



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS



ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ

Δοκιμές, μετρήσεις και έλεγχος καλής λειτουργίας μονάδας
Αποστειρωτή Επιφανειών & Αέρα UVC TROLLEY με λάμπες PHILIPS
τύπου SM-II intelligent Control UV Disinfection Lamp / SM-SJD-2-30Y
του οίκου Foshan Shengma Technology Co. LTD

ΠΡΟΣ
THE RIGHT CHOICE IKE
Καραγεώργη Σερβίας 2, ΤΚ 10562

ΠΑΤΡΑ
ΙΟΥΝΙΟΣ 2022

TERMINOLOGY / ΟΡΟΛΟΓΙΑ			
IRRADIANCE	RADIATION INTENSITY	ΕΝΤΑΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ	W/m ²
UV	ULTRAVIOLET	ΥΠΕΡΙΩΔΕΣ	10nm<400nm *
UVA	ULTRAVIOLET A-BAND	ΥΠΕΡΙΩΔΕΣ Α	315nm-400 nm
UVB	ULTRAVIOLET B-BAND	ΥΠΕΡΙΩΔΕΣ Β	280nm-315nm
UVC	ULTRAVIOLET C-BAND	ΥΠΕΡΙΩΔΕΣ C	200nm-280nm
VUV	VACUUM UV	ΥΠΕΡΙΩΔΕΣ ΚΕΝΟΥ	100nm-200nm
EUV	EXTREME UV	ΑΚΡΑΙΟ ΥΠΕΡΙΩΔΕΣ	10nm-100nm
NUV	NEAR ULTRAVIOLET	ΕΓΓΥΣ ΥΠΕΡΙΩΔΕΣ	300nm-400nm
VIS	VISIBLE	ΟΡΑΤΟ	400nm-700nm
IR	INFRARED	ΥΠΕΡΥΘΡΟ	0.7 μm -200μm
NIR	NEAR-INFRARED	ΕΓΓΥΣ ΥΠΕΡΥΘΡΟ	0.7 μm -3.0μm
EXPOSURE TIME	IRRADIATION TIME	ΧΡΟΝΟΣ ΕΚΘΕΣΗΣ	sec
EXPOSURE DOSE	DOSE	ΔΟΣΗ ΕΚΘΕΣΗΣ	J/m ²
*NOTE /ΣΗΜΕΙΩΣΗ:	ALL SPECTRAL RANGE LIMITS ARE SET BY CONVENTION	ΟΛΑ ΤΑ ΟΡΙΑ ΦΑΣΜΑΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΟΡΙΖΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΣΥΜΒΑΣΗ	

Σύνοψη

Η παρούσα τεχνική έκθεση παρουσιάζει στα αποτελέσματα του έργου «Δοκιμές, μετρήσεις και έλεγχος καλής λειτουργίας μονάδας Αποστειρωτή Επιφανειών & Αέρα UVC TROLLEY με λάμπες PHILIPS τύπου SM-II intelligent Control UV Disinfection Lamp / SM-SJD-2-30Y του οίκου Foshan Shengma Technology Co.LTD» το οποίο υλοποιήθηκε τον Ιούνιο 2022 με πρωτοβουλία και για λογαριασμό της εταιρείας THE RIGHT CHOICE IKE στο Εργαστήριο Φωτονικής Νανοτεχνολογίας του Τμήματος Επιστήμης των Υλικών (Καθ. Ν. Βάϊνος) σε συνεργασία με το Εργαστήριο Βιολογικής Χημείας του Τμήματος Ιατρικής (Καθ. Κ. Σταθόπουλος) του Πανεπιστημίου Πατρών.

Το έργο αφορά στα:

1. **Δοκιμαστική λειτουργία** του μηχανήματος αποστείρωσης με ακτινοβολία UVC και συγκεκριμένα του τύπου SM-II intelligent Control UV Disinfection Lamp / SM-SJD-2-30Y
2. **Απόλυτες μετρήσεις ακτινοβολίας** (α) Ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας UVC [W/m^2] στην φασματική περιοχή $\lambda=200nm-300nm$ με χρήση διαπιστευμένων κατά NIST ανιχνευτών δύο τύπων. (α) Κβαντικός ανιχνευτής και (β) βολομετρικός ανιχνευτής. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στον ελεύθερο χώρο συναρτήσει της απόστασης R και τις γωνίες εκπομπής $\phi-\theta$ (αζιμούθιο-ύψος) ακτινοβολίας. (β) Φασματική ανάλυση της ακτινοβολίας (γ) Ανάλυση των μετρήσεων σε πολικές συντεταγμένες και καθορισμός συνθηκών αποστείρωσης σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα στο εγγύς πεδίο ($R\sim 1cm-50cm$) και απώτερου πεδίου ($R\sim 50cm-500cm$)
3. **Βιολογικές μελέτες αποστείρωσης** (α) Καλλιέργεια (άνω των 15) δειγμάτων e-coli και (άνω των 15) δειγμάτων staphylococcus με συγκεκριμένους πληθυσμούς. (β) Έκθεση των δειγμάτων σε ακτινοβολία UVC εκπεμπόμενη από το ως άνω μηχανήμα. Δοσομετρική έκθεση ακτινοβολίας [J/m^2] σε κατανεμημένα σημεία στον ελεύθερο χώρο. (γ) Καλλιέργεια ακτινοβολημένων δειγμάτων και μετρήσεις πληθυσμών.
4. **Ανάλυση αποτελεσμάτων-Τεχνική Έκθεση**

