



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ  
ΒΙΟΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ**

---



## **Θέμα Πτυχιακής Εργασίας**

**Ηλιακή απολύμανση δευτεροβάθμια επεξεργασμένων υγρών  
αποβλήτων**



**Ζκέρη Ειρήνη**

**Χανιά 2004-2005**



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ & ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ ΚΑΙ  
ΒΙΟΧΗΜΙΚΩΝ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ**



---

### **Θέμα Πτυχιακής Εργασίας**

**Ηλιακή απολύμανση δευτεροβάθμια επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων.**

### **Επιβλέπουσα καθηγήτρια**

- **Αναπλ. Καθ. Ελευθερία Κατσίβελα**

### **Εξεταστική Επιτροπή:**

- **Αναπλ. Καθ. Κατσίβελα Ελευθερία**
- **Αναπλ. Καθ. Σταυρουλάκης Γεώργιος**
- **Καθ. Εφαρμ. Βουρδουμπάς Ιωάννης**

### **Ευχαριστίες**

Με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στην επιβλέπουσα αναπληρώτρια καθηγήτρια Κατσίβελα Ελευθερία για την ανάθεση και την επίβλεψη της εργασίας καθώς και για την σημαντική βοήθειά της στην εκπόνηση του πειραματικού μέρους της εργασίας και για την ουσιαστική καθοδήγηση και υποστήριξη που μου παρείχε σε όλη την διάρκεια της.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε σε συνεργασία με τον καθηγητή εφαρμογών Βουρδουμπά Ιωάννη, τον οποίο και ευχαριστώ ιδιαίτερος. Επίσης θέλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον αναπληρωτή καθηγητή Σταυρουλάκη Γεώργιο για την συμβολή του στην ολοκλήρωση της πτυχιακής εργασίας, καθώς και για τις χρήσιμες παρατηρήσεις και διορθώσεις που έκανε στο κείμενο και για την συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή.

## Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάστηκε η επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στην απολύμανση υγρών αστικών αποβλήτων κατά την διάρκεια της ημέρας το καλοκαίρι στα Χανιά. Η μέθοδος της ηλιακής απολύμανσης του νερού (SODIS - Solar Water Disinfection) είναι μία μέθοδος βελτίωσης της ποιότητας του πόσιμου νερού (όσον αφορά το μικροβιακό φορτίο) που εφαρμόζεται σε χώρες όχι τεχνολογικά ανεπτυγμένες με γεωγραφικό πλάτος μεταξύ 15° B/N και 35° B/N και βασίζεται στην αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών λόγω της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας UV-A και της προκαλούμενης αύξησης της θερμοκρασίας του νερού.

Η προαναφερθείσα μέθοδος εφαρμόστηκε σε δευτεροβάθμια επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, τα οποία προέρχονταν από την Εγκατάσταση Επεξεργασίας Υγρών Αστικών Αποβλήτων του Δήμου Χανίων και ελήφθησαν μετά τη δευτεροβάθμια καθίζηση.

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε διαφανή πλαστικά μπουκάλια πόσιμου νερού από Polyethylene Tetrphthalate (PET) και σε δείγματα με θολερότητα 6 NTU και BOD<sub>5</sub> 23 mg O<sub>2</sub> / l κατά τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και Σεπτέμβριο. Μια μείωση της τάξης του 97 - 99% για τα ολικά ετερότροφα βακτήρια (που καλλιεργούνται στους 37° C και στους 22° C) και 99,5 - 99,9% για τα ολικά και κοπρανώδη κολοβακτήρια καθώς και για τους κοπρανώδεις εντερόκοκκους διαπιστώθηκε μετά από 6 ώρες έκθεσης σε ηλιακή ακτινοβολία έντασης από 395-1033 W/m<sup>2</sup> και σε θερμοκρασία αποβλήτων από 26-49,5° C.

Τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας δείχνουν ότι η ηλιακή απολύμανση δευτεροβάθμια επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων με θολερότητα μικρότερη από 20 NTU θα μπορούσε να εφαρμοστεί θα μπορούσε να εφαρμοστεί μόνο ως αναφορά την δραστηριότητα της μεθόδου στην θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών κατά την διάρκεια ημερών με ηλιοφάνεια σε Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων οικισμών, οι οποίες δεν διαθέτουν διεργασία απολύμανσης των επεξεργασμένων αποβλήτων πριν τη διάθεσή τους στον τελικό αποδέκτη (π.χ σε οικισμούς με λιγότερους από 15.000 ισοδύναμους κατοίκους). Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ηλιακή επεξεργασία για τουλάχιστον 6 ώρες σε δεξαμενές βάθους ≤10 cm ή σε διαφανείς σωλήνες διαμέτρου ≤10 cm.

## Summary

In the present study the effect of solar radiation on the disinfection of domestic wastewater during the day in summer in the city of Chania was investigated. Solar Water Disinfection (SODIS) is a simple technology used to improve the microbiological quality of drinking water at household level in developing countries with latitude between 15<sup>0</sup>N/S and 35<sup>0</sup>N/S. SODIS is using solar UV-A radiation and increased water temperature to inactivate pathogens causing diarrhea.

In our work, solar disinfection was applied in secondary treated wastewater that came from the Wastewater treatment Plant of the Municipality of Chania. The wastewater samples had a turbidity of 6 NTU and BOD<sub>5</sub> 23 mg O<sub>2</sub>/ l.

The experiments were carried out in transparent Polyethylene Terephthalate (PET) water plastic bottles during the months July, August and September. An average reduction of 97-99% of the concentration of *total heterotrophic bacteria* (cultivated at 37°C and at 22°C) and of 99,5-99,9% of the concentration of *faecal coliforms* as well as the *faecal enterococcus* was obtained after 6 hours of exposition in solar radiation with an intensity from 395-1033 W/m<sup>2</sup> and increased temperature in the wastewater 26° C to 49° C.

The results showed that solar disinfection of secondary treated domestic wastewater with turbidity less than 20 NTU could be applied during the period of sunlight in Wastewater Treatment plants of settlements with less than 15.000 equivalent inhabitants that do not possess disinfection treatment of the wastewater before discharge to the final recipient. Essential requirement for solar disinfection is the exposition of at least 6 hours in tanks with deepness of 10cm or tubes with a diameter of 10 cm.

<b>Περιεχόμενα</b>	<b>Σελίδα</b>
Πρόλογος .....	8
<b>Κεφάλαιο1 .....</b>	<b>9</b>
Εισαγωγή .....	9
<b>Κεφάλαιο2 .....</b>	<b>11</b>
Επεξεργασία Υγρών Αποβλήτων.....	11
2.1 Βασικές Μονάδες επεξεργασίας αποβλήτων .....	11
2.2 Μονάδες Επεξεργασίας και βαθμός καθαρισμού.....	11
2.3 Τα βασικά τμήματα της εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών αποβλήτων του Δήμου Χανίων.....	13
<b>Κεφάλαιο3 .....</b>	<b>16</b>
3.1 Νομοθεσία .....	16
3.1.1 Οδηγία 91/271/EEC για την επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων .....	16
3.1.2 Οδηγία για τα νερά κολύμβησης .....	17
3.1.4 Κανονισμοί για την Υγιεινή του θαλάσσιου Νερού Αναψυχής .....	18
<b>Κεφάλαιο4 .....</b>	<b>21</b>
Ηλιακή απολύμανση νερού (Solar Water Disinfection SODIS) .....	21
4.1 Διαδικασία επεξεργασίας πόσιμου νερού με την μέθοδο SODIS.....	21
4.2 Περιοριστικοί παράγοντες για την εφαρμογή της διαδικασίας SODIS.....	23
4.2.1 Θολρότητα .....	23
4.2.2 Βάθος νερού.....	23
4.2.3 Υλικό και σχήμα των μπουκαλιών.....	24
4.2.4.Περιεκτικότητα του νερού σε οξυγόνο.....	25
4.2.5 Καιρός και κλίμα .....	26
4.3 Αποδοτικότητα της διαδικασίας SODIS.....	28
4.3.1 Επίδραση της ακτινοβολίας .....	28
4.3.2 Επίδραση της θερμοκρασίας .....	28
4.3.3 Διαδικασία SODIS ( Συνεργιστική επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας) .....	28
4.4 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	28
<b>Κεφάλαιο5 .....</b>	<b>41</b>
Απολύμανση των αστικών υγρών αποβλήτων.....	41
5.1 Σκοπός και μέθοδοι απολύμανσης .....	41
5.2 Χλωρίωση - Αποχλωρίωση.....	41
5.2.1 Υποχλωριώδες νάτριο – Απολυμαντική δράση .....	41
5.2.2 Αποχλωρίωση – Διοξείδιο του θείου .....	43
5.2.3 Δεξαμενή Χλωρίωσης .....	43
5.2.4 Χώρος αποχλωρίωσης .....	44
5.2.5 Εξοπλισμός χλωρίωσης- αποχλωρίωσης .....	44
5.3 Απολύμανση με όζον .....	45
5.3.1 Απολυμαντική Δράση.....	45
5.3.2 Διάταξη οζόνωσης .....	45
5.4 Απολύμανση με ακτινοβολία UV .....	46
5.4.1 Απολυμαντική δράση.....	46

5.4.2 Διάταξη απολύμανση.....	47
5.4.3 Παράμετροι που επηρεάζουν την απόδοση της απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία .....	50
5.4.4 Καθορισμός απαιτούμενης δόσης υπεριώδους ακτινοβολίας .....	50
5.5 Σύγκριση εναλλακτικών μεθόδων απολύμανσης .....	52
<b>Κεφάλαιο 6 .....</b>	<b>55</b>
Ποιοτικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων .....	55
6.1 Προδιαγραφές Επεξεργασμένων Αποβλήτων .....	55
6.2 Οργανικά χαρακτηριστικά .....	56
6.2.1 BOD <sub>5</sub> (Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο) .....	58
6.2.2 COD (Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο).....	58
6.3 Μικροβιακά Συστατικά – Παθογόνοι μικροοργανισμοί.....	59
6.3.1 Αρίθμηση των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων και θερμοκρασία επώασης τους .....	60
6.4 Φυσικά χαρακτηριστικά .....	60
6.4.2 Χρώμα .....	60
6.4.3 Οσμή.....	60
6.4.4 Θολερότητα.....	60
6.4.5 Θερμοκρασία .....	61
6.4.6 pH .....	62
6.4.7 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα .....	62
<b>Κεφάλαιο 7.....</b>	<b>65</b>
Πειραματικό μέρος – Υλικά και μέθοδοι ανάλυσης .....	65
7.1 Δειγματοληψία – Προεπεξεργασία δείγματος .....	65
7.2 Πειραματικές συνθήκες .....	65
7.3 Προσδιορισμός της Δόσης της ηλιακής ακτινοβολίας.....	66
7.4 Προσδιορισμός μικροβιακού φορτίου .....	66
7.5 Αποστείρωση .....	66
7.6 Προετοιμασία τρυβλίων με θρεπτικό υπόστρωμα.....	66
7.6.1 Παρασκευή υποστρωμάτων.....	67
7.7 Δειγματοληψία.....	67
7.8 Διήθηση .....	68
7.9 Διαδικασία Εμβολιασμού για την ανίχνευση των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων.....	68
7.10 Επώαση.....	69
7.11 Καταμέτρηση αποικιών.....	69
7.12 Υπολογισμός των συγκεντρώσεων σε μικροβιακό φορτίο.....	69
7.13 Ποιοτικά – Φυσικά χαρακτηριστικά δείγματος .....	69
7.13.1 pH – Συγκέντρωση Υδρογονοκατιόντων .....	69
7.13.2 Αγωγιμότητα .....	69
7.14 Οργανικά συστατικά .....	70
7.14.1 Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand B.O.D) .....	70

<b>Κεφάλαιο 8 .....</b>	<b>71</b>
8.1 Αποτελέσματα πειράματος προσδιορισμού της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη συγκέντρωση των ολικών κολοβακτηρίων, θερμοανθεκτικών κοπρανόδων κολοβακτηρίων, κοπρανόδων εντερόκοκκων και ολικών ετερότροφων βακτηρίων σε δείγματα δευτεροβάθμια επεξεργασμένων Υγρών Αποβλήτων με την χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας.....	71
8.2 Αποτελέσματα μικροβιολογικής εξέτασης.....	75
8.2.1 Αποτελέσματα από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στην μεταβολή της συγκέντρωσης των εντερόκοκκων κατά το πρώτο πείραμα που πραγματοποιήθηκε στις 22/07/2004.....	76
8.2.2 Αποτελέσματα από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας στην μεταβολή της συγκέντρωσης των εντερόκοκκων, των ολικών και κοπρανόδων κολοβακτηρίων κατά το δεύτερο πείραμα που πραγματοποιήθηκε στις 29/07/2004 .....	78
8.2.3 Αποτελέσματα από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στη μεταβολή της συγκέντρωσης των ολικών ετερότροφων βακτηρίων που καλλιεργήθηκαν στους 22°C και 37°C το τρίτο πείραμα που πραγματοποιήθηκε στις 16/09/2004 .....	86
8.2.4 Αποτελέσματα από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στη μεταβολή της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων που καλλιεργήθηκαν στους 22°C και 37°C το τέταρτο πείραμα που πραγματοποιήθηκε στις 23/09/2004.....	91
8.2.5 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα .....	96
8.2.6 Οπτική απεικόνιση των αποτελεσμάτων .....	100
<b>Κεφάλαιο 9.....</b>	<b>105</b>
Συμπεράσματα.....	105
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>108</b>
<b>Ελληνικός Αλφαβητικός Πίνακας Συντομογραφιών με Επεξηγήσεις .....</b>	<b>111</b>
<b>Αγγλικός Αλφαβητικός Πίνακας Συντομογραφιών με Επεξηγήσεις .....</b>	<b>111</b>

## Πρόλογος

Η συγκεκριμένη εργασία έχει ως στόχο την μελέτη της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη μείωση του μικροβιακού φορτίου δευτεροβάθμια επεξεργασμένων αστικών αποβλήτων προερχόμενων από την Μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων του Δήμου Χανίων.

Σκοπός του πειράματος είναι η μείωση των μικροβιακών δεικτών και συγκεκριμένα των ολικών και θερμοανθεκτικών κοπρανόδων κολοβακτηρίων, των κοπρανόδων εντερόκοκκων καθώς και των καλλιεργήσιμων μικροοργανισμών στους 22<sup>0</sup> C και στους 37<sup>0</sup> C μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας.

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν τους μήνες Ιούλιο και Σεπτέμβριο του 2004. Οι αναλύσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο Περιβαλλοντικής Χημείας και Βιοχημικών Διεργασιών του Τομέα Περιβαλλοντικής Τεχνολογίας του Τμήματος Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος του ΤΕΙ Κρήτης.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην σημασία της επεξεργασίας των αποβλήτων για το περιβάλλον και την δημόσια υγεία καθώς και στον στόχο της απολύμανσης τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται γενικά τα στάδια επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων σε μία μονάδα Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων και πιο συγκεκριμένα στο Δήμο Χανίων.

Στο τρίτο κεφάλαιο επισημαίνεται η ισχύουσα νομοθεσία για την επεξεργασία των υγρών αποβλήτων καθώς και οι κανονισμοί και οι Οδηγίες που ισχύουν για τις εκροές και το θαλασσίνο νερό στο οποίο καταλήγουν τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται ο τρόπος εφαρμογής της ηλιακής απολύμανσης του νερού (SODIS) σε χώρες του τρίτου κόσμου και γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται οι υπάρχοντες τρόποι απολύμανσης των υγρών αποβλήτων σε μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους.

Στο έκτο αναφέρονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων και αναλύονται οι παράμετροι που εξετάζονται στην πειραματική διαδικασία.

Στο έβδομο κεφάλαιο περιγράφεται το πειραματικό μέρος, αναφέρονται τα υλικά και οι αναλυτικές μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο όγδοο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σε μορφή πινάκων και γραφημάτων και παράλληλα γίνονται γι' αυτά και κάποιες επισημάνσεις.

Τέλος στο ένατο κεφάλαιο διεξάγονται τα συμπεράσματα που απορρέουν από το σχολιασμό των αποτελεσμάτων.



## Κεφαλαίο 1

### Εισαγωγή

Η εκρηκτική πρόοδος της τεχνολογίας, ιδιαίτερα σε αντικείμενα που σχετίζονται με τους υδατικούς πόρους προσφέρει δυνατότητες σημαντικής βελτίωσης της ποιότητας ζωής. Παράλληλα όμως η υπερκατανάλωση φυσικών πόρων και η αυξανόμενη ρύπανση δημιουργούν περιβαλλοντικά προβλήματα και θέτουν σε κίνδυνο τους φυσικούς πόρους. Η ποιότητα ζωής και η ίδια η διατήρηση της, εξαρτάται άμεσα από την ικανότητα μας να αφομοιώσουμε την εκρηκτική πρόοδο και να αντικρίσουμε το μέλλον με νέες προοπτικές όπως είναι ο συνδυασμός της ωφέλιμης οικονομικής δραστηριότητας με παράλληλη ευαισθησία για την διατήρηση και το σεβασμό του περιβάλλοντος.

Η επεξεργασία των υγρών αποβλήτων είναι σημαντική για την αποφυγή της υποβάθμισης του περιβάλλοντος και για την προστασία της δημόσιας υγείας. Οι απαιτήσεις επεξεργασίας διαμορφώνονται από την ευαισθησία και το είδος του αποδέκτη. Ο ορθός σχεδιασμός εγκαταστάσεων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, προϋποθέτει γνώση των πραγματικών ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων των υγρών αποβλήτων, τον καθαρισμό του βέλτιστου βαθμού των υγρών αποβλήτων που συγκεντρώνονται μέσω των αποχετευτικών δικτύων και την ορθή επιλογή συστήματος επεξεργασίας.

Η επεξεργασία και η διάθεση των υγρών αποβλήτων αποτελεί ένα βασικό συστατικό της διαχείρισης των υδατικών πόρων. Η σημασία τους έχει αναγνωριστεί εδώ και πολλά έτη. Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται ιδιαίτερα αυξημένο ενδιαφέρον στον τομέα της επεξεργασίας, διάθεσης και επαναχρησιμοποίησης υγρών αποβλήτων και έχει συντελεστεί σημαντική πρόοδος στα συστήματα εφαρμογής τους. Αυτό οφείλεται: (α) Στην αναγνώριση των σημαντικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από τα επεξεργασμένα ή ανεπαρκώς επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. (β) Στην έλλειψη ή στην χαμηλή ποιότητα του διαθέσιμου νερού για την κάλυψη των διαφόρων αναγκών σε πολλές περιοχές του κόσμου.

Οι ρυπαντές ή τα συστατικά που περιέχονται στα υγρά απόβλητα, των οποίων την απομάκρυνση επιδιώκουμε με τα διάφορα συστήματα επεξεργασίας, ρυπαίνουν το φυσικό περιβάλλον (θάλασσες, ακτές, ποτάμια, λίμνες, έδαφος και οι υπόγειοι υδροφορείς). Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στις συγκεντρώσεις των τοξικών ουσιών και των παθογόνων μικροοργανισμών (όπως ιοί και βακτήρια) [1].

Ο στόχος της απολύμανσης των υγρών αποβλήτων είναι η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών σε αποδεκτά επίπεδα, ώστε η διάθεση των υγρών αποβλήτων στους υδάτινους αποδέκτες να μην δημιουργεί κινδύνους στη δημόσια υγεία και στο περιβάλλον. Για παράδειγμα το σύστημα της ενεργού ιλύος επιτυγχάνει συνήθως απομάκρυνση παθογόνων μικροοργανισμών της τάξης από 90 έως 99 %, με αποτέλεσμα η συγκέντρωση των κοπρανώδων κολοβακτηρίων στα δευτεροβάθμια επεξεργασμένα υγρά απόβλητα να κυμαίνεται από  $10^5$  έως  $10^6$  /100 ml. Πρέπει να σημειωθεί, ότι η ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας για την απολύμανση των υγρών αποβλήτων και τη πρόσθετη μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών είναι σκόπιμο να εξετάζεται ανά περίπτωση ανάλογα με τα έργα διάθεσης των εκροών και τα χαρακτηριστικά του υδάτινου αποδέκτη. Στη περίπτωση διάθεσης των υγρών αποβλήτων στην ανοικτή θάλασσα, η απολύμανση των υγρών αποβλήτων είναι συχνά περιττή καθώς εξαιτίας της αραίωσης και της φυσικής φθοράς των μικροοργανισμών, οι συγκεντρώσεις τους είναι αρκετά χαμηλές, ώστε να μη δημιουργούν κινδύνους μετάδοσης ασθενειών.

Η Απολύμανση των εκροών υγρών αποβλήτων είναι απαραίτητη στις περιπτώσεις διάθεσης των υγρών αποβλήτων σε κλειστά υδάτινα σώματα, καθώς και στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης τους.

Απολύμανση των υγρών αποβλήτων επιτυγχάνεται κατά κανόνα με εφαρμογή φυσικών ή χημικών μεθόδων, όπως χλωρίωση, οζόνωση ή υπεριώδη ακτινοβολία. Τα χαρακτηριστικά του ιδανικού απολυμαντικού είναι: (α) υψηλός ρυθμός εξουδετέρωσης παθογόνων μικροοργανισμών, (β) χαμηλή δραστηριότητα με ουσίες που περιέχονται στο νερό και χαμηλή παραγωγή επικίνδυνων παραπροϊόντων, (γ) χαμηλό κόστος λειτουργίας και μικρές απαιτήσεις συντήρησης, (δ) μηδενικός κίνδυνος κατά τη χρήση του (ε) εύκολη ανιχνευσιμότητα στο νερό και (στ) χαμηλή τοξικότητα στους υδρόβιους οργανισμούς. Οι παραπάνω ιδιότητες δεν είναι συγκεντρωμένες σε ένα απολυμαντικό, όμως θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την αξιολόγηση των εναλλακτικών μεθόδων.

Ο ρυθμός εξουδετέρωσης των παθογόνων μικροοργανισμών που περιέχονται στα υγρά απόβλητα (όπως είναι οι ιοί, τα βακτήρια και τα παράσιτα), εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως: (α) το είδος του μικροοργανισμού, (β) το είδος, τις ιδιότητες και τη δόση του απολυμαντικού μέσου, (γ) το χρόνο έκθεσης των μικροοργανισμών στο απολυμαντικό μέσο, (δ) τα υδραυλικά χαρακτηριστικά της δεξαμενής απολύμανσης και (ε) τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά των εκροών των υγρών αποβλήτων (όπως οργανικό φορτίο, αμμωνιακό άζωτο, συγκέντρωση στερεών, θολερότητα, απορροφητικότητα στα 254 nm, pH και θερμοκρασία) [1].

## **Κεφάλαιο2**

### **Επεξεργασία Υγρών αποβλήτων**

#### **2.1 Βασικές Μονάδες Επεξεργασίας αποβλήτων**

Ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους αντιμετώπισης της ρύπανσης των υδάτινων πόρων από τα απόβλητα είναι οι Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Αστικών Αποβλήτων (ΕΕΑΑ). Οι ΕΕΑΑ έχουν ως σκοπό τον καθαρισμό (διαχωρισμό) των αστικών αποβλήτων από τα «βλαβερά» συστατικά που περιέχουν, ώστε αυτά να διατεθούν ακίνδυνα στο περιβάλλον .

Ως «βλαβερά» συστατικά των αποβλήτων θεωρούνται τα ογκώδη αντικείμενα, η άμμος, τα μικρού μεγέθους στερεά που αιωρούνται στη μάζα των αποβλήτων (αιωρούμενα στερεά), τα οργανικά-φυσικά συστατικά (π.χ. υδρογονάνθρακες, πρωτεΐνες, λίπη), οι παθογόνοι μικροοργανισμοί και τα θρεπτικά στοιχεία (άζωτο και φώσφορος).

Αν τα απόβλητα διοχετευτούν χωρίς επεξεργασία σε έναν υδάτινο αποδέκτη δημιουργούν διάφορα προβλήματα. Τα ογκώδη στερεά, η άμμος και τα αιωρούμενα στερεά προκαλούν περισσότερο αισθητική δυσαρέσκεια παρά ουσιαστική ρύπανση του υδάτινου φορέα. Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί είναι υπεύθυνοι για τη μετάδοση ασθενειών στον άνθρωπο και σε άλλους οργανισμούς. Η παρουσία τους διαπιστώνεται από τα αποτελέσματα που επιφέρουν στον άνθρωπο όπως π.χ. δερματικές και άλλες μολύνσεις. Αυτοί χρησιμοποιούνται συχνά ως το βασικότερο κριτήριο για την καταλληλότητα ή όχι μιας ακτής για κολύμβηση. Τα οργανικά συστατικά, το άζωτο και ο φώσφορος είναι όμως τα περισσότερο υπεύθυνα για τις δυσάρεστες καταστάσεις ρύπανσης. Και αυτό γιατί κάθε υδάτινος φορέας, αλλά και τα ίδια τα απόβλητα, περιέχουν μικροοργανισμούς που καταναλώνουν τα οργανικά συστατικά των αποβλήτων, καθώς και το άζωτο και το φώσφορο, για να τραφούν και να πολλαπλασιαστούν καταναλώνοντας παράλληλα το οξυγόνο (δηλ. αναπνέοντας), που βρίσκεται διαλυμένο στο νερό του υδροφορέα μέχρι να το εξαφανίσουν τελείως. Το άζωτο και ο φώσφορος μπορεί να δημιουργήσουν το λεγόμενο φαινόμενο του ευτροφισμού, που εκδηλώνεται με την υπερβολική ανάπτυξη των φυκιών στον υδάτινο φορέα.

#### **2.2 Μονάδες Επεξεργασίας και βαθμός καθαρισμού.**

Οι βασικές μονάδες σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων με πρωτοβάθμιο καθαρισμό είναι οι εσχάρες (μια σειρά από μεταλλικές ράβδους στις οποίες συγκρατούνται τα ογκώδη στερεά), οι εξαμμωτές (ειδικά σχεδιασμένες δεξαμενές στις οποίες δημιουργούνται και κατάλληλες συνθήκες ροής που προκαλούν την καθίζηση της άμμου σε αυτές) και οι δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης (όπου καθιζάνει και απομακρύνεται τουλάχιστον το 50% των αιωρούμενων στερεών και τουλάχιστον το 20% των οργανικών συστατικών). Συχνά ένας εξαμμωτής περιέχει και διάταξη για την απομάκρυνση των ελαίων και λιπών που περιέχονται στα απόβλητα. Τα αιωρούμενα στερεά που καθιζάνουν στον πυθμένα των δεξαμενών πρωτοβάθμιας καθίζησης αποτελούν την πρωτοβάθμια λάσπη.

Μια εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων με βιολογικό ή δευτεροβάθμιο καθαρισμό επιτυγχάνει όχι μόνο πρωτοβάθμιο, αλλά και

δευτεροβάθμιο καθαρισμό, δηλ. σχεδόν πλήρη απομάκρυνση (μεγαλύτερη από 95%) των οργανικών συστατικών. Η ιδέα του βιολογικού καθαρισμού στηρίζεται στην πραγματοποίηση των βιοχημικών διεργασιών που γίνονται ανεξέλεγκτα στη φύση (π.χ. κατά τη διοχέτευση αποβλήτων σε έναν υδάτινο αποδέκτη), με ελεγχόμενο τρόπο σε ειδικές γι' αυτό το σκοπό δεξαμενές. Στις δεξαμενές αυτές δίνονται οι ιδανικές συνθήκες ανάπτυξης στους μικροοργανισμούς δηλαδή παρέχεται η τροφή (οργανικά συστατικά των αποβλήτων) και το οξυγόνο, για να αναπτυχθούν και να πολλαπλασιαστούν. Έτσι επιτυγχάνεται μείωση βλαβερών οργανικών συστατικών και αύξησης της βιομάζας των μικροοργανισμών αυτών (κυρίως βακτηρίων), που όχι μόνο δεν είναι βλαβεροί, όπως οι παθογόνοι, αλλά αποτελούν και το "εργαλείο" καθαρισμού σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Το οξυγόνο παρέχεται στους μικροοργανισμούς τεχνητά με διατάξεις αερισμού, που καλούνται αεριστήρες, οπότε και οι δεξαμενές ονομάζονται δεξαμενές αερισμού. Το μίγμα των μικροοργανισμών και της τροφής αποτελούν την καλούμενη «ενεργό ιλύ», οπότε και η μέθοδος αυτή του βιολογικού καθαρισμού καλείται μέθοδος ενεργού ιλύος. Η ιλύς αυτή απομακρύνεται από τη μάζα των αποβλήτων σε δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης (όμοιες με τις δεξαμενές πρωτοβάθμιας καθίζησης), όπου η ιλύς καθιζάνει και συλλέγεται στον πυθμένα των δεξαμενών (δευτεροβάθμια λάσπη), ενώ τα καθαρισμένα απόβλητα υπερχειλίζουν από την περιφέρεια των δεξαμενών. Μετά τη δευτεροβάθμια επεξεργασία τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα μπορεί να διατεθούν ακίνδυνα στον υδάτινο αποδέκτη εφόσον ο αποδέκτης δεν κριθεί ότι είναι ιδιαίτερα ευαίσθητος, ώστε να απαιτείται τριτοβάθμια επεξεργασία. Τα επεξεργασμένα υγρά απόβλητα πριν την τελική τους διάθεση υφίστανται μόνο τη διεργασία της απολύμανσης με χλωρίωση (με την προσθήκη απολυμαντικού χλωρίου, οζόνωση ή υπεριώδη ακτινοβολία) για την εξόντωση των παθογόνων μικροοργανισμών σε επιμήκεις δεξαμενές και διοχετεύονται πλέον χωρίς κανένα φόβο στον αποδέκτη.

Τριτοβάθμια επεξεργασία πραγματοποιείται σε μια εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων όταν τα επεξεργασμένα απόβλητα διοχετεύονται σε έναν αποδέκτη, όπου είναι πιθανή η δημιουργία συνθηκών ευτροφισμού ή όταν αναμένονται λειτουργικά προβλήματα στην εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, όπως π.χ. η ανύψωση ή η διόγκωση της λάσπης. Τότε γίνεται η απομάκρυνση του φωσφόρου ή /και του αζώτου με βιολογικές μεθόδους ή /και με τη χρήση χημικών.

Τα ογκώδη στερεά που συκρατούνται στις εσχάρες και η άμμος που καθιζάνει στους εξαμμωτές, αφυδατώνονται και μεταφέρονται με απορριμματοφόρα σε χωματερές.

Η πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια λάσπη από τις δεξαμενές καθίζησης υφίσταται συμπύκνωση (αύξηση του ποσοστού των στερεών που περιέχει), σταθεροποίηση (μείωση των παθογόνων μικροοργανισμών, των οσμών και της δυνατότητας της λάσπης να γίνει σηπτική) και αφυδάτωση-ξήρανση. Η σταθεροποίηση γίνεται αερόβια με τον αερισμό της λάσπης σε δεξαμενές όμοιες με τις δεξαμενές αερισμού ή αναερόβια.

Η αναερόβια σταθεροποίηση γίνεται σε σχετικά πολύ μεγάλες κλειστές δεξαμενές (χωνευτές), χωρίς οξυγόνο (αναερόβιες συνθήκες), από μικροοργανισμούς που καταστρέφουν το οργανικό φορτίο της λάσπης μετατρέποντάς το σε ένα μίγμα από διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο (βιοαέριο). Το μίγμα αυτό μπορεί να καεί για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και άλλων μορφών ενέργειας εξοικονομώντας σημαντική ποσότητα ενέργειας. Η μέθοδος της αναερόβιας χώνευσης εφαρμόζεται σε εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων και μετά από τεχνικοοικονομική διερεύνηση, που αποδεικνύει ότι η

εξοικονόμηση ενέργειας από την καύση του βιοαερίου είναι σημαντική και δικαιολογεί απόλυτα την πολύπλοκη εγκατάσταση της αναερόβιας χώνευσης.

Η αφυδάτωση της λάσπης αποσκοπεί στην απομάκρυνση μεγάλου μέρους του νερού που περιέχει και γίνεται με μηχανήματα (ταινιοφιλτρόπρεςες) ή με εξάτμιση απλώνοντας τη λάσπη σε ειδικές κλίνες (κλίνες ξήρανσης). Μετά την αφυδάτωση-ξήρανσή της, που δεν είναι πάντα απαραίτητα, η λάσπη διατίθεται σε χωματερή ή για λίπασμα [2].

### **2.3. Τα βασικά τμήματα της εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων του Δήμου Χανίων.**

Τα λύματα του Δήμου Χανίων περνούν από τα παρακάτω στάδια επεξεργασίας.

**α. Αντλιοστάσιο εισόδου της εγκατάστασης:** Τα λύματα αφού περάσουν μέσω δύο εσχάρων χονδρόκοκκων ανυψώνονται μέσω τεσσάρων αντλιών Αρχιμήδη (η μία είναι εφεδρική) κατά 5,60 μέτρα και από εκεί διοχετεύονται στις επόμενες δεξαμενές μέχρι και την τελική τους εκροή στον υδάτινο αποδέκτη με φυσική ροή. Η παροχή κάθε αντλίας είναι 830 m<sup>3</sup>/h.

**β. Εγκατάσταση υποδοχής βοθρολυμάτων** Η δεξαμενή βοθρολυμάτων αποτελείται από 2 θαλάμους συνολικού όγκου 420 m<sup>3</sup>. Πριν τις δεξαμενές έχει εγκατασταθεί συγκρότημα προεπεξεργασίας των βοθρολυμάτων (εσχαρισμός, εξάμμωση).

Αυτό δέχεται μέσω τριών στεγανών υποδοχών τα βοθρολύματα των κατοίκων που δεν είναι συνδεδεμένοι με το δίκτυο αποχέτευσης της πόλεως καθώς και τα βοθρολύματα όλου του υπόλοιπου Νομού.

**γ. Εσχάρωση:** Η Εσχάρωση γίνεται με δύο αυτόματες εσχάρες λεπτού τύπου (η μία είναι εφεδρική) με διάκενο μεταξύ ράβδων 15mm. Η ενεργοποίηση του μηχανισμού απομάκρυνσης εσχαρωμάτων γίνεται με αισθητήριο διαφοράς στάθμης οπότε τα εσχαρώματα μεταφέρονται σε κάδο μέσω μεταφορικής ταινίας.

Σε εξέλιξη είναι η εγκατάσταση εσχάρων νεώτερης τεχνολογίας με διάκενο 6 χιλιοστά.

**δ. Εξάμμωση και Αφαίρεση λιπών** Λειτουργούν δύο δεξαμενές εξάμμωσης. Ο συνολικός όγκος της κάθε δεξαμενής είναι 118m<sup>3</sup> από τα οποία τα 75m<sup>3</sup> είναι περιοχή εξάμμωσης και τα 43m<sup>3</sup> ο όγκος της περιοχής αφαίρεσης λιπών.

Στα λύματα διοχετεύεται αέρας μέσω 11 κεραμικών διαχυτήρων. Με προβλεπόμενο χρόνο παραμονής των λυμάτων στην περιοχή εξάμμωσης μεγαλύτερο από 7min επιτυγχάνεται η αφαίρεση του 90% του αριθμού των σωματιδίων που έχουν διάμετρο μεταξύ 0,16 και 0,20 mm. Η ημερήσια απομακρυνόμενη ποσότητα άμμου είναι περίπου 0,5m<sup>3</sup>. Τα επιπλέον υλικά απομακρύνονται μέσω ειδικού μηχανισμού και συγκεντρώνονται σε φρεάτιο συλλογής. Επίσης λειτουργεί ειδική διάταξη έκπλυσης οργανικών και απομάκρυνσης της υγρασίας από την άμμο.

**ε. Πρωτοβάθμια καθίζηση.** Υπάρχουν δύο δεξαμενές, διαμέτρου 22 μέτρων η καθεμία. Τα λύματα εισέρχονται στο κέντρο της δεξαμενής και εξέρχονται ακτινικά μέσω υπερχειλιστών. Η κάθε δεξαμενή είναι εφοδιασμένη με περιστρεφόμενη γέφυρα και φέρει ξέστρο στον πυθμένα για να παρασύρει την λάσπη στο κεντρικό φρεάτιο. Η απόδοση της πρωτοβάθμιας καθίζησης είναι μείωση του BOD<sub>5</sub> κατά 33% και αιωρούμενων στερεών κατά 60%.

**στ. Δεξαμενή επιλογής.** Στην δεξαμενή που έχει όγκο 485 m<sup>3</sup> αναμιγνύονται τα πρωτοβάθμια λύματα με την ανακυκλοφορία από τις δεξαμενές δευτεροβάθμιας

καθίζησης. Η δεξαμενή έχει κατασκευαστεί για να εμποδίσει την ανάπτυξη ανεπιθύμητων νηματοειδών βακτηρίων στα επόμενα στάδια της εγκατάστασης.

**ζ. Δεξαμενές αερισμού:** Τα λύματα από την δεξαμενή επιλογής οδηγούνται μέσω μεριστών ροής στις τέσσερις δεξαμενές αερισμού που κάθε μία έχει διαστάσεις 60 μέτρα μήκος, 8,4 μέτρα πλάτος και 4,50 μέτρα ωφέλιμο βάθος. Σε κάθε δεξαμενή υπάρχει ανοξική και αερόβια ζώνη. Τα λύματα οξυγονώνονται μέσω διαχυτήρων μεμβράνης λεπτής φυσαλίδος που βρίσκονται στον πυθμένα των δεξαμενών. Παράλληλα με την αφαίρεση του οργανικού φορτίου γίνεται και μερική νιτροποίηση -απονιτροποίηση. Ο συνολικός όγκος των δεξαμενών είναι  $9.072 \text{ m}^3$ .

**η. Δεξαμενές δευτεροβάθμιας καθίζησης.** Υπάρχουν τρεις δεξαμενές διαμέτρου 33 μέτρων και όγκου  $2.130 \text{ m}^3$  η μία. Η ροή των λυμάτων έχει την ίδια μορφή με την πρωτοβάθμια. Η πλεονάζουσα ιλύς αντλείται προς την μηχανική πάχυνση και η ιλύς ανακυκλοφορίας αντλείται προς την δεξαμενή επιλογής.

**θ. Δεξαμενή χλωρίωσης.** Η απολύμανση του δευτεροβάθμια επεξεργασμένου λύματος επιτυγχάνεται μέσω τροφοδοσίας διαλύματος υποχλωριώδους νατρίου με 15% ενεργό χλώριο. Η δεξαμενή χλωρίωσης έχει διαστάσεις 24 μέτρα μήκος, 10 μέτρα πλάτος και 2,5 μέτρα βάθος δίνοντας ωφέλιμο όγκο  $600 \text{ m}^3$ . Ο χρόνος επαφής είναι 30 min με σχεδιαζόμενη συγκέντρωση κολοβακτηρίων μετά την απολύμανση της τάξεως 176/100 ml. Στο τέλος την δεξαμενής χλωρίου γίνεται και αποχλωρίωση των επεξεργασμένων λυμάτων. Ο υποθαλάσσιος αγωγός διάθεσης από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας διαμέτρου 710 mm έχει μήκος 110 m και καταλήγει σε βάθος 16m.

**ι. Μηχανική πάχυνση της λάσπης.** Η δευτεροβάθμια λάσπη υφίσταται πάχυνση με δύο φυγόκεντρους δυναμικότητας κάθε μία  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  και  $175 \text{ kg}/\text{h}$  και ακολούθως οδηγείται στην προπάχυνση.

**ια. Προπάχυνση.** Πρωτοβάθμια & Δευτεροβάθμια λάσπη τροφοδοτείται στο κέντρο δύο δεξαμενών διαμέτρου 8,50 μέτρα έκαστη. Η ιλύς κινούμενη ακτινικά προς την περιφέρεια της δεξαμενής καθιζάνει υποβοηθούμενη από μια περιστρεφόμενη γέφυρα που φέρει καθέτους ράβδους υπό μορφή κτένας. Ο κάθε προπαχυντής έχει όγκο  $200 \text{ m}^3$ . Από τον πυθμένα των δεξαμενών η λάσπη τροφοδοτείται προς τους χωνευτές.

**ιβ. Αναερόβιοι χωνευτές.** Η παχυμένη ιλύς με δύο περιστροφικές ογκομετρικές αντλίες (Μοηνο) μεγίστης παροχής  $22 \text{ m}^3/\text{h}$  και **μανομετρικού 40m** αντλείται προς τους δύο χωνευτές συνολικού όγκου  $3100 \text{ m}^3$  αφού θερμανθεί μέσω δύο εναλλακτών σε θερμοκρασία  $35^\circ\text{C}$  (Μεσοφιλική ζώνη). Με την αναερόβια χώνευση επιτυγχάνεται η σταθεροποίηση της λάσπης με την αποσύνθεση των οργανικών ενώσεων απουσία αέρος. Παράλληλα το παραγόμενο αέριο (βιοαέριο) που περιέχει μεθάνιο σε ποσοστό περίπου 70% αφού υποστεί αποθείωση μεταφέρεται στο αεροφυλάκιο διαμέτρου 12,80m και όγκου  $650 \text{ m}^3$ . Το βιοαέριο χρησιμοποιείται για την θέρμανση των χωνευτών και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που επαναχρησιμοποιείται για τις ανάγκες του έργου.

**ιγ. Μεταπάχυνση.** Η σταθεροποιημένη ιλύς οδηγείται από τους χωνευτές σε δύο κυκλικές δεξαμενές διαμέτρου 11 m, οι οποίες λειτουργούν όπως οι δεξαμενές προπάχυνσης. Η λάσπη παχύνεται και στη συνέχεια οδηγείται προς αφυδάτωση. Η κάθε δεξαμενή έχει όγκο  $300 \text{ m}^3$ .

**ιδ. Αφυδάτωση.** Λάσπη από την μεταπάχυνση τροφοδοτείται προς την αφυδάτωση. Η αφυδάτωση επιτυγχάνεται με δύο ταινιοφιλτρώπρεςσες με

πλάτος ιμάντα 2m και μέγιστο ωριαίο φορτίο 848 kgss/h. Η συγκέντρωση στερεών της αφυδατωμένης λάσπης είναι περίπου 20%.

