτές και τα κριτήρια που τέθηκαν για την αξιολόγηση της συμμόρφωσης με το όριο 0,3 W/m^{2}τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα εξής: α) στο 65% των μηχανημάτων στα οποία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις διαπιστώθηκε υπέρβαση του ορίου 0,3 W/m^2 ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος, β) στο 10% των μηχανημάτων διαπιστώθηκε πιθανή υπέρβαση του ορίου ενώ γ) στο 25% των μηχανημάτων δεν διαπιστώθηκε υπέρβαση του ορίου 0,3 W/m^2 ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος.

Καταληκτικά, χρησιμοποιώντας ένα ακτινόμετρο ευρέος φάσματος με την ικανότητα να πραγματοποιεί μετρήσεις ξεχωριστά σε κάθε υποπεριοχή του φάσματος του UV, ως βασικό εξοπλισμό μέτρησης κατά τους επιτόπιους ελέγχους ερυθηματώδους πυκνότητας ισχύος από τα μηχανήματα τεχνητού μαυρίσματος στις επιχειρήσεις παροχής αντίστοιχων υπηρεσιών, ο έλεγχος συμμόρφωσης με όλα τα κριτήρια που θέτει το πρότυπο ΕΛΟΤ ΕΝ 60335-2-27:2013 μπορεί να γίνει γρήγορα, απλά και αξιόπιστα.

5. Χρηματοδότηση

Η εν λόγω δράση πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος «ΠΡΙΣΜΑ», το οποίο αποτελεί μέρος της Δράσης «Αναπτυξιακές Προτάσεις Ερευνητικών Φορέων - ΚΡΗΠΙΣ», με τη συγχρηματοδότηση του Ευρωπαϊκού Ταμείου Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΣΠΑ 2007-2013).

6. Βιβλιογραφία

ΕΛΟΤ ΕΝ 60335-2-27: *"Household and similar electrical appliances - Safety - Part 2-27: Particular requirements for appliances for skin exposure to ultraviolet and infrared radiation",* 2013

Diffey, B.L., *"Sources and measurement of ultraviolet radiatio*n*"*, Methods, 28, p.p. 4-13, 2002

Hülsen, G., Gröbner, J., *"Characterization and calibration of ultraviolet broadband radiometers measuring erythemally weighted irradiance"*, Applied Optics, 46, (23), p.p. 5877-5886, 2007

Larason, T.C., Cromer, C.L., *"Sources of error in UV radiation measurem*ents*"*, J. Res. Natl. Stand. Technol., 106, p.p. 649-656, 2001

Petri, A., Karabetsos, E.: *"Effective ultraviolet irradiance measurements from artificial tanning devices in Greece"*, Radiat Prot Dosimetry, 2015, 167, (4), pp. 490-501. doi: 10.1093/rpd/ncu346

ISO/IEC Guide 98-3. *Uncertainty of measurement - Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement* (GUM: 1995). International Organization for Standardization (ISO) 2008.