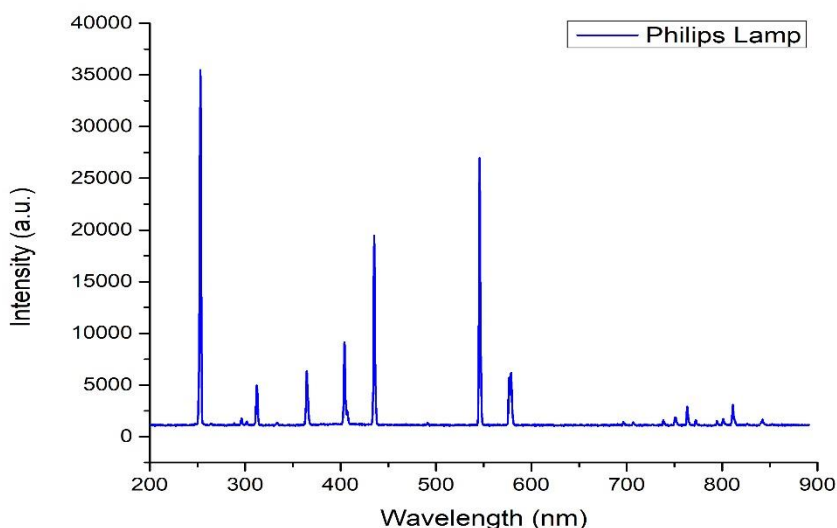
Οι μετρήσεις ακτινοβολίας δείχνουν εξαιρετικά υψηλά επίπεδα ισχύος στην φασματική περιοχή 200nm-300nm με κεντρική εκπομπή στην γραμμή $\lambda=253.7nm$ λυχνίας Hg χαμηλής πίεσης. Τα βιολογικά πειράματα αποδεικνύουν την μεγάλη αποστειρωτική ικανότητα του μηχανήματος σε καλλιέργειες staphylococcus aureus και e-coli ακόμη και σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 6m από την πηγή. Σημειώνεται ότι η ανθεκτικότητα των ιών (π.χ. Covid-19, Hepatitis, κτλ..) στην συγκεκριμένη ακτινοβολία είναι αμελητέα σε σύγκριση με τα ως άνω βακτήρια και δεν χρησιμοποιείται ως μετρήσιμη παράμετρος. Τα αποτελέσματα μετρήσεων ακτινοβολίας σύμφωνα με τις επίσημες σταθερές μικροβιακής επιβίωσης δίνουν εξαιρετικά επίπεδα αποστείρωσης και μηδενική επιβίωση των βακτηρίων στις συνθήκες των πειραμάτων που παρουσιάζονται εδώ.

1 Περιγραφή του αποστειρωτή

Ο αποστειρωτής UVC TROLLEY με λάμπες PHILIPS τύπου SM-II intelligent Control UV Disinfection Lamp / SM-SJD-2-30Y του οίκου Foshan Shengma Technology Co. LTD, περιλαμβάνει δύο λυχνίες εκκένωσης Hg 900X25mm, τοποθετημένες εν σειρά κατά μήκος ανακλινόμενου βραχίονα. Ο ανακλινόμενος βραχίονας είναι τοποθετημένος εντός ορθογώνιου μεταλλικού πλαισίου. Φέρει χρονοδιακόπτη, διακόπτη ON/OFF και φωτοηλεκτρικό αισθητήρα ανίχνευσης κίνησης. Ο φωτοηλεκτρικός αισθητήρας κίνησης προσφέρει ασφάλεια στον χειριστή καθώς οι λυχνίες απενεργοποιούνται, όταν ανιχνεύσουν κίνηση πλησίον της οπίσθιας θέσης του μηχανήματος. Τέλος ο αποστειρωτής SM-II intelligent Control UV Disinfection Lamp / SM-SJD-2-30Y μετά την ενεργοποίησή του (διακόπτης=ON) παρέχει στο χρήστη απαραίτητο χρονικό διάστημα μερικών δευτερολέπτων (~30sec) προς αποχώρηση του από τον χώρο προς αποστείρωση.

2 Φάσμα εκπομπής

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του φάσματος ακτινοβολίας με πολυκαναλικό αναλυτή φάσματος υπεριώδους-ορατού-εγγύς υπέρυθρου, τύπου Theta-metrisis / Ocean Optics και καταγράφηκε το φάσμα της Εικ.1 σε διάφορες χρονικές περιόδους λειτουργίας. Διαπιστώθηκε ισχυρή εκπομπή στην γραμμή UVC $\lambda=254\text{nm}$ με χρονική σταθερότητα και χωρίς σημαντικές αποκλίσεις ισχύος.



Εικ.1. Φάσμα εκπομπής του μηχανήματος UVC TROLLEY με λάμπες PHILIPS τύπου SM-II intelligent Control UV Disinfection Lamp / SM-SJD-2-30Y.