**ιε. Συγκρότημα απόσμησης.** Μία μονάδα απόσμησης λειτουργεί για τη μείωση των οσμών που παράγονται από το έργο σε ποσοστό 99%. Η απόσμηση γίνεται με πλυντηρίδα τριών σταδίων με την χρήση χημικών. Η αμμωνία και το υδρόθειο απομακρύνονται από τον αέρα με την χρήση υδατικών διαλυμάτων καυστικού νατρίου, θειικού οξέος και υπεροξειδίου του υδρογόνου[31].

Το δείγμα των αποβλήτων που χρησιμοποιήσαμε ήταν από την έξοδο της δευτεροβάθμιας δεξαμενής καθίζησης δηλαδή πριν τη χλωρίωση.

## Κεφάλαιο 3

### 3.1. Νομοθεσία

Η Νομοθεσία που διέπει την επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων αποτελείται από ένα πλέγμα Οδηγιών δηλαδή νομοθετικών πράξεων των αρμόδιων Οργάνων της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) (Συμβούλιο Υπουργών και Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο), που ενσωματώθηκαν στο Ελληνικό δίκαιο στα πλαίσια της υποχρέωσης της χώρας μας να εναρμονίσει την νομοθεσία της με την κοινοτική νομοθεσία. Βεβαίως επειδή η επεξεργασία των αστικών υγρών αποβλήτων συνδέεται κυρίως με τη προστασία του περιβάλλοντος, εφαρμογή έχει κατ' αρχήν το πρωτογενές δίκαιο της ΕΕ, δηλ. τα άρθρα 130Ρ, 130Σ, 130Τ της Συνθήκης της ΕΕ που εφαρμόζονται στη χώρα μας με βάση τον ν. 1650/1986 για την προστασία του περιβάλλοντος.

#### 3.1.1 Οδηγία 91/271/EEC για την επεξεργασία αστικών υγρών αποβλήτων

Η Οδηγία 91/271/EEC που αφορά στην επεξεργασία των αστικών υγρών αποβλήτων αποτελεί το κύριο και βασικό νομοθέτημα, που διέπει τον τομέα επεξεργασίας αστικών υγρών αποβλήτων. Με την αριθμ 5673/400/143.97 Κοινή Υπουργική Απόφαση η επεξεργασία των αστικών υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα εναρμονίζεται πλήρως με αυτή της ΕΕ. Σύμφωνα με αυτήν έχουν τεθεί κάποια χρονικά όρια προσαρμογής. Έτσι δευτεροβάθμια ή ισοδύναμη επεξεργασία θα πρέπει να διαθέτουν οι οικισμοί με

(α) ι.π. άνω των 15.000 έως τις 31/12/2000

(β) ι.π. άνω των 10.000 έως τις 31/12/2005 και

(γ) ι.π. άνω των 2.000 έως τις 31/12/2005, εφόσον ο αποδέκτης υγρών αποβλήτων είναι σε φυσικά νερά ή ,εκβολές ποταμιών (όπου ι.π: ισοδύναμος πληθυσμός και 1 ι.π. ισούται 60 BOD<sub>5</sub>/d ).

Ειδικότερα, η Οδηγία στοχεύει στην προστασία των επιφανειακών και παράκτιων νερών καθορίζοντας την συλλογή και επεξεργασία των αστικών αποβλήτων και την διάθεση ορισμένων βιοδιασπάσιμων βιομηχανικών αποβλήτων (βασικά από την βιομηχανία τροφίμων και αγροτικών προϊόντων).

Γενικά, όλα τα αστικά συγκροτήματα με πληθυσμό άνω των 2.000 κατοίκων απαιτείται να διαθέτουν σύστημα συλλογής και δευτεροβάθμιας (βιολογικής) επεξεργασίας των αποβλήτων τους. Περαιτέρω επεξεργασία απαιτείται όταν ο αποδέκτης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων χαρακτηρίζεται ευαίσθητος (αναπτύσσονται ή υπάρχει κίνδυνος να αναπτυχθούν συνθήκες ευτροφισμού). Για ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να γίνει αποδεκτή μόνο η πρωτοβάθμια επεξεργασία με την προϋπόθεση ότι θα αποδεικνύεται ότι η ποιότητα των νερών του αποδέκτη δεν επηρεάζεται αρνητικά. Η προθεσμία για την επίτευξη αυτού του στόχου εξαρτάται από το μέγεθος του αστικού συγκροτήματος και τα χαρακτηριστικά του αποδέκτη, από το 1998 έως το 2005. Από το 1998 απαγορεύεται η οποιαδήποτε διάθεση ιλύος σε υδάτινο αποδέκτη.

Η εφαρμογή των παραπάνω συνεπάγεται ότι τα Κράτη-μέλη πρέπει:

(α) Να εκτιμήσουν ποιοι είναι ευαίσθητοι αποδέκτες χωρίς να επηρεάζονται από τις οικονομικές επιπτώσεις αυτής της επιλογής.

(β) Να προσδιορίσουν τα αστικά συγκροτήματα που χρειάζονται σύστημα αποχέτευσης και /ή εγκατάσταση επεξεργασίας αποβλήτων ή βελτίωση της



υπάρχουσας.

(γ) Να ορίσουν ένα σταδιακό πρόγραμμα υλοποίησης των αποχετευτικών δικτύων και μονάδων επεξεργασίας.

(δ) Να αναπτύξουν σχέδιο επενδυτικής στρατηγικής ώστε να ανταποκριθούν στο βάρος της δαπάνης για την κατασκευή των απαραίτητων έργων.

(ε) Να εκτιμήσουν το κόστος που αναλογεί στους χρήστες, ώστε να σχεδιάσουν τη στρατηγική ανάκτησης της δαπάνης.

(ζ) Να αναπτύξουν και υλοποιήσουν στρατηγικές για την διάθεση και /ή επαναχρησιμοποίηση της λάσπης από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, συμπεριλαμβανομένης και της κατάργησης της διάθεσης σε υδάτινους αποδέκτες.

(η) Να εκτιμήσουν την ανάγκη εκπαίδευσης του απαραίτητου προσωπικού στη λειτουργία και συντήρηση των εγκαταστάσεων επεξεργασίας αστικών αποβλήτων, καθώς και στελεχών στη διοίκηση και οικονομική διαχείριση των έργων αυτών.

Το 1998 εκδόθηκε η Οδηγία 98/15/EK που τροποποιεί την Οδηγία 91/271 όσον αφορά ορισμένες απαιτήσεις που καθορίζονται στο Παράρτημα IV. Ειδικότερα η οδηγία διευκρινίζει ιδίως ότι:

(α) Η δυνατότητα χρήσης των μέσων ημερησίων τιμών συγκέντρωσης συνολικού αζώτου αφορά και στους οικισμούς μεταξύ 10.000 και 100.000 ι.π. και εκείνους άνω των 100.000 ι.π.

(β) Ο όρος σχετικά με την θερμοκρασία των υγρών αποβλήτων μέσα στον βιολογικό αντιδραστήρα και με τον περιορισμό του χρόνου λειτουργίας βάσει των κλιματικών αλλαγών συνθηκών της περιοχής ισχύει μόνο για την «εναλλακτική» μέθοδο στην οποία χρησιμοποιούνται οι μέσες ημερήσιες τιμές.

(γ) Η χρήση της «εναλλακτικής» μεθόδου πρέπει να εγγυάται ίδιο επίπεδο προστασίας του περιβάλλοντος με την τεχνική των μέσων ετήσιων τιμών [1].

### **3.1.2 Οδηγία για τα νερά κολύμβησης**

Η Οδηγία 76/160/EEC αφορά την ποιότητα των νερών κολύμβησης τόσο των φυσικών όσο και των θαλασσινών νερών και στοχεύει στην προστασία τους σε όλη την Ε.Ε. Η Οδηγία καθορίζει 19 φυσικές, χημικές και μικροβιολογικές παραμέτρους και απαιτεί από τα Κράτη μέλη να επιτηρούν τις περιοχές κολύμβησης και να ορίζουν κανόνες δειγματοληψίας, υποχρεούνται δε να παίρνουν όλα τα απαραίτητα μέτρα για την συμμόρφωση προς τις υποχρεωτικές απαιτήσεις της Οδηγίας.

Η Επιτροπή εκδίδει ετήσια αναφορά για την ποιότητα των νερών κολύμβησης σε όλη την Ε.Ε. Κατά τις εργασίες διαμόρφωσης της προστασίας για την Οδηγία Πλαίσιο για τους υδατικούς πόρους η Επιτροπή κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η Οδηγία για τα νερά κολύμβησης αποτελεί αυτόνομη συνεισφορά στην ολοκλήρωση της Πολιτικής για το περιβάλλον και της Πολιτικής για το Τουρισμό. Η Οδηγία 76/160 ενσωματώθηκε στο ελληνικό δίκαιο με την ΚΥΑ 46399/1352/27.6/3.7.1986 [1].

### **3.1.3 Ποιοτικά χαρακτηριστικά Εκροών για Διάθεση σε Υδάτινο αποδέκτη**

Ο καθαρισμός των υγρών αποβλήτων πριν από τη διάθεσή τους στον υδατικό αποδέκτη είναι προφανώς επιθυμητός, ο βαθμός όμως της επεξεργασίας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του αποδέκτη. Καταρχάς η διάθεση υγρών αποβλήτων σε χείμαρρους ή ποταμούς οφείλει να γίνεται οπωσδήποτε μετά από δευτεροβάθμια

επεξεργασία των αποβλήτων.

Η σύγχρονη αντίληψη για την διάθεση εκροών σε μία θαλάσσια περιοχή (που είναι συνήθως στον Ελληνικό χώρο εξαιτίας του εκτεταμένου μήκους των ακτών, παραθαλάσσιων πόλεων, οικισμών, παραθεριστικών συγκροτημάτων και ξενοδοχειακών μονάδων) είναι ότι είναι απαραίτητη τουλάχιστον δευτεροβάθμια επεξεργασία. Σημειώνεται, ότι ο αρχικός σχεδιασμός, κατασκευή και λειτουργία για αρκετά χρόνια των έργων διάθεσης των υγρών αποβλήτων της Αθήνας (έργα Ψυτάλλειας) περιορίζονταν σε έργα μόνο πρωτοβάθμιας επεξεργασίας, και διάθεσης στο Σαρωνικό δια μέσου υποβρυχίου αγωγού-διαχυτήρα. Η δευτεροβάθμια επεξεργασία υιοθετήθηκε μετά από τις εισηγήσεις και πιέσεις διαφόρων φορέων.

Τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των εκροών, που διατίθενται σε μία θαλάσσια περιοχή μέσα από τον υποβρύχιο αγωγό-διαχυτήρα, οφείλουν να προσδιορίζονται στην μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ΜΠΕ), τα οποία όταν υιοθετηθούν από τον αρμόδιο ελεγκτικό όργανο, δεσμεύουν των φορέα της εγκατάστασης καθαρισμού υγρών αποβλήτων. Ο μελετητής που θα συντάξει την ΜΠΕ οφείλει να λάβει υπόψη τα χαρακτηριστικά της θαλάσσιας περιοχής, δηλαδή αν είναι κλειστή λεκάνη, αν υπάρχει τάση ευτροφισμού, αν υπάρχει ικανοποιητική ανανέωση των νερών της θαλάσσιας περιοχής με τα νερά της ανοικτής θάλασσάς, αν γίνεται τουριστική χρήση των γειτονικών ακτών για κολύμβηση, αν υπάρχουν καλλιέργειες οστράκων και αν η περιοχή είναι προστατευόμενη από διεθνείς συνθήκες (όπως Ramsar και Natura). Από υγειονομικής πλευράς, δεν προδιαγράφονται τιμές στην είσοδο του υποθαλάσσιου αγωγού. Επιπλέον, δεν υπάρχουν σχετικές απαγορευτικές οδηγίες σχετικά με το θέμα αυτό. Συνεπώς ο αναγκαίος βαθμός απολύμανσης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων εξαρτάται αποκλειστικά από το αν ικανοποιούνται οι Ελληνικοί υγειονομικοί κανονισμοί στη θαλάσσια περιοχή. Στην Ελλάδα αλλά και διεθνώς δεν υπάρχουν κανονισμοί που να επιβάλουν ανώτατο όριο συγκέντρωσης διαφόρων δεικτών στην εκροή σε αγωγούς διάθεσης στη θάλασσα.

Πλήθος ερευνητών συμφωνούν για τις επικίνδυνες, καρκινογόνες και βιοσυσσωρευμένες οργανοχλωριωμένες ενώσεις, που δημιουργούνται με την χλωρίωση. Γι' αυτό η χλωρίωση δεν πρέπει να θεωρείται ως «ανώδυνη» για την προστασία του περιβάλλοντος, αλλά απεναντίας ως απειλή που δημιουργεί παθήσεις (καρκίνους) στον πληθυσμό που καταναλώνει ψάρια. Έτσι θα πρέπει η χλωρίωση να αντικατασταθεί προοδευτικά με την μερική απολύμανση με όζον, ή με υπεροξειδίο του υδρογόνου, ή με την UV . Επίσης, σε όλες τις περιπτώσεις διάθεσης εκροών στην θάλασσά που έχουν υποστεί χλωρίωση θα πρέπει να υπάρχει εγκατάσταση αποχλωρίωσης, πριν από την διάθεση τους [1].

### **3.1.4 Κανονισμοί για την Υγιεινή του Θαλάσσιου Νερού Αναψυχής**

Η διάθεση των εκροών πρέπει να διασφαλίζει την υγιεινή του θαλάσσιου νερού. Ο μελετητής οφείλει να αποδείξει υπολογιστικά, ότι θα ικανοποιούνται οι υφιστάμενοι κανονισμοί. Για τουριστικές περιοχές θα πρέπει να διασφαλίζεται, ότι τους καλοκαιρινούς μήνες η εκροή δεν θα επιβαρύνει τις ακτές της θαλάσσιας περιοχής με παθογόνους μικροοργανισμούς και συνεπώς δεν θα αποτελεί κίνδυνο για την υγεία των λουόμενων. Πλήθος εργασιών έχει δημοσιευθεί για την έρευνα των τιμών εκείνων των παραμέτρων, που καθορίζουν αν μία θαλάσσια περιοχή είναι κατάλληλη για κολύμβηση. Αυτές οι παράμετροι αναφέρονται στην μέτρηση τους στα νερά με τα οποία έρχεται σε επαφή ο λουόμενος.

Όπως φαίνεται από τους Πίνακες 3.1, 3.2 και 3.3 υπάρχει πληθώρα οδηγιών

διεθνώς για τις αποδεκτές τιμές των δεικτών, για την ενδεχόμενη επικινδυνότητα και την υφιστάμενη διεθνώς μεγάλη απόκλιση στις παραδεκτές τιμές τους. Έτσι σύμφωνα με τους κανονισμούς αυτούς, τα δείγματα του θαλασσινού νερού θα πρέπει να λαμβάνονται περιοδικά από τμήματα των ακτών που χρησιμοποιούνται για κολύμβηση. Οι μετρήσεις κατά την διάρκεια της ημέρας ανταποκρίνονται καλύτερα στη χρήση των νερών αναψυχής.

Αναλυτικότερα, ο Πίνακας 3.1 μας δείχνει τα όρια για τους μικροοργανισμούς, πως έχουν τεθεί από διάφορους διεθνείς Οργανισμούς. Ο Πίνακας 3.2 μας δίνει τα όρια που καθορίζει η Ελληνική νομοθεσία, ενώ τα όρια της ΕΕ δίνονται από τον Πίνακα 3.3. Σύμφωνα με την ΚΥΑ 46399/4352/86 (ΦΕΚ 438B/3-7-86), η οποία εκδόθηκε σε συμμόρφωση με τις Οδηγίες του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων 75/440/EEC, 76/160/EEC, 78/659/EEC, 79/923/EEC, το επιθυμητό όριο του συνόλου των κολοβακτηριοειδών είναι 500/100cm<sup>3</sup>, ενώ το ανώτατο όριο είναι 10.000/100cm<sup>3</sup> [1].

**Πίνακας 3.1** Διεθνή κριτήρια για τα νερά κολύμβησης [1]

Διεθνή Κριτήρια Νερών Κολύμβησης	Ολικά Κολοβακτήρια (/100cm <sup>3</sup> )	Εντερο-Κολοβακτήρια (/100cm <sup>3</sup> )	Κοπρανώδη Κολοβακτήρια (/100cm <sup>3</sup> )	Κοπρανώδεις Στρεπτόκοκκος (/100cm <sup>3</sup> )	Υπόλοιπα Παθογόνα Μικρόβια
WHO οδηγία 1977	1.000	-	-	-	-
ΕΕ Οδηγία 1976	500	-	-	-	Σαλμονέλα
ΕΕ Οδηγία 1981	10.000	-	100	1	Εντεροϊός
Γαλλία Κριτήρια 1969					
Π.Καλά	<50	<20	-	-	-
Καλά	50-500	20-200	-	-	-
Μέτρια	500-5.000	200-2.000	-	-	-
Βραζιλία 1976	80%<5.000	-	90%<1.000	-	-
Κούβα 1986	1.000	-	200,90%<400	-	-
ΗΠΑ 1978	-	-	90%<400	-	-
1986	-	-	200	35	-
Ιαπωνία 1981	1.000	-	-	-	-
ΕΣΣΔ 1977	100	-	-	-	-
Καλιφόρνια 1943	1.000	-	-	-	-

**Πίνακας 3.2.** Κατηγορία νερών κολύμβησης. Ελληνικά κριτήρια-Υγειονομική διάταξη ΕΕ/221/1965 [1]

Κατηγορία νερών κολύμβησης	Μέσος όρος κολοβακτηρίων σε 100cm <sup>3</sup> , κατά την διάρκεια της κολυμβητικής περιόδου
A κατάλληλα	0-50
B παραδεκτά με επιφύλαξη	51-500
Γ ύποπτα μη συνιστώμενα	501-1.000
Δ ακατάλληλα	Πάνω από 1.000

**Πίνακας 3.3.**Κριτήρια Ευρωπαϊκής Ένωσης (75/440/EEC, 76/160/EEC, 78/659/EEC, 79/923/EEC) για τα επιτρεπτά όρια νερών κολύμβησης [1]

Οργανισμοί	Επιθυμητό αριθμητικό όριο	Επιθυμητό εκατοστιαίο ποσοστό δειγμάτων κάτω του ορίου	Ανώτερο επιτρεπτό αριθμητικό όριο	Ανώτερο επιτρεπτό εκατοστιαίο ποσοστό δειγμάτων κάτω του ορίου
Ολικά Κολοβακτήρια ή TC (100 cm <sup>3</sup> )	500	80	10.000	95
Κοπρανώδη Κολοβακτήρια ή FC (100 cm <sup>3</sup> )	100	80	800	95
Εντερόκοκκοι (100cm <sup>3</sup> )	100	90		
Σαλμονέλα (100 cm <sup>3</sup> )	0	0	0	0

## Κεφάλαιο 4

### Ηλιακή απολύμανση νερού (Solar Water Disinfection SODIS)

Σε πολυάριθμες αναπτυσσόμενες χώρες καθώς περισσότερα από το ένα τρίτο του αγροτικού πληθυσμού δεν έχουν καμία πρόσβαση σε καθαρό νερό. Ασθένειες διάρροιας μπορούν να μεταδοθούν μέσω του μολυσμένου πόσιμου νερού και να προκαλέσουν το θάνατο σε πάνω από τρία εκατομμύρια ανθρώπους ετησίως. Η ηλιακή απολύμανση ύδατος (SODIS) μπορεί να συμβάλει στην βελτίωση αυτής της κατάστασης.

Η διαδικασία της ηλιακής απολύμανσης του νερού είναι μία εφαρμοσμένη μέθοδος για την επεξεργασία του πόσιμου νερού σε αναπτυσσόμενες χώρες όπως π.χ. η Νιγηρία, Τόγκο, Ινδονησία, Βολιβία κ.α, εύκολη τεχνολογία χωρίς την χρήση χημικών ουσιών και χρησιμοποιείται για να βελτιώσει την μικροβιολογική ποιότητα του νερού. Τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι ότι δεν αλλάζει η χημική σύσταση του νερού, η οσμή του, ότι μειώνει την έλλειψη νερού και μπορεί να χρησιμοποιείται σε οικιακό επίπεδο για μικρές ποσότητες νερού. Ενώ τα μειονεκτήματα της διαδικασίας SODIS είναι ότι δεν μπορεί να μεταχειριστεί μεγάλους όγκους νερού και απαιτεί νερό με σχετικά χαμηλή θολερότητα (θολερότητα < 30 NTU). Επίσης χρειάζεται συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες [3-4].

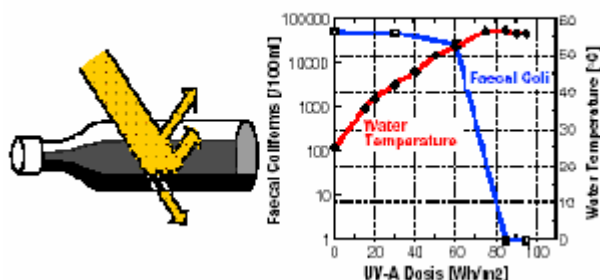
Το SODIS λειτουργεί με τη συνεργιστική επίδραση της θερμοκρασίας του νερού και της UV ακτινοβολίας. Η υψηλή θερμοκρασία του νερού επιτυγχάνεται με τη χρήση των μαύρων επιφανειών τοποθέτησης των φιαλών ή του μαύρου χρώματος που βρίσκεται στη κάτω επιφάνεια των φιαλών, καθώς και με την χρήση μικρών όγκων νερού ανά περιοχή έκθεσης (μικρές ποσότητες νερού). Η δόση της ακτινοβολίας εξαρτάται από την επιλογή του υλικού των μπουκαλιών, τη θέση και τον προσανατολισμό του δοχείου, το βάθος του νερού, τη θολερότητα και το χρόνο έκθεσης. Το μολυσμένο νερό γεμίζεται σε διαυγή πλαστικά μπουκάλια και εκτίθεται σε πλήρη ηλιοφάνεια για 6 ώρες. Αν η θερμοκρασία του νερού αυξηθεί πάνω από 50°C, η διαδικασία της απολύμανσης είναι τρεις φορές γρηγορότερη [4].

#### 4.1 Διαδικασία επεξεργασίας πόσιμου νερού με την μέθοδο SODIS

Η διαδικασία περιλαμβάνει τα εξής στάδια. Αρχικά καθαρίζουμε καλά τα πλαστικά μπουκάλια. Στη συνέχεια γεμίζουμε το μπουκάλι μέχρι τα  $\frac{3}{4}$  του όγκου του και το ανακινούμε για 20 δευτερόλεπτα για να οξυγονωθεί καλά. Έπειτα γεμίζουμε όλο το μπουκάλι μέχρι τελικού όγκου και τοποθετούμε το μπουκάλι πάνω σε μία μαύρη αυλακωτή σιδερένια βάση ή φύλλο ή στην στέγη του σπιτιού ή βάζουμε τη μισή πλευρά του μπουκαλιού με μαύρο χρώμα (όπου η μαύρη πλευρά να είναι από το κάτω μέρος). Εκθέτουμε το μπουκάλι από το πρωί στον ήλιο για έξι ώρες τουλάχιστον. Μετά από αυτή τη διαδικασία το νερό είναι έτοιμο για κατανάλωση. Τα παραπάνω βήματα φαίνονται στο Σχήμα 4.1, ενώ στο Σχήμα 4.2 παρατηρούμε την μείωση των κοπρανόδων κολοβακτηρίων με την αύξηση της θερμοκρασίας και της δόσης της UV-A ακτινοβολίας [3-4].



Σχήμα 4.1: Βήματα ηλιακής απολύμανσης SODIS [3]



**Σχήμα 4.2:** Μεταβολή της συγκέντρωσης των κοπρανώδων κολοβακτηρίων σε μπουκάλι βαμμένο μαύρο στην κάτω του πλευρά σε σχέση με την θερμοκρασία του νερού και τη δόση της UV-A ακτινοβολίας [3-4].

## 4.2 Περιοριστικοί παράγοντες για την εφαρμογή της διαδικασίας SODIS

### 4.2.1 Θολερότητα

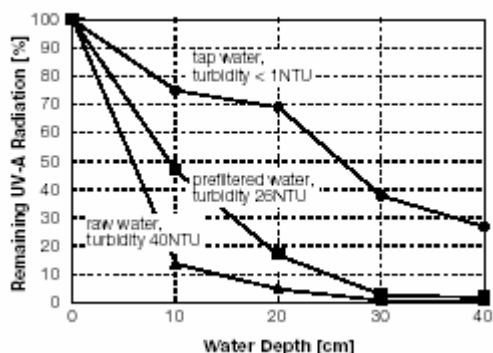
Το SODIS απαιτεί καθαρό νερό με θολερότητα μικρότερη από 30 NTU. Σε νερά με θολερότητα μεγαλύτερη από 30NTU οι παθογόνοι μικροοργανισμοί θα πρέπει να απενεργοποιηθούν περισσότερο από την θερμοκρασία παρά από την ακτινοβολία (>50°C για τουλάχιστον μία ώρα) ή το νερό θα πρέπει να φιλτραριστεί πριν από την έκθεση του στον ήλιο [5].

### 4.2.2 Βάθος του νερού

Η UV-A ακτινοβολία μειώνεται με το αυξανόμενο βάθος του νερού, για το λόγο αυτό τα μπουκάλια που χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία SODIS πρέπει να είναι επίπεδα και με βάθος λιγότερο από 10cm. Επίσης η μαύρη κάτω επιφάνεια των μπουκαλιών προκαλεί μια διαβάθμιση της θερμοκρασίας που αναγκάζει το νερό να ανακυκλοφορεί μέσα στο μπουκάλι. Με αυτόν τον τρόπο βελτιώνεται η αποδοτικότητα της αδρανοποίησης των μικροοργανισμών [5].

### Θολερότητα και βάθος νερού

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μειώνεται από τη αυξανόμενη θολερότητα και το βάθος του νερού. Το ακατέργαστο νερό χαμηλής θολότητας (< 30 NTU) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαδικασία SODIS. Επίσης το βάθος του νερού πρέπει να είναι μικρό και να μην υπερβεί 10cm, προκειμένου να επιτραπεί η ικανοποιητική ποσότητα ακτινοβολίας στο νερό. Όπως φαίνεται και στο Διάγραμμα 4.1, η υψηλή θολερότητα ουσιαστικά μειώνει την διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας στο νερό και επομένως μειώνει την αποδοτικότητα της διαδικασίας απολύμανσης. Έτσι για να είναι σίγουρη η απολύμανση του νερού το ακατέργαστο νερό πρέπει να έχει χαμηλή θολερότητα (θολερότητα <30NTU) [5].



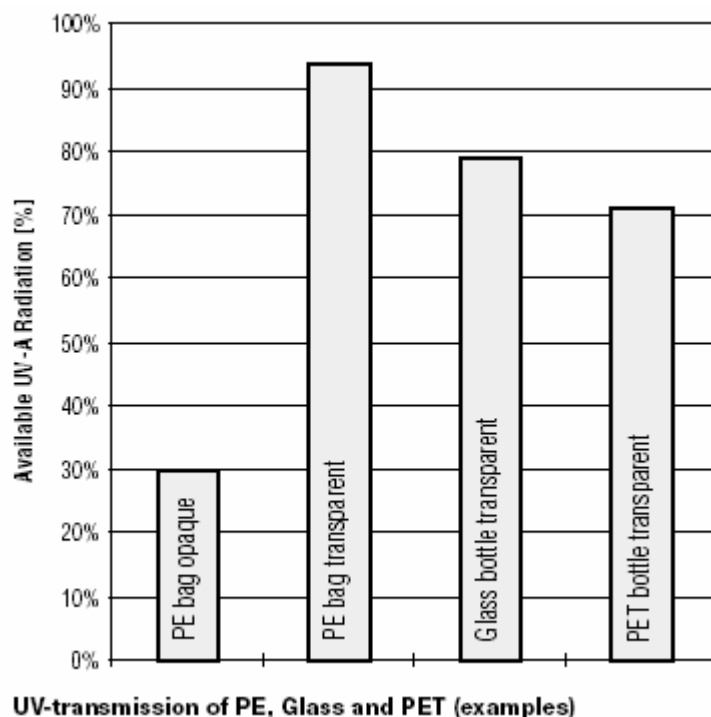
**Διάγραμμα 4.1:** Συσχέτιση της UV-A ακτινοβολίας, της θολότητας του νερού και του βάθους [5].

#### 4.2.3 Υλικό και σχήμα των μπουκαλιών

Το υλικό από το οποίο πρέπει να είναι κατασκευασμένα τα σκεύη για την εφαρμογή της διαδικασίας SODIS είναι διαφανές για να επιτρέπει την διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας και τα σκεύη που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι γυάλινα και πλαστικά μπουκάλια (PET ή PVC) ή πλαστικές σακούλες.

Το πιο κατάλληλο υλικό για την ηλιακή απολύμανση είναι τα διαφανή πλαστικά μπουκάλια γιατί επιτρέπουν την μετάδοση του φωτός, είναι ελαφρά στο βάρος, χημικά αδρανή και δεν σπάνε. Τα πλαστικά μπουκάλια που γίνονται από PET (polyethylene terephthalate) προτιμούνται γιατί περιέχουν λιγότερους UV σταθεροποιητές (ενώσεις που αυξάνουν την ανθεκτικότητα του πλαστικού, κυρίως στοιχειακός άνθρακας) σε σύγκριση με τα μπουκάλια από PVC (polyvinylchloride). Τα PVC μπουκάλια έχουν ένα γαλαζωπό χρώμα (και όταν καίγονται η μυρωδιά του καπνού είναι πικάντικη ενώ των PET είναι γλυκιά). Τα γυάλινα μπουκάλια δεν χρησιμοποιούνται συχνά γιατί είναι εύθραυστα, βαρύτερα, ακριβότερα και η μετάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας εξαρτάται από την περιεκτικότητα του γυαλιού σε οξείδιο του σιδήρου. Όμως τα πλεονεκτήματά τους είναι ότι δεν δημιουργούνται γρατσουνιές πάνω τους (όπως συμβαίνει στα πλαστικά), δεν αναπτύσσονται φωτοοξειδωτικές ενώσεις και έχουν μεγάλη αντίσταση στη θερμοκρασία (ενώ τα PET έχουν περιορισμένη θερμική αντίσταση και πάνω από τους 60°C παραμορφώνονται). Επίσης τα έντονα γραντουμισμένα ή παλιά μπουκάλια θα πρέπει να αντικατασταθούν γιατί μειώνουν την μετάδοση της UV ακτινοβολίας και συνεπώς την αποδοτικότητα του SODIS. Στο Διάγραμμα 4.2 παρατηρούμε ότι το υλικό με την μεγαλύτερη μετάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας σε ποσοστό 95% είναι οι πλαστικές διάφανες σακούλες (PE), ακολουθούν τα γυάλινα μπουκάλια, ενώ οι πλαστικές αδιαφανείς σακούλες μεταδίδουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ποσοστό 30% μόνο [6].

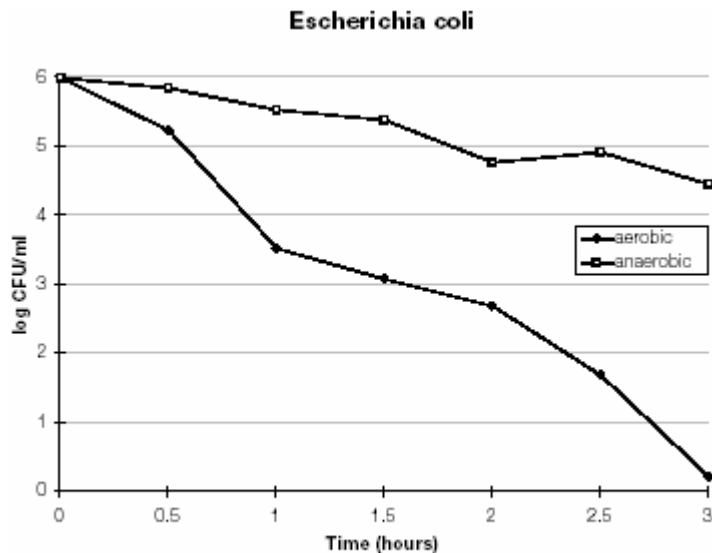




**Διάγραμμα 4.2:** Ποσοστό της διαθέσιμης UV-A ακτινοβολίας ανάλογα με το υλικό του μπουκαλιού [6].

#### 4.2.4 Περιεκτικότητα του νερού σε οξυγόνο

Το SODIS είναι αποδοτικότερο στο νερό με υψηλό ποσοστό οξυγόνου. Συγκεκριμένα το φως του ηλίου παράγει τις ιδιαίτερα δραστικές μορφές οξυγόνου (ελεύθερες ρίζες οξυγόνου και υπεροξείδια του υδρογόνου) στο νερό που ο τύπος αυτός του οξυγόνου σκοτώνει τους μικροοργανισμούς. Ο αερισμός του νερού μπορεί να επιτευχθεί με την ανάδευση των  $\frac{3}{4}$  του γεμισμένου δοχείου για 20 δευτερόλεπτα προτού να γεμιστούν εντελώς. Ειδικά το στάσιμο νερό που προέρχεται από τις λίμνες, τις δεξαμενές και ενδεχομένως τα φρεάτια πρέπει να αεριστεί για να ενισχύσει την αδρανοποίηση των μικροοργανισμών [7]. Στο διάγραμμα 4.3 παρουσιάζεται η αδρανοποίηση του βακτηρίου *Escherichia coli* σε αερόβιες και αναερόβιες συνθήκες κατά την διάρκεια συνολικά 3 ωρών έκθεσης στην UV-A ακτινοβολία.



**Figure 1: Inactivation under aerobic and anaerobic conditions**

**Διάγραμμα 4.3:** Μείωση της συγκέντρωσης της *E.Coli* σε αερόβιες και αναερόβιες συνθήκες σε συνάρτηση με το χρόνο έκθεσης στην UV-A ακτινοβολία [7].

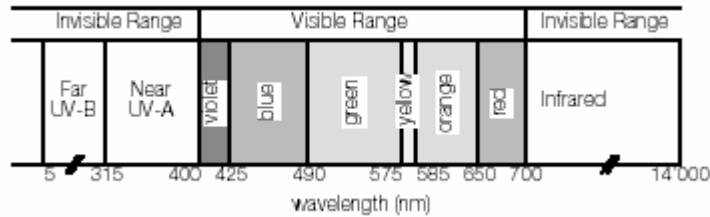
#### 4.2.5 Καιρός και κλίμα

Το SODIS απαιτεί ηλιακή ακτινοβολία και θερμοκρασία. Τα δοχεία χρειάζεται να εκτεθούν στον ήλιο για 6 ώρες όταν ο ουρανός είναι καθαρός ή έχει σύννεφα στο 50%. Εάν έχει σύννεφα 100% η έκθεση πρέπει να γίνει για 2 διαδοχικές ημέρες. Σε μέρες με συνεχόμενη βροχή το SODIS δεν εκτελείται επιτυχώς. Αν η θερμοκρασία του νερού είναι τουλάχιστον 50°C, 1 ώρα έκθεσης είναι επαρκής [8].

#### Φάσμα ηλιακής ακτινοβολίας

Ο ήλιος συνεχώς ακτινοβολεί τεράστια ποσά ηλιακής ενέργειας σε ένα ευρύ φάσμα, στο οποίο περιλαμβάνονται και τα μήκη κύματος που καλύπτουν την υπεριώδη, ορατή και υπέρυθη ζώνη. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν φθάνει εξολοκλήρου στην επιφάνεια της γης. Αυτό συμβαίνει επειδή η γήινη ατμόσφαιρα απορροφά ένα μεγάλο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης ελέγχοντας έτσι την ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης. Οι ακτινοβολίες με τα μικρά μήκη κύματος σκεδάζονται εκτενέστερα από εκείνες με μεγαλύτερα μήκη κύματος. Ο σκεδασμός αυτός γίνεται από τα ατμοσφαιρικά αέρια ή τα μόρια που είναι μικρότερα στη διάσταση από το μήκος κύματος μιας συγκεκριμένης ακτινοβολίας. Το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας με μήκη κύματος από 200 έως 300 nm απορροφάται από το στρώμα όζοντος (O<sub>3</sub>) στην στρατόσφαιρα [8].

Η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στη επιφάνεια της γης περιλαμβάνει (όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3) την υπεριώδη UV-B και UV-A, την ορατή και την υπέρυθη ακτινοβολία. Η UV-A είναι το σημαντικότερο φάσμα για την εφαρμογή της SODIS.



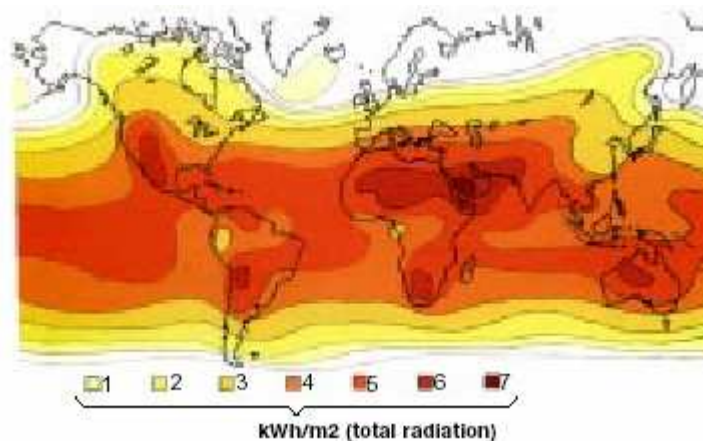
**Σχήμα 4.3** Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας [8]

### Γενική διανομή ηλιακής ενέργειας

Η ηλιακή ακτινοβολία διανέμεται άνισα και ποικίλλει στην ένταση από μια γεωγραφική θέση σε άλλη ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, την εποχή, και την ώρα της ημέρας.

Η ευνοϊκότερη περιοχή για την εφαρμογή της SODIS βρίσκεται μεταξύ των γεωγραφικών πλατών 15°B και 35°B. Αυτές οι ημιάγονες περιοχές χαρακτηρίζονται από την κατοχή του μέγιστου ποσού ηλιακής ακτινοβολίας, περισσότερο από το 90% της οποίας έρχεται ως άμεση ακτινοβολία λόγω της περιορισμένης νεφοκάλυψης και βροχόπτωσης (λιγότερο από 250 mm το έτος και συνήθως περισσότερες από 3.000 ώρες ηλιοφάνειας ετησίως). Η δεύτερη ευνοϊκότερη περιοχή βρίσκεται μεταξύ του ισημερινού και του γεωγραφικού πλάτους 15°B. Επειδή η υγρασία είναι υψηλή και η κάλυψη σύννεφων είναι συχνή, το ποσοστό της σκεδασμένης ακτινοβολίας είναι αρκετά υψηλό. Υπάρχουν συνολικά περίπου 2.500 ώρες ηλιοφάνειας ετησίως.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η πλειοψηφία των αναπτυσσόμενων χωρών εμπίπτει στις ευνοϊκότερες περιοχές μεταξύ των γεωγραφικών πλατών 35°B και 35°N. Για αυτόν τον λόγο μπορούν να βασιστούν στην ηλιακή ακτινοβολία ως σταθερή πηγή ενέργειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί εύκολα από τις αγροτικές και αστικές οικογένειες για ένα πλήθος σκοπών, συμπεριλαμβανομένης και της ηλιακής απολύμανσης του πόσιμου νερού[8].



**Σχήμα 4.4:** Διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας ανάλογα με την γεωγραφική θέση [8]

## Η UV-A είναι σημαντική για την εφαρμογή SODIS

Το ποσοστό αδρανοποίησης μικροοργανισμών αυξάνεται με την μείωση του μήκους κύματος: Ορατό φως < UV-A < UV-B < UV-C (260 nm). Η μέγιστη DNA απορρόφηση αντιστοιχεί στο μήκος κύματος της UV-C [8].

### 4.3 Αποδοτικότητα της διαδικασίας SODIS

Η διαδικασία SODIS χρησιμοποιεί δύο συστατικά του φωτός του ήλιου: Την UV-A ακτινοβολία για την απενεργοποίηση των μικροοργανισμών και την υπέρυθρη ακτινοβολία για την αύξηση της θερμοκρασίας του νερού. Αυτή η συνδυασμένη χρήση ενισχύει την αποδοτικότητα της διαδικασίας αδρανοποίησης παθογόνων μικροοργανισμών. Μια μείωση 3-log του βακτηρίου *E.coli* απαιτεί μια δόση της ηλιακής ακτινοβολίας  $555 \text{ W}\cdot\text{h}/\text{m}^2$  η οποία αντιστοιχεί σε 5h θερινής ηλιοφάνειας σε μέσο γεωγραφικό πλάτος. Με θερμοκρασία νερού τουλάχιστον  $50^\circ\text{C}$  η απαραίτητη δόση της ηλιακής ακτινοβολίας μειώνεται σε  $140 \text{ W}\cdot\text{h}/\text{m}^2$  και ως εκ τούτου, απαιτεί έναν χρόνο έκθεσης περίπου 1 ώρα μόνο [9].

#### 4.3.1 Επίδραση της ακτινοβολίας

Η ακτινοβολία σε μικρά μήκη κύματος προκαλεί θανατηφόρα αποτελέσματα στα βακτήρια και τους ιούς. Όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος, τόσο πιο αποτελεσματικά μειώνονται οι μικροοργανισμοί. Η ακτινοβολία επιδρά στο DNA, τα νουκλεϊνικά οξέα και τα ένζυμα. Ο Πίνακας 4.1 παρουσιάζει την ανθεκτικότητα στη UV-A ακτινοβολία μερικών μικροοργανισμών [10].