Το Φάσμα εκπομπής συμφωνεί απόλυτα με την τυπική απόκριση λυχνίας υδραργύρου (Hg) χαμηλής πίεσης. Η εκπομπή στην περιοχή 270nm θεωρείται αμελητέα. Η περιοχή των 270nm παρουσιάζει την υψηλότερη αποδοτικότητα θανάτωσης λόγω μεγαλύτερης

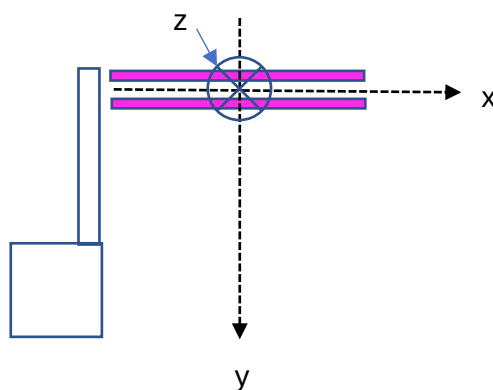
διείσδυσης στο κύτταρο. Η ακτινοβολία της γραμμής 254nm έχει ~50% απόδοση σε σχέση με εκείνη της 270nm, αλλά είναι η πλέον ασφαλής για τον χρήστη,

3 Μετρήσεις έντασης ακτινοβολίας (Irradiance)

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις ακτινοβολίας με μετρητή ισχύος τύπου Newport 2832C πιστοποιημένο κατά NIST, διπλής κεφαλής μέτρησης υπεριώδους – εγγύς υπερύθρου (200nm-1100nm) και επικουρικά βολομετρικό ανιχνευτή τύπου Gentec. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε όλο το φάσμα (200nm-1100nm) και στην περιοχή εγγύς υπεριώδους-ορατού-εγγύς υπερύθρου (NUV-NIR)(300nm-1100nm) και υπολογίστηκε η ένταση ακτινοβολίας (Irradiance) I [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$].

3.1 Κατακόρυφο πεδίο

Η εικόνα 2 παρουσιάζει σχηματικά την γεωμετρία διάταξης εκπομπής ακτινοβολίας σε οριζόντια θέση του βραχίονα στήριξης.



(a)

VERTICAL DISTANCE FROM LAMP $y(\text{cm})$	$I(200-1100\text{nm}) \mu\text{W}/\text{cm}^2$	$I(300-1100\text{nm}) \mu\text{W}/\text{cm}^2$	$I(\text{UVC}) \mu\text{W}/\text{cm}^2$
0	1800	120.6	1679.4
100	112.6	14.2	98.4
170	43.7	3.9	39.8

(b)

Εικ. 2 (α) Σχηματικό διάταξης λυχνιών και συντεταγμένων (β) Πίνακας μετρήσεων $I(y)$.

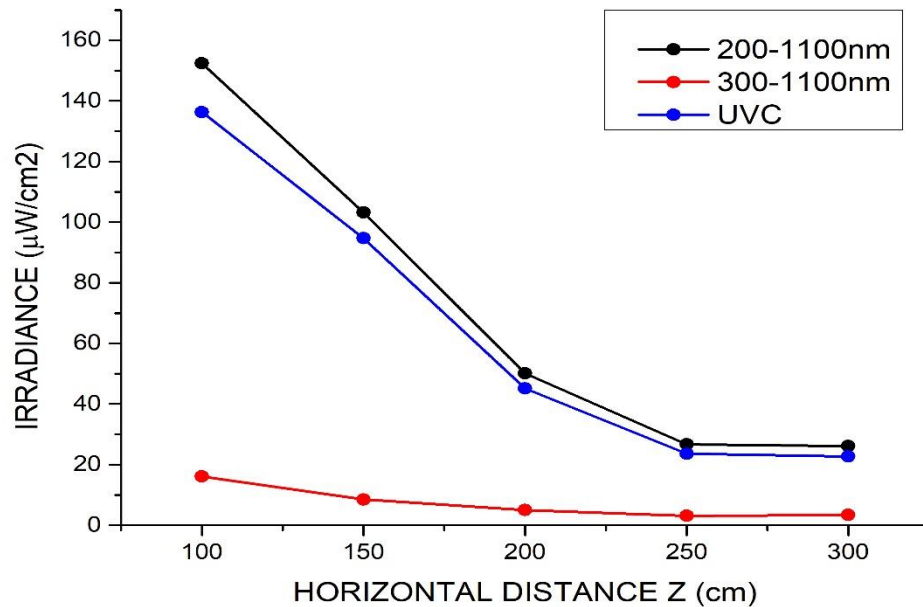
Οι λυχνίες είναι τοποθετημένες σε ανακλινόμενο βραχίονα και φαίνονται σε οριζόντια θέση στην Εικ. 1. Σημειώνεται η δυνατότητα τοποθέτησης σε άλλες γωνίες.

Στη ως άνω θέση ελήφθησαν μετρήσεις στην κατακόρυφο κατά τον άξονα y και τα αποτελέσματα φαίνονται στην Εικ. 2(β). Σε επαφή με την λυχνία η ένταση είναι $I(0) \sim 1.67\text{mW}/\text{cm}^2$ και μειώνεται σε επίπεδα $\sim 30 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ πλησίον του εδάφους.

3.2 Οριζόντιο πεδίο

Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στο οριζόντιο πεδίο κατά μήκος του άξονα.

Η Εικ. 3 παρουσιάζει την ένταση $I(z)$ στο οριζόντιο επίπεδο κατά μήκος του άξονα z .



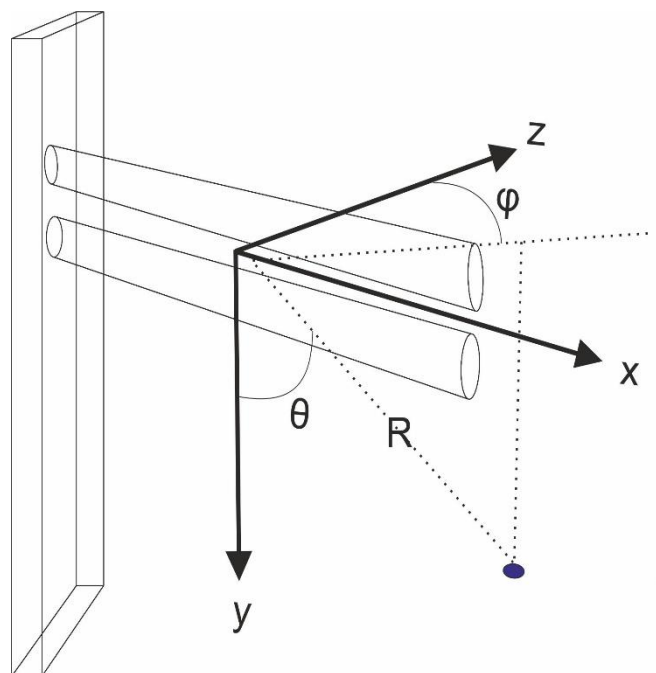
Εικ. 3 Μετρήσεις ακτινοβολίας κατά τον άξονα διάδοσης $I(x,y,z) \rightarrow I(0,0,z)$.

Η σχέση $y = 663552x^{-1.816}$ περιγράφει την μεταβολή σε πρώτη προσέγγιση με βαθμό συσχέτισης $R^2 = 0.9347$

Η προσαρμογή στο πεδίο πέραν του $z = 300\text{cm}$ πραγματοποιείται από την εξίσωση.

3.3 Μακρινό πεδίο

Στην Εικ. 4 παρουσιάζεται η γεωμετρία λήψης μετρήσεων με αναφορά στο καρτεσιανό σύστημα και τις οριζόμενες εδώ πολικές συντεταγμένες (R, ϕ, θ) του σημείου ανίχνευσης '●'.



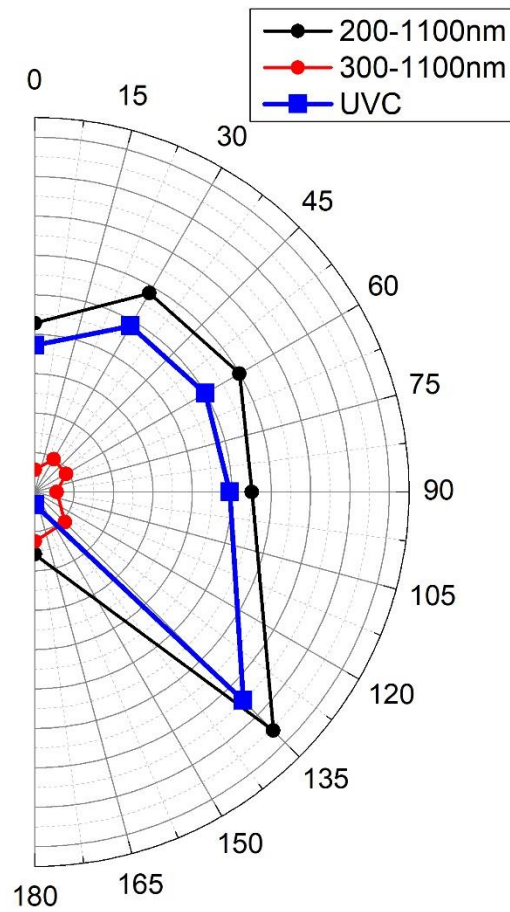
Εικ. 4 Γεωμετρία μετρήσεων

Η Εικ. 5 παρουσιάζει σε πολικά διαγράμματα την ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας στις τρεις φασματικές περιοχές ενδιαφέροντος 200nm-1100nm, 300nm-1100nm και UVC 200nm-300nm.

Είναι σημαντικό να υπογραμμισθεί η δυσκολία λήψης μετρήσεων λόγω του φωτοανιχνευτή ασφαλείας που είναι εφοδιασμένο το σύστημα, το οποίο διακόπτει την λειτουργία των λυχνιών.

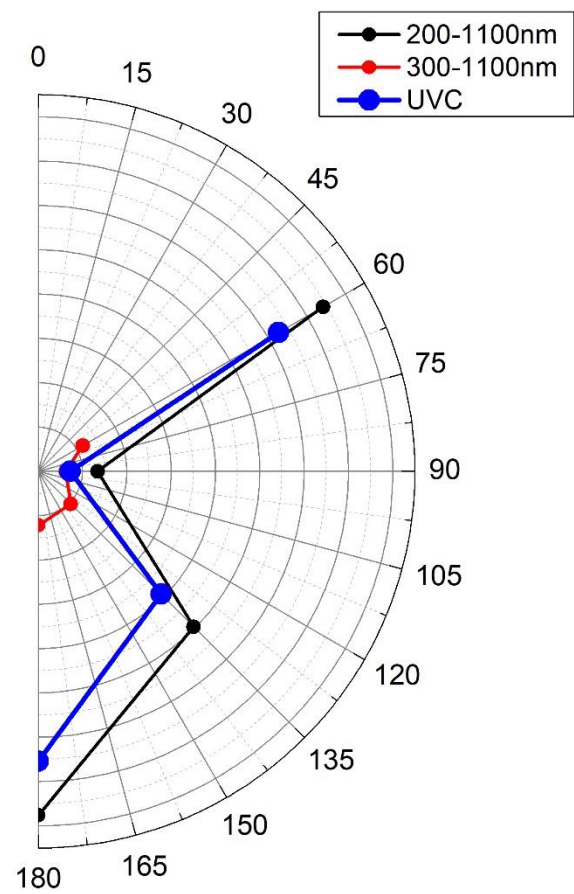
IRRADIANCE ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)

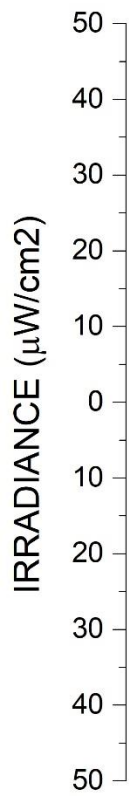
$I(\phi)$
 $\theta=90^\circ$
 $R=100\text{cm}$