**Πίνακας 4.1:** Ανθεκτικότητα μερικών μικροοργανισμών στην ένταση της UV-A ακτινοβολίας [10].

Τεστ μικροοργανισμών	Δόση UV-A που απαιτείται για απενεργοποίηση ( $\text{Wh}/\text{m}^2$ )		
ποσοστό μείωσης	90%	99%	99.9%
<b>Streptococcus faecalis</b>	8,90	17,80	26,72
<b>Coliforms</b>	8,24	16,59	24,74
<b>Erscherichia coli</b>	6,36	12,72	19,08

#### 4.3.2 Επίδραση της θερμοκρασίας

Οι μικροοργανισμοί είναι θερμοευαίσθητοι. Ο Πίνακας 4.2 παρουσιάζει την απαραίτητη θερμοκρασία για να αποβάλει τους μικροοργανισμούς μέσα σε 1, 6 ή 60 λεπτά. Όπως φαίνεται δεν απαιτείται να βράσει το νερό προκειμένου να σκοτωθεί το 99,9% των μικροοργανισμών. Επαρκεί η θέρμανση του νερού σε  $50-60^\circ\text{C}$  για μία ώρα [9].

Πίνακας 4.2: Θερμοανθεκτικότητα των μικροοργανισμών.

Θερμοανθεκτικότητα των μικροοργανισμών			
Μικροοργανισμοί	Ώρα και θερμοκρασία για καταστροφή 100%		
	1Min	6Min	60 Min
Enteroviruses			62°C
Rotaviruses	63°C για 30 Min		
Faecal coliforms	80°C		
Salmonellae		62°C	58°C
Shigella		61°C	54°C
Vibrio Cholerae			45°C
Entamoeba, Histolytica cysts	57°C	54°C	50°C
Giardia cysts	57°C	54°C	50°C
Hookworm eggs and larvae	-	62°C	51°C
Ascaris eggs	68°C	62°C	57°C
Schistosomas eggs	60°C	55°C	50°C
Taenia eggs	65°C	57°C	51°C

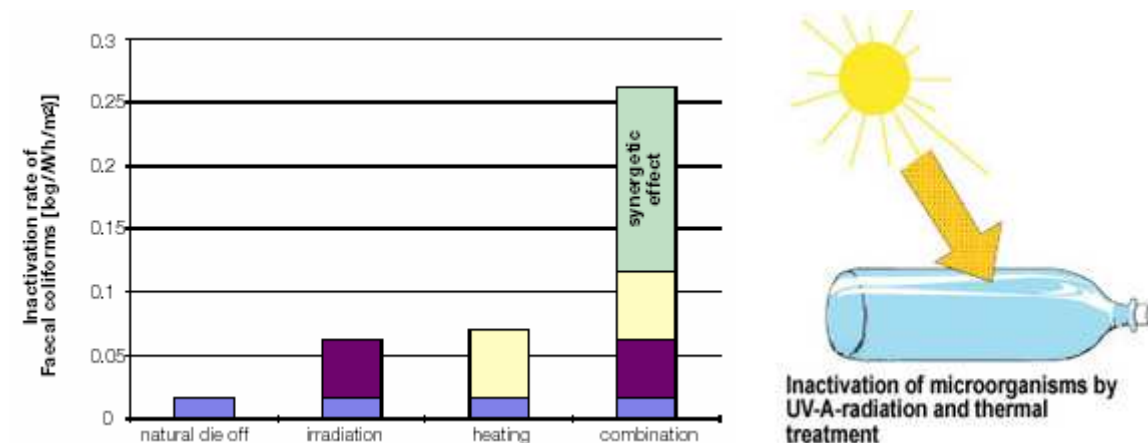
#### 4.3.3 Διαδικασία SODIS (Συnergιστική επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας)

Η διαδικασία επεξεργασίας SODIS είναι βασισμένη στη συnergιστική επίδραση της ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας. Τα ποσοστά θανάτου των *Faecal coliforms* μέσω της ηλιακής ακτινοβολία και της θέρμανσης αυξάνονται ουσιαστικά, όταν εμφανίζονται και οι δύο παράγοντες ταυτόχρονα. Ο Πίνακας 4.3 και το Διάγραμμα 4.4 παρουσιάζουν την συnergιστική επίδραση της UV-ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας του νερού στους ιούς και τα βακτήρια [9].

Πίνακας 4.3: Ο χρόνος και η δόση της ηλιακής ακτινοβολίας που απαιτείται για την 99,9% μείωση των παραπάνω ιών [9].

Bacteriophages f2	Χρόνος (ώρες)	Δόση ακτινοβολίας (Wh/m <sup>2</sup> )
20 °C	3.3	2.502
50 °C	1.3	973
<b>EMCV</b>		
20 °C	12.5	9.535
50 °C	1.8	1.390
<b>Rotavirus</b>		
20 °C	2.5	1.890
40 °C	0.7	528

EMCV: Encephalo myocarditis virus



**Διάγραμμα 4.4:** Συνεργιστική επίδραση της UV-ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στην απενεργοποίηση των Faecal coliforms στο ανεπεξέργαστο νερό [9]

#### 4.4 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Η συγκεκριμένη έρευνα της απολύμανσης του νερού με την ηλιακή ακτινοβολία ξεκίνησε από τον καθηγητή Aftim Acra στο Αμερικάνικο Πανεπιστήμιο της Βηρυτού, στο Λίβανο στο τέλος της δεκαετίας του 1970. Η ομάδα του διεξήγαγε κάποια πειράματα πεδίου για να εντοπίσει την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας στην ποιότητα του νερού. Τα πειράματα αυτά διεξήχθησαν σαν αυτόνομα batch σε διαυγή δοχεία όγκου 1-3 λίτρων. Τα κύρια αποτελέσματα τα οποία αναφέρθηκαν από τον Acra et al [10], μπορούν να συνοψιστούν στα ακόλουθα:

- Τα *E.coli* στελέχη έχουν ελαφρώς μεγαλύτερη αντίσταση στην θανάσιμη επίδραση του ηλιακού φωτός, από ότι τα άλλα βακτήρια (*P. aeruginosa*, *S. flexneri*, *S. typhi*, *S. enteritidis*). Γι'αυτό τα στελέχη *E.coli*, μπορούν να αποτελούν δείκτες για τον υπολογισμό της επίδρασης του ηλιακού φωτός στα εντεροβακτήρια. Κάτω από τις συνθήκες που διεξήχθησαν τα πειράματα, μια έκθεση διάρκειας 75 λεπτών επέφερε μια 3- log μείωση των *E. coli*.
- Οι συγγραφείς Acra et al υπέθεσαν ότι το αποτελεσματικό συστατικό της ηλιακής ενέργειας το οποίο σχετίζεται με την καταστροφή των μικροβίων είναι το εγγύς υπεριώδες φως UV-A (320- 400nm) και σε μικρότερη έκταση η ορατή ζώνη του ιώδους και μπλε φωτός.
- Ο Acra έκανε και κάποια επιπλέον πειράματα πεδίου ηλιακής απολύμανσης το 1986 έως 1987 χρησιμοποιώντας μονάδες συνεχούς ροής με αντιδραστήρες όγκου 5-18 λίτρα. Τα πειράματα έγιναν σε συνθήκες συνεχούς ροής με έκθεση στον ήλιο διάρκειας από 8 έως 66 λεπτά. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων, που παρουσιάστηκαν από τον Acra [10] συνοψίζονται στα εξής:
- Το βακτήριο *S.faecalis*, εν συγκρίσει με τα στελέχη *E. coli* και τα *coliforms*, ήταν λίγο περισσότερο ανθεκτικά στην ηλιακή ακτινοβολία, ενώ χρειαζόταν και δόση ηλιακής ακτινοβολία UV-A  $27 \text{ W} \cdot \text{h} / \text{m}^2$  για μια μείωση 3- log.
- Οι υψηλές συγκεντρώσεις βακτηρίων έδειξαν χαμηλότερη ευαισθησία στην ηλιακή ακτινοβολία σε σύγκριση με εκείνες χαμηλής ή μέτριας πυκνότητας.

Έτσι προς αποφυγή της επιμήκυνσης του χρόνου έκθεσης, τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν με χαμηλές συγκεντρώσεις βακτηρίων π.χ. 2-6.000 cfu/ml για το βακτήριο *E. coli*) σε αντίθεση με την πυκνότητα των βακτηρίων εύρους  $10^6$ - $10^8$  κύτταρα/ ml, που χρησιμοποιήθηκαν γενικότερα στην έρευνα.

- Τα αποτελέσματα των πειραμάτων, τα οποία πραγματοποιήθηκαν με καθαρές καλλιέργειες *E.coli* διαφέρουν από εκείνα που περιέχουν *coliforms* και *S. faecalis* σε νερό με λύματα. Η χρήση μολυσμένου νερού με τον τελευταίο τρόπο προτείνεται από τους συγγραφείς για την ηλιακή απολύμανση.
- Δεν υπήρξε ορατή ανάπτυξη του φυτοπλαγκτόν στις εσωτερικές επιφάνειες των ηλιακών αντιδραστήρων. Η απώλεια διαλυτών αερίων και η απουσία σημαντικών ποσοτήτων τροφής φαίνονται πως είναι οι λόγοι που προκαλούν αυτό το φαινόμενο.

• Στη συνέχεια με αφορμή την εργασία του Acra, το Integrated Rural Energy Systems Association (INRESA) που είναι ένα πρόγραμμα του Πανεπιστημίου των Ηνωμένων Εθνών, ξεκίνησε μία διαδικτυακή εργασία το 1985, όπου ενθάρρυνε τα τοπικά ιδρύματα να αρχίσουν έρευνα και έτσι να συμβάλλουν στη μεταφορά πληροφοριών σχετικά με την ηλιακή απολύμανση του νερού. Το Brace Research Institute (BRI) του McGill Πανεπιστημίου στο Μόντρεαλ του Καναδά επιλέχθηκε για να φιλοξενήσει τη γραμματεία του INRESA.

Τα πειράματα πεδίου διεξήχθησαν από πέντε διαφορετικά ερευνητικά κέντρα στο Περού, στην Κολομβία, στη Νιγηρία, στην Αίγυπτο και στη Σρι Λάνκα και παρουσιάστηκαν σε ένα συνέδριο τον Αύγουστο του 1988. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής, καθώς και τα κύρια ευρήματα και οι προτάσεις που υπήρξαν για περαιτέρω έρευνες συγκεντρώνονται στα πρακτικά του συνεδρίου [13]. Λόγω του ότι σε αυτά τα πειράματα δεν ακολουθήθηκαν συγκεκριμένες μέθοδοι και έγιναν από άτομα διαφορετικής ειδικότητας (μηχανικούς, μικροβιολόγους, βιοχημικούς και φυσικούς) τα αποτελέσματα αυτά δύσκολα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ένα μόνο συμπέρασμα και σε κάποιες γενικές κατευθυντήριες γραμμές, για το σχεδιασμό και τη λειτουργία της ηλιακής απολύμανσης του νερού. Γι'αυτό τον λόγο δεν μπόρεσε να υπάρξει κάποια εξέλιξη στην εφαρμογή του προγράμματος της ηλιακής απολύμανσης. Έτσι απαιτήθηκε επιπρόσθετη έρευνα προτού η τεχνολογία αυτή μπορέσει να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά. Παρακάτω, παραθέτονται κάποιες αρχές, που βρέθηκαν από την εργασία του INRESA [13]:

- Τα εργαστηριακά αποτελέσματα του Acra επαληθεύτηκαν ποιοτικά από τα πειράματα διαφορετικών ερευνητικών ιδρυμάτων από όλο τον κόσμο. Η ηλιακή ακτινοβολία ασκεί βακτηριοκτόνο επίδραση στο μολυσμένο νερό.
- Η ηλιακή απολύμανση του νερού μπορεί να εφαρμοστεί αποτελεσματικά εάν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι τουλάχιστον  $500\text{W}/\text{m}^2$  για περίπου 5 ώρες και το νερό είναι μολυσμένο αν η συγκέντρωση βακτηρίων δε ξεπερνά τα  $1.000\text{ faecal coliforms} / 100\text{ ml}$
- Μια απόκλιση στη θερμοκρασία του νερού από  $12^\circ\text{C}$  σε  $40^\circ\text{C}$  δεν φαίνεται να παίζει σημαντικό ρόλο στην αδρανοποίηση των βακτηρίων. Συνεργιστικές επιδράσεις με την ηλιακή ακτινοβολία δεν παρατηρήθηκαν.
- Οι γενικές ποιοτικές προτάσεις, όπως η χρήση καθαρών και διαυγών δοχείων και νερό χαμηλής θολερότητας, συμπληρώσαν τα ποιοτικά ευρήματα.

Συμπερασματικά οι συμμετέχοντες ερευνητές κατέληξαν ότι απαιτείται περισσότερη εργαστηριακή ερευνά για να προσδιοριστεί η ακριβής ηλιακή

ακτινοβολία και ο απαιτούμενος χρόνος έκθεσης για την αδρανοποίηση των διαφορετικών τύπων παθογόνων μικροοργανισμών (βακτηρίων, ιών, πρωτόζωων και σκουληκιών), καθώς και για να αναγνωριστεί και το πιο θανάσιμο εύρος του ηλιακού φάσματος, το οποίο φαίνεται να είναι αποτελεσματικό στο UV και στο ιώδες φως [13].

Σχετικά με το χαρακτηρισμό της καταστροφής των ζωντανών κυττάρων από την ακτινοβολία των υπεριώδων ακτίνων και του ορατού φωτός ήταν επίσης αξιολογη και η έρευνα που διεξήχθη παράλληλα από μερικούς φωτοβιολόγους. Συνοπτικά οι έρευνες τους έδειξαν ότι οι λογαριθμικές καμπύλες αδρανοποίησης των βακτηρίων είναι γενικά κοίλες καμπύλες και δείχνουν μία αρχική καθυστέρηση της θανατηφόρας επίδρασης του φωτός. Η αρχική καθυστέρηση προκαλείται κυρίως από το μηχανισμό ανανέωσης του DNA, ο οποίος είναι ενεργός στα περισσότερα ζωντανά κύτταρα και απενεργοποιείται μόνο σε υψηλές δόσεις. Το ποσοστό αδρανοποίησης των μικροοργανισμών αυξάνεται κατά μερικές τάξεις μεγέθους με την μείωση του μήκους κύματος. Το ποσοστό αυτό αυξάνεται με την μετάβαση από το ορατό φως στο UV- A στη συνέχεια στο UV- B και τέλος στο UV- C και αγγίζει το μέγιστο στο UV-C στα 260 nm, όπου λαμβάνει χώρα η μέγιστη απορρόφηση DNA [15-18]. Τα προαναφερθέντα πειράματα πραγματοποιήθηκαν με μονοχρωματική ακτινοβολία και δεν ανταποκρίνονται άμεσα για τον καθορισμό των παραμέτρων αδρανοποίησης της πολυχρωματικής ακτινοβολίας, όπως είναι το ηλιακό φως. Στην πραγματικότητα τα βιολογικά συστήματα μπορεί να ανταποκριθούν συνεργιστικά στην ακτινοβολία σε διαφορετικά μήκη κύματος, όπως έδειξαν σε πειράματα με *E coli* ο Webb et al [19].

Παράλληλα ένα εργαστήριο σχετικό με την ηλιακή απολύμανση του νερού (SODIS) ιδρύθηκε στο Μοντρεάλ το 1988 και το Ελβετικό Ομοσπονδιακό Ινστιτούτο για την Περιβαλλοντική Επιστήμη και Τεχνολογία (EAWAG) ξεκίνησε μια διαδικασία σε ένα πρόγραμμα SODIS το 1991. Τα εργαστηριακά πειράματα στην Ελβετία ακολουθήθηκαν από έρευνες πεδίου το 1993 σε συνεργασία με το ερευνητικό ινστιτούτο CINARA στην Cali της Κολομβίας. Τα ενθαρρυντικά αποτελέσματα έδωσαν συνέχεια και σε άλλα πειράματα πεδίου για την αδρανοποίηση των *faecal coliforms* που διεξήχθησαν στη Κόστα Ρίκα, Ιορδανία και Ταϊλάνδη.

Στη συνέχεια μία ομάδα ερευνητών από το IRCWD/EAWAG την οποία αποτελούσαν υγειονομικοί μηχανικοί, φωτοχημικοί, βακτηριολόγοι και ιολόγοι διαμορφώθηκε για να μελετηθεί η ηλιακή απολύμανση του νερού [11]. Στα πλαίσια αυτής της έρευνας πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακά πειράματα με τους ακόλουθους μικροοργανισμούς:

Βακτήρια: *E. coli*, *S. faecalis*, *enterococci* και ολικά βακτήρια (βακτηριακή πυκνότητα  $10^2$ - $10^7$ cfu/ml). Η χρήση *E. coli* ή *faecal coliforms* σαν δείκτες μικροοργανισμών είναι μία δοκιμασμένη πρακτική στην παρακολούθηση του πόσιμου νερού.

Ιοί: *bacteriophage f2*, *encephalomyocarditis virus* and *rotaviruses* (πυκνότητα σε ιούς  $10^4$ - $10^7$  PFU/mL and TCID<sub>50</sub>/ mL).

Για να αξιολογηθούν τα ποσοστά αδρανοποίησης της ηλιακής απολύμανσης του νερού στους προαναφερθέντες επιλεγμένους μικροοργανισμούς υπό διαφορετικές συνθήκες χειρισμού οι ερευνητές Wegelin et al [11] διεξήγαγαν παρά πολλά εργαστηριακά πειράματα παράλληλα έτσι ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση μεταξύ των εργαστηριακών πειραμάτων και της φυσικής ηλιακής ακτινοβολίας. Οι διαφορετικές συνθήκες που χρησιμοποιήσαν ήταν οι εξής:

Μήκος κύματος : 320 nm

Θολερότητα: < 1 NTU



Θερμοκρασία: 20 °C

Φυσικό οργανικό φορτίο: < 0,5 mg/L DOC

Μπλε του μεθυλενίου: 0 ppm.

Τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα αυτής της ερευνητικής δουλειάς συγκεντρώνονται στα εξής:

1. Το φως UV-A (320-400nm) είναι κυρίως υπεύθυνο για την αδρανοποίηση των μικροοργανισμών, ενώ το ιώδες φως σε μήκη κύματος 400-450 nm από μόνο του είναι ισχυρά βακτηριοκτόνο. Ο συνδυασμός και των δύο τριπλασιάζει το ρυθμό αδρανοποίησης του βακτηρίου *E.coli*.
2. Μια δόση ηλιακής ακτινοβολίας σε μήκη κύματος 350-450nm της τάξης των 2000 KJ/m<sup>2</sup> ή 555Wh/m<sup>2</sup> (τα οποία αντιστοιχούν σε περίπου 5ώρες της θερινής μεσημβρίας ηλιοφάνειας μέσου γεωγραφικού πλάτους) απαιτείται για την επίτευξη μιας μείωσης τριών δεκαδικών λογαριθμικών μονάδων (3-log) για το βακτήριο *E.coli* σε θερμοκρασίες μεταξύ 20° C και 40° C. Η ίδια δόση ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμοκρασία νερού 30° C μειώνει το *βακτηριοφάγο f2* και ένα στέλεχος του ιού rotavirus σε παρόμοιο βαθμό, ενώ ο ιός *picornavirus (encephalo myocarditis ιός)* παρατηρήθηκε να είναι δύο φορές πιο ανθεκτικός. Ο ιός EMVC σε αντίθεση ήταν δύο φορές πιο ανθεκτικός από το βακτήριο *E.coli*, τον *βακτηριοφάγο f2* και τον ιό *rotavirus*. Η σύγκριση των απαιτούμενων δόσεων για την αδρανοποίηση διαφορετικών μικροοργανισμών δείχνουν, ότι το βακτήριο *E.coli* και ο *βακτηριοφάγος f2* μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες μικροοργανισμών για να καταγραφεί η αποτελεσματικότητα της ηλιακής απολύμανσης του νερού σχετικά με την αδρανοποίηση των βακτηρίων και των ιών.
3. Οι θερμοκρασίες του νερού από 20 °C έως 40°C δεν επηρεάζουν την αδρανοποίηση των βακτηρίων από τις ακτίνες UV-A και την ακτινοβολία του ορατού φωτός. Συνεργιστικά αποτελέσματα παρατηρήθηκαν σε θερμοκρασίες νερού 50° C. Συγκριτικά σε χαμηλές θερμοκρασίες νερού η δόση ηλιακής ακτινοβολίας που απαιτείται για την αδρανοποίηση του *E.coli* είναι τρεις φορές μικρότερη σε θερμοκρασία 50° C. Αντίθετα οι ιοί είναι πιο ευαίσθητοι στις αλλαγές της θερμοκρασίας του νερού. Το ποσοστό αδρανοποίησης των ιών αυξάνεται σταθερά με την αύξηση της θερμοκρασίας από 20°C έως 50°C. Το ποσοστό αδρανοποίησης για τα τον *βακτηριοφάγο f2* αυξήθηκε κατά 1,8 φορές όταν η θερμοκρασία του νερού αυξήθηκε από τους 20° C στους 40° C. Οι εντεροϊοί και οι rotaviruses είναι ακόμη πιο ευαίσθητοι στις ίδιες αλλαγές της θερμοκρασίας. Τα καταγεγραμμένα συνεργιστικά αποτελέσματα της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμικής επεξεργασίας του νερού ευνοούν μία συνδυασμένη χρήση αυτών των δύο διαδικασιών επεξεργασίας νερού.
4. Σε αντίθεση με τα βακτήρια, οι συγκεντρώσεις των ιών στο νερό είναι δύσκολο να παρακολουθηθούν, καθώς οι συγκεντρώσεις τους είναι γενικά χαμηλές και οι μέθοδοι ανάλυσης τους είναι αρκετά περίπλοκες. Η χρήση βακτηριοφάγων σαν δείκτη μικροοργανισμών για την μόλυνση του νερού θεωρείται λιγότερο πολύπλοκη.
5. Η αποτελεσματικότητα του φωτός στην καταστροφή των βακτηρίων αυξάνεται σε σημαντικό βαθμό από τη προσθήκη του αντιδραστηρίου methylene blue. Η προσθήκη ενός 1mg/l methylene blue σε καλλιέργειες του *E.coli* αυξάνει τα ποσοστά καταστροφής του κατά 20 φορές. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας το ποσοστό αδρανοποίησης του βακτηρίου *E.coli*

κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα με το ποσοστό αδρανοποίησης του βακτηρίου *S. faecalis* καθώς και των εντερόκοκκων [11].

Το 1997 οι συγγραφείς Sommer et al δημοσιεύουν επίσης ένα άρθρο που συνδυάζει τη δουλειά πολλών ερευνητικών ομάδων, οι οποίες αναλύουν την αποτελεσματικότητα της ηλιακής απολύμανσης του νερού σε ποικίλες εργαστηριακές έρευνες που διεξήχθησαν σε διαφορετικά πειράματα κατά την διάρκεια πέντε ετών [14]. Σε αυτή την εργασία η μέθοδος SODIS εφαρμόστηκε τόσο σε αυτόνομα πειράματα (batch) όσο και σε ένα SODIS αντιδραστήρα συνεχούς ροής. Εναλλακτικά δοκιμάστηκε και ένας αντιδραστήρας ηλιακής παστερίωσης SOPAS (Solar Pasteurisation Reactor). Ο αντικειμενικός σκοπός των συγκεκριμένων ερευνών ήταν η δημιουργία μιας αξιόπιστης και φθηνής μεθόδου απολύμανσης του νερού για τις αναπτυσσόμενες χώρες, και ειδικά για εκείνα τα άτομα και ιδρύματα που δεν μπορούν να βρουν αποθέματα νερού.

Οι ειδικοί ξεκίνησαν μια έρευνα για την δημιουργία μίας αξιόπιστης αποτελεσματικής και χαμηλού κόστους μεγέθους επεξεργασία του νερού στις αναπτυσσόμενες χώρες λόγω του ότι, ο ήλιος είναι μία δωρεάν φυσική πηγή ενέργειας σε άφθονη ποσότητα και οι μικροοργανισμοί είναι ευάλωτοι στη ζέστη και στη ακτινοβολία UV-A.

Έκθεση του νερού στον ήλιο για αρκετές ώρες πραγματοποιήθηκε σε μπουκάλια ή πλαστικές σακούλες ή με ένα σύστημα συνεχούς ροής (SODIS αντιδραστήρας). Η τελευταία μέθοδος ήταν σχεδιασμένη για να παρέχει νερό που έχει απολυμανθεί σε ιδρύματα όπως νοσοκομεία ή σχολεία. Η διαδικασία απολύμανσης του νερού σε μπουκάλια και σακούλες ήταν αρκετά απλή ώστε να εφαρμοστεί σε οικιακό επίπεδο.

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές γεωγραφικές τοποθεσίες (στο Cali της Κολομβίας, το Sau Jose της Κόστα Ρίκα, το Αμάν της Ιορδανίας και το Khon Kaen της Ταϊλάνδης). Τα αποτελέσματα επιτρέπουν τον προσδιορισμό των ποσοστών αδρανοποίησης των *faecal coliforms* σε συσχέτισμό με το βακτήριο *Vibrio cholerae* κάτω από διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες. Η διαδικασία των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν είναι η εξής: Αρχικά μετρήθηκε στα δείγματα του νερού η θολερότητα. Τα μπουκάλια που χρησιμοποιήθηκαν ως δοχεία ήταν φτιαγμένα από γυαλί ή PET (polyethylene terephthalate). Οι πλαστικές σακούλες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν φτιαγμένες από 0,15mm παχύ, διαφανές πολυαιθυλένιο (PE). Οι σακούλες αυτές ήταν γεμάτες με 1-1,5L νερό και το υγρό στη σακούλα διαμορφώνει ένα στρώμα νερού περίπου 1cm βάθους. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκαν άλλες μεγαλύτερες πλαστικές σακούλες με βάθος νερού μεταξύ 2 και 6cm ή ήταν γεμάτες με νερό 10L.

Τα μπουκάλια και οι σακούλες εκτέθηκαν στον ήλιο κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Κάποια μπουκάλια ήταν στην κάτω επιφάνεια τους χρωματισμένα μαύρα ενώ άλλα ήταν διάφανα και τοποθετήθηκαν πάνω σε τιμεντένια οροφή ή σε κατασκευασμένη βάση με γωνία κλίσης 45° ή επάνω σε μαύρες σακούλες ή επάνω σε σακούλες που αντανακλούν το φως. Εναλλακτικά σαν επιφάνεια στήριξης δοκιμάστηκαν τριών ειδών υλικά, ξύλο, μικροίνες και ατσάλι. Τέλος ανά συγκεκριμένες χρονικές στιγμές έπαιρναν μετρήσεις της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας. Επίσης χρησιμοποιούσαν και ένα δοχείο με το ίδιο δείγμα μακριά από τον ήλιο για να μπορούν να συγκρίνουν την διαφορά μεταξύ του πληθυσμού των μικροοργανισμών ο οποίος έχει εκτεθεί και εκείνου που δεν έχει εκτεθεί στον ήλιο [14].

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται η εφαρμογή της διαδικασίας SODIS σε δύο από τις χρησιμοποιηθείσες διατάξεις σε πειράματα πεδίου.



Τα αποτελέσματα των αυτόνομων (batch) πειραμάτων συνοψίζονται στον Πίνακα 4.4.

**Πίνακας 4.4:** Ο βαθμός απενεργοποίησης των βακτηρίων *faecal coliforms* και του *Vibrio cholerae* σε γυάλινα quartz μπουκάλια όγκου 30ml [14].

	Σταθερή Θερμοκρα σία	Θολότητα	SS ή TS*	Αρχική Συγκέντρωση	Τελική Συγκέντρω ση	Χρόνος έκθεσης	UV-A ακτινοβολία	Ολική μείωση	Μέσος όρος μείωσης σε 15 λεπτά
Πειράματα (θέση- έτος)	°C	NTU	mg/l	MPN ή cfu/100ml	MPN ή cfu/100ml	min	Wh/m <sup>2</sup>	%	%
Κολομβία '93	30	56	Ο/Δ	2.10*10 <sup>4</sup>	3.07*10 <sup>2</sup>	300	86	98,54	4,93
	30	120	Ο/Δ	2.00*10 <sup>5</sup>	1.53*10 <sup>3</sup>	360	82	99,24	4,13
	30	24	Ο/Δ	3.30*10 <sup>4</sup>	4.20*10 <sup>3</sup>	240	31	87,27	5,45
Κολομβία '95	30	17	17	1.19*10 <sup>4</sup>	1.90*10 <sup>3</sup>	300	82	84,03	4,2
	30	17	17	1.19*10 <sup>4</sup>	7.00*10 <sup>2</sup>	300	82	94,12	4,71
	30	15	13	1.06*10 <sup>4</sup>	1.00*10 <sup>1</sup>	300	99	99,91	5
	50	28	32	2.80*10 <sup>3</sup>	1	45	12	99,96	33,32
	30	17	17	1.50*10 <sup>4</sup>	3*10 <sup>3</sup>	150	57	80	8**
	50	28	32	7.00*10 <sup>3</sup>	1	23	5	99,99	65,21**
Ιορδανία '95	50	400	507	1.60*10 <sup>4</sup>	1.20*10 <sup>2</sup>	140	58	99,25	10,63
	50	0,2	9	1.60*10 <sup>3</sup>	1*10 <sup>1</sup>	40	15	99,92	37,5
Ταϊλάνδη '95	30	140	270	4.67*10 <sup>8</sup>	2*10 <sup>3</sup>	300	85	100	5
	30	21	40	1.28*10 <sup>3</sup>	0.1	300	85	99,99	5
	50	108	Ο/Δ	1.50*10 <sup>9</sup>	5.30*10 <sup>1</sup>	120	28	100	12,5
	50	102	140	2.00*10 <sup>6</sup>	3.80*10 <sup>2</sup>	120	25	99,98	12,5
Κόστα Ρίκα '96	30	20	70	9.00*10 <sup>2</sup>	1.30*10 <sup>1</sup>	300	129	98,56	4,93
	30	20	70	1.10*10 <sup>3</sup>	1*10 <sup>1</sup>	300	129	99,09	4,95
	50	30	202	1.30*10 <sup>3</sup>	3	60	28	99,77	24,94
	50	30	202	1.20*10 <sup>3</sup>	0	120	55	100	12,5

\* Έρευνες στη Κόστα Ρίκα

Ο/Δ:όχι διαθέσιμες

Συμπερασματικά η SODIS διαδικασία είναι πιο αποτελεσματική σε θερμοκρασία νερού τουλάχιστον 50° C. Οι διαφανείς πλαστικές σακούλες επιτρέπουν μια 3-log μείωση (99,9%) των *faecal coliforms* και *Vibrio cholerae* μέσω της θέρμανσης και της ακτινοβολίας UV-A με δόση 54 Wh/m<sup>2</sup> για 140 λεπτά.

Η ένταση της ακτινοβολίας UV-A μειώνεται ραγδαία, με την αύξηση του βάθους του νερού. Η επίδραση αυτή ενισχύεται με την αύξηση της θολερότητας. Οι μέσες απώλειες της ακτινοβολίας UV-A ανάλογα με το εκάστοτε δοχείο που χρησιμοποιήθηκε ήταν οι ακόλουθες: πλαστικά μπουκάλια =30%, γυάλινα μπουκάλια =25%, πλαστικές σακούλες=10%. Οι απώλειες τις χρωματιστές σακούλες ήταν τουλάχιστον 6 φορές υψηλότερες από αυτές των διαυγών σακουλών.

Ακόμη βρέθηκε ότι το μαύρο μέταλλο είναι το πιο αποτελεσματικό για την θέρμανση των πλαστικών σακουλών, οι οποίες ήταν γεμάτες με νερό. Όσο μικρότερο ήταν το βάθος του νερού (στις σακούλες), τόσο πιο γρήγορα θερμαίνεται το νερό και τόσο μεγαλύτερη η θερμοκρασία του.

Η μείωση των βακτηρίων *faecal coliforms* και *Vibrio cholerae* στο Πίνακα 4.4 δείχνουν ότι η διαδικασία SODIS είναι μία αξιόπιστη και αποτελεσματική μέθοδος αδρανοποίησης των βακτηρίων εάν οι θερμοκρασίες του νερού είναι της τάξης των 50° C και συνδυάζονται με ακτινοβολία UV-A. Η επίτευξη της θερμοκρασίας των 50° C είναι πιο εύκολη στις πλαστικές σακούλες από ότι με τα μπουκάλια, καθώς το ποσοστό της επιφάνειας που βρίσκεται εκτεθειμένη είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση των πλαστικών σακουλών.

Τα *faecal coliforms* κατέχουν μεγαλύτερη θερμική αντίσταση από τα *Vibrio cholerae*. Όταν η ένταση του ηλιακού φωτός δεν είναι ίδια συνεχώς και μειώνεται, τότε δε χρειάζεται απαραίτητα υψηλότερη δόση ακτίνων U-VA για να επιτευχθεί πλήρης αδρανοποίηση, αλλά χρειάζεται μεγαλύτερος χρόνος εφαρμογής. Σε θερμοκρασία του νερού της τάξης 30° C, τα *faecal coliforms* έδειξαν ότι έχουν την ικανότητα να ξανααναπτυχθούν κατά την διάρκεια της νύχτας, ενώ τα βακτήρια *Vibrio cholerae* υπέστησαν μία επιπλέον μείωση. Όταν την επόμενη μέρα τα βακτήρια εκτέθηκαν πάλι στο φως του ήλιου, τα εναπομείναντα *Vibrio cholerae* πολλαπλασιάστηκαν, ενώ ο αριθμός των *faecal coliforms* μειώθηκε κατά το ίδιο χρονικό διάστημα.

Η αρχική συγκέντρωση των *faecal coliforms* που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα ήταν συχνά πολύ υψηλότερη από 10.000/100ml μέχρι και 10<sup>6</sup>/100ml από ότι συνήθως καταμετρείται στα ποτάμια ή λίμνες(η μικρότερη συγκέντρωση ήταν 1.000/100ml). Κατά την διάρκεια της έκθεσης καταγράφηκε η μείωση της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών καθώς και η θερμοκρασία του νερού ενώ μετριόταν και η ηλιακή ακτινοβολία. Η συννεφιά, η χαμηλή θερμοκρασία, ειδικά σε συνδυασμό με δυνατό αέρα, μειώνουν την αποτελεσματικότητα τις ηλιακής απολύμανσης SODIS. Για το λόγο αυτό τα μπουκάλια και οι σακούλες βάρθηκαν μερικώς με μαύρο χρώμα ή απλώθηκαν σε μαύρες μεταλλικές βάσεις. Το γεγονός αυτό οφείλεται στις χαμηλές απώλειες μετάδοσης της ακτινοβολίας που παρατηρούνται στις σακούλες και τη γρήγορη θέρμανση του νερού όταν αυτό εκτίθεται στον ήλιο σε επίπεδο με βάθος λίγων εκατοστών.

Το SODIS σε αυτόνομα πειράματα (batch) θα μπορούσε να καλύψει τις ανάγκες για πόσιμο νερό για οικογένειες σε αγροτικές και αστικές περιοχές χαμηλού εισοδήματος. Αντίθετα οι αντιδραστήρες συνεχόμενης ροής SODIS μπορούν να παρέχουν καθαρό νερό για σχολεία, νοσοκομεία και αλλά ιδρύματα με μεγαλύτερες

απαιτήσεις για νερό καθώς και σε προσφυγικές κατασκηνώσεις ή σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης (π.χ. μετά από σεισμό) [14].

Οι ερευνητές Sommer et al εναλλακτικά εξέτασαν και τις διαδικασίες ηλιακής απολύμανσης με συνεχόμενη ροή με τους SODIS και SOPAS αντιδραστήρες που περιγράφονται πιο κάτω [14].

## Η SODIS συσκευή

Η συσκευή SODIS χρησιμοποιεί τόσο τη θερμότητα όσο και την ακτινοβολία από την ηλιακή ενέργεια. Το Σχήμα 4.4 δείχνει τη συσκευή, η οποία χρησιμοποιήθηκε στη Κόστα Ρίκα με ξεχωριστό συλλέκτη και αντιδραστήρα. Το νερό θερμαίνεται αρχικά στο συλλέκτη στους 50°C τουλάχιστον (η οποία είναι η αρχική θερμοκρασία στη θερμοβαλβίδα) και στη συνέχεια ρέει μέσω του αντιδραστήρα που δέχεται ακτινοβολία. Ο αντιδραστήρας διαστάσεων 1,78m x 0,20m επιφάνειας και 0,10m βάρους, ο οποίος έχει όγκο 36,5L και είναι φτιαγμένος από χαλκό καλυμμένο από γυαλί. Μετά την επίδραση της ακτινοβολίας το φιλτραρισμένο ζεστό νερό ρέει μέσω του εναλλάκτη θερμότητας και προθερμαίνει το απεσταγμένο νερό [14].

Ο SODIS αντιδραστήρας παράγει περίπου 100L πόσιμου νερού ανά τετραγωνικό μέτρο ηλιακού συλλέκτη ανά ημέρα.

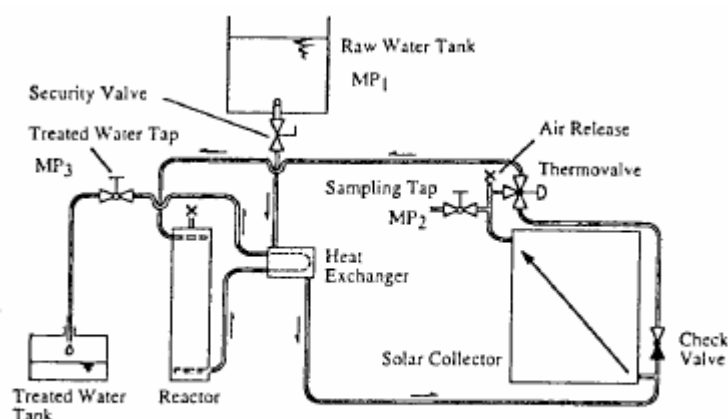


Fig. 1 SODIS plant scheme.

Σχήμα 4. 4.: Η συσκευή SODIS [14]

## Η SOPAS συσκευή

Η συσκευή ηλιακής παστερίωσης SOPAS χρησιμοποιεί μόνο τη θερμότητα από την ηλιακή ακτινοβολία. Για να είναι σίγουρο ότι το νερό απολυμάνθηκε, είναι απαραίτητο να θερμανθεί στους 70° C και να διατηρηθεί αυτή η θερμοκρασία στη δεξαμενή για τουλάχιστον 15min. Η διαδικασία αυτή είναι εναλλακτική στην έκθεση του νερού στην ηλιακή ακτινοβολία σε αντιδραστήρα με θερμοκρασία 50° C για 60-90min. Τα υπόλοιπα μέρη της συσκευής είναι ίδια με την συσκευή SODIS. Η θερμοβαλβίδα της συσκευής SOPAS ανοίγει στους 70 ° C. Ο ηλιακός συλλέκτης ο οποίος δημιουργήθηκε από το SOL POWER, San Jose στην Κόστα Ρίκα είναι ένας επίπεδος ECOSO συλλέκτης με 2,14m<sup>2</sup> επιφάνεια απορρόφησης Σχήμα 4.5 [14].

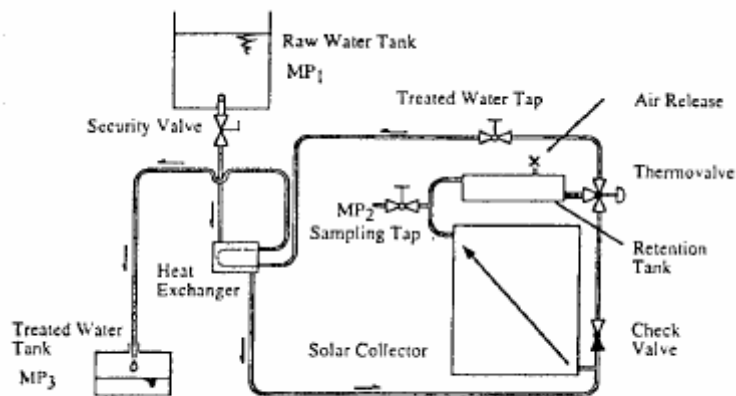


Fig. 2 SOPAS plant scheme.

**Σχήμα 4.5:** Η συσκευή SOPAS [14].

Οι δυο διαφορετικών ειδών αντιδραστήρες συνεχούς ροής δοκιμάστηκαν σε διαφορετικές καιρικές συνθήκες και με διαφορετική ροή. Ο ηλιακός αντιδραστήρας απολύμανσης SODIS ο οποίος χρησιμοποιεί θερμική ενέργεια και ακτινοβολία από τον ήλιο, με θερμοκρασία τουλάχιστον 50° C και ο αντιδραστήρας ηλιακής παστερίωσης SOPAS που χρησιμοποιεί μόνο τη θερμική ενέργεια από τον ήλιο και λειτουργεί σε θερμοκρασία άνω των 70° C, έδειξαν καλά αποτελέσματα μόνο ημέρες με υψηλή ηλιοφάνεια. Κατά την διάρκεια ημερών με πλήρη ηλιοφάνεια ο αντιδραστήρας SODIS με σταθερή ροή 54,6 L/min έδειξε μια σχεδόν πλήρη αδρανοποίηση των *faecal coliforms*. Αντίθετα ο αντιδραστήρας SOPAS που βασίζεται στην ηλιακή παστερίωση έδειξε ότι ακόμη και σε ηλιόλουστες ημέρες μπορούσε μόνο οριακά να επιτύχει την θερμοκρασία των ελάχιστων αναγκαίων 70°C για την παστερίωση. Αντίθετα ο αντιδραστήρας SODIS έχει ικανοποιητική απόδοση ακόμη και μέρες με 50% συννεφιά, ενώ δεν λειτουργεί κανονικά όταν υπάρχει πολύ συννεφιά με μόνο το 50% της UV-A και 70% του ορατού φωτός. Τα δεδομένα των πειραμάτων έδειξαν ότι η αδρανοποίηση των βακτηρίων που προκαλούν διάρροια πετυχαίνεται μόνο με το συνδυασμό της θερμικής ενέργειας και της ακτινοβολίας [14].

Από το 1996 έως το 1999 αρκετές ελεγχόμενες SODIS δοκιμές έγιναν στις κοινότητες των Μασάι στην επαρχία Kajiado στην Κένυα [12].

Σε μία τέτοια δοκιμή έλαβαν μέρος 206 παιδιά ηλικίας από 5-16 χρονών για 12 εβδομάδες. Το αποτέλεσμα ήταν ότι τα παιδιά που κατανάλωσαν νερό που είχε υποστεί ηλιακή απολύμανση είχαν μια μείωση 10% σε περιστατικά διάρροιας, συμπεριλαμβανομένης μίας μείωσης 24% στα περιστατικά σοβαρής διάρροιας κατά την περίοδο μελέτης. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην υιοθέτηση της μεθόδου αυτής για την απολύμανση του νερού.

Η διαδικασία ηλιακής απολύμανσης SODIS εφαρμόζεται επιτυχώς στις παρακάτω χώρες: Τόγκο όπου το μόνο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν είναι η εύρεση πλαστικών μπουκαλιών, καθώς και στις χώρες Βολιβία, Αιθιοπία, Σρι Λάνκα (τα ποσοστά μείωσης των *faecal coliforms* κατά τον μήνα Δεκέμβριο φτάνουν το 100% ενώ για τα *total coliforms* το 99,5%), Εκουαδόρ και σε χώρες της νότιας Αφρικής [20].

Ένα σημαντικό πρόβλημα της εφαρμογής του SODIS είναι ότι δεν είναι σίγουρο ότι οι άνθρωποι θα ακολουθήσουν την ακριβή διαδικασία καθώς και η

πιθανότητα να πιουν νερό πριν αυτό έχει απολυμανθεί σωστά ή και ανεπεξέργαστο μολυσμένο νερό ταυτόχρονα.

Επίσης η ηλιακή απολύμανση δεν προσφέρει προστασία από το χημικά ρυπασμένο νερό. Παρόλο που η ηλιακή απολύμανση δεν είναι κατάλληλη για όλες τις αναπτυσσόμενες χώρες, σε ορισμένες περιπτώσεις είναι μάλλον η μόνη εναλλακτική λύση για την απολύμανση του νερού. Τέτοιες περιπτώσεις είναι οι παρακάτω:

1. Η παροχή του νερού σε άτομα που ζουν σε αγροτικές περιοχές ή σε αστικές περιοχές χαμηλής ανάπτυξης όπου έχουν πρόσβαση μόνο σε νερό μολυσμένο με λύματα.
2. Η παροχή πόσιμου νερού σε διασκορπισμένο αγροτικό πληθυσμό σε ορεινές περιοχές και σε νομαδικές κοινότητες που η άντληση νερού με σωλήνες δεν μπορεί να εφαρμοστεί ή η χρήση χημικών κοστίζει ακριβά.
3. Η ανάγκη παροχής πόσιμου νερού σε πρόσφυγες ή άτομα σε εμπόλεμες περιοχές.
4. Η άμεση απολύμανση του νερού σε περιπτώσεις πλημμύρας ή καταιγίδας ή σε περιπτώσεις ξαφνικών επιδημιών χολέρας και διάρροιας σε περιοχές όπου δεν υπάρχει άλλη δυνατότητα επεξεργασίας του νερού.
5. Η παροχή ασφαλούς πόσιμου νερού για μωρά και μικρά παιδιά, όταν αντιμετωπίζουν κίνδυνο θανάτου λόγω διάρροιας στις προαναφερθείσες περιπτώσεις.

Τέλος καμία μελέτη δεν έχει καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η έκθεση του νερού στη ηλιακή ακτινοβολία χειροτερεύει την ποιότητα του. Τελικά οι κοινότητες που στερούνται εγκαταστάσεων επεξεργασίας του μολυσμένου νερού δεν έχουν τίποτα να χάσουν ή φοβηθούν από τη χρησιμοποίηση της ηλιακής απολύμανσης. Ο ήλιος δεν κοστίζει τίποτα [12-13].

Το βράσιμο του νερού, η απολύμανση με χλωρίνη και το φιλτράρισμα μέσω κεραμικών φίλτρων αποτελούν τις εναλλακτικές μεθόδους, οι οποίες προπαγανδίζονται σε επίπεδο νοικοκυριού. Παρόλα αυτά οι μέθοδοι αυτές αντιμετωπίζουν τα ακόλουθα προβλήματα:

- Το βράσιμο νερού απαιτεί ενέργεια, όπου στις αγροτικές περιοχές συνήθως προμηθεύεται με μορφή καυσόξυλων. Αυτού του τύπου η διαχείριση του νερού δεν είναι εύχρηστη, ιδίως σε περιοχές που απειλούνται από αποψίλωση των δασικών τους εκτάσεων.
- Η απολύμανση του νερού με χλωρίνη συνήθως απορρίπτεται από τους καταναλωτές εξαιτίας της άσχημης γεύσης και μυρωδιάς, που αποκτά το νερό. Επιπλέον, η χρήση χημικών συχνά δημιουργεί μεγάλα προβλήματα σε σχέση με την χρησιμοποίηση της κατάλληλης δόσης και τη σωστή διανομή του.
- Το φιλτράρισμα του νερού με κεραμικά φίλτρα δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα μέθοδος. Παρόλο που είναι ακριβή μέθοδος τα κεραμικά φίλτρα συχνά βουλώνουν και παρατηρείται η θραύση τους από απρόσεχτο χειρισμό.

Τα παραπάνω προβλήματα απαιτούν τη δημιουργία εναλλακτικών τεχνικών που να είναι αποτελεσματικές, πρακτικές και απλές αρκετά, ώστε να μπορούν να εφαρμοστούν από κάθε άτομο ακόμη και σε οικιακό επίπεδο. Η απολύμανση του νερού με τον ήλιο θεωρείται ως μια τέτοια εναλλακτική μέθοδος.

Ταυτόχρονα θα πρέπει να γίνουν σημαντικές επενδύσεις έτσι ώστε να επιτευχθεί πλήρης κάλυψη του πληθυσμού στο κοντινό μέλλον. Έτσι θα πρέπει να δοθεί προσοχή τόσο στο χειρισμό, όσο και στη διατήρηση των υαρχόντων αποθεμάτων νερού ώστε να αυξηθεί η αξιοπιστία της επεξεργασίας και προμήθειας καθαρού νερού. Παρόλα αυτά οι δημόσιες δαπάνες δεν χρησιμοποιούνται

αποτελεσματικά για την κάλυψη των υπολογισμένων επενδύσεων που έφθαναν το 1994 το ύψος των 150 δις \$ για την πλήρη κάλυψη της επεξεργασίας και διαχείρισης νερού στις αναπτυσσόμενες χώρες. Η επιλογή ακατάλληλων τεχνολογιών, η έλλειψη υποδομών διαχείρισης και επεξεργασίας και η δυσκολία στην προμήθεια καυσίμων οφείλονται συνήθως για τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η διανομή πόσιμου νερού στις αναπτυσσόμενες χώρες [11].

Ακόμα και σήμερα στο Μπαγκλαντές το 95% (50 εκατομ. άνθρωποι) του αγροτικού πληθυσμού πίνει νερό υπόγειας προέλευσης στο οποίοι τελευταία παρατηρούνται μεγάλα ποσοστά αρσενικού με αποτέλεσμα την αύξηση των ποσοστών των δερματικών επιδημιών και των καρκίνων. Για την αντιμετώπιση της κατάστασης αυτής απαιτείται χημική επεξεργασία που δεν είναι εύκολη και επηρεάζει το άρωμα του νερού. Οι εταιρίες SDC (Swiss agency for Development and Cooperation) και EAWAG βρίσκονται στη διαδικασία δημιουργίας μίας απλής ηλιακής οξείδωση και απομάκρυνσης του αρσενικού (SORAS: Solar oxidation and removal of arsenic) με μεθόδους που χρησιμοποιούν την επεξεργασία του νερού με ηλιακό φως σε μπουκάλια PET, όπου το ποσοστό του αρσενικού θα μειώνεται από 500mg/L στα 50mg/L [20].



## Κεφάλαιο 5

### Απολύμανση των αστικών υγρών αποβλήτων

#### 5.1 Σκοπός και μέθοδοι απολύμανσης

Σκοπός της απολύμανσης είναι η καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών ώστε να αποφεύγεται η μετάδοση ασθενειών με τα νερά του αποδέκτη, στα οποία διοχετεύονται τα απόβλητα. Είναι το μοναδικό στάδιο στην επεξεργασία των αποβλήτων που έχει αποκλειστικό σκοπό την καταστροφή των παθογόνων μικροοργανισμών, αν και μερική απομάκρυνση ή καταστροφή τους γίνεται και στα άλλα στάδια επεξεργασίας.

Η περισσότερο διαδεδομένη και δοκιμασμένη μέθοδος απολύμανσης σε μια Εγκατάσταση Επεξεργασίας Αστικών Αποβλήτων (ΕΕΑΑ) είναι η χλωρίωση με υποχλωριώδες νάτριο. Παρά τα πολλά πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η χλωρίωση, έχει το βασικό μειονέκτημα της δυσμενούς επίδρασης του χλωρίου στο υδάτινο περιβάλλον που διοχετεύονται τα χλωριωμένα απόβλητα. Η επίδραση αυτή εκδηλώνεται άμεσα στις διάφορες μορφές ζωής (π.χ. ψάρια) λόγω της τοξικότητας του χλωρίου ή έμμεσα με το σχηματισμό οργανοχλωριούχων ενώσεων, από την αντίδραση του χλωρίου με τις οργανικές ενώσεις των αποβλήτων, που πιθανολογείται ότι είναι καρκινογόνες. Είναι λοιπόν προφανές ότι στο υδάτινο περιβάλλον δεν πρέπει να διοχετεύονται μεγάλες ποσότητες χλωρίου, που προκύπτουν από αλόγιστη χρήση του στη διαδικασία της χλωρίωσης.

Σήμερα γίνονται διάφορες προσπάθειες για τη βελτίωση της απόδοσης της χλωρίωσης, ώστε να αποφεύγεται η ανεξέλεγκτη χρήση και σπατάλη του χλωρίου. Στις προσπάθειες αυτές ανήκουν ορισμένες τεχνικές, όπως π. χ. η χρησιμοποίηση μετρητή υπολειμματικού χλωρίου, αλλά και περισσότερο δραστικά μέτρα, όπως π.χ. η αποχλωρίωση (συνήθως με διοξείδιο του θείου, και σπανιότερα με ενεργό άνθρακα) και η μη λειτουργία ή ακόμα και η παράλειψη εγκατάστασης χλωρίωσης, όταν η δυνατότητα φυσικής μείωσης των παθογόνων μικροοργανισμών στο υδάτινο περιβάλλον, οι τοπικές συνθήκες και η χρήση του αποδέκτη το επιτρέπουν.

Το παραπάνω βασικό μειονέκτημα της χλωρίωσης έχει οδηγήσει σε προσπάθειες αντικατάστασης της από άλλες μεθόδους απολύμανσης, που είναι δραστικές χωρίς όμως να έχουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Στις μεθόδους αυτές ανήκει η οζόνωση και η απολύμανση με υπεριώδη (UV) ακτινοβολία, η οποία κερδίζει συνεχώς έδαφος [2].

#### 5.2 Χλωρίωση- Αποχλωρίωση

##### 5.2.1.Υποχλωριώδες νάτριο -Απολυμαντική δράση

Το πιο συνηθισμένο απολυμαντικό μέσο είναι το υποχλωριώδες νάτριο (NaOCl). Διατίθεται στο εμπόριο σε υγρή μορφή με περιεκτικότητα χλωρίου κατά βάρος μικρότερη από 15%.

Ο τρόπος με τον οποίο το χλώριο που περιέχεται στο NaOCl καταστρέφει τους μικροοργανισμούς δεν είναι απόλυτα εξακριβωμένος. Για τα βακτήρια η πιο πιθανή εξήγηση είναι ότι το χλώριο διαπερνά την κυτταρική μεμβράνη τους και αδρανοποιεί ορισμένα ένζυμα που είναι απαραίτητα για τη ανάπτυξη τους. Επειδή η αντίδραση χλωρίου-ενζύμων είναι αντιστρέψιμη σε χαμηλές συγκεντρώσεις χλωρίου,

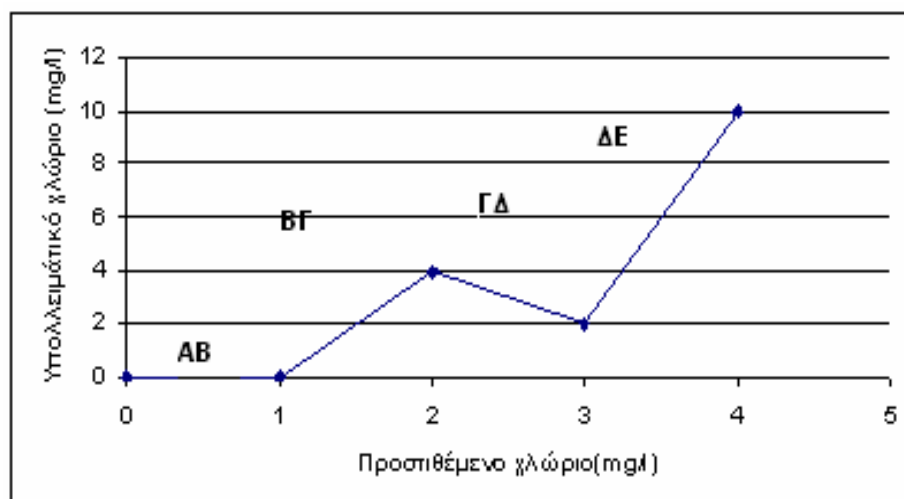
είναι δυνατόν τα ένζυμα να επαναενεργοποιηθούν και να συνεχίσουν τη λειτουργία τους. Για τους ιούς και ορισμένους άλλους μικροοργανισμούς η πιο πιθανή εξήγηση είναι ότι το χλώριο επιδρά κατευθείαν στο DNA και RNA του πυρήνα τους.

Η βασική, θεωρητική αντίδραση κατά τη διοχέτευση υποχλωριώδους νατρίου στο νερό είναι η ακόλουθη



Το υποχλωριώδες νάτριο με το νερό σχηματίζει HOCl, το οποίο είναι η βασικότερη μορφή του χλωρίου που δρα ως απολυμαντικό μέσο στη διαδικασία και το οποίο μπορεί να χαρακτηριστεί ως "ελεύθερο χλώριο".

Κατά τη διοχέτευση υποχλωριώδους νατρίου όχι στο νερό, αλλά στα επεξεργασμένα απόβλητα παρατηρείται ότι δεν πραγματοποιείται από την αρχή η αντίδραση (5.1), αλλά συμβαίνουν μια σειρά από διεργασίες με αποτέλεσμα το χλώριο να ακολουθεί την πορεία της γραμμής ΑΒΓΔΕ του Σχ.5.1 η οποία επεξηγείτε στη συνέχεια.

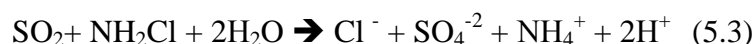
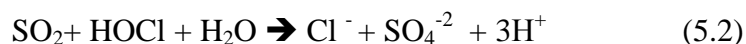


**Σχήμα 5.1:** Καμπύλη υπολειμματικού χλωρίου κατά τη χλωρίωση αποβλήτων [2].

- 1) Τμήμα ΑΒ: Το χλώριο που διατίθεται καταναλώνεται αποκλειστικά για την οξείδωση των συστατικών των αποβλήτων χωρίς να περισσεύει για απολυμαντική δράση.
- 2) Τμήμα ΒΓ: Το χλώριο, που εξακολουθεί να προστίθεται αντιδρά με την αμμωνία και τα αμμωνιακά άλατα που περιέχονται στα απόβλητα σχηματίζοντας ενώσεις, όπως χλωραμίνες και τριχλωριούχο άζωτο. Οι ενώσεις αυτές αποτελούν το "ενωμένο χλώριο" και είναι απολυμαντικές, αλλά όχι στο βαθμό που είναι το ελεύθερο χλώριο.
- 3) Τμήμα ΓΔ: Το χλώριο που προστίθεται οξειδώνει τις χλωραμίνες σε άζωτο και οξείδια του αζώτου και ανάγεται σε χλωριούχα ιόντα. Η συγκέντρωση του "ενωμένου χλωρίου" μειώνεται.
- 4) Τμήμα ΔΕ: Το χλώριο που προστίθεται ακολουθεί την αντίδραση (5.1) και παραμένει ως "ελεύθερο χλώριο" που είναι το κυρίως υπεύθυνο για την απολυμαντική δράση της χλωρίωσης. Το σύνολο του "ελεύθερου" και του "ενωμένου" χλωρίου αποτελεί το υπολειμματικό χλώριο [2].

## 5.2.2 Αποχλωρίωση -Διοξειδίου του θείου

Οι συνολικές αντιδράσεις του διοξειδίου του θείου με το χλώριο και τις χλωραμίνες είναι οι ακόλουθες:



Από την αντίδραση (5.2) υπολογίζεται ότι θεωρητικά για την αποχλωρίωση 1mg/L υπολειμματικού χλωρίου απαιτείται  $(32+2*16)/2*35.5=0,9\text{mg/L}$  διοξειδίου του θείου, ενώ στην πράξη έχει διαπιστωθεί ότι απαιτεί περίπου 1 mg/L.

Ο λόγος του "ελεύθερου χλωρίου" προς το "ενωμένο χλώριο" στα απόβλητα πριν από την αποχλωρίωση (Σχ.5.1) αποτελεί μια αρχική ένδειξη αναμενόμενου βαθμού αποτελεσματικότητας της αποχλωρίωσης. Όταν ο λόγος αυτός είναι μικρότερος από 85 %, τότε είναι πιθανό να υπάρχουν σημαντικές ποσότητες οργανικού αζώτου στα απόβλητα, οι οποίες θα περιορίσουν την απόδοση της αποχλωρίωσης.

## 5.2.3 Δεξαμενή χλωρίωσης

Η επαφή του NaOCl με τα λύματα γίνεται στη δεξαμενή χλωρίωσης, που καλείται και δεξαμενή επαφής. Η δεξαμενή χλωρίωσης πρέπει να εξασφαλίζει τον απαραίτητο χρόνο επαφής με τα απόβλητα ώστε να επιτυγχάνεται ο επιθυμητός βαθμός απομάκρυνσης των παθογόνων μικροοργανισμών.

Για τον προσδιορισμό του απαραίτητου χρόνου παραμονής μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη εξίσωση, που αφορά τον Βιολογικό αντιδραστήρα.

$$E/E_0 = (1 + 0,23 * C_{\text{XΛ}} * \Theta_{\text{ΔXΛ}})^{-3}$$

όπου  $E_0$ ,  $E$  είναι οι συγκεντρώσεις των κολοβακτηρίων στην είσοδο και έξοδο της Δεξαμενής Χλωρίωσης (ΔXΛ) αντίστοιχα,  $C$  είναι η συγκέντρωση του υπολειμματικού χλωρίου στην έξοδο της Δεξαμενής Χλωρίωσης και  $\Theta$  ο χρόνος παραμονής. Όπου  $\Theta = V_{\text{ΔXΛ}}/Q$  με  $Q$  η παροχή και  $V$  ο όγκος της ΔXΛ

Συνήθως, για αστικά απόβλητα ο χρόνος παραμονής είναι  $\Theta_{\text{ΔXΛ}} = 20-30$  mins στην παροχή αιχμής. Η μέση συγκέντρωση του χλωρίου στη Δεξαμενή Χλωρίωσης είναι ίση με 5-8 mg/L. Η διοχέτευση του NaOCl γίνεται συνήθως στο φρεάτιο εισόδου της Δεξαμενής Χλωρίωσης, όπου επιχειρείται η δημιουργία έντονης τύρβης για την επίτευξη θεωρητικά ακαριαίας ανάμιξης του NaOCl με τα απόβλητα.

Οι Δεξαμενές Χλωρίωσης έχουν συνήθως μαιανδρική κάτοψη με μεγάλους λόγους μήκος : πλάτος, ώστε να επιτυγχάνεται σε αυτές ομοιόμορφη, παράλληλη ροή, που έχει διαπιστωθεί ότι επιδρά ευεργετικά στην απόδοση χλωρίωσης.

Η ταχύτητα ροής στη Δεξαμενή Χλωρίωσης πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 2-4 m/min για να μη γίνεται καθίζηση των αιωρούμενων στερεών. Παράλληλα μπορεί να υπάρχει παρακαμπτήριος αγωγός, ο οποίος επιτρέπει την εκκένωση της Δεξαμενής Χλωρίωσης για τον καθαρισμό της από τα στερεά που καθίζησαν [2].

## 5.2.4 Χώρος αποχλωρίωσης

Οι αντιδράσεις (5.2) και (5.3) της αποχλωρίωσης γίνονται σχεδόν ακαριαία και έτσι δεν απαιτείται ιδιαίτερη δεξαμενή αποχλωρίωσης. Η αποχλωρίωση γίνεται με την τοπική διοχέτευση του διοξειδίου του θείου σε περιοχές (π.χ. φρεάτιο εκροής της δεξαμενής χλωρίωσης) με ισχυρή ανάμειξη και χρόνο παραμονής στην παροχή αιχμής ίσο με 30-60 seconds. Οι συνιστώμενες συγκεντρώσεις είναι συνήθως 1,0-1,6 mg/L στη μέση παροχή και 2,0-5,0 mg/L στην παροχή αιχμής.

Η διοχέτευση ποσοτήτων διοξειδίου του θείου, μεγαλύτερων από αυτές που απαιτούνται οδηγούν σε κατανάλωση του DO (διαλυμένου οξυγόνου ή Dissolved Oxygen) και κατά συνέπεια σε μείωση της συγκέντρωσής του, αύξηση του BOD και πτώση του pH των νερών του αποδέκτη. Οι επιδράσεις αυτές είναι ανεπιθύμητες και μπορεί να αποφευχθούν με τον κατάλληλο έλεγχο του συστήματος αποχλωρίωσης.

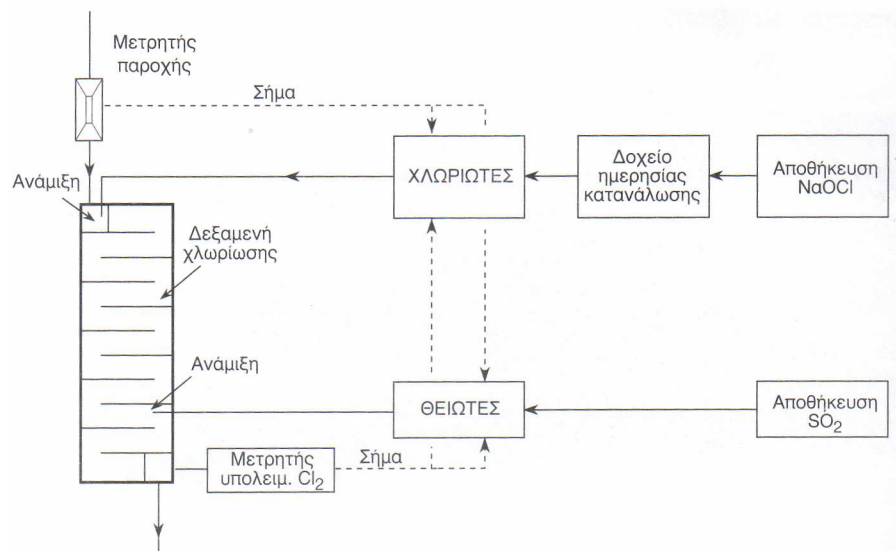
## 5.2.5.Εξοπλισμός χλωρίωσης –αποχλωρίωσης

Ο εξοπλισμός ενός συστήματος χλωρίωσης-αποχλωρίωσης αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη (Σχ.5.3):

1. Δεξαμενές αποθήκευσης υποχλωριώδους νατρίου. Αυτές είναι συνήθως δυο, από ανθεκτικό υλικό και έχουν όγκο ικανό για αποθήκευση NaOCl 10-30 ημερών, ανάλογα με την δυνατότητα συχνής ή όχι προμήθειας του NaOCl στην εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Οι δεξαμενές αποθήκευσης είναι εξοπλισμένες με όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα (στηρίγματα, διάταξη εκκένωσης, θυρίδα επίσκεψης, δίκτυο πλήρωσης) ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής πλήρωσή τους από βυτιοφόρα οχήματα και η ελαχιστοποίηση της πιθανότητας διαρροής.
2. Δοχεία ημερήσιας κατανάλωσης. Είναι συνήθως δύο και έχουν όγκο ικανό για την αποθήκευση της ημερήσιας κατανάλωσης του NaOCl. Τροφοδοτούνται με σωλήνες με βαρύτητα από τις δεξαμενές αποθήκευσης. Τα δοχεία αυτά μπορεί και να παραλείπονται.
3. Δοσομετρικές αντλίες (χλωριωτές), οι οποίες είναι διαφραγματικού τύπου με μεταβλητή παροχή. Οι αντλίες λειτουργούν συνέχεια δίνοντας παροχή NaOCl που είναι ανάλογη της παροχής των αποβλήτων στην εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων (ώστε να διατηρείται η συγκέντρωση του χλωρίου στη δεξαμενή χλωρίωσης στα επιθυμητά επίπεδα), σύμφωνα με το αναλογικό σήμα του μετρητή παροχής. Παράλληλα, μπορεί να λειτουργούν και δεχόμενες σήματα από τον μετρητή υπολειμματικού χλωρίου κατάντη της δεξαμενής χλωρίωσης, ώστε να περιορίζεται στο ελάχιστο η ποσότητα του διοχετευόμενου χλωρίου στο υδάτινο περιβάλλον.
4. Χαλύβδινοι κύλινδροι αποθήκευσης του υγροποιημένου υπό πίεση διοξειδίου του θείου.
5. Δοσομετρικές διατάξεις (θειωτές) παροχέτευσης του διοξειδίου του θείου ανάλογες των χλωριωτών.
6. Διατάξεις διοχέτευσης του χλωρίου και του διοξειδίου του θείου σε θέσεις όπου εξασφαλίζεται η πλήρης ανάμειξη.
7. Σύστημα ελέγχου των χλωριωτών και θειωτών με βάση το υπολειμματικό χλώριο και την παροχή.

Ο εξοπλισμός της χλωρίωσης και της αποχλωρίωσης εγκαθίσταται σε κατάλληλο

κτίριο, που συνήθως αποτελείται από χωριστούς χώρους, όπου βρίσκονται (α) οι δεξαμενές αποθήκευσης του NaOCl, (β) οι κύλινδροι αποθήκευσης του διοξειδίου του θείου και (γ) οι δοσομετρικές αντλίες με τα δοχεία ημερήσιας κατανάλωσης [2].



**Σχήμα 5.3:** Σχηματικό διάγραμμα ροής χλωρίωσης – αποχλωρίωσης [2]

### 5.3 Απολύμανση με όζον

#### 5.3.1 Απολυμαντική δράση

Το όζον έχει πολύ ισχυρότερη και ταχύτερη (300-3.000 φορές) απολυμαντική και οξειδωτική δράση από το χλώριο για διάφορες τιμές θερμοκρασιών και pH, ενώ παράλληλα επιτυγχάνει αποτελεσματικότερη καταστροφή των ιών. Είναι όμως ασταθές και έτσι έχει μικρή διάρκεια απολυμαντικής δράσης με αποτέλεσμα να μην αφήνει υπολειμματικό όζον, αλλά και να απαιτεί την παρουσία της εγκατάστασης παραγωγής του στην εγκατάσταση επεξεργασίας αστικών αποβλήτων.

Κατά την απολύμανση με όζον δε δημιουργείται πρόβλημα τοξικότητας στον αποδέκτη που διοχετεύονται τα καθαρισμένα απόβλητα γιατί το υπολειμματικό όζον είναι ελάχιστο και διασπάται μέχρι τα επεξεργασμένα απόβλητα να καταλήξουν στον αποδέκτη. Το ίδιο ισχύει και για τις ισχυρά ασταθείς τοξικές ουσίες, που είναι πιθανόν να δημιουργηθούν κατά την οζόνωση. Παράλληλα εξαιτίας της ισχυρής οξειδωτικής του δράσης μειώνονται οι οσμές, η θολρότητα και το χρώμα, ενώ αυξάνεται το DO του αποδέκτη και καταστρέφονται και επικίνδυνες οργανικές ενώσεις που τυχόν περιέχονται στα απόβλητα, όπως π.χ. το μαλαθίο [2].

#### 5.3.2 Διάταξη οζόνωσης

Τα βασικά μέρη μιας διάταξης οζόνωσης (Σχ.5.4) είναι τα ακόλουθα:

1. Σύστημα προετοιμασίας του αερίου. Το αέριο από το οποίο θα παραχθεί το όζον μπορεί να είναι αέρας ή καθαρό οξυγόνο. Η προετοιμασία το αερίου αποσκοπεί στη

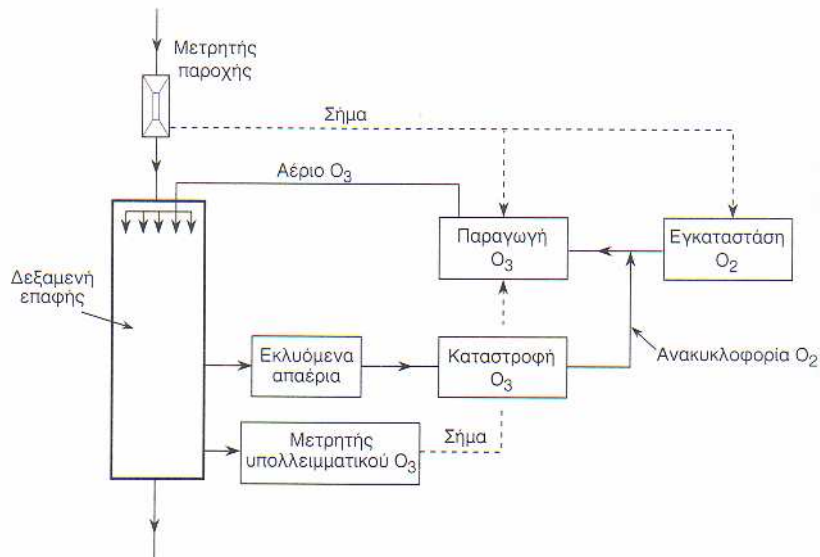
βελτίωση των χαρακτηριστικών του, ώστε να είναι σε συστηματική βάση καθαρό, κρύο και ξηρό. Περιλαμβάνει φίλτρο αέρα για την κατακράτηση της σκόνης και των άλλων αιωρούμενων σωματιδίων, φυσητήρες για τη συμπίεση του αερίου και άλλες διατάξεις για τη ξήρανση και ψύξη του αερίου.

2. Γεννήτρια παραγωγής του όζοντος. Το αέριο διέρχεται μεταξύ δυο ηλεκτροδίων υψηλής τάσης, που δημιουργείται από κατάλληλες γεννήτριες (χαμηλής, μέσης ή υψηλής τάσης) με αερόψυκτους ή υγρόψυκτους κινητήρες.

3. Δεξαμενή επαφής. Η διοχέτευση του όζοντος στη δεξαμενή επαφής γίνεται με σύστημα διαχυτήρων, με το οποίο επιδιώκεται και η ελαχιστοποίηση των δημιουργούμενων αφρών και επιπλεόντων. Η δεξαμενή επαφής πρέπει να είναι κλειστή και εφοδιασμένη με διάταξη συλλογής και απομάκρυνσης των απαερίων προς διάταξη καταστροφής τους και πιθανώς ανακύκλωση των αερίων προς τη διάταξη προετοιμασίας του αερίου.

4. Σύστημα ελέγχου. Η διοχέτευση του όζοντος στα απόβλητα γίνεται κατά τρόπο όμοιο με αυτόν της χλωρίωσης, δηλ. με βάση σήματα που λαμβάνονται από τον μετρητή παροχής των αποβλήτων και το μετρητή του υπολειμματικού όζοντος. Η διοχέτευση του όζοντος μπορεί να ελέγχεται και με τη μέτρηση της συγκέντρωσης του στα απαέρια που εκλύονται από τη δεξαμενή επαφής.

Η οζόνωση εφαρμόζεται συνήθως σε απόβλητα που έχουν υποστεί νιτροποίηση, αλλά και διήθηση. Οι συγκεντρώσεις του όζοντος που συνιστώνται για την επίτευξη συγκεντρώσεων κολοβακτηρίων 200, 70 και 2,2 ανά 100 ml είναι αντίστοιχα 3-5, 5-10 και 15-20 mg/L. Ιδιαίτερη σημασία πρέπει να δίδεται στην επιλογή του υλικού των σωληνώσεων, των δικλιδών και των άλλων μηχανικών μερών στη διάταξη απολύμανσης για να μη διαβρωθούν από το ισχυρό οξειδωτικό όζον [2].



Σχήμα 5.4: Σχηματικό διάγραμμα ροής οζόνωσης [2]

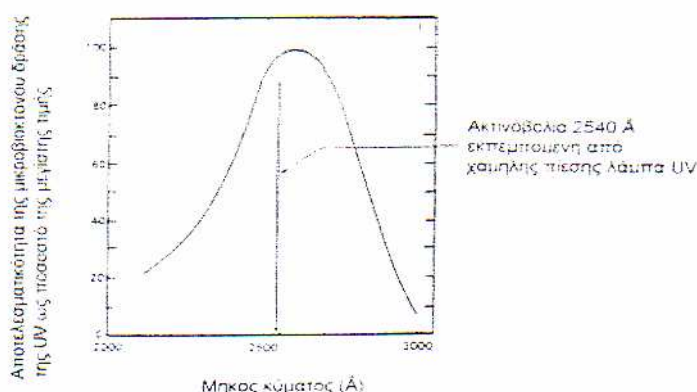
## 5.4 Απολύμανση με ακτινοβολία UV

### 5.4.1 Απολυμαντική δράση

Η χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας είναι μία φυσική μέθοδος απολύμανσης, που δεν παράγει παραπροϊόντα και υπολειμματικές συγκεντρώσεις όπως η χλωρίωση. Η μέθοδος της υπεριώδους ακτινοβολίας έχει κερδίσει μία συνεχώς αυξανόμενη προτίμηση σε σχέση με την χλωρίωση εξαιτίας των παρακάτω λόγων:

- α) Ζητήματα ασφάλειας κατά την μεταφορά και χρήση του χλωρίου.
- β) Αύξηση των ολικών διαλυμένων στερεών εξαιτίας των διαδικασιών χλωρίωσης και αποχλωρίωσης.
- γ) Δημιουργία χημικών παραπροϊόντων της χλωρίωσης, όπως τριαλογονωμένων παραγώγων του μεθανίου.
- δ) Απαίτηση για τον έλεγχο της εκπομπής χλωριωμένων υδρογονανθράκων στην ατμόσφαιρα σύμφωνα με τους κανονισμούς για την ποιότητα του αέρα.
- ε) Δυνητική τοξικότητα του υπολειμματικού χλωρίου σε υδρόβιους οργανισμούς.

Το δεσοξυριβονουκλεϊκό οξύ (DNA) και το ριβονουκλεϊκό οξύ (RNA) αποτελούν τους βασικούς στόχους των φωτονίων της υπεριώδους ακτινοβολίας. Η περιοχή του φάσματος, που προκαλούνται οι σημαντικότερες βλάβες σε ζωντανούς οργανισμούς βρίσκεται μεταξύ των μηκών κύματος 250 nm και 270 nm (Σχ. 5.5). Οι φωτοχημικές μεταβολές που προκαλούνται από την υπεριώδη ακτινοβολία στο γενετικό υλικό ενός οργανισμού δεν επιτρέπουν τη μεταφορά των γενετικών πληροφοριών του κυττάρου με αποτέλεσμα το θάνατό του.

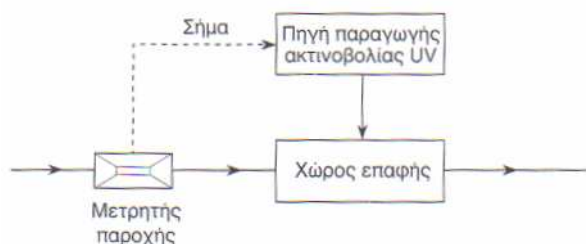


**Σχήμα 5.5.** Σχετική μικροβιοκτόνος δράση της υπεριώδους ακτινοβολίας σε συνάρτηση με το μήκος κύματος [30].

Αρκετοί οργανισμοί έχουν την ικανότητα να θεραπεύουν οι ίδιοι τις βλαβερές επιδράσεις, που προκαλούνται από την επίδραση διαφόρων απολυμαντικών παραγόντων. Η θεραπευτική διαδικασία που λαμβάνει χώρα στην περίπτωση της απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία είναι γνωστή ως φωτοεπιδιόρθωση. Η φωτοεπιδιόρθωση απαιτεί την έκθεση του κατεστραμμένου κυττάρου στην ηλιακή ακτινοβολία και συγκεκριμένα σε ακτινοβολία με μήκος κύματος από 310 έως 490nm. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των κολοβακτηρίων μέχρι 10 φορές [1,21].

## 5.4.2 Διάταξη απολύμανσης

Η διάταξη απολύμανσης με ακτινοβολία UV αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη (Σχ.5.6):



**Σχήμα 5.6:** Σχηματικό διάγραμμα ροής απολύμανσης με ακτινοβολία UV [2].

1. Πηγή παραγωγής ακτινοβολίας UV. Η υπεριώδης ακτινοβολία παράγεται συνήθως από μια συστοιχία λυχνιών υδραργύρου, που διακρίνονται σε χαμηλής έντασης (χαμηλής πίεσης) ή μέσης έντασης (μέσης πίεσης). Οι λαμπτήρες συνίστανται από ένα λεπτό (διαμέτρου από 1,5-2 cm) σωλήνα μεγάλου σχετικά μήκους (0,75 και 1,50 m) όπου εκπεμπόμενη ακτινοβολία παράγεται με τη λειτουργία ενός ηλεκτρικού τόξου μέσα σε ατμούς υδραργύρου. Οι χαμηλής πίεσης λαμπτήρες εκπέμπουν από 85%-90% της ενέργειας σε μήκος κύματος περίπου ίσο με 254nm και έχουν χρησιμοποιηθεί ευρύτατα. Οι μέσης πίεσης λαμπτήρες αποτελούν την πιο εξελιγμένη μορφή λαμπτήρων υπεριώδους ακτινοβολίας με σχετικά περιορισμένη εφαρμογή και εκπέμπουν υπεριώδη ακτινοβολία σε όλο το μήκος του φάσματος [1]. Τα βασικά χαρακτηριστικά των δύο τύπων δίνονται στον Πίνακα 5.1.

**Πίνακας 5.1.** Χαρακτηριστικά λαμπτήρων υπεριώδους ακτινοβολίας χαμηλής και μέσης πίεσης [1].

Χαρακτηριστικά	Χαμηλής πίεσης λαμπτήρες	Μέσης πίεσης λαμπτήρες
Μήκος κύματος υπεριώδους ακτινοβολίας nm	254	200-400
Απόδοση (ενέργεια που χρησιμοποιείται για απολύμανση/καταναλισκώμενη ενέργεια) %	30%-40%	12%-15%
Πίεση λαμπτήρα bar	(0,01-1,0)bar	(10-20)bar
Θερμοκρασία λαμπτήρα, °C	(40-50)°C	(600-900)°C
Διάρκεια ζωής h	8.000-10.000	2.000-5.000

2. Χώρος επαφής. Ο απαιτούμενος χρόνος "επαφής" της ακτινοβολίας με τους μικροοργανισμούς είναι συνήθως μικρότερος από 1 min. Η επαφή γίνεται σε ειδικά



διαμορφωμένη δεξαμενή. Δύο βασικές διατάξεις ακολουθούνται κατά τον σχεδιασμό συστημάτων απολύμανσης με χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας. Η πρώτη είναι μία διάταξη στην οποία οι λαμπτήρες τοποθετούνται σε κλειστούς αγωγούς υπό πίεση και η δεύτερη, όπου οι λαμπτήρες τοποθετούνται σε ανοικτούς αγωγούς σε δώρυγα, κάθετα ή παράλληλα με τη ροή των εκροών. Οι λαμπτήρες για προστασία τοποθετούνται μέσα σε θήκες από χαλαζία που έχουν διάμετρο ελάχιστα μεγαλύτερη από αυτή των λαμπτήρων.

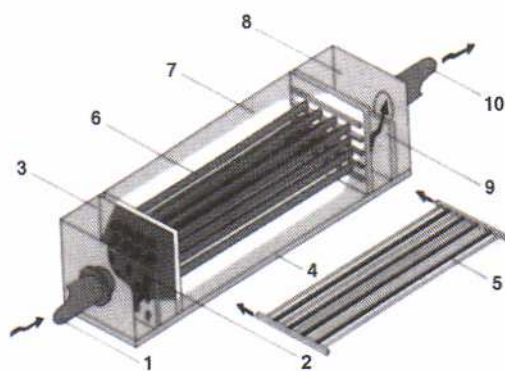
Ένα σημαντικό στοιχείο κατά τη λειτουργία συστημάτων που χρησιμοποιούν υπεριώδη ακτινοβολία είναι η διαφάνεια των επιφανειών, που περιβάλλουν τους λαμπτήρες υπεριώδους ακτινοβολίας. Οι επιφάνειες αυτές περιλαμβάνουν το περίβλημα από χαλαζία και τους σωλήνες από Teflon. Κατά τη λειτουργία των λαμπτήρων σκόνη μπορεί να καλύψει τις επιφάνειες των λαμπτήρων που δεν είναι βυθισμένες στα υγρά απόβλητα, ενώ οι βυθισμένοι λαμπτήρες συχνά επικαλύπτονται με λίπη, έλαια, αιωρούμενα στερεά, άλατα και βιομάζα, με καταστρεπτικές συνέπειες στην απόδοση του συστήματος απολύμανσης. Η απαιτούμενη συχνότητα καθαρισμού των λαμπτήρων αποτελεί σημαντικό τμήμα του κόστους λειτουργίας της εγκατάστασης απολύμανσης και κυμαίνεται από 1 ημέρα μέχρι 3 μήνες, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων και την ποιότητα της τελικής εκροής. Πολλά σύγχρονα συστήματα υπεριώδους ακτινοβολίας περιλαμβάνουν αυτοματοποιημένο εξοπλισμό καθαρισμού των λαμπτήρων, που επιτυγχάνεται με μηχανικά, χημικά ή άλλα μέσα [1].

3. Σύστημα ελέγχου και ρύθμισης της ποσότητας της παραγόμενης ακτινοβολίας με βάση τα εκπεμπόμενα σήματα από το μετρητή παροχής.

Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές διατάξεων UV από κατασκευαστές που επιδιώκουν τη βελτίωση της απόδοσης της εγκατάστασης απολύμανσης [2].

Χαρακτηριστικά παρουσιάζεται η διάταξη του Σχ.5.7

1. Εισροή
2. Πέτασμα εισροής -ισοκατανομής
3. Δεξαμενή επαφής (από προπυλαίνιο)
4. Βάση στήριξης χάλυβα
5. Λυχνίες UV
6. Σωλήνες teflon
7. Σκέπασμα δεξαμενής (από αλουμίνιο)
8. Χώρος εκροής (από προπυλαίνιο)
9. Πέτασμα (εκροής υπερχειλιστή)
10. Εκροή



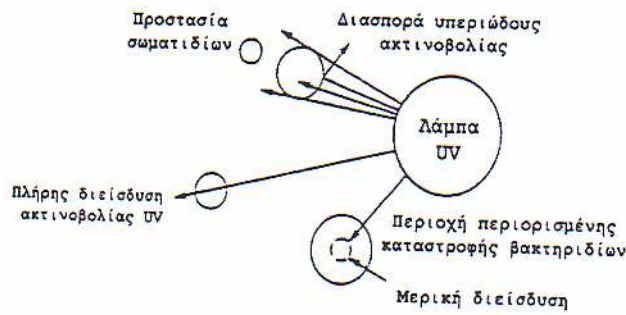
**Σχήμα 5.7:** Διάταξη απολύμανσης με ακτινοβολία UV [2]

### 5.4.3. Παράμετροι που επηρεάζουν την απόδοση της απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία

Οι κυριότεροι παράμετροι των υγρών αποβλήτων που επηρεάζουν την απόδοση της απολύμανσης με χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας είναι οι ακόλουθοι: (α) η διαπερατότητα του νερού στην υπεριώδη ακτινοβολία, (β) η θολερότητα και τα αιωρούμενα στερεά, (γ) το μέγεθος σωματιδίων, (δ) τα ολικά διαλυμένα στερεά (ε) η σκληρότητα, (ζ) η συγκέντρωση σιδήρου και (η) η θερμοκρασία.

**Διαπερατότητα και Απορροφητικότητα.** Ο όρος διαπερατότητα του νερού στην υπεριώδη ακτινοβολία είναι μια έκφραση παρόμοια με την απαίτηση των εκρών υγρών αποβλήτων σε χλώριο. Η απαίτηση αυτή προκαλείται από χημικές ενώσεις και στερεά που περιέχονται στις εκροές και απορροφούν μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας, που κανονικά θα χρησιμοποιούταν για την εξουδετέρωση των μικροοργανισμών. Παραδείγματα τέτοιων ενώσεων αποτελούν οι πρωτεΐνες, οι φαινόλες και στοιχεία που περιέχουν σίδηρο. Επίσης, βιομηχανίες που είναι πηγές τέτοιων ενώσεων είναι οι βιομηχανίες χάρτου και χαρτοπολτού, οι υφαντουργίες, οι βιομηχανίες τροφίμων και τα πτηνοτροφεία. Η απαίτηση σε υπεριώδη προσδιορίζεται με τη χρήση ενός φασματοφωτόμετρο σε μήκος κύματος 253,7 nm. Έχει αποδειχθεί ότι αρκετοί παράμετροι των εκρών υγρών αποβλήτων συνδέονται με την απορροφητικότητά τους σε υπεριώδη ακτινοβολία, όπως η θολερότητα, τα αιωρούμενα στερεά, ο ολικός οργανικός άνθρακας και το χημικά απαιτούμενο οξυγόνο.

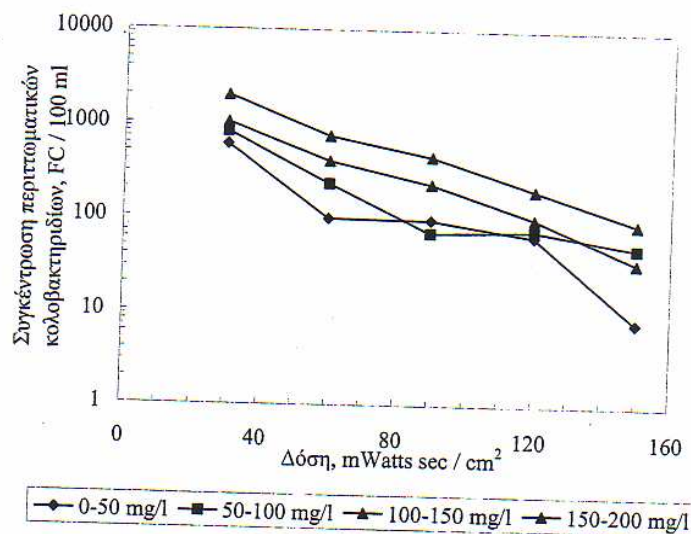
**Θολερότητα και αιωρούμενα στερεά (TSS).** Υψηλά επίπεδα θολερότητας και αιωρούμενων στερεών μειώνουν την αποδοτικότητα της απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία. Αυτό συμβαίνει διότι στην περίπτωση αυτή αρκετοί μικροοργανισμοί είτε σκιάζονται είτε κρύβονται μέσα στα αιωρούμενα σωματίδια, όπως φαίνονται στο (Σχ.5.8)



**Σχήμα 5.8** Μείωση της αποτελεσματικότητας της απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία εξαιτίας των αιωρούμενων στερεών [1].

Η αποτελεσματικότητα της απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία μειώνεται όσο ο αριθμός των αιωρούμενων στερεών αυξάνει. Αυξάνοντας τη δόση της υπεριώδους ακτινοβολίας μπορούμε να αναπληρώσουμε έως ένα βαθμό τη μείωση στην αποτελεσματικότητα της απολύμανσης. Η διήθηση των υγρών αποβλήτων μπορεί να μειώσει τα προβλήματα, που δημιουργούνται από τα αιωρούμενα στερεά. Εκροές που έχουν υποστεί τριτοβάθμια επεξεργασία (διήθηση) απολυμαίνονται πιο αποτελεσματικά σε σχέση με δευτεροβάθμιες εκροές.

Για τον προσδιορισμό της επίδρασης των στερεών στο βαθμό εξουδετέρωσης των κοπρανόδων κολοβακτηρίων (*faecal coliforms*) με υπεριώδη ακτινοβολία εκτελέστηκαν πειράματα στο Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας, Ε.Μ.Π. με δευτεροβάθμια επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Τα αποτελέσματα χωρίστηκαν σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με τη συγκέντρωση των ολικών αιωρούμενων στερεών στα υγρά απόβλητα: 0-50, 50-100, 100-150 και 150-200 mg/L. Η καμπύλη εξουδετέρωσης των κοπρανόδων κολοβακτηρίων για κάθε μια κατηγορία δίδεται στο Σχήμα 5.9. Παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση των υπολειμματικών κολοβακτηρίων αυξάνονται με την συγκέντρωση των αιωρούμενων στερεών στα υγρά απόβλητα. Η μορφή του διαγράμματος υποδηλώνει ότι τα αιωρούμενα στερεά στα υγρά απόβλητα προστατεύουν τα κολοβακτήρια από την υπεριώδη ακτινοβολία με αποτέλεσμα να παρατηρούνται υψηλότερες εκροές κολοβακτηρίων σε εκροές που χαρακτηρίζονται από υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων στερεών.



**Σχήμα 5.9** Επίδραση των αιωρούμενων στερεών στη συγκέντρωση των

υπολειμματικών κολοβακτηριδίων [22].

**Μέγεθος σωματιδίων.** Για παραπλήσιο αριθμό αιωρούμενων σωματιδίων, όσο μεγαλύτερος είναι ο μέσος όρος του μεγέθους των σωματιδίων τόσο μικρότερη είναι η αποδοτικότητα της απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία. Οι Ho και Bohm το 1981 μελέτησαν τα αποτελέσματα της απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία για διάφορες εκροές [23]. Διαπίστωσαν υψηλότερους βαθμούς απολύμανσης στις περιπτώσεις ανάμειξης εκροών υγρών αποβλήτων από πρωτοβάθμια και δευτεροβάθμια επεξεργασία σε σχέση με την περίπτωση της ανάμειξης εκροών δευτεροβάθμιας εργασίας με ενεργό ιλύ, αν και οι τελευταίες εμφάνιζαν μικρότερη απορροφητικότητα σε υπεριώδη ακτινοβολία.

Οι υψηλότεροι βαθμοί απομάκρυνσης αποδόθηκαν στο γεγονός ότι η ενεργός ιλύς περιέχει μεγαλύτερης διαμέτρου σωματίδια, τα οποία μπορούν να προστατεύουν περισσότερα βακτήρια, σε σχέση με τα μικρού μεγέθους σωματίδια μίγματος της πρωτοβάθμιας και δευτεροβάθμιας εκροής.

**Ολικά διαλυμένα στερεά, σκληρότητα, pH.** Τα ολικά διαλυμένα στερεά, η σκληρότητα καθώς και το pH δεν επηρεάζουν τη διαπερατότητα των εκροών υγρών αποβλήτων σε υπεριώδη ακτινοβολία και συνεπώς δεν έχουν καμία άμεση επίδραση στην αποτελεσματικότητα της απολύμανσης. Ωστόσο, αυτές οι παράμετροι επιδρούν στην ταχύτητα δημιουργίας επικαθίσεων στο περίβλημα των λαμπτήρων υπεριώδους ακτινοβολίας, που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της έντασης της υπεριώδους ακτινοβολίας, που εκπέμπεται στο νερό και την αύξηση της απαιτούμενης συχνότητας καθαρισμού των λαμπτήρων.

**Σίδηρος.** Ο σίδηρος απορροφά υπεριώδη ακτινοβολία και αυξάνει την ταχύτητα ανάπτυξης των επικαθίσεων πάνω στους λαμπτήρες υπεριώδους ακτινοβολίας. Από τους κατασκευαστές εξοπλισμού υπεριώδους ακτινοβολίας συνιστάται η συγκέντρωση σιδήρου στα υγρά απόβλητα να είναι μικρότερη των 0,5 mg/L.

**Θερμοκρασία.** Η ενέργεια που εκπέμπει η λάμπα υπεριώδους ακτινοβολίας εξαρτάται από τη θερμοκρασία της λάμπας. Η μέγιστη εκπεμπόμενη ενέργεια επιτυγχάνεται όταν η θερμοκρασία της λάμπας είναι κοντά στους 41°C. Οι θήκες από χαλαζία επιτρέπουν την παρουσία ενός λεπτού στρώματος αέρα ανάμεσα στη λάμπα και στα υγρά απόβλητα. Το στρώμα αυτό του αέρα είναι ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς η θερμοκρασία των υγρών αποβλήτων παρουσιάζει μεγάλες μεταβολές στη διάρκεια ενός έτους. Έτσι, για τέτοιους λαμπτήρες (με στρώμα αέρα) μια μεταβολή στη θερμοκρασία από 5 έως 35°C φαίνεται να ασκεί μικρή επίδραση στην απόδοση της απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία [1].

#### 5.4.4. Καθορισμός απαιτούμενης δόσης υπεριώδους ακτινοβολίας

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων που κατά το δυνατόν αντιπροσωπεύουν τις συνθήκες που επικρατούν στον Ελληνικό χώρο, πραγματοποιήθηκαν μία σειρά ερευνητικών εργασιών από το Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας, Ε.Μ.Π. από το έτος 1996 έως το 2003 με στόχο τη μελέτη της απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία [22,24]. Στα πλαίσια των ερευνητικών αυτών εργασιών πραγματοποιήθηκε πλήθος δειγματοληψιών από 15 πλήρους κλίμακας Μονάδες επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, που βρίσκονται στην ηπειρωτική αλλά και στη νησιωτική Ελλάδα. Τα δείγματα υπόκειντο σε απολύμανση σε εργαστηριακής ή πιλοτικής κλίμακας μονάδα υπεριώδους ακτινοβολίας.

Σύμφωνα με την ανάλυση των αποτελεσμάτων με τη μέθοδο Monte Carlo τα προτεινόμενα όρια της περιορισμένης άρδευσης των δειγμάτων (200 FC/100 ml στο

50%) ικανοποιούνται για δόσεις που κυμαίνονται από 50 έως 75 mWsec/cm<sup>2</sup>. Οι υψηλότερες δόσεις υπεριώδους ακτινοβολίας αντιστοιχούν σε υψηλές συγκεντρώσεις στερεών στις εκροές των αποβλήτων, καθώς τα στερεά προστατεύουν τους μικροοργανισμούς από την απολυμαντική δράση της υπεριώδους ακτινοβολίας. Τα όρια για την απεριόριστη άρδευση (5 FC/100 ml στο 80% των δειγμάτων) δεν ικανοποιούνται σε καμία περίπτωση γεγονός που υποδηλώνει την ανάγκη τριτοβάθμιας επεξεργασίας πριν την απολύμανση με υπεριώδη ακτινοβολία για απεριόριστη χρήση των εκροών [1].

### **5.5 Σύγκριση Εναλλακτικών Μεθόδων Απολύμανσης**

Οι τρεις εναλλακτικές μέθοδοι απολύμανσης που περιγράφηκαν προηγούμενα συγκρίνονται στον παρακάτω Πίνακα 5.2.

**Πίνακα 5.2.** Σύγκριση εναλλακτικών μεθόδων απολύμανσης

Παράμετρος	Υπεριώδη Ακτινοβολία	Οζόνωση	Χλωρίωση
Εφαρμογή σε ΕΕΑΑ	Ανεξάρτητα μεγέθους	Μέσου και μεγάλου μεγέθους	Ανεξάρτητα μεγέθους
Επεξεργασία υγρών αποβλήτων πριν την απολύμανση	Δεν απαιτείται	Δευτεροβάθμια	Δευτεροβάθμια
Τοξικά αέρια	Κανένα	Πιθανή διαρροή O <sub>3</sub>	Πιθανή διαρροή τοξικών αερίων στην περίπτωση χρήσης αερίου χλωρίου
Παραπροϊόντα απολύμανσης	Κανένα	Ναι, λιγότερα όμως από τη χλωρίωση	Τριαλογονωμένα παράγωγα μεθανίου
Επανάπτυξη βακτηρίων	Σημαντική πιθανότητα	Σημαντική πιθανότητα	Ελάχιστη πιθανότητα
Απαιτούμενη έκταση	Μικρή	Μέση	Μεγάλη
Υπολειμματική δράση απολυμαντικού	Μηδενική	Μηδενική	Σημαντική
Βαθμός απομάκρυνσης κολοβακτηρίων	Υψηλός	Υψηλός	Υψηλός
Βαθμός απομάκρυνσης ιών	Υψηλός	Υψηλός	Χαμηλός
Βαθμός απομάκρυνσης παράσιτων, κύστεων	Υψηλός	Υψηλός	Χαμηλός
Προβλήματα μικροβιολογικής επικάλυψης	Σημαντικά	Περιορισμένα	Περιορισμένα
Κατασκευαστικό κόστος	Χαμηλό /Μέσο <sup>1</sup>	Υψηλό	Χαμηλό /Μέσο <sup>1</sup>
Λειτουργικό κόστος	Χαμηλό /Μέσο <sup>1</sup>	Υψηλό	Χαμηλό /Μέσο <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Οι δύο μέθοδοι από άποψη κόστους είναι συγκρίσιμες. Η συσχέτιση των δύο μεθόδων απολύμανσης ως προς το κατασκευαστικό και λειτουργικό τους κόστος πρέπει να γίνεται κατά περίπτωση γιατί εξαρτάται από το μέγεθος της εγκατάστασης και τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων. Συνήθως σε μικρές εγκαταστάσεις (<4.000 m<sup>3</sup>/d) το κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος του συστήματος απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία είναι χαμηλότερο της χλωρίωσης. Σε μεσαίου και μεγάλου μεγέθους εγκαταστάσεις το κόστος εξαρτάται σημαντικά από τα χαρακτηριστικά των υγρών αποβλήτων. Σε περιπτώσεις δευτεροβάθμιων εκροών ικανοποιητικής ποιότητας με χαμηλή θολερότητα η υπεριώδης ακτινοβολία είναι συνήθως οικονομικότερη ενώ σε περιπτώσεις δευτεροβάθμιων εκροών με υψηλές συγκεντρώσεις στερεών και χαμηλή διαπερατότητα υπερτερεί η χλωρίωση.

Τέλος παρατηρώντας τον Πίνακα 5.2 και συγκρίνοντας τις τρεις μεθόδους απολύμανσης (UV ακτινοβολία, Οζόνωση, Χλωρίωση) καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η απολύμανση με UV ακτινοβολία υπερτερεί σε σχέση με τις άλλες δύο αφού μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε μονάδα επεξεργασίας υγρών

αποβλήτων ανεξάρτητα του μεγέθους της. Δεν παράγεται κανένα τοξικό αέριο ούτε παραπροϊόν από την απολύμανση και η απαιτούμενη έκταση είναι μικρότερη σε σχέση με τις άλλες δύο μεθόδους. Η υπολειμματική δράση του απολυμαντικού είναι μηδενική ενώ με την χρήση του χλωρίου έχουμε σημαντικά προβλήματα (μόλυνση του περιβάλλοντος) και ο βαθμός απομάκρυνσης των κολοβακτηρίων, των ιών, των παράσιτων και των κύστεων είναι υψηλός, ενώ με την χλωρίωση δεν έχουμε τα ίδια αποτελέσματα. Τέλος το κατασκευαστικό κόστος είναι μέσο ή χαμηλό. Συγκεκριμένα για μικρές εγκαταστάσεις επεξεργασίας υγρών αποβλήτων, το κατασκευαστικό και λειτουργικό κόστος του συστήματος απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία είναι χαμηλότερο από τις χλωρίωσης καθώς επίσης και σε μεγάλες εγκαταστάσεις όπου οι δευτεροβάθμιες εκροές έχουν χαμηλή θολερότητα. Τα μειονεκτήματα όμως της μεθόδου απολύμανσης με υπεριώδη ακτινοβολία είναι ότι υπάρχει σημαντική πιθανότητα επανάπτυξης βακτηρίων (όπως και στη απολύμανση με όζον) καθώς και εμφάνιση προβλημάτων μικροβιολογικής επικάλυψης [1].

## Κεφάλαιο 6

### Ποιοτικά χαρακτηριστικά υγρών αποβλήτων

#### 6.1 Προδιαγραφές των Επεξεργασμένων Αποβλήτων.

Τα Χαρακτηριστικά των επεξεργασμένων αποβλήτων και της παραγόμενης λάσπης για μια συγκεκριμένη ΕΕΑΑ καθορίζονται συνήθως από τις αντίστοιχες Οδηγίες της ΕΕ, Νομαρχιακές Αποφάσεις, Προεδρικά Διατάγματα ή άλλης μορφής νομοθετήματα, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου αποδέκτη των λυμάτων και της λάσπης.

Ιδιαίτερη σημασία για τη χώρα μας έχει η Οδηγία 91/271 της ΕΟΚ για την επεξεργασία των αστικών λυμάτων, που αφορούν τη συλλογή, την επεξεργασία και την απόρριψη αστικών λυμάτων και την επεξεργασία και την απόρριψη λυμάτων από ορισμένους βιομηχανικούς τομείς (οι οποίοι αναγράφονται στο παράρτημα ΙΙΙ του άρθρου 16 της Οδηγίας 91/271). Τα σημαντικότερα σημεία της Οδηγίας αυτής περιέχονται στα άρθρα 3, 4 και 5 και στα Παραρτήματα Ι και ΙΙ (Βλέπε οδηγία ΕΟΚ 91/271). Οι προδιαγραφές που πρέπει να πληρούν τα επεξεργασμένα λύματα μετά την δευτεροβάθμια επεξεργασία αναφέρονται στον Πίνακα 6.1.

**Πίνακας 6.1:** Προδιαγραφές επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων [2].

Παράμετρος	Μέγιστη συγκέντρωση (mg/L)
BOD <sub>5</sub>	25
COD	125
SS	35

Συνοπτικά αναφέρεται ότι για την απόρριψη λυμάτων σε "ευαίσθητες περιοχές" θα πρέπει να γίνεται και τριτοβάθμια επεξεργασία. Οι προδιαγραφές που πρέπει να πληρούν τα επεξεργασμένα λύματα για διάθεση σε "ευαίσθητες περιοχές" μετά την τριτοβάθμια επεξεργασία αναφέρονται στον Πίνακα 6.2. (Τα κριτήρια προσδιορισμού των ευαίσθητων περιοχών περιέχονται στο άρθρο 16 παράρτημα ΙΙ της Οδηγίας 91/271).

**Πίνακας 6.2:** Προδιαγραφές επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για διάθεση σε "ευαίσθητες περιοχές" [2].

Παράμετρος	Μέγιστη συγκέντρωση (mg/L)
Ολικό-N	10 μέχρι 15
Ολικός-P	1 μέχρι 2

Κατά το σχεδιασμό μιας Εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών αποβλήτων στην Ελλάδα ορίζονται συνήθως μέγιστες συγκεντρώσεις των χαρακτηριστικών στην εκροή της εγκατάστασης, κυρίως για τα: BOD<sub>5</sub>, COD, SS, Ολικό -N, Ολικός -P και FC ή TC, ενώ σπανιότερα (για διάθεση κυρίως σε αποδέκτες "πτωχούς" σε διαλυμένο οξυγόνο) επιβάλλεται μια ελάχιστη τιμή (π.χ. 70% της συγκέντρωσης κορεσμού) της



συγκέντρωσης του διαλυμένου οξυγόνου, που εξασφαλίζεται με φυσικό ή τεχνητό αερισμό (π.χ. με διαχυτήρες ή με κλίμακες αερισμού) [2].

## 6.2 Οργανικά χαρακτηριστικά

Όταν μέσα στο νερό υπάρχει άφθονο βιοδιασπάσιμο υλικό, διάφοροι μικροοργανισμοί και ιδιαίτερα τα βακτήρια τρέφονται με τα απόβλητα και τα διασπούν σε απλούστερες ενώσεις οργανικές και μη. Όταν αυτή η διάσπαση συμβαίνει σε αερόβιο περιβάλλον, δηλαδή παρουσία οξυγόνου (αερόβια οξείδωση), η διαδικασία παράγει μη ενοχλητικά, σταθερά τελικά προϊόντα όπως το διοξείδιο του άνθρακα, νερό, θειικά, ορθοφωσφορικά, νιτρικά άλατα και βιομάζα. Η αερόβια διάσπαση δίνεται με την απλουστευμένη μορφή:

**Οργανική ύλη + οξυγόνο + αερόβια βακτήρια → Διοξείδιο του Άνθρακα + Νερό + Νέα κύτταρα + Σταθερά προϊόντα**

Όταν δεν υπάρχει επαρκές οξυγόνο η προκαλούμενη διάσπαση συντελείται με τη βοήθεια διαφορετικών μικροοργανισμών (αναερόβια βακτήρια). Τα τελικά προϊόντα περιλαμβάνουν το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο, το υδρόθειο, την αμμωνία και τη βιομάζα. Η αποσύνθεση είναι δυνατόν να παρουσιασθεί ως ακολούθως :

**Οργανική ύλη + αναερόβια βακτήρια → Διοξείδιο του Άνθρακα + Μεθάνιο + Υδρόθειο + Νέα κύτταρα + Ασταθή προϊόντα**

Το παραγόμενο μεθάνιο είναι σταθερό, βιοδιασπάσιμο και αποτελεί ισχυρό παράγοντα του φαινομένου του θερμοκηπίου. Είναι δυνατόν να παραχθεί πάνω από εκτάσεις νερού καθώς και στο αναερόβιο περιβάλλον των χωματερών, όπου σε μερικές περιπτώσεις συλλέγεται και χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας .

Οι βασικές μετρήσεις που χρησιμοποιούνται για να χαρακτηριστεί η οργανική ύλη στα απόβλητα, περιλαμβάνουν το BOD<sub>5</sub> (Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο Biochemical Oxygen Demand σε 5 ημέρες και 20° C θερμοκρασία), το COD (Χημικά απαιτούμενο οξυγόνο Chemical Oxygen Demand), το TOC (Ολικός οργανικός άνθρακας) [2] .

### 6.2.1 BOD<sub>5</sub> (Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο)

Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη παράμετρος, για τον προσδιορισμό του βαθμού ρύπανσης τα λύματα ή του οργανικού φορτίου των βιομηχανικών αποβλήτων. Η ευρύτερη χρήση του είναι κατά τη μέτρηση του ρυπαντικού φορτίου των αποβλήτων στις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, και την εκτίμηση της αποτελεσματικότητάς τους. Επιπρόσθετα, το τεστ BOD χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό των σχετικών απαιτήσεων σε οξυγόνο που παρουσιάζουν τα λύματα, πριν και μετά την επεξεργασία.

Είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την οξείδωση των οργανικών συστατικών των αποβλήτων από μικροοργανισμούς (μ/ο) σε αερόβιες συνθήκες και εκφράζεται σε mg O<sub>2</sub>/l αποβλήτων. Η οξείδωση αυτή δίνεται παραστατικά από την αντίδραση

## Οργαν. Ενώσεις +O<sub>2</sub>+μ/ο → Νέοι μ/ο + CO<sub>2</sub>+ NH<sub>3</sub>+ H<sub>2</sub>O + ενέργεια

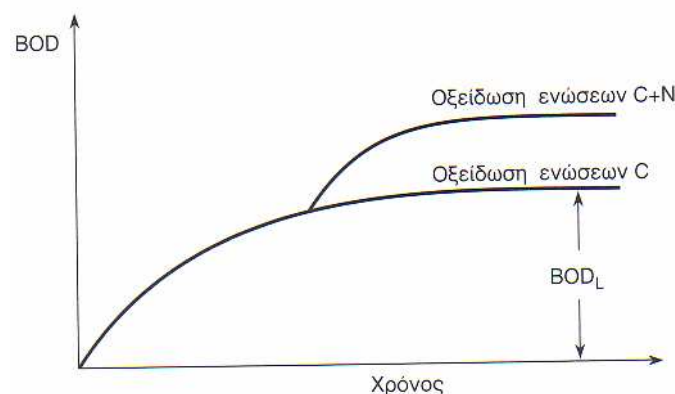
Η διαδικασία αυτή είναι σχετικά αργή και ολοκληρώνεται πρακτικά (οξείδωση σε τελικά προϊόντα 95-99%) σε 20 ημέρες, οπότε το προσδιοριζόμενο απαιτούμενο οξυγόνο καλείται τελικό BOD (BOD<sub>L</sub>). Στη συνηθισμένη πρακτική έχει επικρατήσει ο προσδιορισμός του BOD στις 5 ημέρες (BOD<sub>5</sub>), στις οποίες οξειδώνονται οι απλές οργανικές ουσίες που αντιπροσωπεύουν ένα ποσοστό 60-70% των συνολικών οργανικών ουσιών.

Τα απόβλητα περιέχουν και οργανικά αμμωνιακά συστατικά που οξειδώνονται σε νιτρώδη και νιτρικά από ειδικά νιτροποιητικά βακτήρια με σχετικά αργό ρυθμό. Η οξείδωση αυτή (νιτροποίηση) αρχίζει να γίνεται σημαντική μετά από 8 -12 ημέρες, όταν τα νιτροποιητικά βακτήρια έχουν αναπτυχθεί σε μεγάλους σχετικά αριθμούς. Το BOD που εκφράζει την ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την αερόβια βιολογική οξείδωση των αμμωνιακών οργανικών συστατικών λέγεται BOD δευτέρου σταδίου (Σχ. 6.1).

Ο πειραματικός προσδιορισμός του BOD γίνεται με την τοποθέτηση δείγματος αποβλήτων σε φιάλες μέσα σε ειδική συσκευή σε κατάλληλες συνθήκες και τη μέτρηση του διαλυμένου οξυγόνου που καταναλώνεται σε ορισμένα χρονικά διαστήματα.

Με τη μέτρηση του BOD σε διάφορα χρονικά διαστήματα είναι δυνατός ο προσδιορισμός του ρυθμού κατανάλωσης των οργανικών ουσιών, αλλά και του διαλυμένου οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς, κάτι που δεν μπορεί να γίνει με τις άλλες παραμέτρους μέτρησης των οργανικών συστατικών των αποβλήτων. Η πειραματική διαδικασία προσδιορισμού του BOD είναι σχετικά απλή, αλλά χρονοβόρα, και οι συνθήκες κάτω από τις οποίες γίνεται δεν είναι αντιπροσωπευτικές της πραγματικότητας (διαφορετικό περιβάλλον, διαφορετικά είδη μικροοργανισμών κ.λπ.).

Μεταξύ του COD και του BOD των λυμάτων δεν υπάρχει κάποια σταθερή σχέση εκτός από το γεγονός ότι η τιμή του COD πρέπει να είναι πάντα μεγαλύτερη από την τιμή BOD. Αυτό συμβαίνει, γιατί η χημική οξείδωση αποσυνθέτει τη μη βιοδιασπάσιμη οργανική ύλη. Οι απαιτήσεις σε οξυγόνο μπορεί επίσης είναι αποτέλεσμα της βιολογικής οξείδωσης της αμμωνίας, που είναι ως NOD (αζωτούχα απαίτηση σε οξυγόνο Nitrogen Oxygen Demand). Τυπικά οι απαιτήσεις οξυγόνου λόγω της νιτροποίησης εμφανίζονται 8 με 10 ημέρες μετά έναρξη ενός παραδοσιακού τεστ BOD. Στις περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλος αριθμός νιτροποιητικών βακτηριών στο δείγμα η νιτροποίηση μπορεί να αρχίσει συντομότερα [2,25].



Σχήμα 6.1: Καμπύλη μεταβολής του BOD [2]

### 6.2.2. COD (Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο)

Είναι η ποσότητα του οξυγόνου που απαιτείται για την πλήρη Χημική οξείδωση των οργανικών και ανόργανων συστατικών των αποβλήτων σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό, από ισχυρό οξειδωτικό μέσο (διχρωμικό κάλιο) σε όξινες συνθήκες.

Κατά τον προσδιορισμό του COD που γίνεται σε ειδική συσκευή οξειδώνονται όλες οι οργανικές ουσίες, ανεξάρτητο από το αν είναι βιολογικά διασπάσιμες ή όχι. Έτσι, οι βιολογικά διασπάσιμες οργανικές ουσίες, καθώς και ο ρυθμός βιολογικής διάσπασης τους δεν προσδιορίζονται από το COD.

Παρόλο που θα αναμενόταν, ότι η τιμή του τελικού BOD να προσεγγίζει την τιμή COD, στη πράξη αυτό σπάνια συμβαίνει. Μερικοί από τους λόγους, για τους οποίους παρατηρούνται διαφορές, είναι οι ακόλουθοι:

1) Πολλές οργανικές ουσίες μπορούν να οξειδωθούν χημικά, αλλά δεν μπορούν να οξειδωθούν βιολογικά.

2) Οι ανόργανες ουσίες που οξειδώνονται, αυξάνουν το φαινομενικό οργανικό περιεχόμενο του δείγματος.

3) Μερικές οργανικές ουσίες μπορεί να είναι τοξικές για τους μικροοργανισμούς που χρησιμοποιούνται στη μέτρηση BOD.

Το βασικό πλεονέκτημα του COD είναι ο σχετικά γρήγορος προσδιορισμός του (περίπου 3 ώρες), που επιτρέπει και την ανάλογα γρήγορη χρήση των σχετικών πληροφοριών. Έτσι, όταν υπάρχει δυνατότητα συσχέτισης του COD με το BOD, το COD μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παράμετρος ελέγχου της λειτουργίας μιας Εγκατάστασης επεξεργασίας αστικών αποβλήτων. Επίσης, με τη συσχέτιση COD και BOD διαπιστώνεται η ύπαρξη τοξικών και δύσκολα βιοδιασπάσιμων οργανικών ουσιών στο απόβλητο [2,25].

### 6.3. Μικροβιακά Συστατικά- Παθογόνοι μικροοργανισμοί

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί περιέχονται στα αστικά απόβλητα ως παραπροϊόντα αποβολών ασθενειών ή φορέων ασθενειών και μπορούν να μεταφέρουν και να προκαλέσουν ασθένειες μέσω του νερού στον άνθρωπο. Η μικροβιακή κατάσταση των υγρών αποβλήτων αλλά και του νερού, ελέγχεται με την καταμέτρηση των μικροβιακών δεικτών. Οι δείκτες αυτοί είναι αλλόχθονοι μικροοργανισμοί, οι οποίοι περνούν παροδικά μέσα στο υδάτινο οικοσύστημα, προερχόμενοι συνήθως από το γαστρεντερικό σωλήνα του ανθρώπου και των ζώων. Οι συχνότερα χρησιμοποιούμενοι, σήμερα, δείκτες είναι τα ολικά κολοβακτήρια, τα κοπρανώδη κολοβακτήρια και οι κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι [2,26].

**A. Στην ομάδα των ολικών κολοβακτηρίων (*total coliforms*)** περιλαμβάνονται όλα τα αερόβια και προαιρετικώς αναερόβια μη σπορογόνα Gram-αρνητικά βακτήρια τα οποία ζυμώνουν την λακτόζη με παραγωγή αερίου σε 48h στους 37° C (Πίνακας 6.1).

**Πίνακας 6.1:** Γένη που περιλαμβάνονται στη ομάδα των κολοβακτηριοειδών (*coliform bacteria*) [26]

Escherichia spp	Erwinia spp
Klebsiella spp	Edwardsiella spp
Enterobacter spp	Kluyera spp
Hafnia spp	Cedecea spp
Serratia spp	Totumella spp
Citrobacter spp	

**Β. Τα κοπρανώδη κολοβακτήρια (*faecal coliforms*)** έχουν τις ίδιες ιδιότητες με τα ολικά κολοβακτήρια αλλά μπορούν να πολλαπλασιαστούν στους 44°C μετά από επώαση 48h (θερμοανθεκτικοί μικροοργανισμοί). Η *E.coli* είναι το πιο τυπικό είδος της ομάδας των κοπρανωδών κολοβακτηρίων και παράγει ινδόλη από την τρυπτοφάνη στους 44°C. Τόσο τα κοπρανώδη κολοβακτήρια όσο και οι κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι, βρίσκονται στον γαστρεντερικό σωλήνα του ανθρώπου και των άλλων θερμόαιμων ζώων. Η επιβίωση τους στο νερό ποικίλλει από μερικές ώρες έως εβδομάδες.

**Γ. Οι κοπρανώδεις στρεπτόκοκκοι (*faecal streptococci*)** είναι Gram-θετικοί, καταλάση-αρνητικοί κόκκοι που απαντούνται ανά ζεύγη ή σε μικρές αλυσίδες. Αποτελούνται από ορισμένα είδη του γένους *Streptococcus* (*S. faecalis*, *S. faecium*, *S. avium*, *S. bovis*, *S. equinus*, *S. gallinarum*). Διαθέτουν το Group D αντιγόνο κατά Lancefield. Ορισμένα είδη όπως *S. faecalis*, *S. faecium*, συναντώνται συχνότερα στα κόπρανα του ανθρώπου ενώ άλλα είδη στα κόπρανα των ζώων.

Η ομάδα των εντεροκόκκων (*enterococci*) είναι υποομάδα των κοπρανωδών στρεπτόκοκκων και περιλαμβάνουν τα είδη *E. faecalis*, *E. faecium*, *E. durans* και *E. hirae*. Αναπτύσσονται σε θρεπτικά υλικά με πυκνότητα NaCl 6,5%, σε pH 9,6 και σε θερμοκρασίες 10 και 45°C. Παρόλο που οι υγειονομικές διατάξεις αναφέρονται στην καταμέτρηση των κοπρανωδών στρεπτόκοκκων υπάρχουν ενδείξεις ότι στα υπάρχοντα θρεπτικά υποστρώματα αναπτύσσονται μόνο τα είδη που περιλαμβάνονται στην υποομάδα των εντεροκόκκων.

Εκτός των ανωτέρω δεικτών, ο συστηματικός προσδιορισμός των ολικών αερόβιων και προαιρετικά αναερόβιων ετερότροφων βακτηρίων στο νερό και στα υγρά απόβλητα δίνει σημαντικές πληροφορίες ως προς την σταθερότητα της ποιότητάς τους. Αυξομειώσεις του ολικού αριθμού της τάξεως των 1-2 λογαρίθμων μπορεί να σημαίνουν προβλήματα στην μονάδα επεξεργασίας του νερού ή των αποβλήτων αντίστοιχα [26].

### 6.3.1 Αρίθμηση των ολικών ετερότροφων βακτηρίων και θερμοκρασία επώασης τους.

Η αρίθμηση των ετερότροφων βακτηρίων περιλαμβάνει αερόβια και προαιρετικά αναερόβια βακτήρια που βρίσκονται στα υγρά απόβλητα και στο νερό και μπορούν να πολλαπλασιαστούν σε θρεπτικά υποστρώματα που περιέχουν απλά οργανικά στοιχεία (αμινοξέα, πεπτίδια και κυρίως υδατάνθρακες) μετά από επώαση σε ορισμένη θερμοκρασία και καθορισμένο χρονικό διάστημα. Είναι μία εμπειρική μέτρηση γιατί τα βακτήρια εμφανίζονται μεμονωμένα ή κατά ζεύγη ή αλυσίδες ή κατά ομάδες. Άρα ο αριθμός των αποικιών είναι σαφώς μικρότερος από τον πραγματικό αριθμό των ζωντανών παρόντων οργανισμών. Οι αποικίες αποτελούνται

από βακτήρια, μύκητες και ζύμες ικανές να αναπτυχθούν κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες επώασης.

Για την καταμέτρηση των ετερότροφων βακτηρίων χρησιμοποιούνται 2 θερμοκρασίες: των 22°C (θερμοκρασία δωματίου) και των 37°C (θερμοκρασία σώματος). Η θερμοκρασία των 37°C δίνει την ευκαιρία στα ετερότροφα, (αλλόχθονα) βακτήρια, τα οποία πολλαπλασιάζονται ταχέως, να αναπτυχθούν, ενώ στους 22°C πολλαπλασιάζονται τα βραδέως αναπτυσσόμενα (αυτόχθονα) βακτήρια [26].

## **6.4. Φυσικά χαρακτηριστικά**

Τα βασικά φυσικά χαρακτηριστικά των λυμάτων είναι τα περιεχόμενα στερεά, το χρώμα, η οσμή, η θερμοκρασία, η θολρότητα, το pH και η αγωγιμότητα.

### **6.4.1. Ολικά στερεά**

Τα ολικά στερεά που περιέχονται στο νερό αποτελούνται από τα αδιάλυτα ή αιωρούμενα στερεά και από τις διαλυτές ενώσεις, που βρίσκονται διαλυμένες μέσα στο νερό. Το περιεχόμενο σε αιωρούμενα στερεά βρίσκεται με αποξήραση και ζύγιση των συγκρατούμενων υλικών σε κατάλληλο φίλτρο. Το 40% των στερεών σε ένα μέσο νερό υπονόμου είναι αιωρούμενα στερεά. Τα στερεά αυτά είναι δυνατό να συνεχίσουν να αιωρούνται ή να καθιζάνουν κάπου ή να σχηματίσουν ανεπιθύμητες όχθες από λάσπη, αν εναποτεθούν σε ένα ποτάμι. Τα βαρύτερα από τα αιωρούμενα αυτά σωματίδια καθιζάνουν σε μόνιμη θέση αρκετά σύντομα, ενώ εκείνα που έχουν μέγεθος κολλοειδών, εναποτίθενται αργά ή και καθόλου. Το τυπικό τεστ καθίζησης συνίσταται στην τοποθέτηση ενός δείγματος λυμάτων σε ένα κωνικό γυάλινο δοχείο ενός λίτρου (κώνος Imhoff) και στη μέτρηση του όγκου των στερεών, σε κυβικά εκατοστά ανά λίτρο, που εναποτίθενται μέσα σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Συνήθως το 60% των αιωρούμενων στερεών στα αστικά λύματα καθιζάνει [25].

### **6.4.2. Χρώμα**

Το χρώμα είναι ένα ποιοτικό χαρακτηριστικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να εκτιμήσουμε τη γενική κατάσταση των αποβλήτων. Αν το χρώμα είναι ανοιχτό καφέ, το νερό είναι λιγότερο από 6 ώρες παλιό. Ένα χρώμα ανοιχτό γκρι είναι χαρακτηριστικό των αποβλήτων που έχουν υποστεί κάποια αποσύνθεση, ή έχουν παραμείνει στο δίκτυο συλλογής για αρκετό χρόνο. Αν το χρώμα είναι σκούρο γκρι ή μαύρο το νερό είναι τυπικά σηπτικό, έχοντας υποστεί εκτεταμένη βακτηριακή αποσύνθεση κάτω από αναερόβιες συνθήκες (απουσία οξυγόνου). Το μαύρο χρώμα του νερού οφείλεται συχνά στο σχηματισμό διάφορων σουλφιδίων, ιδιαίτερα των σουλφιδίων του σιδήρου. Αυτό οφείλεται στο σχηματισμό υδρόθειου, που παράγεται κάτω από αναερόβιες συνθήκες και ενώνεται με ένα δισθενές μέταλλο όπως ο σίδηρος [25].

### **6.4.3. Οσμή**

Ο προσδιορισμός της οσμής έχει γίνει στις μέρες μας πολύ σημαντικός, καθώς

το κοινό επηρεάζεται πολύ περισσότερο από αυτήν παρά από τη σωστή λειτουργία των εγκαταστάσεων καθαρισμού. Η οσμή των φρέσκων λυμάτων συνήθως δεν είναι ενοχλητική. Καθώς όμως αυτά αποσυντίθενται βιολογικά κάτω από αναερόβιες συνθήκες, ελευθερώνεται μια ποικιλία ενώσεων που έχουν διάφορες οσμές. Ειδική φροντίδα απαιτείται κατά το σχεδιασμό των εγκαταστάσεων καθαρισμού, προκειμένου αποφευχθούν οι συνθήκες που θα επιτρέψουν την ανάπτυξη οσμών [25].