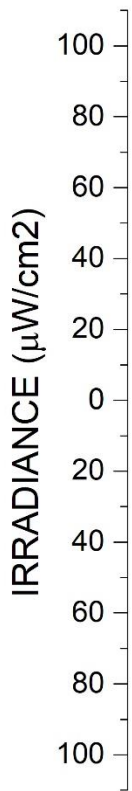
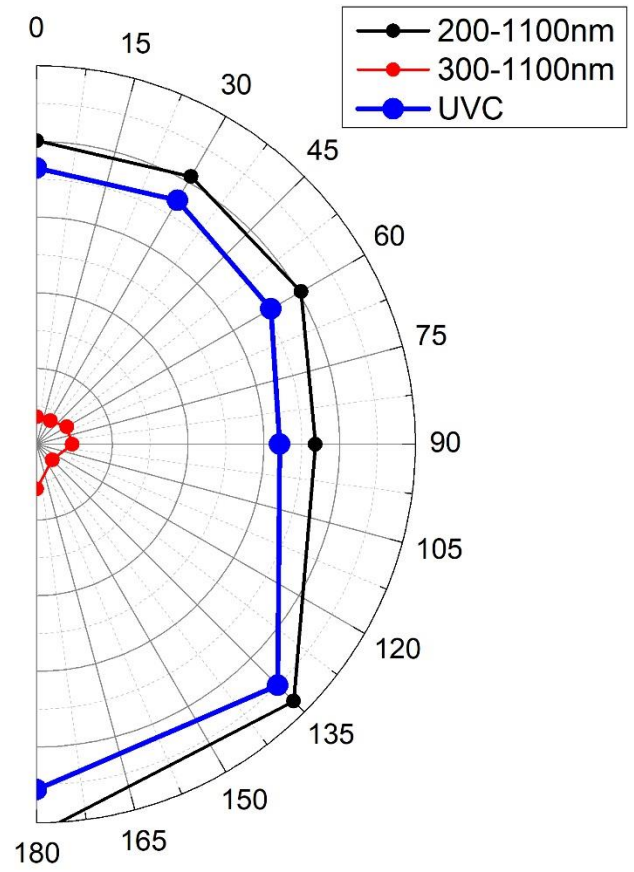
IRRADIANCE ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)