#### **6.4.4. Θολερότητα**

Θολερότητα είναι μία έκφραση της οπτικής ιδιότητας ενός δείγματος υγρού αποβλήτου ή νερού να σκεδάζει και να απορροφά το φως που διέρχεται από αυτό και να μη μεταδίδει το φως σε ευθεία γραμμή. Η μέτρηση της θολερότητας είναι μία σημαντική μέτρηση για τις χρήσεις των νερών (πόση, βιομηχανία, επεξεργασία υγρών αποβλήτων, αναψυχή). Η συσχέτιση της θολερότητας με το περιεχόμενο του δείγματος σε βάρος αιωρούμενων στερεών είναι δύσκολη διότι το διαφορετικό μέγεθος, σχήμα και σύσταση των στερεών επηρεάζουν το βαθμό σκέδασης του φωτός.

Ο προσδιορισμός της θολερότητας αποτελεί μία σημαντική παράμετρο για την εκτίμηση της ποιότητας των εκροών και τον έλεγχο των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων και αποβλήτων. Η μέτρηση της θολερότητας επιτρέπει τον έλεγχο και αυτοματοποίηση των μονάδων καθαρισμού του νερού και αποβλήτων (μετά από κατάλληλες δοκιμασίες συσχέτισης της τιμής της θολερότητας με το οργανικό φορτίο ή κάποια άλλη παράμετρο των αποβλήτων) διότι μπορεί να μετρηθεί με όργανα συνεχούς καταγραφής.

Η πιο σύγχρονη μέθοδος για τον προσδιορισμό της θολερότητας είναι η νεφελομετρία, που ενδείκνυται για χαμηλές τιμές θολερότητας. Ο προσδιορισμός της θολερότητας με αυτή τη μέθοδο γίνεται με όργανα γνωστά ως νεφελόμετρα ή θολερόμετρα. Τα όργανα αυτά αποτελούνται από μία πηγή φωτός, ένα ή δύο φωτοηλεκτρικούς ανιχνευτές (φωτοκύτταρα) και μία διάταξη ανάγνωσης της έντασης του φωτός που διέρχεται από το δείγμα. Ο βαθμός σκέδασης του φωτός από το δείγμα, σε σχέση με ένα πρότυπο αιώρημα αναφοράς αντιστοιχεί σε θολερότητα που εκφράζεται σε μονάδες NTU (Nephelometric Turbidity Units). Ως αιώρημα χρησιμοποιείται το πολυμερές της φορμαζίνης ή το οξείδιο του πυριτίου [27].

#### **6.4.5.Θερμοκρασία**

Η θερμοκρασία των υγρών αποβλήτων είναι συνήθως υψηλότερη από εκείνη του νερού της ύδρευσης εξαιτίας τη προσθήκης θερμού νερού από δημόσια χρήση. Η αύξηση της θερμοκρασίας επιφέρει γρηγορότερη ανάπτυξη των μικροοργανισμών και κατά συνέπεια επιτάχυνση των βιοχημικών αντιδράσεων. Παράλληλα επιφέρει και μείωση του βαθμού διαλυτότητας των αερίων (π.χ. του διαλυμένου οξυγόνου) στη μάζα των αποβλήτων.

Η υψηλή θερμοκρασία είναι ευεργετική σε πολλές διεργασίες επεξεργασίας (καθίζηση, βιολογική επεξεργασία, απολύμανση κ.λπ.), αλλά παράλληλα μπορεί να δημιουργήσει και προβλήματα, όπως π.χ. μειωμένη διαλυτότητα του οξυγόνου. Από άποψη ρύπανσης του περιβάλλοντος η διοχέτευση θερμών αποβλήτων σε ένα υδάτινο φορέα οδηγεί σε σοβαρή μείωση του διαλυμένου οξυγόνου του φορέα (τόσο εξαιτίας της μειωμένης διαλυτότητας του οξυγόνου σε υψηλές θερμοκρασίες, όσο

εξαιτίας του αυξημένου ρυθμού κατανάλωσης του στις βιολογικές διεργασίες), αλλά και λόγω του ότι επιδρά αρνητικά στο οικοσύστημα του αποδέκτη (θάνατος οργανισμών, ανάπτυξη ανεπιθύμητων οργανισμών).

Η θερμοκρασία των υγρών απόβλητων μπορεί να κυμαίνεται από περίοδο σε περίοδο και επίσης ανάλογα με τη γεωγραφική θέση. Στις ψυχρές περιοχές, η θερμοκρασίας κυμαίνεται μεταξύ των 7 °C και των 18 °C, ενώ σε θερμότερες περιοχές η θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ των 13 °C και 24 °C [2].

#### 6.4.6. pH

Ο όρος pH εκφράζει την συγκέντρωση υδρογονιόντων, που περιέχει ένα δείγμα και ορίζεται ως ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των υδρογονιόντων, που περιέχει ένα διάλυμα (-log [H+]).

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}$$

[H+] = συγκέντρωση υδρογονιόντων, σε moles/L

[OH-]=συγκέντρωση υδροξυλίωντων, σε moles/L

Η κλίμακα μέτρησης του pH είναι από 0 ως 14. Η ουδετερότητα αντιστοιχεί σε pH = 7,0. Τιμές μικρότερες δείχνουν όξινο περιβάλλον (υπεροχή υδρογονιόντων) ενώ τιμές μεγαλύτερες αλκαλικό περιβάλλον (υπεροχή υδροξυλίωντων)

Το pH μετράται ηλεκτρομετρικά. Ο ηλεκτρομετρικός προσδιορισμός του pH γίνεται με χρήση ειδικών οργάνων γνωστών ως πεχάμετρα. Τα όργανα αυτά είναι συσκευές ηλεκτρικών μετρήσεων με αισθητήριο ηλεκτρόδιο υάλου συνδεδεμένο με ηλεκτρόδιο αναφοράς ή σύνθετο ηλεκτρόδιο. Η μέτρηση του pH δεν επηρεάζεται από το χρώμα, τη θολρότητα, τα κολλοειδή διαλύματα, τις αναγωγικές και οξειδωτικές ουσίες, που υπάρχουν στα διαλύματα. Αντίθετα επηρεάζει την τιμή του pH, γι'αυτό πρέπει να αναφέρεται πάντα, μαζί με την τιμή του pH και η θερμοκρασία του δείγματος τη στιγμή της μέτρησης [27].

Το pH είναι ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των αποβλήτων, από το οποίο εξαρτάται ένα πλήθος φυσικοχημικών και βιολογικών διεργασιών που πραγματοποιούνται στο υδάτινο περιβάλλον. Επειδή πολλές διαδικασίες απαιτούν συγκεκριμένες τιμές pH για τη βέλτιστη απόδοσή τους κρίνεται απαραίτητος ο έλεγχός του. Στα λύματα το pH κυμαίνεται συνήθως από 6,5 ως 8,5 (χωρίς να αποκλείονται ακραίες τιμές). Σε αυτά τα όρια πρέπει να βρίσκεται και το pH των επεξεργασμένων λυμάτων και αποβλήτων πριν τη διάθεσή τους στο τελικό αποδέκτη.

Οι αυξομειώσεις του μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά τις διεργασίες αυτές δημιουργώντας ανεπιθύμητες καταστάσεις. Επηρεάζει σχεδόν όλες τις διαδικασίες επεξεργασίας (βιολογική επεξεργασία, απολύμανση, επεξεργασία λάσπης κ.λπ.) και μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα φθοράς (διάβρωσης) σε αγωγούς, μηχανολογικό εξοπλισμό κ.λ.π.

Η αλκαλικότητα στα λύματα οφείλεται στην παρουσία ιόντων  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , ή  $\text{OH}^-$  που βρίσκονται ενωμένα με τα Ca, Mg, Na ή K. Η παρουσία των παραπάνω ιόντων στα αστικά απόβλητα οφείλεται στο πόσιμο νερό και στις εισροές στο αποχετευτικό σύστημα.

Η αλκαλικότητα των αποβλήτων είναι σημαντική παράμετρος γιατί ρυθμίζει το pH των αποβλήτων και κατά συνέπεια επηρεάζει διάφορες διεργασίες

επεξεργασίας. Η αλκαλικότητα εκφράζεται συνήθως ως mg/L CaCO<sub>3</sub>[2].

#### 6.4.7 Ηλεκτρική αγωγιμότητα

Ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η αριθμητική έκφραση των ηλεκτρικών φορτίων που φέρει ένα υδατικό διάλυμα. Η αγωγιμότητα ενός δείγματος υγρών αποβλήτων εξαρτάται κυρίως από την ολική συγκέντρωση των ιονιζόμενων ουσιών, που περιέχονται στο δείγμα και τη θερμοκρασία, στην οποία έγινε η μέτρηση.

Τα περισσότερα ανόργανα οξέα, βάσεις και άλατα (π.χ. Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaCl, κ.λ.π.) που διύστανται στο νερό έχουν μεγάλη αγωγιμότητα ενώ αντίθετα τα οργανικά μόρια έχουν πολύ μικρή αγωγιμότητα. Μονάδα μέτρησης της αγωγιμότητας είναι mS/m.

Η μέτρηση της αγωγιμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κριτήριο για την επίδραση των διάφορων ιόντων στις χημικές ισορροπίες, τον ρυθμό διάβρωσης των μετάλλων, την ανάπτυξη φυτών και ζώων.

Ακόμα με την μέτρηση της αγωγιμότητας μπορεί να γίνει μία γρήγορη εκτίμηση των ημερήσιων διακυμάνσεων των διαλυμένων μεταλλοιδόντων στα απόβλητα των βιομηχανιών. Επειδή ο ξεχωριστός έλεγχος των μετάλλων είναι χρονοβόρος, η μέτρηση τους μπορεί να αντικατασταθεί από τη μέτρηση της αγωγιμότητας, εφόσον βέβαια προηγηθούν οι σχετικές δοκιμασίες από τις οποίες θα προκύψουν οι συντελεστές συσχέτισης της αγωγιμότητας με την συγκέντρωση των μεταλλοιδόντων.

Η μέτρηση της αγωγιμότητας γίνεται με ειδικά όργανα γνωστά ως αγωγιμόμετρα. Τα όργανα αυτά μετρούν την αντίσταση του διαλύματος ή την τάση του εναλλασσόμενου ρεύματος.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα σε αντίθεση με την αγωγιμότητα των μετάλλων αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας, με ρυθμό 1,9 % °C. Σημαντικές διαφορές στις μετρήσεις προέρχονται συνήθως από την διαφορετική θερμοκρασία μέτρησης. Γι'αυτο η μέτρηση της αγωγιμότητας πρέπει πάντα να πραγματοποιείται σε σταθερή θερμοκρασία η οποία αναγράφεται δίπλα στο αποτέλεσμα της μέτρησης [27].



## **Κεφάλαιο 7**

### **Πειραματικό μέρος – Υλικά και μέθοδοι ανάλυσης.**

Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν κατά τους μήνες Ιούλιο και Σεπτέμβριο του 2004 και συγκεκριμένα στις παρακάτω ημερομηνίες: 22/07/2004, 29/07/2004, 16/09/2004 και 23/09/2004.

#### **7.1 Δειγματοληψία-Προεπεξεργασία δείγματος**

Για τα πειράματα ελήφθησαν δείγματα επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων από την υπερχειλίση της δευτεροβάθμιας δεξαμενής καθίζησης πριν την χλωρίωση του Βιολογικού καθαρισμού των Χανίων. Ο προσδιορισμός των μικροβίων πραγματοποιήθηκε αμέσως μετά την δειγματοληψία. Στη συνέχεια προσδιορίστηκε αν η θολρότητα του συγκεκριμένου δείγματος ήταν μικρότερη από 30 NTU όπως περιγράφεται στο SODIS technical note 7 [3]. Για την πραγματοποίηση των πειραμάτων η θολρότητα έπρεπε να ήταν μικρότερη από 30 NTU [3]. Το δείγμα τοποθετήθηκε σε δύο διαφανείς πλαστικές φιάλες νερού από polyethylene terephthalate (PET) όγκου 1,5 L το καθένα. Αρχικά γεμίστηκαν οι φιάλες μέχρι τα  $\frac{3}{4}$  του όγκου τους με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα και ανακινήθηκαν για περίπου 20 δευτερόλεπτα έτσι ώστε να οξυγονωθεί το δείγμα. Στη συνέχεια ανοίχθηκαν οι φιάλες και συμπληρώθηκαν με δείγμα μέχρι όγκου 1,5 L.

Η μία φιάλη τοποθετήθηκε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος στη σκιά (βλέπε κεφάλαιο 8 Πίνακες 8.1-8.4) και χρησιμοποιήθηκε σαν μάρτυρας του πειράματος ενώ η δεύτερη φιάλη τοποθετήθηκε στον ήλιο πάνω σε μια μαύρη μεταλλική επιφάνεια με κυματοειδή μορφή για την μεγαλύτερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας σε μέρος όπου δεν υπάρχει σκιά από κτίρια, δέντρα ή άλλα αντικείμενα καθ' όλη την διάρκεια του πειράματος. Η δεύτερη φιάλη αποτέλεσε το δείγμα του πειράματος. Μία τρίτη φιάλη γεμίστηκε με απιονισμένο νερό και μέσα της τοποθετήθηκε ένα θερμόμετρο υδραργύρου (από 0 έως 100 °C). Η φιάλη αυτή τοποθετήθηκε στον ήλιο πάνω στη μαύρη μεταλλική επιφάνεια και χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας του δείγματος.

#### **7.2 Πειραματικές συνθήκες**

Τα πειράματα ξεκίνησαν στις 10:30 π.μ. και ολοκληρώθηκαν στις 16:30 μ.μ. Κάθε μία ώρα λαμβάνονταν οι μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας με πυρανόμετρο, οι μετρήσεις της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στη σκιά και μέσα στη φιάλη του δείγματος καθώς και οι μετρήσεις του μικροβιακού φορτίου. Η μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας έγινε με την χρήση του πυρανόμετρου τύπου (Manolux digital, Gossen) και τα αποτελέσματα εκφράζονταν σε  $W/m^2$ .

#### **7.3 Προσδιορισμός της Δόσης της Ηλιακής ακτινοβολίας**

Ως Δόση ηλιακής ακτινοβολίας ορίζεται η συνολική ενέργεια που δέχεται το δείγμα από την έναρξη του πειράματος μέχρι την αναγραφόμενη χρονική στιγμή. Η δόση υπολογίζεται κάθε μία ώρα με τον παρακάτω τρόπο. Αρχικά βγάζουμε τον μέσο όρο της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας ( $W/m^2$ ) και το πολλαπλασιάζουμε επί

3.600 (sec) και προσθέτουμε την δόση της προηγούμενης ώρας. Για παράδειγμα εάν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στις 10:30 είναι  $708 \text{ W/m}^2$  και στις 11:30 είναι  $903 \text{ W/m}^2$ , η δόση της ηλιακής ακτινοβολίας στις 11:30 είναι:

$$708 (\text{W/m}^2) + 903 (\text{W/m}^2) = 1611 (\text{W/m}^2) \rightarrow 1611 (\text{W/m}^2) : 2 = 805,5 (\text{W/m}^2) \rightarrow 805,5 (\text{W/m}^2) * 3600 (\text{sec}) = 2.899.800 (\text{W} * \text{sec/m}^2)$$

Για να υπολογίσουμε την δόση στις 12:30 αν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας αυτή την χρονική στιγμή είναι  $983 \text{ W/m}^2$  ακολουθούμε την εξής διαδικασία.:

$$903 (\text{W/m}^2) + 983 (\text{W/m}^2) = 1886 (\text{W/m}^2) \rightarrow 1886 (\text{W/m}^2) : 2 = 943 (\text{W/m}^2) \rightarrow 943 (\text{W/m}^2) * 3600 (\text{sec}) = 3.394.800 (\text{W} * \text{sec/m}^2) \rightarrow$$

$$3.394.800 (\text{W} * \text{sec/m}^2) + 2.899.800 (\text{W} * \text{sec/m}^2) = 6.294.600 (\text{W} * \text{sec/m}^2)$$

#### 7.4 Προσδιορισμός μικροβιακού φορτίου

Για τον προσδιορισμό του μικροβιακού φορτίου χρησιμοποιήθηκαν: αντλία κενού (Buchi, Vac<sup>R</sup> V-500), μαγνητική χοάνη διήθησης (300ml, Pall), ηλεκτρικός αναδευτήρας (KMS2 Minishaker IKA<sup>R</sup> Works in Wilunupton Nq USA), αποστειρωμένη μεταλλική λαβίδα, αιθανόλη, αποστειρωμένες πιπέτες όγκου 0,1-1ml και 1-10ml, αποστειρωμένα φίλτρα με διάμετρο 47mm (Pall life Sciences, Michigan USA), αποστειρωμένοι ογκομετρικοί κύλινδροι των 50ml, αποστειρωμένοι δοκιμαστικοί σωλήνες, αποστειρωμένα τρυβλία Petri διαμέτρου 50mm και 90mm, θάλαμοι επώασης (FTC 90 Refrigerated incubator Velp Scientifica, G<sup>R</sup>-Cell 075 και Heraeus Kentro UB6) ρυθμισμένοι σε θερμοκρασίες 22 °C, 44,5°C και 37 °C αντίστοιχα και υδατόλουτρο (Biolife Science, Greece).

#### 7.5 Αποστείρωση

Όλα τα σκεύη, θρεπτικά υποστρώματα και ρυθμιστικά διαλύματα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την πειραματική διαδικασία αποστειρώθηκαν πριν την χρήση τους για 10-20 λεπτά στους 121°C και πίεση 1,2 bar σε κλίβανο υγρής αποστείρωσης (Φ25, Αφοί Ανδριανόπουλοι Ο.Ε).

#### 7.6. Προετοιμασία τρυβλίων με θρεπτικό υπόστρωμα

Σε κάθε αποστειρωμένο τρυβλίο Petri διαμέτρου 50mm ή 90mm τοποθετήθηκε αποστειρωμένο θρεπτικό υπόστρωμα ανάλογο του προσδιορισμού που πραγματοποιήθηκε.

Το θρεπτικό υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των ολικών κολοβακτηρίων (*total coliforms* (TC)) και κοπρανόδων θερμοανθεκτικών κολοβακτηρίων (*Faecal coliforms* (FC)) ήταν το Membrane Lauryl Sulphate Broth (LAB M) με προσθήκη 1,5 % Agar (MLSA).

Το θρεπτικό υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των

κοπρανώδων εντερόκοκκων ήταν το Slanetz and Bartley Medium (LAB M) με προσθήκη 1,5 % Agar.

Το θρεπτικό υπόστρωμα που χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό των ολικών ετερότροφων βακτηρίων καλλιιεργήσιμων στους 22<sup>0</sup> C και στους 37<sup>0</sup> C ήταν το Plate Count Agar (Oxoid).

### 7.6.1 Παρασκευή υποστρωμάτων

Membrane Lauryl Sulphate Broth με προσθήκη 1,5 % Agar (MLSA): 7,62 g Membrane Lauryl Sulphate Broth και 1,5 % Agar διαλύονται σε 100 ml απιονισμένου νερού και αποστειρώνονται για 10 λεπτά στους 121<sup>0</sup>C και πίεση 1,2 bar. Μετά την περάτωση της αποστείρωσης και όταν το θρεπτικό υπόστρωμα έχει θερμοκρασία περίπου 50<sup>0</sup> C τοποθετείται σε τρυβλία Petri διαμέτρου 50mm.

Slanetz and Bartley Medium με προσθήκη 1,5 % Agar: 4,35 g Slanetz and Bartley Medium και 1,5 % Agar διαλύονται σε 100 ml απιονισμένου νερού και αποστειρώνονται για 10 λεπτά στους 121<sup>0</sup>C και πίεση 1,2 bar. Μετά την περάτωση της αποστείρωσης και όταν το θρεπτικό υπόστρωμα έχει θερμοκρασία περίπου 50<sup>0</sup> C τοποθετείται σε τρυβλία Petri διαμέτρου 50mm.

Plate Count Agar: Αυτό το υπόστρωμα παρασκευάζεται ακριβώς πριν την χρήση του. 2,4 g διαλύονται σε 100 ml απιονισμένου νερού και αποστειρώνονται για 20 λεπτά στους 121<sup>0</sup>C και πίεση 1,2 bar. Μετά την περάτωση της αποστείρωσης τοποθετείται το θρεπτικό υπόστρωμα σε υδατόλουτρο με θερμοκρασία περίπου 45<sup>0</sup> C μέχρι την τελική του χρήση (βλέπε παρακάτω μέτρηση ολικά ετερότροφα βακτήρια).

### 7.7 Δειγματοληψία

Η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε σε αποστειρωμένους ογκομετρικούς κυλίνδρους. Για τη μικροβιακή ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν 3 ml δείγματος και 3 ml μάρτυρα μετά από κάθε μία ώρα έκθεσης του δείγματος στον ήλιο, τα οποία αραιώθηκαν ως ακολούθως με αποστειρωμένο ρυθμιστικό διάλυμα φωσφορικών αλάτων, το οποίο είχε συγκέντρωση 0,625 mM και pH 7,3:

Αραιώσεις 1:10,1:100, 1:1.000,1:10.000, 1:100.000, 1:1.000.000

1:10 → 3ml δείγματος +27ml ρυθμιστικό διάλυμα φωσφορικών

1: 100 → 3ml (1:10) δείγματος + 27ml ρυθμιστικό διάλυμα φωσφορικών

1: 1.000 → 3ml (1:100) δείγματος + 27ml ρυθμιστικό διάλυμα φωσφορικών

1: 10.000 → 3ml (1:1.000)δείγματος + 27ml ρυθμιστικό διάλυμα φωσφορικών

1: 100.000 → 3ml (1:10.000) δείγματος + 27ml ρυθμιστικό διάλυμα φωσφορικών

1: 1.000.000 → 3ml (1:100.000) δείγματος + 27ml ρυθμιστικό διάλυμα φωσφορικών

Μετά από κάθε αραιώση ανακινούταν καλά το αραιωμένο δείγμα και λαμβάνονταν 3 ml κάτω από αποστειρωμένες συνθήκες για την επόμενη αραιώση.

Το ρυθμιστικό διάλυμα φωσφορικών αλάτων που είχε τελική συγκέντρωση 0,625 mM και pH 7,3 και παρήχθη ως ακολούθως:

Αρχικά παρασκευάστηκε ένα μητρικό ρυθμιστικό διάλυμα φωσφορικών αλάτων συγκέντρωσης 500 mM ως εξής: Αρχικά παρασκευάστηκε διάλυμα 1 M  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (διαλύοντας 0,68 g σε 5 ml απιονισμένου νερού). Με προσθήκη διαλύματος 1N NaOH ρυθμίστηκε το pH στο 7,3 και ο όγκος συμπληρώθηκε μέχρι τα 20 ml με απιονισμένο νερό. Το τελικό ρυθμιστικό διάλυμα φωσφορικών αλάτων που είχε τελική συγκέντρωση 0,625 mM παρασκευάστηκε μετά από αραιώση του μητρικού 1:800 (1,25 ml σε 1.000 ml απιονισμένου νερού) [28].

## 7.8 Διήθηση

Για τον προσδιορισμό των ολικών και κοπρανώδων θερμοανθεκτικών κολοβακτηρίων καθώς και των κοπρανώδων εντερόκοκκων προσαρμόστηκε ειδική μαγνητική χοάνη στην διηθητική συσκευή. Με μία αποστειρωμένη λαβίδα (η οποία είχε προηγουμένα βουτηχτεί πρώτα σε αιθανόλη, μετά πυρώθηκε πάνω από φλόγα και όταν έσβησε χρησιμοποιήθηκε) ελήφθη 1 αποστειρωμένο φίλτρο και τοποθετήθηκε πάνω στην βάση της αποστειρωμένης μαγνητικής χοάνης της συσκευής διήθησης. Στη συνέχεια ανοίχθηκε η αντλία και διηθήθηκαν πρώτα 10ml ρυθμιστικού διαλύματος φωσφορικών αλάτων.

Όταν διηθήθηκε όλο το ρυθμιστικό διάλυμα φωσφορικών αλάτων από το φίλτρο (πριν στεγνώσει εντελώς το φίλτρο) σταμάτησε η διήθηση και τοποθετήθηκε το φίλτρο πάνω σε ένα τρυβλίο με θρεπτικό υπόστρωμα.

Το φίλτρο αυτό χρησιμοποιήθηκε σαν μάρτυρας για τον έλεγχο της καθαρότητας της πειραματικής διάταξης. Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία για τα δείγματα και τον μάρτυρα για όλες τις αραιώσεις. Το φίλτρο κάθε δείγματος ξεπλενόταν με 20-30ml ρυθμιστικού διαλύματος φωσφορικών αλάτων μετά από κάθε διήθηση δείγματος και πριν το τοποθετηθεί στο αντίστοιχο τρυβλίο διαμέτρου 50mm.

## 7.9 Διαδικασία εμβολιασμού για την ανίχνευση των ολικών ετερότροφων βακτηρίων καλλιεργήσιμων στους 22°C και 37°C.

Σε κάθε αποστειρωμένο τρυβλίο Petri διαμέτρου 90mm τοποθετήθηκε 1 ml αραιωμένου δείγματος και 9 ml αποστειρωμένου θρεπτικού υποστρώματος Plate Count Agar, το οποίο είχε διατηρηθεί σε υγρή μορφή σε υδατόλουτρο θερμοκρασίας 45°C σε όλη τη διάρκεια του πειράματος. Μετά την τοποθέτηση του δείγματος και του υποστρώματος στο τρυβλίο επακολούθησε προσεκτική ανακίνηση για την ομογενοποίηση του δείγματος στο θρεπτικό υπόστρωμα. Η διαδικασία αυτή λάμβανε χώρα γρήγορα γιατί το Agar στερεοποιόταν πολύ γρήγορα σε θερμοκρασία μικρότερη των 45 °C.

Κατά τον προσδιορισμό των ολικών ετερότροφων βακτηρίων χρησιμοποιήθηκε ένας επιπλέον μάρτυρας (μάρτυρας 2) για τον έλεγχο της διαδικασίας εμβολιασμού διατήρησης του υποστρώματος σε αποστειρωμένες συνθήκες καθόλη τη διάρκεια του πειράματος. Έτσι λοιπόν σε κάθε δειγματοληψία χρησιμοποιήθηκε 1 ml ρυθμιστικού διαλύματος φωσφορικών αλάτων (το οποίο

χρησιμοποιήθηκε και για τις αραιώσεις των δειγμάτων) και τοποθετήθηκε στο τρυβλίο με 9 ml αποστειρωμένου θρεπτικού υποστρώματος Plate Count Agar.

### 7.10 Επώαση

Τα τρυβλία για τα ολικά κολοβακτήρια και τα τρυβλία για τους κοπρανώδεις εντερόκοκκους επώαστηκαν στους 37°C για 24 και 48 ώρες, ενώ τα τρυβλία για τα κοπρανώδη θερμοανθεκτικά κολοβακτήρια επώαστηκαν στους 44,5 °C για 24 και 48 ώρες. Τα τρυβλία με την ολική μεσόφιλη χλωρίδα επώαστηκαν στους 37 °C για 48 ώρες και στους 22 °C για 72 ώρες αντίστοιχα.

### 7.11 Καταμέτρηση αποικιών

Στη συνέχεια καταμετρήθηκε ο αριθμός των αποικιών. Αν ο αριθμός των αποικιών ανά τρυβλίο είναι υψηλότερος από 80 και οι αποικίες αλληλοκαλύπτονταν, το πείραμα επαναλήφθηκε χρησιμοποιώντας υψηλότερες αραιώσεις.

Τα ολικά κολοβακτήρια και τα κοπρανώδη θερμοανθεκτικά κολοβακτήρια δημιουργούν αποικίες που έχουν ένα κίτρινο χρώμα, ενώ οι κοπρανώδεις εντερόκοκκοι δημιουργούν αποικίες με βαθύ κόκκινο χρώμα.

Τα ολικά ετερότροφα βακτήρια δημιουργούν αποικίες διαφορετικών χρωμάτων και καταμετρούνται όλες οι αποικίες.

### 7.12 Υπολογισμός των συγκεντρώσεων σε μικροβιακό φορτίο

Για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων σε cfu/100ml (cfu:colony forming units ή αριθμός αποικιών) πολλαπλασιάζουμε επί 10 για να τα ανάγουμε από τα 10ml(που είναι ο όγκος του διηθημένου δείγματος) στα 100ml και στη συνέχεια πολλαπλασιάζουμε με την αραιώση. Δηλαδή αν έχουμε κάνει αραιώση 1:10 πολλαπλασιάζουμε επί  $a=0,1$ . Έτσι προκύπτει ο παρακάτω τύπος:

$$\text{cfu/100ml} = \text{cfu/10ml} * 10 * a$$

**a:** Ο συντελεστής αραιώσης

Για τον υπολογισμό των συγκεντρώσεων των κολοβακτηρίων και των εντερόκοκκων σε cfu/ml πολλαπλασιάζουμε τον αριθμό των καταμετρούμενων αποικιών (η ποσότητα του δείγματος είναι 1ml δεν κάνω αναγωγή) με την αραιώση (α). Στη συνέχεια υπολογίζεται η συγκέντρωση των ολικών ετερότροφων βακτηρίων στο μάρτυρα 2 (βλέπε 7.8) ο οποίος και αφαιρείται από τα cfu/ml του δείγματος. Έτσι προκύπτει ο παρακάτω τύπος :

$$\text{cfu/ml} = (\text{cfu/ml} * a) - \text{cfu/ml μάρτυρα 2}$$

**a:** Ο συντελεστής αραιώσης

### 7.13 Ποιοτικά-Φυσικά χαρακτηριστικά δείγματος

### **7.13.1 pH –Συγκέντρωση υδρογονοκατιόντων**

Η μέτρηση του pH έγινε με ηλεκτρομετρική μέθοδο με τη χρήση ενός πεχάμετρου (Multi Parameter Analyzer C 532, CONSORT), με το οποίο με αισθητήριο ηλεκτρόδιο υάλου συνδεδεμένο με ηλεκτρόδιο αναφοράς.

Πριν από κάθε μέτρηση πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση του πεχάμετρου σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Η βαθμονόμηση γινόταν σε δύο τουλάχιστον τιμές (pH 4 και pH 7).

### **7.13.2 Αγωγιμότητα**

Η μέτρηση της αγωγιμότητας έγινε με το αγωγιμόμετρο (Multi Parameter Analyzer C 532, CONSORT), το οποίο αφού βαθμονομήθηκε με κατάλληλο διάλυμα (ρυθμιστικό διάλυμα 0,01mol/L KCl), τοποθετήθηκε μέσα στο δείγμα μαζί με το αισθητήριο θερμοκρασίας και αναδεύτηκε μέχρι να σταθεροποιηθεί η τιμή της αγωγιμότητας.

## **7.14 Οργανικά συστατικά**

### **7.14.1 Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο (Biochemical Oxygen Demand - B.O.D)**

Το βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο μετρήθηκε μανομετρικά με την συσκευή BOD (Velp Scientifica, FTC 90). Η μανομετρική μέτρηση του BOD βασίζεται στην μέτρηση της διαφοράς πίεσης που δημιουργείται με την κατανάλωση του οξυγόνου κατά την οξείδωση των οργανικών ενώσεων και την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα, που δεσμεύεται από το καυστικό κάλιο ή νάτριο (που περιέχεται σε θήκη από καουτσούκ) στο δείγμα στο συγκεκριμένο χρόνο επώασης. Η μέτρηση εκφράζεται σε mg O<sub>2</sub>/L. Οι φιάλες επώασης ξεπλύθηκαν με απιονισμένο νερό πριν τη χρήση. Δείγμα 400 ml τοποθετήθηκε σε σκουρόχρωμη φιάλη μαζί με ένα μαγνήτη ανάδευσης. Στο επάνω μέρος της φιάλης τοποθετήθηκε η θήκη από καουτσούκ, στην οποία τοποθετήθηκαν 4 δισκία καυστικού καλίου (KOH). Έπειτα βιδώθηκε καλά η φιάλη συνδέθηκε με τη μανομετρική συσκευή. Το δείγμα επώασθη σε σταθερή θερμοκρασία 20°C για 5 και 20 ημέρες στο σκοτάδι αφού προηγουμένα βαθμονομήθηκε στο μηδέν. Η επώαση έγινε στο σκοτάδι για να αποφευχθεί το σφάλμα της μέτρησης του οξυγόνου που παράγεται κατά την φωτοσύνθεση από την ανάπτυξη φυκών στο δείγμα.

Η μέτρηση του BOD πραγματοποιήθηκε τόσο στον μάρτυρα όσο και στο ανεπεξέργαστο δείγμα (πριν την έκθεση στον ήλιο) καθώς και στο δείγμα μετά από την εξάωρη έκθεση του στον ήλιο.

## Κεφάλαιο 8

### 8.1 Αποτελέσματα πειράματος προσδιορισμού της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη συγκέντρωση των ολικών κολοβακτηρίων, θερμοανθεκτικών κοπρανόδων κολοβακτηρίων, κοπρανόδων εντερόκοκκων και ολικών ετερότροφων βακτηρίων σε δείγματα δευτεροβάθμια επεξεργασμένων Υγρών Αποβλήτων με την χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας.

Το πείραμα πραγματοποιήθηκε τέσσερις φορές δύο φορές για τον προσδιορισμό της μείωσης των TC, FC, κοπρανωδών εντερόκοκκων στις 22/07/2004 και 29/07/2004 και άλλες δύο για τον προσδιορισμό της μείωσης των ολικών ετερότροφων βακτηρίων στις 16/09/2004 και 23/09/2004.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας με την πάροδο του χρόνου φαίνονται στους παρακάτω πίνακες και στα αντίστοιχα διαγράμματα.

**Πίνακας 8.1:** Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας κατά την διάρκεια του πρώτου πειράματος 22/07/2004.

Ωρα	Ηλιακή ακτινοβολία (W/m <sup>2</sup> )	*Δόση Ηλιακής Ακτινοβολίας (W*sec/m <sup>2</sup> )	Θερμοκρασία δείγματος (°C)	Θερμοκρασία περιβάλλοντος στη σκιά (°C)
10:30	722	0	28,5	29
11:30	891	2.903.400	38,5	30
12:30	987	6.283.800	44	31
13:30	1033	9.919.800	47	30
14:30	1016	13.608.000	48	30
15:30	939	17.127.000	49,5	29,5
16:30	796	20.250.000	48	29,5

**Πίνακας 8.2:** Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004.

Ωρα	Ηλιακή ακτινοβολία (W/m <sup>2</sup> )	*Δόση Ηλιακής Ακτινοβολίας (W*sec/m <sup>2</sup> )	Θερμοκρασία δείγματος (°C)	Θερμοκρασία περιβάλλοντος στη σκιά (°C)
10:30	708	0	28	30,5
11:30	903	2.899.800	40	31
12:30	983	6.924.600	45,5	32
13:30	1015	10.521.000	48	31,5
14:30	991	14.131.800	49,5	31
15:30	899	17.533.800	49	30,5
16:30	741	20.485.800	48,5	30,5

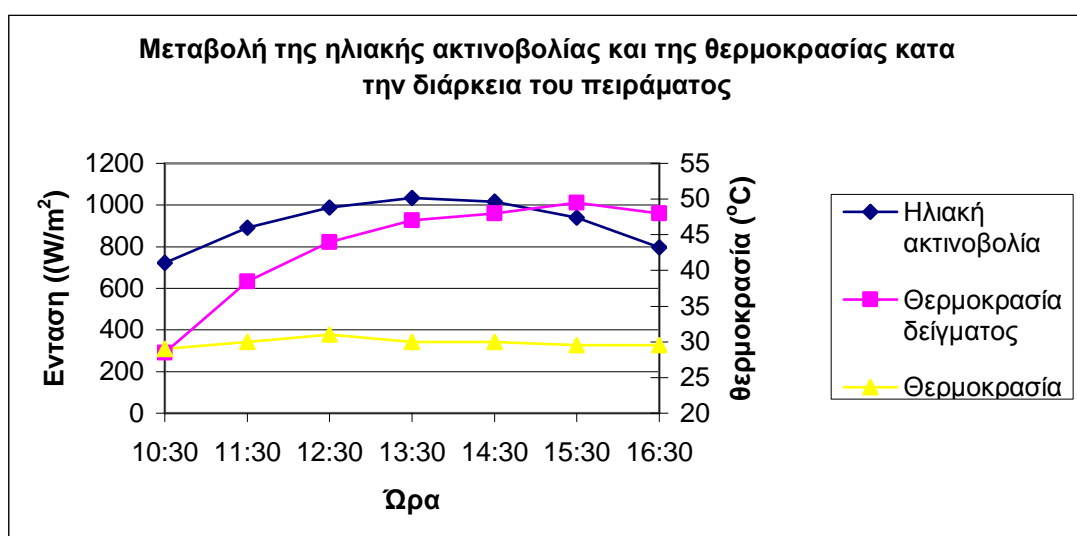
**Πίνακας 8.3:** Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας κατά την διάρκεια του τρίτου πειράματος 16/09/2004.

Ωρα	Ηλιακή ακτινοβολία (W/m <sup>2</sup> )	*Δόση Ηλιακής Ακτινοβολίας (W*sec/m <sup>2</sup> )	Θερμοκρασία δείγματος (°C)	Θερμοκρασία περιβάλλοντος στη σκιά (°C)
10:30	646	0	29,5	29,5
11:30	810	2.620.800	34,5	28
12:30	872	5.648.400	39	28,5
13:30	867	8.778.600	42	29
14:30	783	11.748.600	48,5	28,5
15:30	416	13.906.800	44	28
16:30	395	15.366.600	39,5	28

**Πίνακας 8.4:** Μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας κατά την διάρκεια του τέταρτου πειράματος 23/09/2004.

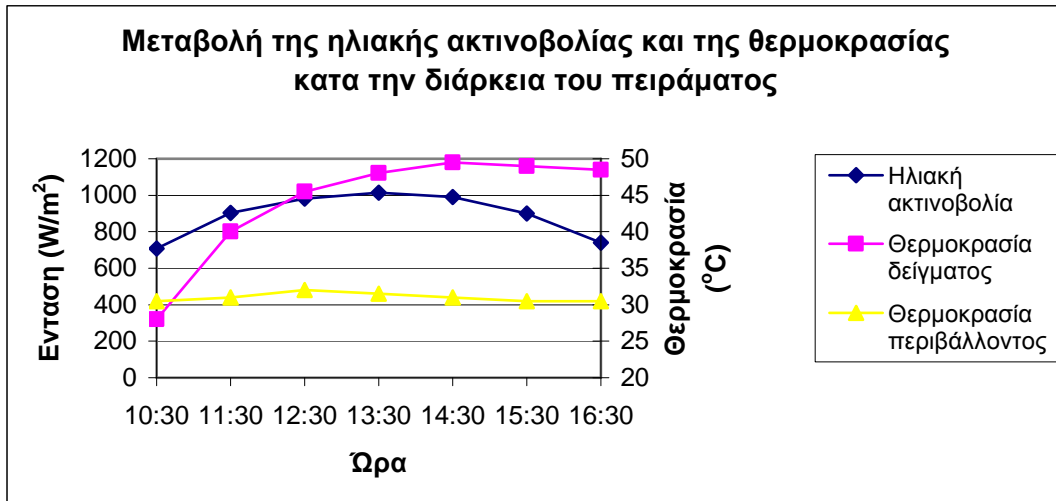
Ωρα	Ηλιακή ακτινοβολία (W/m <sup>2</sup> )	*Δόση Ηλιακής Ακτινοβολίας (W*sec/m <sup>2</sup> )	Θερμοκρασία δείγματος (°C)	Θερμοκρασία περιβάλλοντος στη σκιά (°C)
10:30	655	0	26	29,5
11:30	778	2.579.400	33	30
12:30	841	5.493.600	37	30,5
13:30	857	8.550.000	39	31
14:30	775	11.487.600	41	30,5
15:30	666	14.081.400	40	30
16:30	528	16.230.600	38	29

(\*)Ως Δόση ηλιακής ακτινοβολίας ορίζεται η συνολική ενέργεια που δέχεται το δείγμα από την έναρξη του πειράματος μέχρι την αναγραφόμενη χρονική στιγμή (βλέπε 7.3).

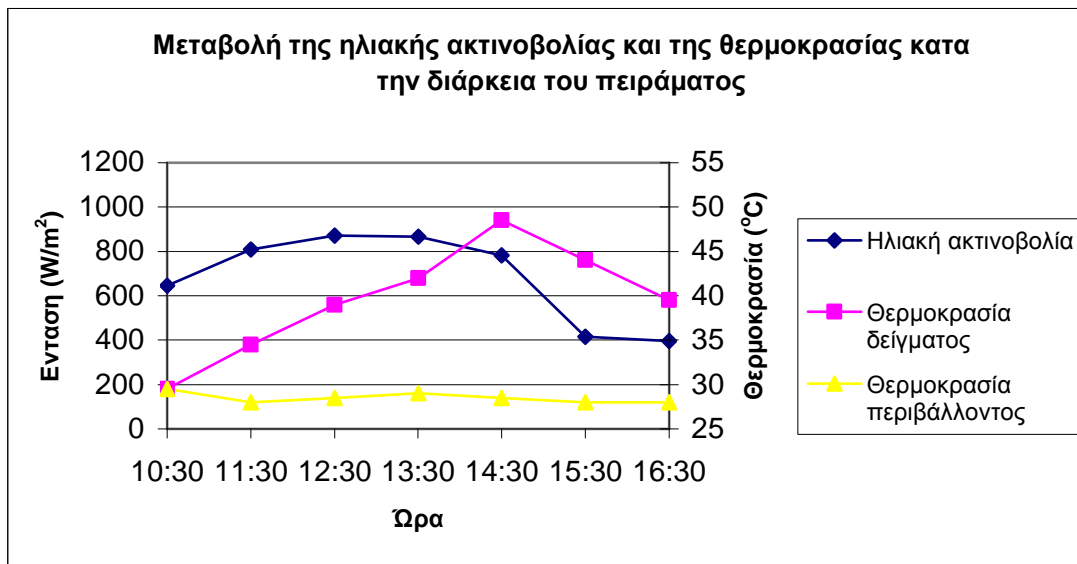


**Διάγραμμα 8.1:** Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια του πρώτου πειράματος 22/07/2004

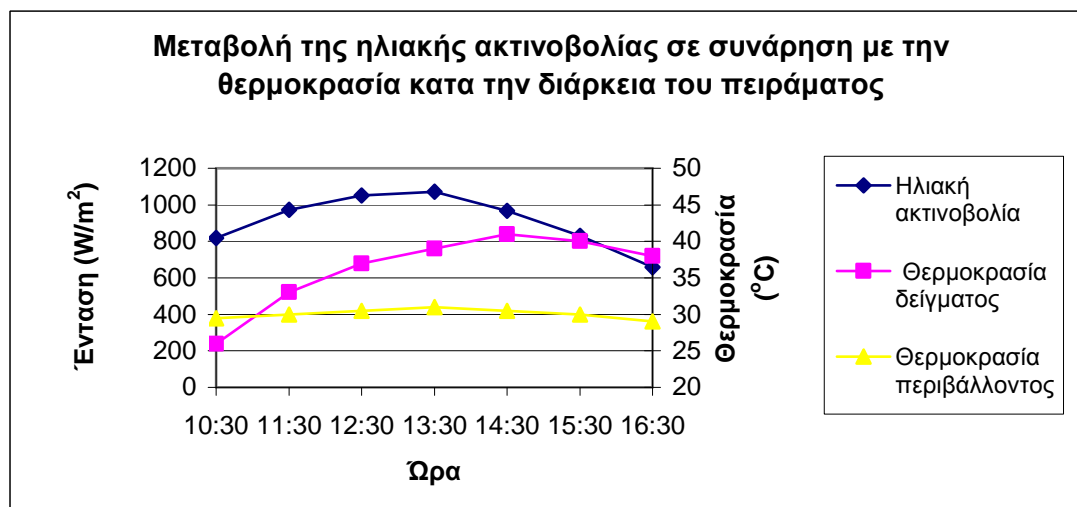




**Διάγραμμα 8.2:** Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004.



**Διάγραμμα 8.3:** Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια του τρίτου πειράματος 16/09/2004.



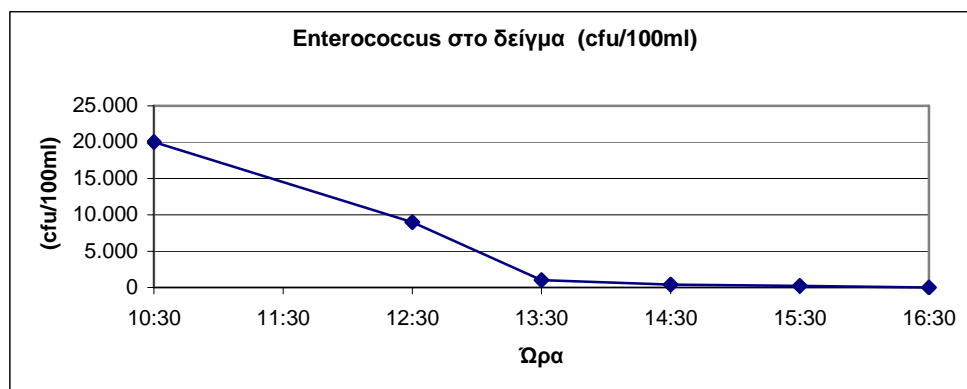
**Διάγραμμα 8.4:** Μεταβολή της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια του τέταρτου πειράματος 23/09/2004.

## 8.2 Αποτελέσματα μικροβιολογικής εξέτασης

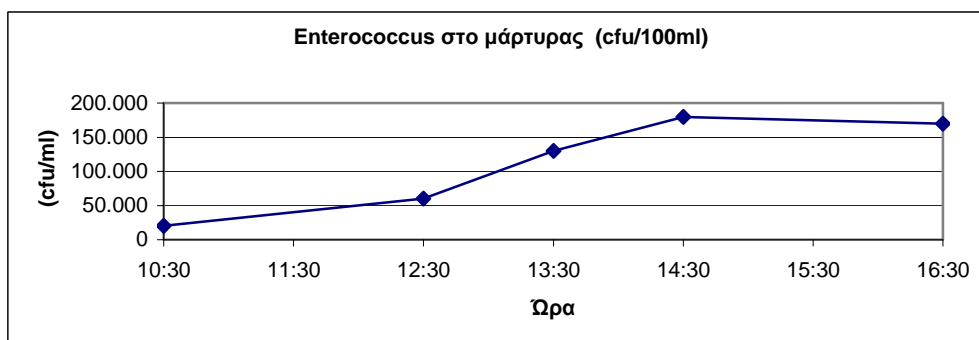
### 8.2.1 Αποτελέσματα από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στην μεταβολή της συγκέντρωσης των εντερόκοκκων κατά το πρώτο πείραμα που πραγματοποιήθηκε στις 22/07/2004

**Πίνακας 8.5:** Μεταβολή της συγκέντρωσης του εντερόκοκκου στο δείγμα και στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του πρώτου πειράματος 22/07/2004.

<i>Enterococcus</i> στο δείγμα (cfu/100ml)	Ωρα	<i>Enterococcus</i> στο μάρτυρα (cfu/100ml)	Ωρα
20.000	10:30	20.000	10:30
9.000	12:30	60.000	12:30
1.000	13:30	130.000	13:30
400	14:30	180.000	14:30
200	15:30	170.000	16:30
10	16:30		



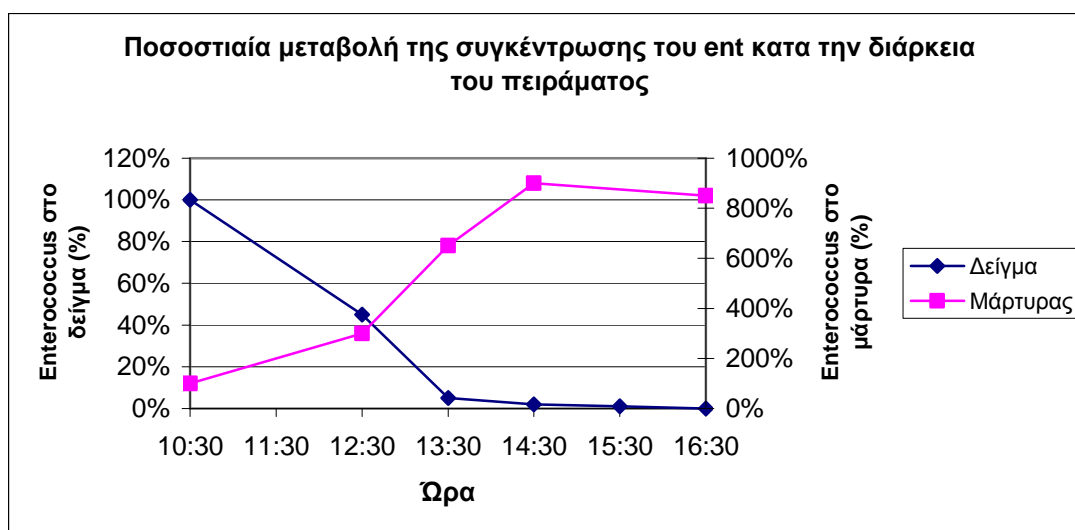
**Διάγραμμα 8.5(α):** Μεταβολή της συγκέντρωσης του εντερόκοκκου στο δείγμα κατά την διάρκεια του πρώτου πειράματος 22/07/2004.



**Διάγραμμα 8.5(β):** Μεταβολή της συγκέντρωσης του εντερόκοκκου στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του πρώτου πειράματος 22/07/2004 .

**Πίνακας 8.6:** Ποσοστιαία μεταβολή της συγκέντρωσης του εντερόκοκκου στο δείγμα και στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του πρώτου πειράματος 22/07/2004 (100%=20.000 cfu/100ml)

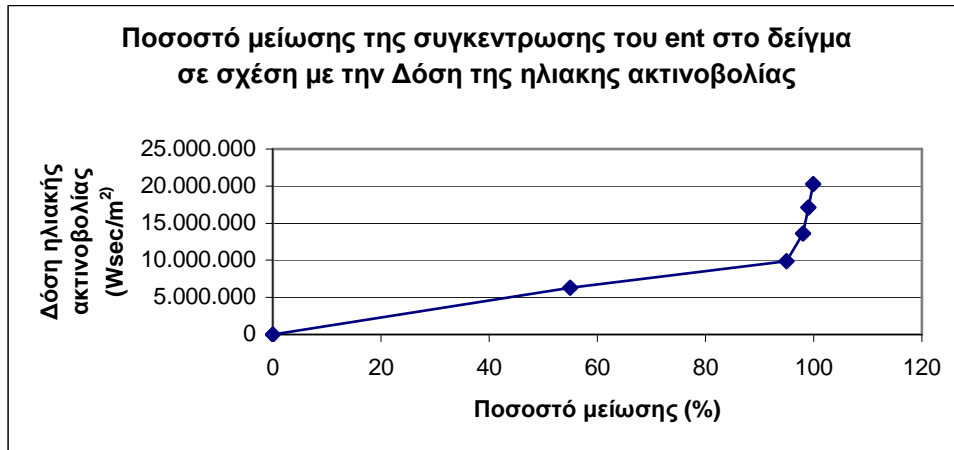
<i>Enterococcus</i> στο δείγμα (%)	Ωρα	<i>Enterococcus</i> στο μάρτυρα (%)	Ωρα
100	10:30	100	10:30
45	12:30	300	12:30
5	13:30	650	13:30
2	14:30	900	14:30
1	15:30	850	16:30
0,05	16:30		



**Διάγραμμα 8.6:** Ποσοστιαία μεταβολή της συγκέντρωσης του εντερόκοκκου στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του πρώτου πειράματος 22/07/2004 (100%=20.000 cfu/100ml).

**Πίνακας 8.7:** Ποσοστά μείωσης της συγκέντρωσης του εντερόκοκκου στο δείγμα σε σχέση με την Δόση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του πρώτου πειράματος 22/07/2004 (100%=0 cfu/100ml και 0%=20.000cfu/100ml)

Ωρα	Ποσοστό μείωσης <i>Enterococcus</i> (%)	Δόση Ηλιακής Ακτινοβολίας (W*sec/m <sup>2</sup> )
10:30	0	0
12:30	55	6.283.800
13:30	95	9.919.800
14:30	98	13.608.000
15:30	99	17.127.000
16:30	99,95	20.250.000

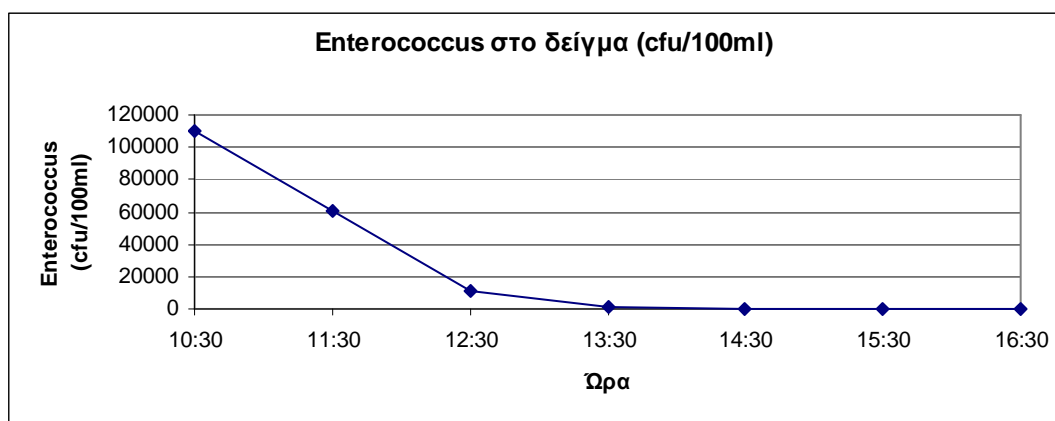


**Διάγραμμα 8.7:** Ποσοστά μείωσης της συγκέντρωσης του εντερόκοκκου στο δείγμα σε σχέση με την Δόση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του πρώτου πειράματος 22/07/2004 (0%= 20.000cfu/100ml και 100%=0cfu/100ml)

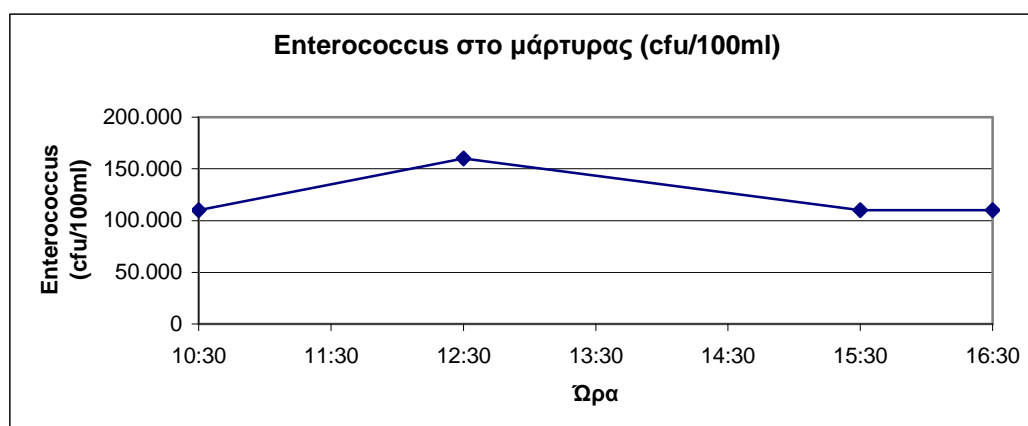
**8.2.2 Αποτελέσματα από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας στην μεταβολή της συγκέντρωσης των εντερόκοκκων, των ολικών και κοπρανωδών κολοβακτηρίων κατά το δεύτερο πείραμα που πραγματοποιήθηκε στις 29/07/2004**

Πίνακας 8.8: Μεταβολή της συγκέντρωσης του εντερόκοκκου στο δείγμα και στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004.

<i>Enterococcus</i> στο δείγμα (cfu/100ml)	Ώρα	<i>Enterococcus</i> στο μάρτυρά (cfu/100ml)	Ώρα
110.000	10:30	110.000	10:30
60.100	11:30	160.000	12:30
10.600	12:30	110.000	15:30
1.130	13:30	110.000	16:30
160	14:30		
30	15:30		
10	16:30		



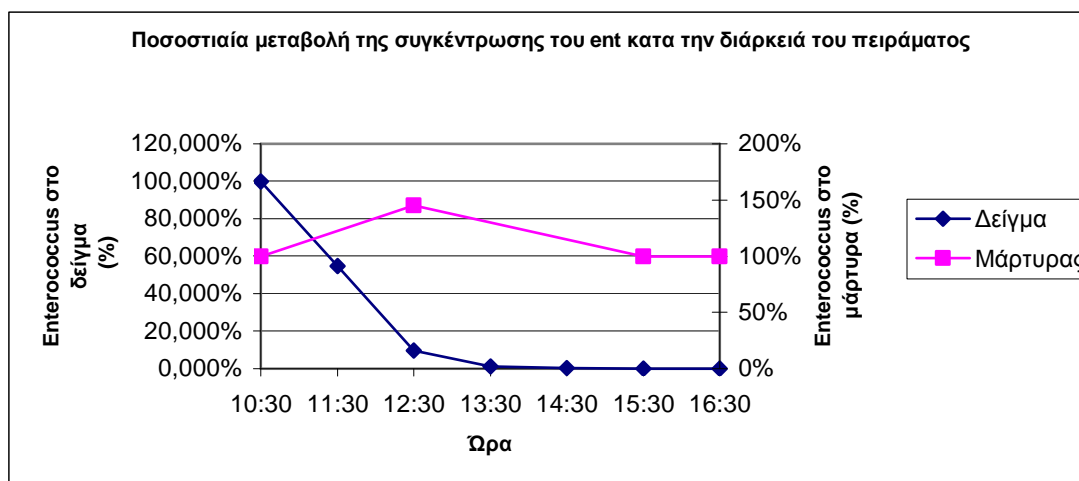
**Διάγραμμα 8.8(α):** Μεταβολή της συγκέντρωσης του εντερόκοκκου στο δείγμα κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004.



**Διάγραμμα 8.8(β):** Μεταβολή της συγκέντρωσης του εντερόκοκκου στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004.

**Πίνακας 8.9:** Ποσοστιαία μεταβολή της συγκέντρωσης του εντερόκοκκου στο δείγμα και στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004 (100%=110.000cfu/100ml)

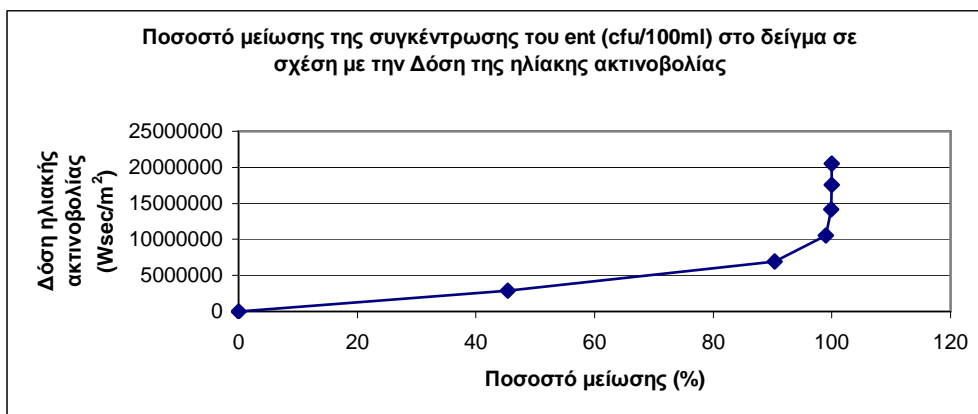
Ωρα	<i>Enterococcus</i> στο δείγμα (%)	Ωρα	<i>Enterococcus</i> στο μάρτυρα (%)
10:30	100,000	10:30	100
11:30	54,630	12:30	145
12:30	9,630	15:30	100
13:30	1,027	16:30	100
14:30	0,145		
15:30	0,027		
16:30	0,009		



**Διάγραμμα 8.9:** Ποσοστιαία μεταβολής της συγκέντρωσης του εντερόκοκκου στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004 (100%=110.000 cfu/100ml).

**Πίνακας 8.10:** Ποσοστά μείωσης της συγκέντρωσης του εντερόκοκκου στο δείγμα σε σχέση με την Δόση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004 ( 0%=110.000 cfu/100ml και 100%=0% cfu/100ml).

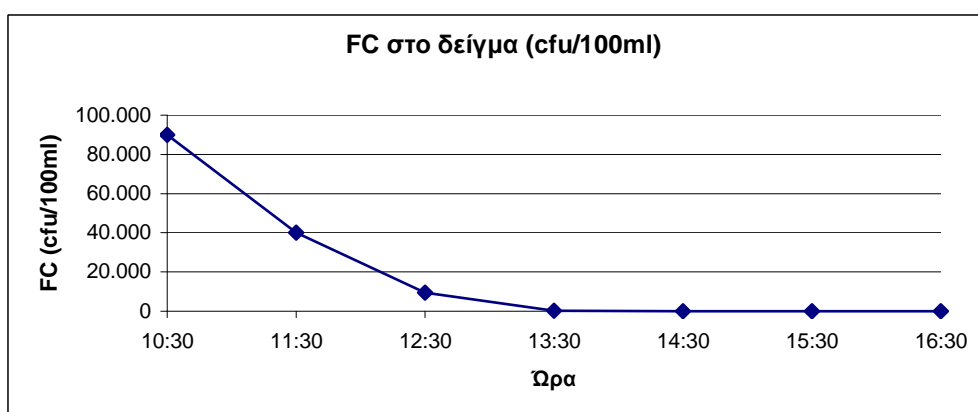
Ωρα	Ποσοστιαία μείωση του <i>Enterococcus</i> στο δείγμα (%)	Δόση Ηλιακής Ακτινοβολίας (W*sec/m <sup>2</sup> )
10:30	0	0
11:30	45,37	2.899.800
12:30	90,37	6.924.600
13:30	98,977	10.521.000
14:30	99,855	14.131.800
15:30	99,963	17.533.800
16:30	99,991	20.485.800



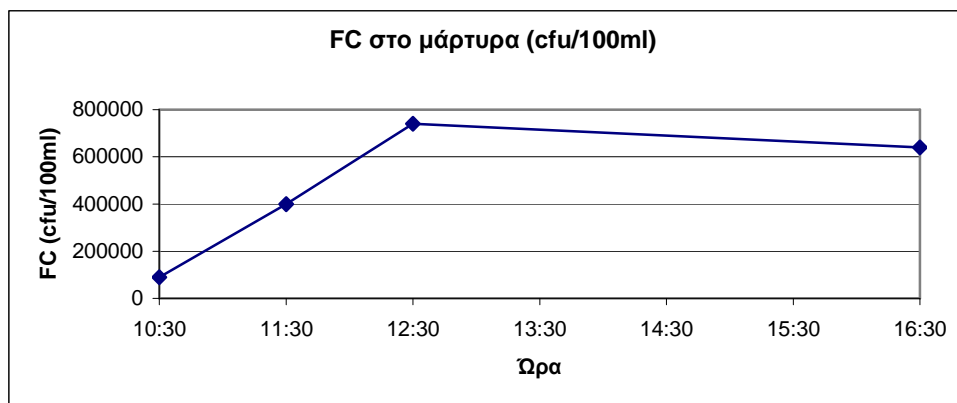
**Διάγραμμα 8.10:** Ποσοστά μείωσης της συγκέντρωσης του εντερόκοκκου στο δείγμα σε σχέση με την Δόση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004( 0%=110.000 cfu/100ml και 100%=0 cfu/100ml).

**Πίνακας 8.11:** Μεταβολή της συγκέντρωσης των *Faecal coliforms* στο δείγμα και στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004.

Ώρα	FC στο δείγμα (cfu/100ml)	Ώρα	FC στο μάρτυρα (cfu/100ml)
10:30	90.000	10:30	90.000
11:30	40.000	11:30	400.000
12:30	9.400	12:30	740.000
13:30	180	16:30	640.000
14:30	0		
15:30	0		
16:30	0		



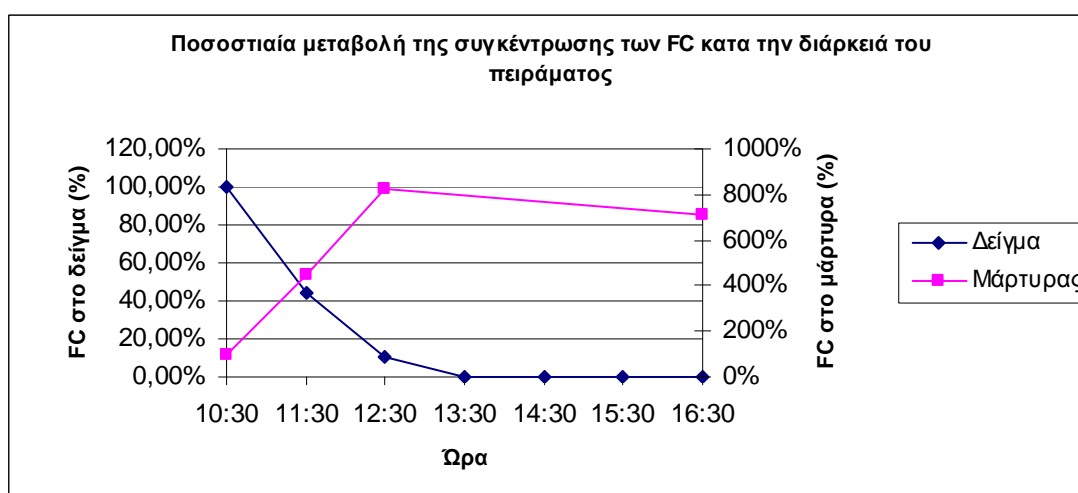
**Διάγραμμα 8.11(α):** Μεταβολή της συγκέντρωσης των Faecal coliforms στο δείγμα κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004.



**Διάγραμμα 8.11(β):** Μεταβολή της συγκέντρωσης των *Faecal coliforms* στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004.

**Πίνακας 8.12:** Ποσοστιαία μεταβολή της συγκέντρωσης των *Faecal coliforms* στο δείγμα και στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004 (100%=90.000cfu/100ml).

Ωρα	FC στο δείγμα (%)	Ωρα	FC στο μάρτυρα (%)
10:30	100,00	10:30	100
11:30	44,00	11:30	444
12:30	10,44	12:30	822
13:30	0,20	16:30	711
14:30	0,00		
15:30	0,00		
16:30	0,00		

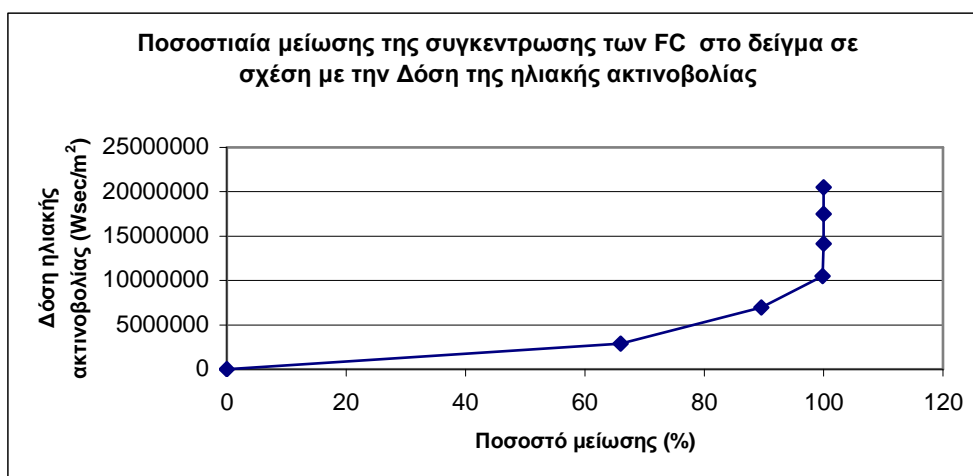


**Διάγραμμα 8.12:** Ποσοστιαία μεταβολής της συγκέντρωσης των *Faecal coliforms* στο δείγμα και στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004(100%=90.000cfu/100ml).



**Πίνακας 8.13:** Ποσοστά μείωσης της συγκέντρωσης των *Faecal coliforms* στο δείγμα σε σχέση με την Δόση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004 (0%= 90.000cfu/100ml και 100%=0cfu/100ml).

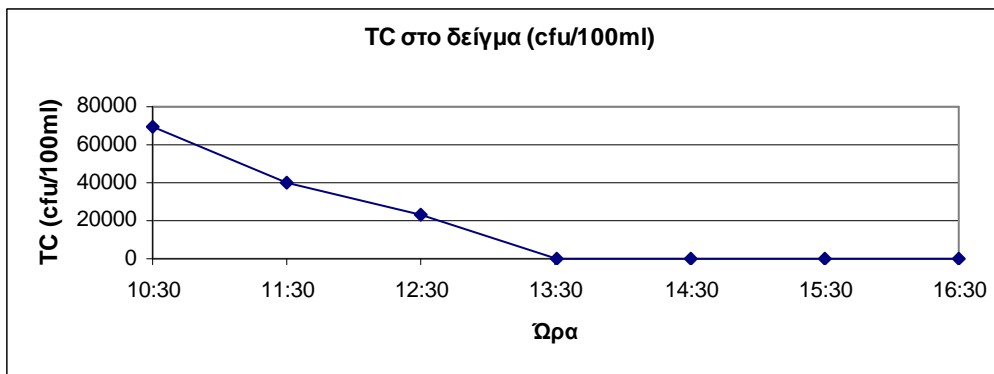
Ωρα	Ποσοστιαία μείωση των FC στο δείγμα (%)	Δόση Ηλιακής Ακτινοβολίας (W*sec/m <sup>2</sup> )
10:30	0	0
11:30	66	2.899.800
12:30	89,56	6.924.600
13:30	99,8	10.521.000
14:30	100	14.131.800
15:30	100	17.533.800
16:30	100	20.485.800



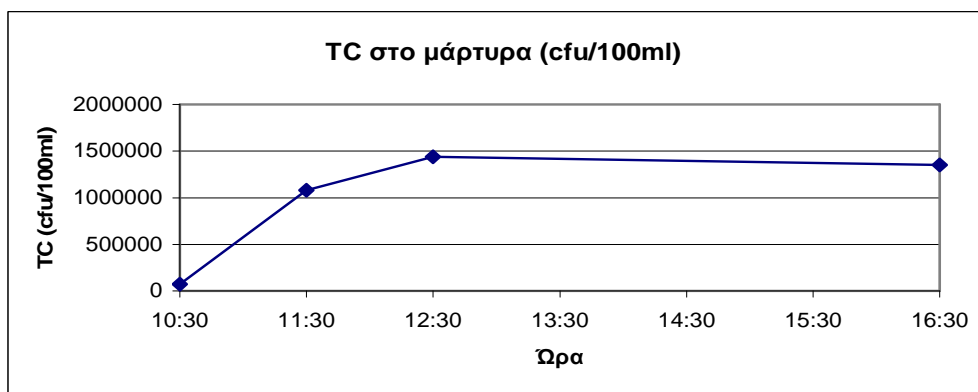
**Διάγραμμα 8.13:** Ποσοστά μείωσης της συγκέντρωσης των *Faecal coliforms* στο δείγμα σε σχέση με την Δόση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004 (0%= 90.000cfu/100ml και 100%=0cfu/100ml).

**Πίνακας 8.14:** Μεταβολή της συγκέντρωσης των *Total coliforms* στο δείγμα και στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004.

Ωρα	TC στο δείγμα (cfu/100ml)	Ωρα	TC στο μάρτυρα (cfu/100ml)
10:30	70.000	10:30	70.000
11:30	40.000	11:30	1.080.000
12:30	23.000	12:30	1.440.000
13:30	420	16:30	1.350.000
14:30	0		
15:30	0		
16:30	0		



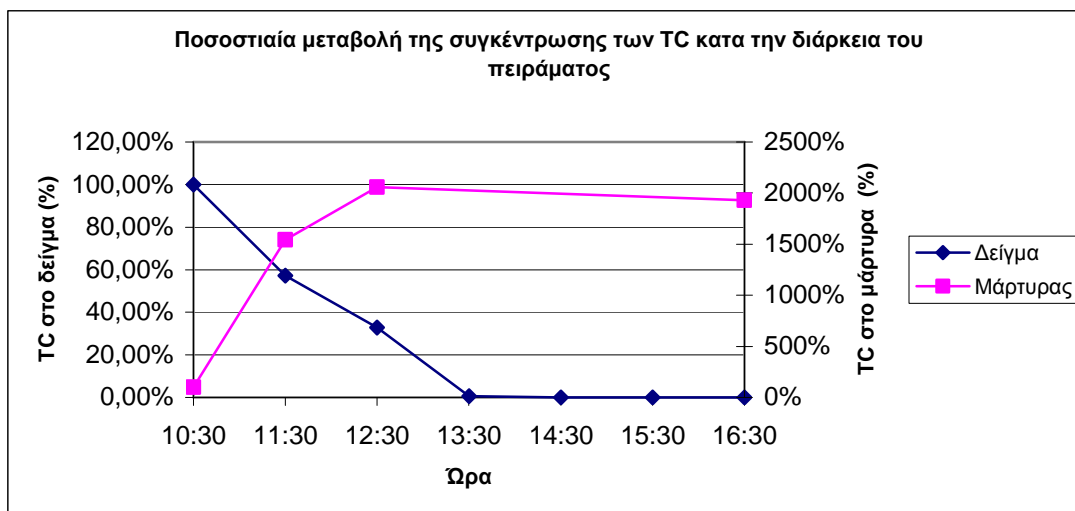
**Διάγραμμα 8.14(α):** Μεταβολή της συγκέντρωσης των *Total coliforms* στο δείγμα κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004.



**Διάγραμμα 8.14(β):** Μεταβολή της συγκέντρωσης των *Total coliforms* στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004.

**Πίνακας 8.15:** Ποσοστιαία μεταβολή της συγκέντρωσης των *Total coliforms* στο δείγμα και στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004 (100%=70.000cfu/100ml).

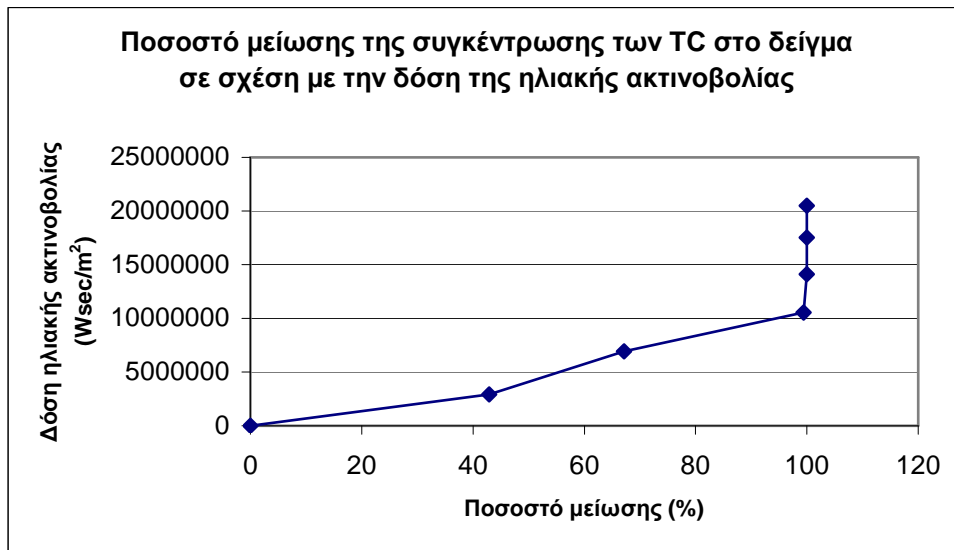
Ωρα	TC στο δείγμα (%)	Ωρα	TC στο μάρτυρα (%)
10:30	100,00	10:30	100
11:30	57,14	11:30	1542
12:30	32,85	12:30	2057
13:30	0,60	16:30	1928
14:30	0,00		
15:30	0,00		
16:30	0,00		



**Διάγραμμα 8.15:** Ποσοστιαία μεταβολής της συγκέντρωσης των *Total coliforms* στο δείγμα και στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004 (100%=70.000cfu/100ml).

**Πίνακας 8.16:** Ποσοστά μείωσης της συγκέντρωσης των *Tota coliforms* στο δείγμα σε σχέση με την Δόση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004 (0%=70.000cfu/100ml και 100%=0cfu/100ml)

Ωρα	Ποσοστιαία μείωση των TC στο δείγμα (%)	Δόση Ηλιακής Ακτινοβολίας (W*sec/m <sup>2</sup> )
10:30	0	0
11:30	42,67	2.899.800
12:30	67,15	6.924.600
13:30	99,4	10.521.000
14:30	100	14.131.800
15:30	100	17.533.800
16:30	100	20.485.800

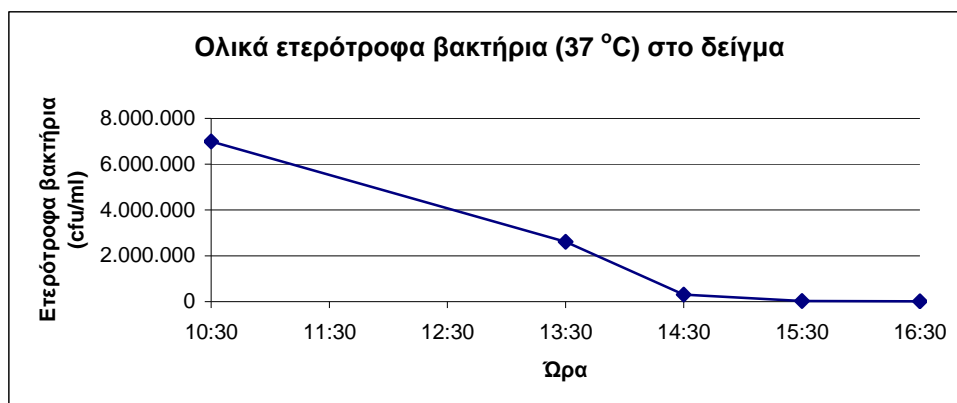


**Διάγραμμα 8.16:** Ποσοστά μείωσης της συγκέντρωσης των *Total coliforms* στο δείγμα σε σχέση με την Δόση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του δεύτερου πειράματος 29/07/2004 (0%=70.000cfu/100ml και 100%=0cfu/100ml).

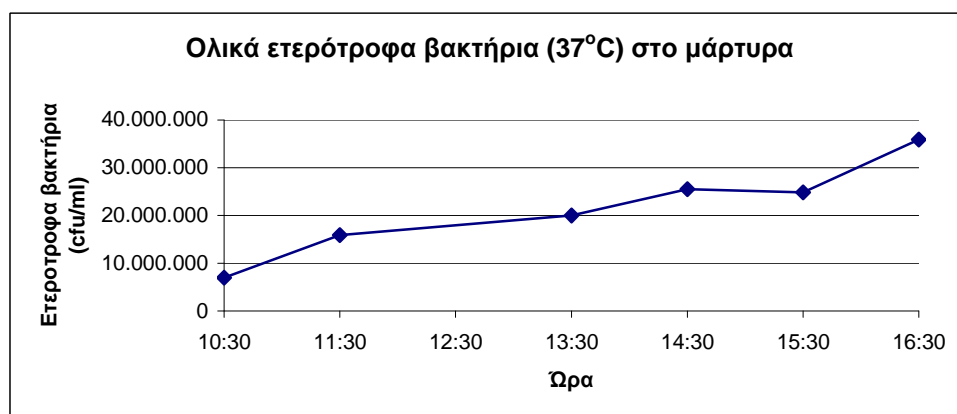
**8.2.3. Αποτελέσματα από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στη μεταβολή της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων που καλλιεργήθηκαν στους 22°C και 37°C κατά το τρίτο πείραμα που πραγματοποιήθηκε στις 16/09/2004.**

**Πίνακας 8.17:** Μεταβολή της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων που καλλιεργήθηκαν στους 37 °C στο δείγμα και στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του τρίτου πειράματος 16/09/2004.

Ωρα	Ετερότροφα βακτήρια (37°C) στο δείγμα (cfu/ml)(48h)	Ωρα	Ετερότροφα βακτήρια (37°C) στο μάρτυρα (cfu/ml) (48h)
10:30	6.999.780	10:30	6.999.780
13:30	2.609.780	11:30	15.899.780
14:30	305.780	13:30	19.999.780
15:30	22.680	14:30	25.499.780
16:30	19.780	15:30	24.799.780
		16:30	35.899.780



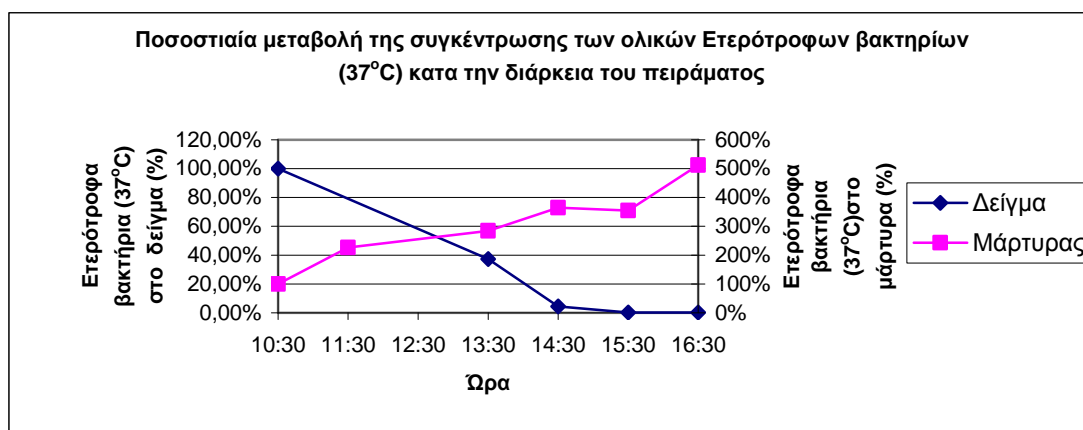
**Διάγραμμα 8.17(α):** Μεταβολή της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (37 °C) στο δείγμα κατά την διάρκεια του τρίτου πειράματος 16/09/2004 .



**Διάγραμμα 8.17(β):**Μεταβολή της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (37 °C) στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του τρίτου πειράματος 16/09/2004.

**Πίνακας 8.18:** Ποσοστά μεταβολής της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων στο δείγμα και στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του τρίτου πειράματος 16/09/2004 (100%=6.999.780cfu/ml).

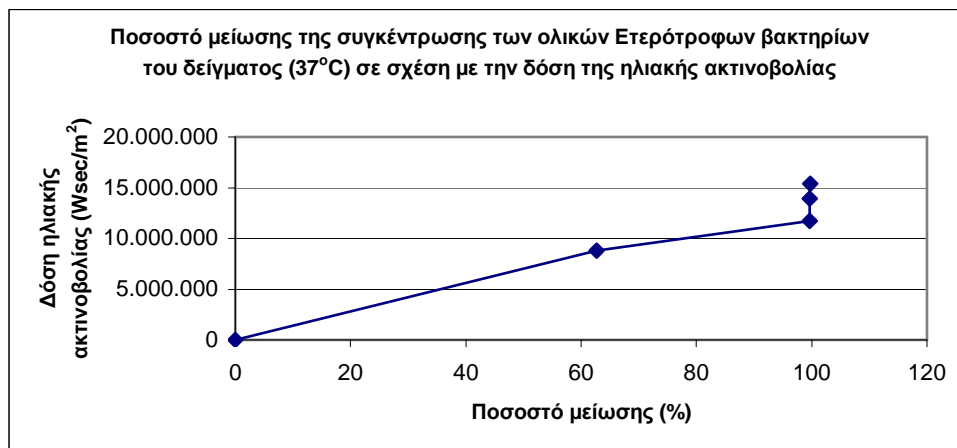
Ώρα	Ετερότροφα βακτήρια (37°C) στο δείγμα (%) (48h)	Ώρα	Ετερότροφα βακτήρια (37°C) στο μάρτυρα (%) (48h)
10:30	100,00	10:30	100
13:30	37,28	11:30	227
14:30	4,37	13:30	285
15:30	0,33	14:30	364
16:30	0,28	15:30	354
		16:30	512



**Διάγραμμα 8.18:** Ποσοστιαία μεταβολή της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (37°C) στο δείγμα και το μάρτυρα κατά την διάρκεια του τρίτου πειράματος 16/09/2004 (100%=6.999.780cfu/ml).