$I(\phi)$
 $\theta=90^\circ$
 $R=200\text{cm}$

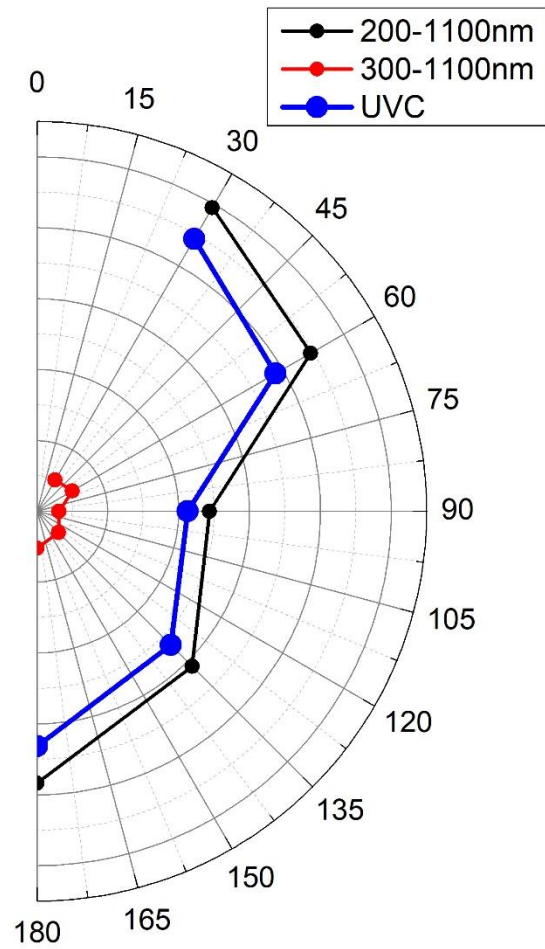


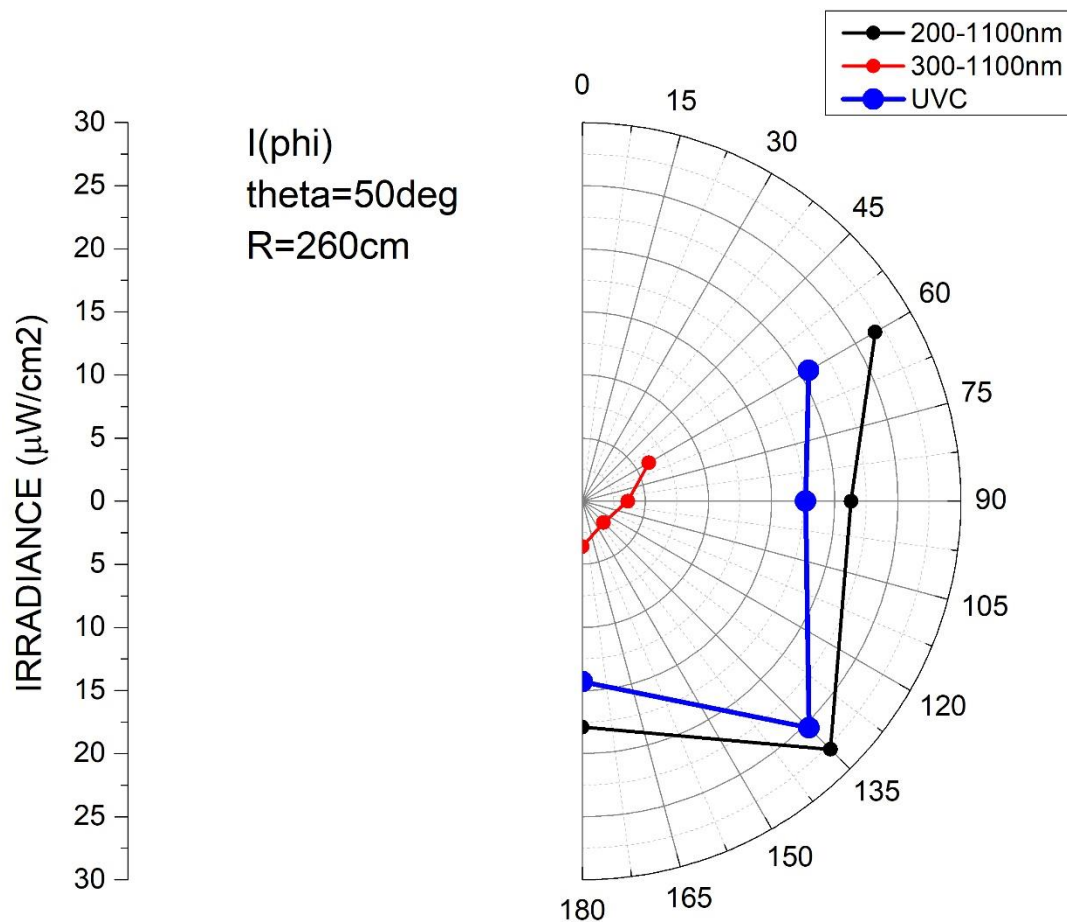


$I(\phi)$
 $\theta=30\text{deg}$
 $R=200\text{cm}$



$I(\phi)$
 $\theta=45\text{deg}$
 $R=140\text{cm}$





Εικ. 5 Εκπομπή ακτινοβολίας σε πολικές συντεταγμένες ϕ - I [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$]

4 Πειράματα αποστείρωσης

Για το έλεγχο της ικανότητας αποστείρωσης πραγματοποιήθηκαν πειράματα με καλλιέργειες staphylococcus και e-coli σε τρυβλία Petri τα οποία εκτέθηκαν σε ακτινοβολία UVC του μηχανήματος με αναφορά (α) σε διάφορες εντάσεις [$\mu\text{W}/\text{cm}^2$] και (β) διάφορους χρόνους έκθεσης [sec] και κατά συνέπεια Exposure levels [$\mu\text{J}/\text{cm}^2$]

Για την μέτρηση του βαθμού βιωσιμότητας των κυττάρων έγινε συγκριτική μελέτη της οπτικής πυκνότητας (Optical Density – O.D.) των καλλιεργειών με σκέδαση ακτινοβολίας HeNe λέιζερ $\lambda=633\text{nm}$.

Οι αρχικές καλλιέργειες είχαν πυκνότητα

- Staphylococcus: 2.4×10^9 cell/ml
- e-coli: 1.76×10^9 cell/ml

και επιστρώθηκαν αντίστοιχα επί θρεπτικού σε πάχος:

- Staphylococcus: 220 μm
- e-coli: 70 μm

Η ισχύς της ακτινοβολίας λέιζερ στο διάφραγμα της δέσμης ήταν 11mW.

Η αρχικά μετρούμενη μη-σκεδαζόμενη ισχύς ήταν $\sim 7\text{-}8\text{mW}$ κατά μέσο όρο για όλα τα δείγματα που αντιστοιχεί σε ολική οπτική πυκνότητα (μικρόβια-θρεπτικό-υπόστρωμα) $\sim \text{OD}0.1\text{-}\text{OD}0.2$.

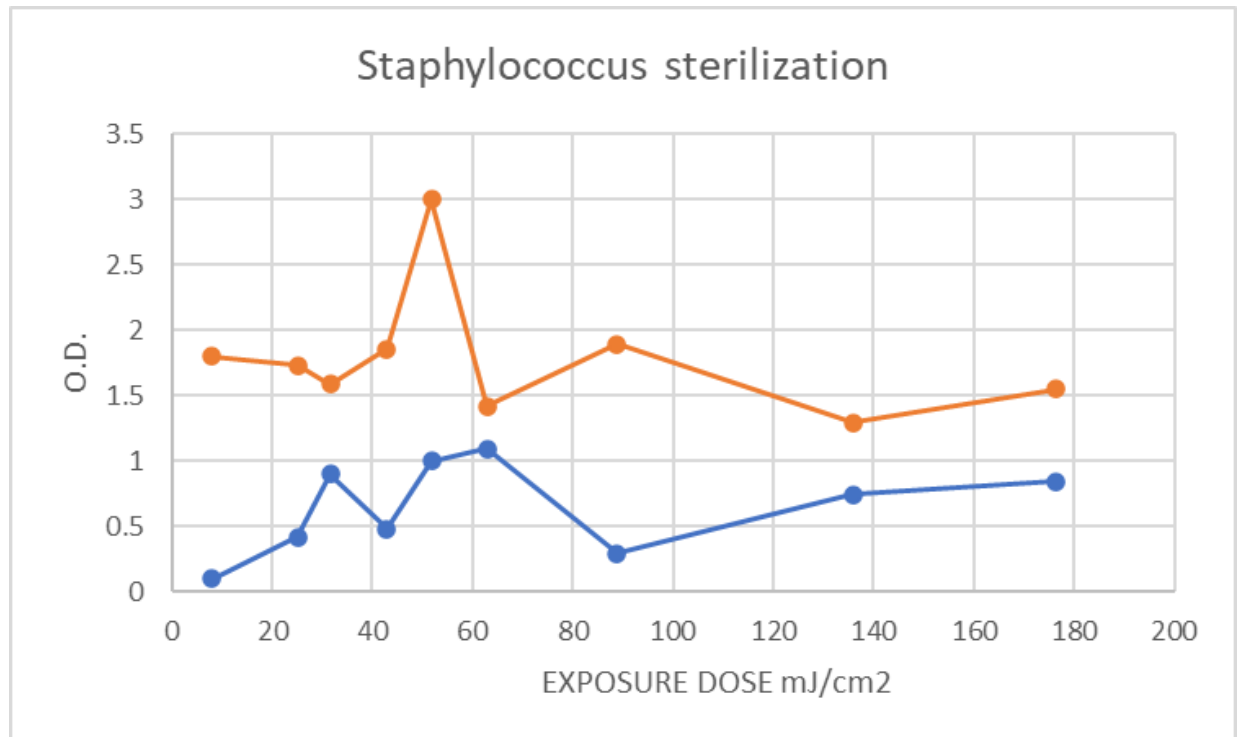
Σημειώνεται ότι η σκέδαση στη περίπτωση *Staphylococcus* αναμένεται μεγαλύτερη και διάφορη μεταξύ δειγμάτων.

Τα διαγράμματα παρακάτω καταγράφουν τα αποτελέσματα αποστείρωσης ως προς την OD.

Η βιωσιμότητα των πληθυσμών καταγράφεται αναφορικά με την OD και το σύστημα επιδεικνύει ισχυρή ικανότητα αποστείρωσης ακόμη και σε αποστάσεις τάξης 5m από την πηγή και χρόνο έκθεσης 30min.

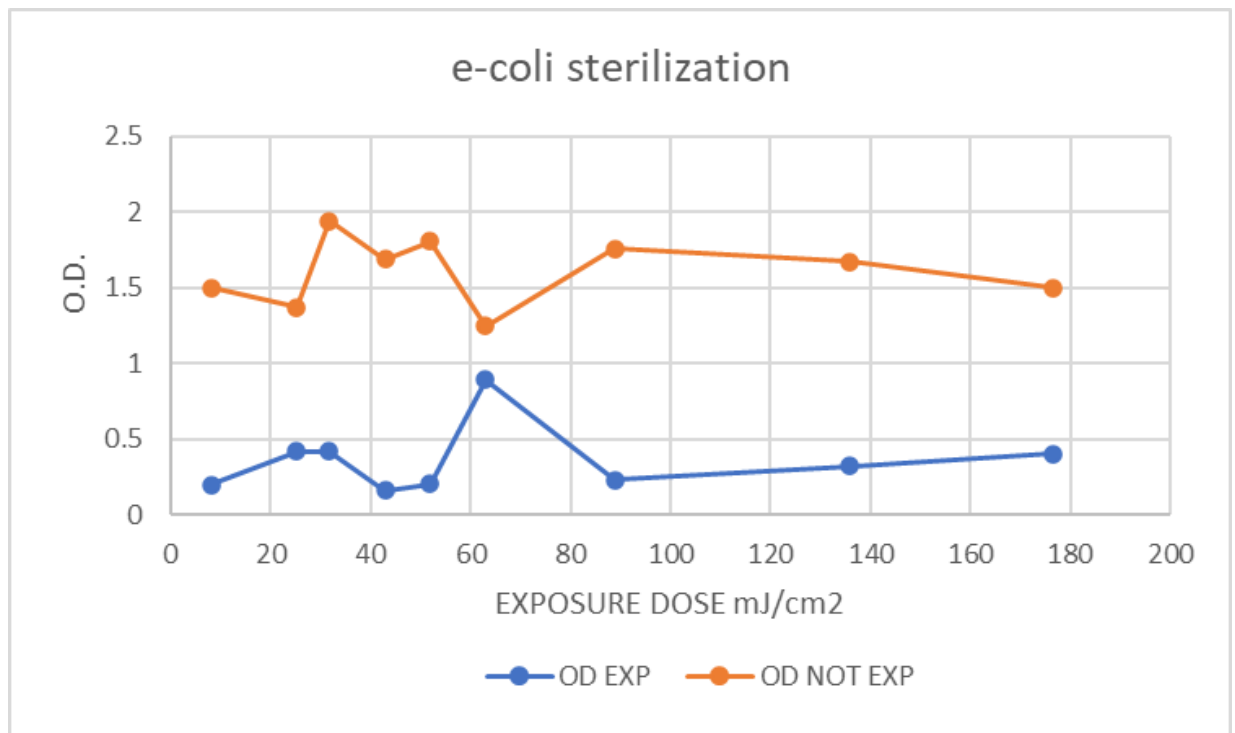
Υπογραμμίζεται ότι οι μετρήσεις οπτικής πυκνότητας πραγματοποιούνται στις καλλιέργειες μικροβίων σε τρυβλία Petri ήτοι δείγματα μικρού οπτικού δρόμου (πάχους) όπως αναφέρεται παραπάνω και όχι ως συνήθως σε υγρές καλλιέργειες εντός κυψελίδων οπτικού δρόμου 10mm.

4.1 Staphylococcus aureus



Εικ. 6. Αποστείρωση staphylococcus aureus ως προς την δόση έκθεσης.

4.2 E-coli



Εικ. 7. Αποστείρωση e-coli ως προς την δόση έκθεσης.

5 Συμπερασματικές Παρατηρήσεις

Πραγματοποιήθηκαν πειράματα μετρήσεων έντασης ακτινοβολίας με σκοπό τον έλεγχο καλής και αποτελεσματικής λειτουργίας της μονάδας Αποστειρωτή Επιφανειών & Αέρα UVC TROLLEY με λάμπες PHILIPS τύπου SM-II intelligent Control UV Disinfection Lamp / SM-SJD-2-30Y του οίκου Foshan Shengma Technology Co. LTD.

Η ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας UVC διαπιστώνεται υψηλή με ικανότητα θανάτωσης μικροβίων σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 5m και χρόνους έκθεσης 10-20min.

Η πολική διασπορά ακτινοβολίας στον χώρο κρίνεται ικανοποιητική παρουσιάζοντας τιμές έντασης UVC τάξης 50-100μW/cm² ήτοι τάξης της ολικής έντασης ηλιακής ακτινοβολίας καθαρής ηλιόλουστης ημέρας.

Σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία* το ποσοστό επιβίωσης, S, μικροοργανισμών σε έκθεση UVC για ένα στάδιο θανάτωσης δίνεται από την σχέση:

$$S=\exp(-k D)$$

k=σταθερά ρυθμού έκθεσης (cm²/mJ)

D=δόση έκθεσης (mJ/cm²)

Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει τα ποσοστά επιβίωσης για τα δύο βακτήρια με βάση τα βιβλιογραφικά δεδομένα και κάνοντας χρήση των πειραματικών αποτελεσμάτων για το πείραμα ελάχιστης έκθεσης 10min (600sec) σε απόσταση 500cm ήτοι D=8mJ/cm².

ΠΙΝΑΚΑΣ 3 ΠΟΣΟΣΤΑ ΕΠΙΒΙΩΣΗΣ ΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

E-coli

k (cm ² /mJ)	D (mJ/cm ²)	Επιβίωση %	ΜΕΣΟ	Reference	
1.09E+00	8	1.63E-02	W	Zelle	1955
0.432	8	3.16E+00	W	Tyrrell	1972
1.151	8	1.00E-02	W	Oguma	2001
0.494	8	1.92E+00	W	Kim	2002
0.53	8	1.44E+00	W	Hofemeister	1975
1.8	8	5.57E-05	W	Harris	1987
1.15	8	1.01E-02	W	Harm	1968
0.96	8	4.62E-02	W	David	1973
0.2832	8	1.04E+01	W	Abshire	1981
0.9398	8	5.43E-02	S	Sharp	1939
1.2	8	6.77E-03	S	Rentschler	1942
1.93	8	1.97E-05	S	Rentschler	1942

Staphylococcus aureus

4.40E-01	8	2.96E+00	W	Dolman	1989
8.53E-01	8	1.09E-01	W	Chang	1985
4.13E-01	8	3.66E+00	W	Abshire	1981
7.70E-01	8	2.11E-01	S	Sturm	1932
4.65E-01	8	2.42E+00	S	Hollaender	1955
3.50E-01	8	6.08E+00	S	Gates	1934
8.86E-01	8	8.35E-02	S	Sharp	1939
6.24E-01	8	6.79E-01	S	Luckiesh	1949
1.18E+00	8	7.70E-03	S	Gates	1929
1.13E+00	8	1.19E-02	Air	Nakamura	1987
3.48E+00	8	8.38E-11	Air	Sharp	1940
9.60E+00	8	4.36E-32	Air	Luckiesh	1949
9.62E+00	8	3.77E-32	Air	Luckiesh	1946

Από τους ανωτέρω υπολογισμούς συνάγονται μηδενικά επίπεδα επιβίωσης μικροοργανισμών στις συγκεκριμένες συνθήκες και επιβεβαιώνεται η ισχυρή αποστειρωτική δράση του SM-II intelligent Control UV Disinfection Lamp / SM-SJD-2-30Y. Υπογραμμίζουμε ότι ακόμη και με την μικρότερη σταθερά $k \sim 0.3 \text{ cm}^2/\text{mJ}$, 600sec ακτινοβολήση είναι ικανή να δώσει 99% αποστείρωση. Εναλλακτικά 1800sec έκθεση είναι ικανή να αποστειρώσει σε βαθμό 99% από απόσταση 20m.

ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΧΡΗΣΗΣ

Η American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIHR)** αποδίδει στην UV-C ακτινοβολία 254 nm την μισή βιολογική επίδραση της ακτινοβολίας σε 270nm. Η επιτρεπτή έκθεση σε ακτινοβολία ορίζεται ως το κατώφλι έκθεσης οφθαλμού (Threshold Limit Value-TLV) με ένταση $0.2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ συνεχούς ακτινοβολήσης για 8hrs με συνολική δόση έκθεσης $6.0 \text{ mJ}/\text{cm}^2$ στα 254 nm.

Συνίσταται εξαιρετική προσοχή κατά την χρήση του μηχανήματος με ολόσωμη φόρμα εργασίας, γάντια, ολοπρόσωπη μάσκα με γυαλιά προστασίας τουλάχιστον OD3 στο υπεριώδες. Παρουσία ανθρώπων και ζώων στον χώρο κατά την διάρκεια της έκθεσης απαγορεύεται.

** Melvin W. First, Robert A. Weker, Shojiro Yasui, and Edward A. Nardell, Monitoring Human Exposures to Upper-Room Germicidal Ultraviolet Irradiation, J Occup Environ Hyg, 2: 285–292(2005)

Ο Επιστημονικός Υπεύθυνος

Νικόλαος Α. Βάϊνος

Καθηγητής