**Πίνακας 8.19:** Ποσοστά μείωσης της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (37°C) στο δείγμα σε σχέση με την Δόση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του τρίτου πειράματος 16/09/2004 (0%=6.999.780cfu/ml, 100%=0cfu/ml).

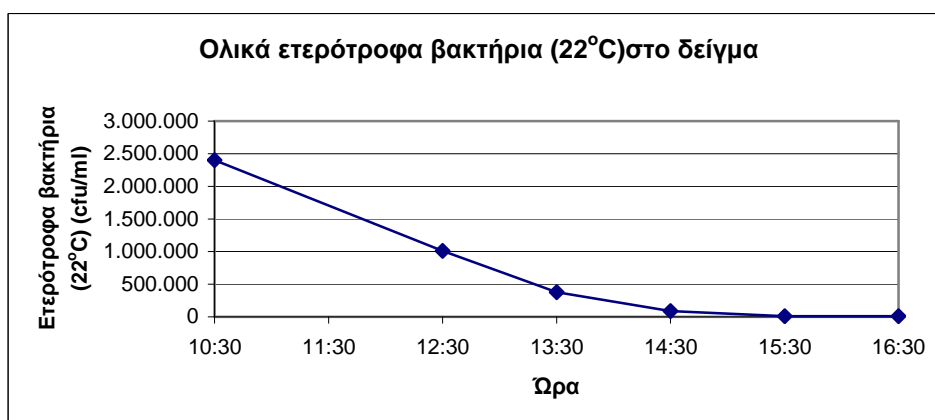
Ώρα	Ποσοστό μείωσης των Ετερότροφων βακτηρίων (37°C) στο δείγμα (%)	Δόση Ηλιακής Ακτινοβολίας (W*sec/m <sup>2</sup> )
10:30	0	0
13:30	62,72	8.778.600
14:30	95,63	11.748.600
15:30	99,67	13.906.800
16:30	99,72	15.366.600



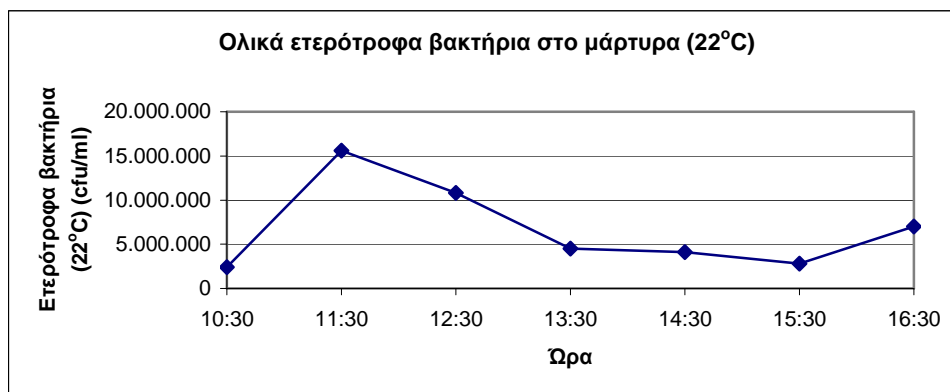
**Διάγραμμα 8.19:** Ποσοστά μείωσης της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (37°C) στο δείγμα σε σχέση με την Δόση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του τρίτου πειράματος 16/09/2004 (0%=6.999.780cfu/ml και 100%=0 cfu/ml)

**Πίνακας 8.20:** Μεταβολή της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων στο δείγμα και στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του τρίτου πειράματος 16/09/2004.

Ωρα	Ετερότροφα βακτήρια (22°C) στο δείγμα (cfu/ml)	Ωρα	Ετερότροφα βακτήρια (22°C) στο μάρτυρα (cfu/ml)
10:30	2.399.932	10:30	2.399.932
12:30	1.009.932	11:30	15.599.932
13:30	379.932	12:30	10.799.932
14:30	87.932	13:30	4.499.932
15:30	10.232	14:30	4.099.932
16:30	10.032	15:30	2.799.932
		16:30	6.999.932



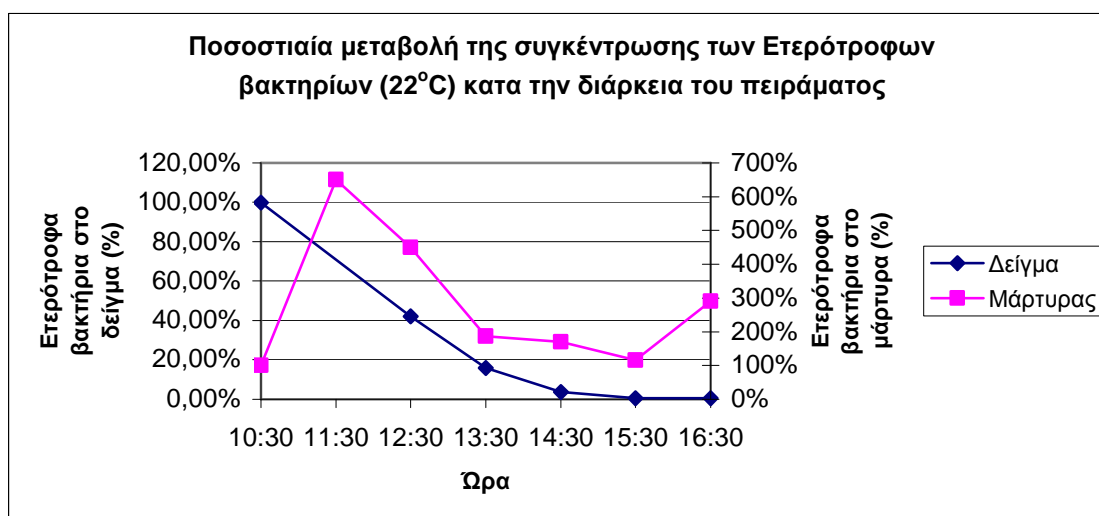
**Διάγραμμα 8.20(α):** Μεταβολή της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων στο δείγμα κατά την διάρκεια του τρίτου πειράματος (καλλιέργεια στους 22°C) 16/09/2004.



**Διάγραμμα 8.20(β):** Μεταβολή της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του τρίτου πειράματος (καλλιέργεια στους 22°C) 16/09/2004 .

**Πίνακας 8.21:** Ποσοστιαία μεταβολής της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (22°C) στο δείγμα και στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του τρίτου πειράματος 16/09/2004 (100%=2.399.932 cfu/ml).

Ωρα	Ετερότροφα βακτήρια (22°C) στο δείγμα (%)	Ωρα	Ετερότροφα βακτήρια (22°C) στο μάρτυρα (%)
10:30	100,00	10:30	100
12:30	42,08	11:30	650
13:30	15,83	12:30	450
14:30	3,66	13:30	187
15:30	0,43	14:30	170
16:30	0,42	15:30	116
		16:30	291

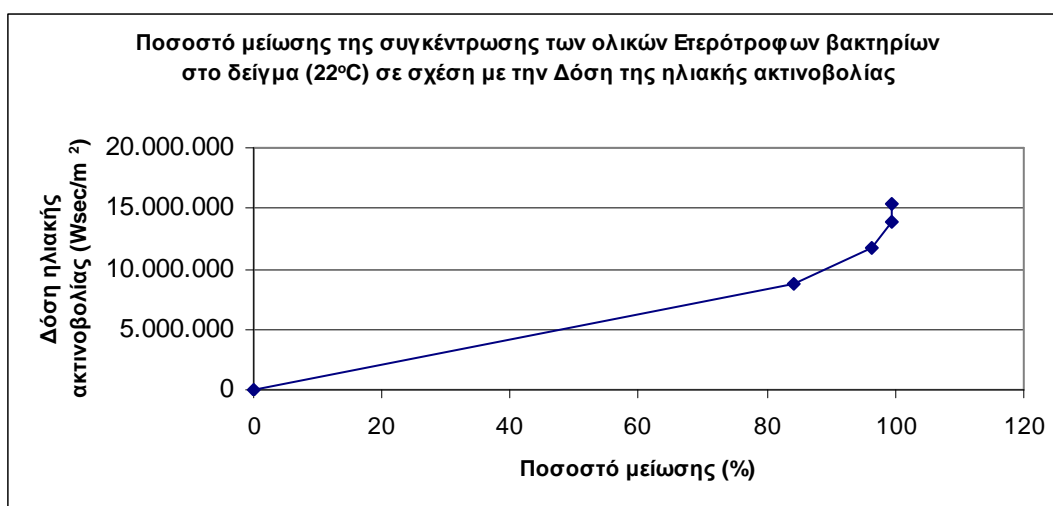


**Διάγραμμα 8.21:** Ποσοστιαία μεταβολής της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (22°C) στο δείγμα και το μάρτυρα κατά την διάρκεια του τρίτου πειράματος 16/09/2004 (100%=2.399.932).



**Πίνακας 8.22:** Ποσοστά μείωσης της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (22°C) στο δείγμα σε σχέση με την Δόση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του τρίτου πειράματος (100%=0cfu/ml και 0%=2.399.932 cfu/ml).

Ώρα	Ποσοστό μείωσης των Ετερότροφων βακτηρίων (22°C) στο δείγμα (%)	Δόση Ηλιακής Ακτινοβολίας (W*sec/m <sup>2</sup> )
10:30	0	0
13:30	84,17	8.778.600
14:30	96,34	11.748.600
15:30	99,57	13.906.800
16:30	99,58	15.366.600

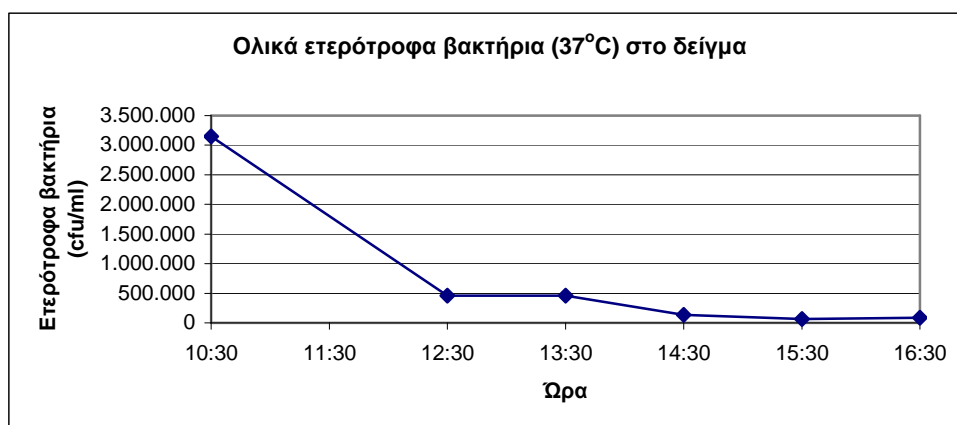


**Διάγραμμα 8.22:** Ποσοστά μείωσης της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων στο δείγμα σε σχέση με την Δόση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του τρίτου πειράματος (καλλιέργεια στους 22°C) 16/09/2004 (100%=0cfu/ml και 0%=2.399.932 cfu/ml).

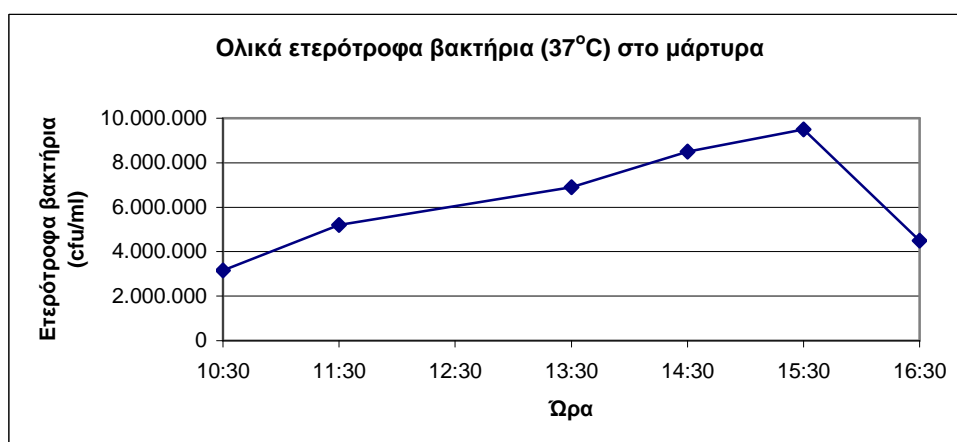
**8.2.4. Αποτελέσματα από την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στη μεταβολή της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων που καλλιεργήθηκαν στους 22°C και 37°C κατά το τέταρτο πείραμα που πραγματοποιήθηκε στις 23/09/2004.**

**Πίνακας 8.23:** Μεταβολή της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (37°C) στο δείγμα και στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του τέταρτου πειράματος 23/09/2004.

Ωρα	Ετερότροφα βακτήρια (37°C) στο δείγμα (cfu/ml)	Ωρα	Ετερότροφα βακτήρια (37°C) στο μάρτυρα (cfu/ml)
10:30	3.149.993	10:30	3.149.993
12:30	459.993	11:30	5.199.993
13:30	459.993	13:30	6.899.993
14:30	132.993	14:30	8.499.993
15:30	62.593	15:30	9.499.993
16:30	85.993	16:30	4.499.993



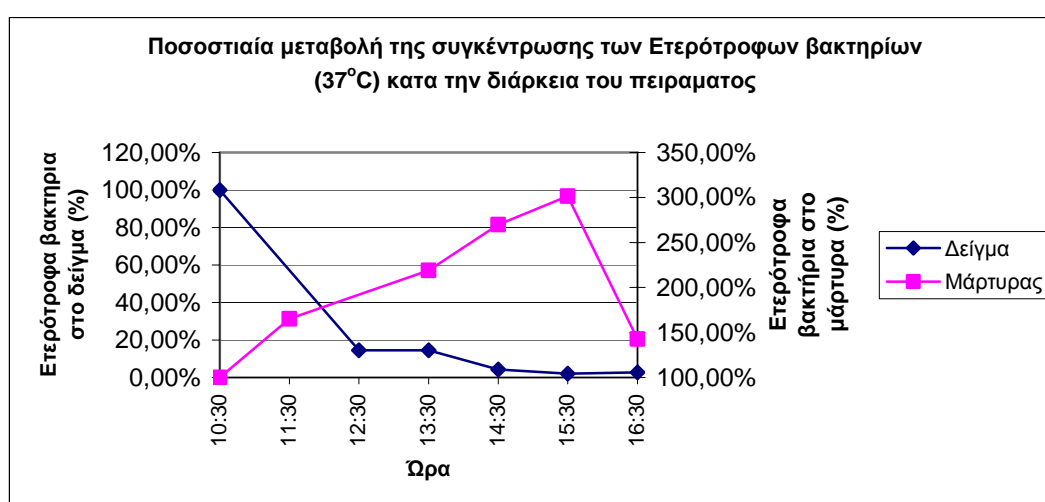
**Διάγραμμα 8.23(α):** Μεταβολή της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (37°C) στο δείγμα κατά την διάρκεια του τέταρτου πειράματος 23/09/2004.



**Διάγραμμα 8.23(β):** Μεταβολή της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (37°C) στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του τέταρτου πειράματος 23/09/2004.

**Πίνακας 8.24:** Ποσοστιαία μεταβολή της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (37°C) στο δείγμα και στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του τέταρτου πειράματος 23/09/2004 (100%= 3.149.993 cfu/ml).

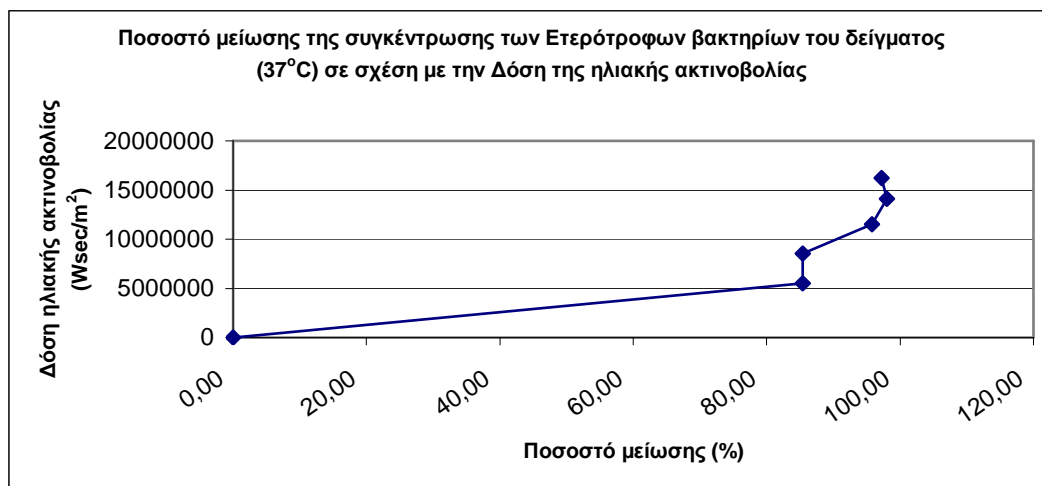
Ετερότροφα βακτήρια (37°C) στο δείγμα (%)	Ετερότροφα βακτήρια (37°C) στο μάρτυρα (%)	Ωρα
100,00	100,00	10:30
219,04	14,60	13:30
269,84	4,22	14:30
301,58	1,98	15:30
142,85	2,73	16:30



**Διάγραμμα 8.24:** Ποσοστιαία μεταβολής της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (37°C) στο δείγμα και στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του τέταρτου πειράματος 23/09/2004 (100%= 3.149.993 cfu/ml).

**Πίνακας 8.25:** Ποσοστά μείωσης της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (37°C) στο δείγμα σε σχέση με την Δόση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του τέταρτου πειράματος 23/09/2004 (100%=0cfu/ml και 0%= 3.149.993 cfu/ml).

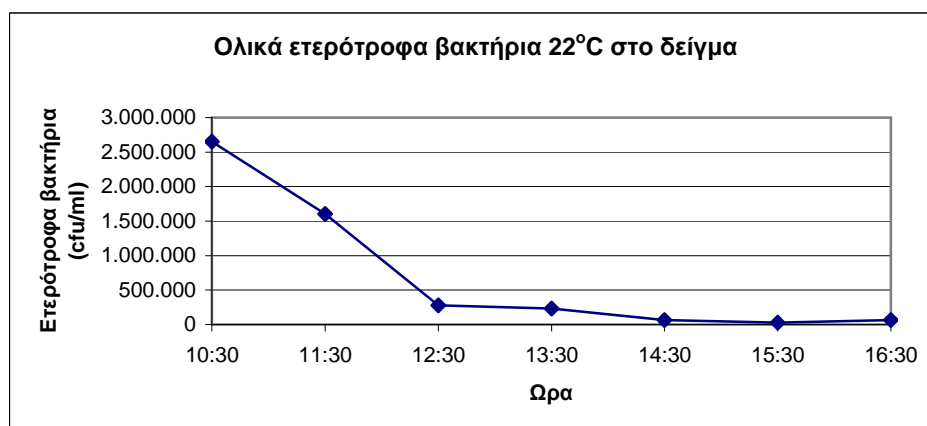
Ωρα	Ποσοστό μείωσης των Ετερότροφων βακτηρίων (37°C) στο δείγμα (%)	Δόση Ηλιακής Ακτινοβολίας (W*sec/m <sup>2</sup> )
10:30	0	0
12:30	85,4	5.493.600
13:30	85,4	8.550.000
14:30	95,78	11.487.600
15:30	98,02	14.081.400
16:30	97,27	16.230.600



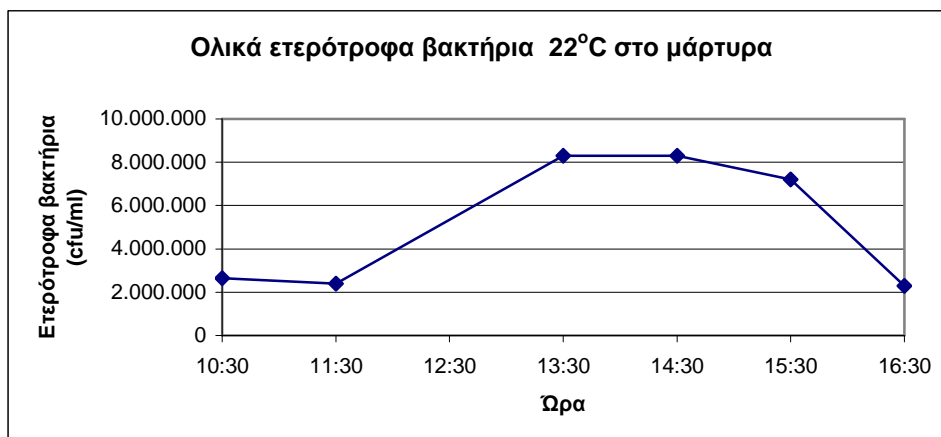
**Διάγραμμα 8.25:** Ποσοστά μείωσης της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (37°C) στο δείγμα σε σχέση με την Δόση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του τέταρτου πειράματος 23/09/2004 (100%=0cfu/ml και 0%=3.149.993 cfu/ml).

**Πίνακας 8.26:** Μεταβολή της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (22°C) στο δείγμα και στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του τέταρτου πειράματος 23/09/2004

Ωρα	Ετερότροφα βακτήρια (22°C) στο δείγμα (cfu/ml)	Ωρα	Ετερότροφα βακτήρια (22°C) στο μάρτυρα (cfu/ml)
10:30	2.650.000	10:30	2.650.000
11:30	1.600.000	11:30	2.400.000
12:30	280.000	13:30	8.300.000
13:30	230.000	14:30	8.300.000
14:30	67.000	15:30	7.200.000
15:30	29.200	16:30	2.300.000
16:30	65.600		



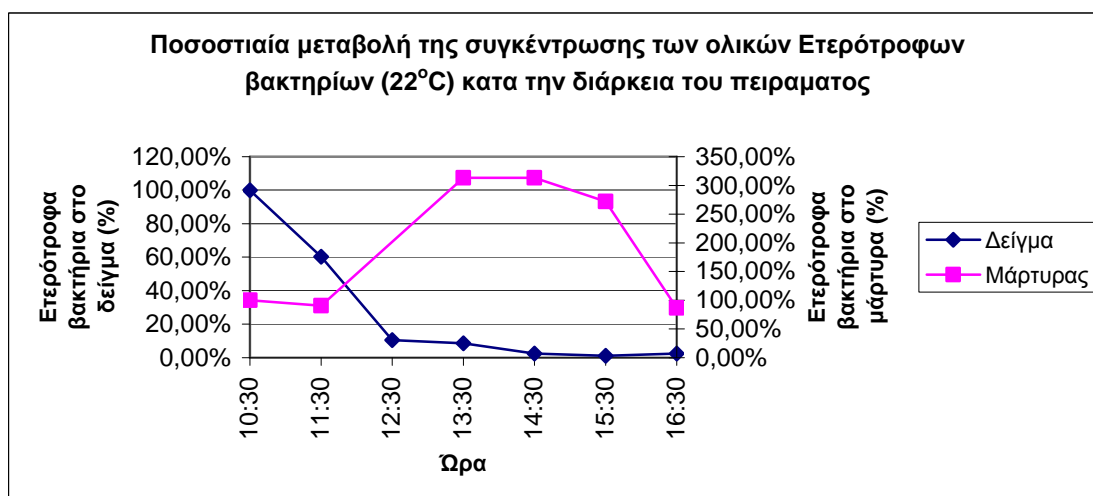
**Διάγραμμα 8.26(α):** Μεταβολή της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (22°C) στο δείγμα κατά την διάρκεια του τέταρτου πειράματος 23/09/2004.



**Διάγραμμα 8.26(β):** Μεταβολή της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (22°C) στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του τέταρτου πειράματος 23/09/2004.

**Πίνακας 8.27:** Ποσοστιαία μεταβολή της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (22°C) στο δείγμα και στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του τέταρτου πειράματος 23/09/2004 (100%=2.650.000cfu/ml).

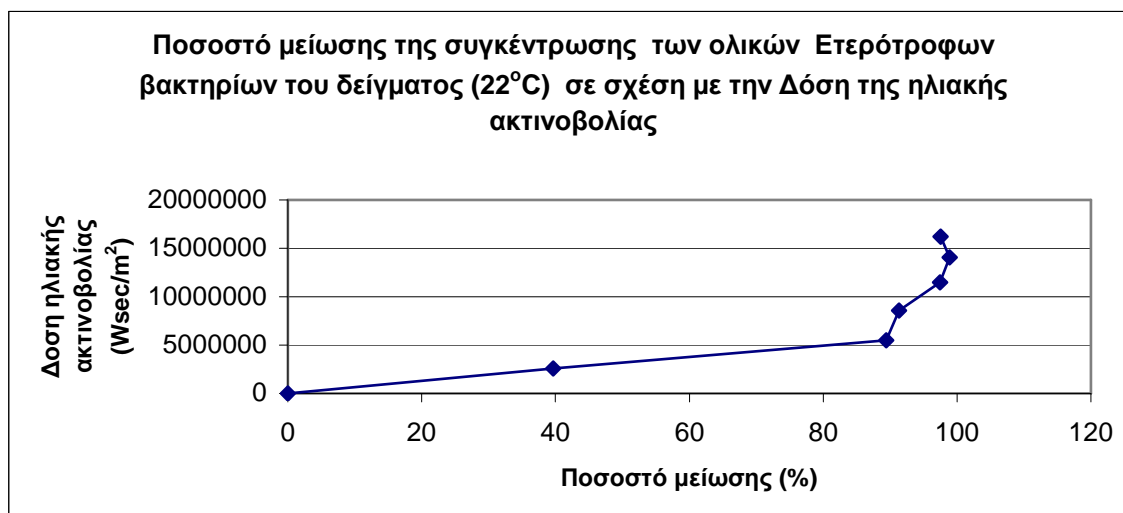
Ωρα	Ετερότροφα βακτήρια (22°C) στο δείγμα (%)	Ωρα	Ετερότροφα βακτήρια (22°C) στο μάρτυρα (%)
10:30	100,00	10:30	100,00
11:30	60,37	11:30	90,56
12:30	10,56	13:30	313,20
13:30	8,68	14:30	313,20
14:30	2,53	15:30	271,70
15:30	1,10	16:30	86,79
16:30	2,47		



**Διάγραμμα 8.27:** Ποσοστιαία μεταβολή της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (22°C) στο δείγμα και στο μάρτυρα κατά την διάρκεια του τέταρτου πειράματος 23/09/2004 (100%=2.650.000cfu/ml).

**Πίνακας 8.28:** Ποσοστά μείωσης της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (22°C) στο δείγμα σε σχέση με την Δόση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του τέταρτου πειράματος 23/09/2004 (100%=0cfu/ml, 0%=2.650.000cfu/ml).

Ώρα	Ποσοστό μείωσης των Ετερότροφων βακτηρίων (22°C) στο δείγμα (%)	Δόση Ηλιακής Ακτινοβολίας (W*sec/m <sup>2</sup> )
10:30	0	0
11:30	39,63	2.579.400
12:30	89,44	5.493.600
13:30	91,32	8.550.000
14:30	97,47	11.487.600
15:30	98,9	14.081.400
16:30	97,53	16.230.600



**Διάγραμμα 8.28:** Ποσοστά μείωσης της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (22°C) στο δείγμα σε σχέση με την Δόση της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του τέταρτου πειράματος 23/09/2004 (100%=0cfu/ml, 0%=2.650.000 cfu/ml).

## 8.2.5 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

### Ηλιακή ακτινοβολία

Παρατηρώντας συνολικά τις τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας που έχουμε σε κάθε πείραμα (Διαγράμματα 8.1, 8.2, 8.3, 8.4) βλέπουμε ότι αυξάνεται σταδιακά από τις 10:30 το πρωί μέχρι το μεσημέρι όπου στη 13:00 παίρνει την μέγιστη της τιμή και στη συνέχεια μειώνεται σταδιακά μέχρι το απόγευμα. Οι μεγαλύτερες τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας εμφανίζονται στα δύο πρώτα πειράματα, κατά τον μήνα Ιούλιο και κυρίως στο πρώτο πείραμα στις 22/07/04. Οι τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τον μήνα Σεπτέμβριο στο τρίτο και το τέταρτο πείραμα ήταν χαμηλότερες.

Γενικά η ηλιακή ακτινοβολία κατά την διάρκεια των τεσσάρων πειραμάτων κυμάνθηκε από την ελάχιστη τιμή  $395 \text{ W/m}^2$  έως τη μέγιστη τιμή  $1033 \text{ W/m}^2$ .

Αναλυτικότερα βλέπουμε ότι η ηλιακή ακτινοβολία κυμάνθηκε στο πρώτο πείραμα από την ελάχιστη τιμή  $722 \text{ W/m}^2$  στις 10:30 μέχρι την τιμή  $1033 \text{ W/m}^2$  στις 13:30.

Στο δεύτερο πείραμα η ηλιακή ακτινοβολία κυμάνθηκε από την ελάχιστη τιμή  $708 \text{ W/m}^2$  στις 10:30 μέχρι την μέγιστη τιμή  $1015 \text{ W/m}^2$  στη 13:30.

Στο τρίτο πείραμα η ηλιακή ακτινοβολία κυμάνθηκε από την ελάχιστη τιμή  $395 \text{ W/m}^2$  στις 16:30 ( $646-395$ )  $\text{W/m}^2$  έως τη μέγιστη τιμή  $872 \text{ W/m}^2$  στις 12:30.

Ενώ στο τέταρτο πείραμα η ηλιακή ακτινοβολία κυμάνθηκε από την ελάχιστη τιμή  $528 \text{ W/m}^2$  στις 16:30 έως τη μέγιστη τιμή  $857 \text{ W/m}^2$  στις 13:30.

### Θερμοκρασία δείγματος μέσα στη φιάλη

Όπως φαίνεται από τα Διαγράμματα 8.1, 8.2, 8.3, 8.4 και τους αντίστοιχους Πίνακες 8.1, 8.2, 8.3, 8.4 κατά την διάρκεια όλων των πειραμάτων η θερμοκρασία του δείγματος κυμάνθηκε από  $26^\circ \text{C}$  έως  $49,5^\circ \text{C}$  και έχει την τάση να αυξάνεται μέχρι τις 14:30 όπου αποκτά την μέγιστή της τιμή και στη συνέχεια μειώνεται με αργούς ρυθμούς.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία κατά το πρώτο πείραμα κυμάνθηκε από  $28,5^\circ \text{C}$  έως  $49,5^\circ \text{C}$  με μέγιστη τιμή  $49,5^\circ \text{C}$  στις 15:30 και ελάχιστη  $28,5^\circ \text{C}$  στις 10:30.

Στο δεύτερο πείραμα η θερμοκρασία είχε τιμές από  $28^\circ \text{C}$  -  $49,5^\circ \text{C}$  με μέγιστη τιμή  $49,5^\circ \text{C}$  στις 14:30 και ελάχιστη  $28^\circ \text{C}$  στις 10:30. Κατά το πρώτο και το δεύτερο πείραμα η θερμοκρασία παρέμεινε υψηλότερη από  $44^\circ \text{C}$  για 4 ώρες.

Στο τρίτο πείραμα η θερμοκρασία κυμάνθηκε μεταξύ της μέγιστης τιμής  $48,5^\circ \text{C}$  στις 14:30 και της ελάχιστης τιμής  $29,5^\circ \text{C}$  στις 10:30. Συνολικά η θερμοκρασία ήταν για περίπου 2 ώρες υψηλότερη από  $44^\circ \text{C}$ .

Τέλος στο τέταρτο πείραμα η διακύμανση της θερμοκρασίας ήταν από την ελάχιστη τιμή  $26^\circ \text{C}$  στις 10:30 έως τη μέγιστη τιμή  $41^\circ \text{C}$  στις 14:30. Σε αυτό το πείραμα η θερμοκρασία ξεπέρασε τους  $40^\circ \text{C}$ .

## **Θερμοκρασία Περιβάλλοντος στη σκιά**

Από τις μετρήσεις των πινάκων και τη μορφή των γραφημάτων παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία στη σκιά και στα τέσσερα πειράματα ήταν σχεδόν σταθερή με μικρές μεταβολές και κυμάνθηκε από 28° C έως 21° C.

Συγκεκριμένα στο πρώτο πείραμα η μέγιστη τιμή ήταν 31° C στις 12:30 και η ελάχιστη 29° C στις 10:30.

Στο δεύτερο πείραμα κυμάνθηκε μεταξύ (30,5-32)° C. Ειδικότερα η θερμοκρασία ήταν σχεδόν σταθερή στους 30,5° C και παρουσίασε μία αύξηση στους 32° C από τις 12:30 μέχρι τις 14:30.

Επίσης στο τρίτο πείραμα η θερμοκρασία στη σκιά ήταν σχεδόν σταθερή στους 28° C με μέγιστη τιμή 29,5° C στις 10:30, ενώ στο τέταρτο πείραμα παρατηρήθηκε να είναι σταθερή στους 29° C με μέγιστη τιμή 31° C στη 13:30.

## **Δόση ηλιακής ακτινοβολίας**

Παρατηρώντας τους Πίνακες 8.1-8.4 διακρίνουμε ότι κατά τον μήνα Ιούλιο η δόση της ηλιακής ακτινοβολίας κυμάνθηκε από 2.899.800 W\*sec/m<sup>2</sup> η ελάχιστη μέχρι 20.485.800 W\*sec/m<sup>2</sup> η μέγιστη. Αντίστοιχα κατά τον μήνα Σεπτέμβριο κυμάνθηκε από 2.579.400 W\*sec/m<sup>2</sup> η ελάχιστη μέχρι 16.230.600 W\*sec/m<sup>2</sup> η μέγιστη.

## **Θολερότητα**

Η τιμή της θολερότητας του δείγματος σε όλες τις περιπτώσεις ήταν μικρότερη από 20 NTU. Η συγκεκριμένη τιμή είναι πολύ μικρή (υγρό μικρής θολότητας) και ικανοποιεί τις συνθήκες για την σωστή εφαρμογή της διαδικασίας SODIS.

## **Αγωγιμότητα**

Η αγωγιμότητα του επεξεργασμένου δείγματος κυμάνθηκε μεταξύ 628 μS/cm έως 809 μS/cm .

## **pH**

Η τιμή του pH στα δείγματα των δευτεροβάθμια επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων που χρησιμοποιήθηκαν (βλέπε τιμές μάρτυρα) ήταν ουδέτερη έως ελαφρά αλκαλική και κυμάνθηκε από 7,19 έως 7,97. Αντίστοιχα η τιμή του pH στα δείγματα που πραγματοποιήθηκε η ηλιακή επεξεργασία ήταν στις περισσότερες περιπτώσεις ελαφρά αυξημένη κατά 0,3 μονάδες pH.



**Πίνακας 8.29:** Μετρήσεις του pH του δείγματος και του μάρτυρα σε κάθε πείραμα

Πείραμα	pH (Δείγματος)	pH (Μάρτυρα)
22/07/2004	7,97	7,65
29/07/2004	7,62	7,33
16/09/2004	7,23	7,23
23/09/2004	7,42	7,19

### **Κοπρανώδεις Εντερόκοκκοι (*Enterococcus*)**

Κατά το πρώτο πείραμα 22/07/2004, από τον Πίνακα 8.5 καθώς και από τα Διαγράμματα 8.5(α) και 8.5(β) παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση των κοπρανώδων εντερόκοκκων στο δείγμα μειώνεται από 20.000cfu/100ml στα 10 cfu/100ml δηλαδή έχουμε ένα ποσοστό μείωσης 99,95% (Πίνακα και το Διάγραμμα 8.6). Αντίθετα η συγκέντρωση στο μάρτυρα αυξάνεται από 20.000cfu/100ml στις 170.000cfu/100ml δηλαδή έχουμε ποσοστιαία αύξηση 750% (Πίνακα και το Διάγραμμα 8.7).

Κατά το δεύτερο πείραμα 29/07/2004, από τον Πίνακα 8.8 καθώς και τα Διαγράμματα 8.8(α) και 8.8(β) βλέπουμε ότι η συγκέντρωση των κοπρανώδων εντερόκοκκων στο δείγμα μειώνεται από 110.000 cfu/100ml στα 10 cfu/100ml δηλαδή έχουμε ένα ποσοστό μείωσης 99,99% (Πίνακα 8.9 και το Διάγραμμα 8.9). Η συγκέντρωση στο μάρτυρα (Διάγραμμα 8.8(β)και 8.9) παραμένει σχεδόν σταθερή στις 110.000 cfu/ml.

### **Θερμοανθεκτικά κοπρανώδη κολοβακτήρια (*Faecal coliforms*)**

Στο δεύτερο πείραμα 29/07/2004, (Πίνακες 8.11 και 8.12 και από τα Διαγράμματα 8.11(α) και 8.12), παρατηρείται μείωση της συγκέντρωσης των *faecal coliforms* από 90.000 cfu/100ml στα 0 cfu/100ml δηλαδή έχουμε 100% εξαφάνιση των κοπρανωδών κολοβακτηρίων.

Αντίθετα η συγκέντρωσή τους στο μάρτυρα (Διαγράμματα 8.11(α), 8.11(β), 8.12) αυξάνεται από 90.000 cfu/100ml στα 640.000 cfu/100ml. Έχουμε μία ποσοστιαία αύξηση των *faecal coliforms* στο μάρτυρα 611%.

### **Ολικά κολοβακτήρια (*Total coliforms*)**

Στο δεύτερο πείραμα 29/07/2004 (Πίνακες 8.14 και 8.15 και από τα Διαγράμματα 8.14(α) και 8.15) η συγκέντρωση των *total coliforms* στο δείγμα μειώνεται από 70.000 cfu/100ml στις 0 cfu/100ml δηλαδή έχουμε 100% εξαφάνιση των ολικών κολοβακτηρίων.

Αντίθετα στο μάρτυρα παρατηρείται μία αύξηση της συγκέντρωσης από 70.000 cfu/100ml στις 1.350.000 cfu/100ml (Διάγραμμα 8.14(β)) δηλαδή έχουμε πολύ μεγάλη ποσοστιαία αύξηση της τάξης του 1.828%.

### **Ολικά Ετερότροφα Βακτήρια καλλιεργήσιμα στους 37° C**

Στο τρίτο πείραμα στις 16/09/2004 (Πίνακες 8.17 και 8.18 καθώς και από τα Διαγράμματα 8.17(α), 8.17(β) και 8.18) παρατηρούμε στο δείγμα μία μείωση της συγκέντρωσης των Ολικών Ετερότροφων βακτηρίων (37° C) από 6.999.780 cfu/ml στα 19.780 cfu/ml δηλαδή μειώνονται σε ποσοστό 99,72% ενώ στο μάρτυρα η συγκέντρωσή τους αυξάνει από 6.999.780 cfu/ml στα 35.899.780 cfu/ml δηλαδή έχουμε ποσοστό αύξησης 412%. Ο μάρτυρας του πειράματος (Phosphate buffer) είχε μηδενικό μικροβιακό φορτίο.

Στο τέταρτο πείραμα 23/09/2004 (Πίνακες 8.23 και 8.24 καθώς και από τα Διαγράμματα 8.23(α), 8.23(β) και 8.24) παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση των Ολικών ετερότροφών βακτηρίων στο δείγμα μειώνεται από 3.149.993 cfu/ml στα 85.993 cfu/ml δηλαδή έχουμε ποσοστό μείωσης 97,27%.

Αντίθετα στο μάρτυρα η συγκέντρωση των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (37° C) αυξάνει από 3.149.993 cfu/ml σε 4.499.993 cfu/ml οπότε έχουμε μία ποσοστιαία αύξηση 42,85%.

### **Ολικά Ετερότροφα Βακτήρια καλλιεργήσιμα στους 22 °C**

Κατά το τρίτο πείραμα στις 16/09/2004 (Πίνακες 8.20 και 8.21 και τα Διαγράμματα 8.20(α), 8.20(β) και 8.21) βλέπουμε ότι η συγκέντρωση των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (22° C) στο δείγμα μειώνεται σε ποσοστό 99,58%. Ειδικότερα από 2.399.932 cfu/ml που είχαμε αρχικά μετά από 6 ώρες ηλιακής απολύμανσης έφτασαν στα 10.032 cfu/ml.

Αντίθετα στο μάρτυρα η συγκέντρωσή τους αυξάνεται από 2.399.932 cfu/ml σε 6.999.932 cfu/ml δηλαδή έχουμε ποσοστό αύξησης 191%.

Κατά το τέταρτο πείραμα 23/09/2004 (Πίνακες 8.26 και 8.27 καθώς και από τα Διαγράμματα 8.26(α), 8.26(β) και 8.27) παρατηρούμε στο δείγμα μία μείωση της συγκέντρωσης των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων (22° C) από 2.650.000 cfu/ml στα 65.600 cfu/ml δηλαδή μειώνονται σε ποσοστό 97,53%.

Στο συγκεκριμένο πείραμα παρατηρούμε στο μάρτυρα μετά από μία αρχική αύξηση κατά 600% μία μείωση της συγκέντρωσής τους μέχρι περίπου την αρχική τους τιμή 2.799.932 cfu/ml (ποσοστό 116%) με αυξητική τάση στη συνέχεια.

## **BOD (Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο)**

Το αρχικό βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο της πέμπτης ημέρας ( $BOD_5$ ) πριν την ηλιακή επεξεργασία ήταν  $23 \text{ mg/L } BOD_5(\text{Δείγματος}+\text{Μάρτυρα}) = 23\text{mg/L}$ . Μετά την δωρη ηλιακή επεξεργασία και την ήπια μείωση της θερμοκρασίας του δείγματος στη θερμοκρασία περιβάλλοντος η μέτρηση του  $BOD_5$  δεν έδειξε κάποια σημαντική διαφορά  $BOD_5(\text{Δείγματος}) = 25\text{mg/L}$ . Αντίθετα το BOD της εικοστής ημέρας είχε σημαντικές διαφορές ανάμεσα στο μάρτυρα και το δείγμα.  $BOD_{20}(\text{Μάρτυρα}) = 34\text{mg/L}$  και  $BOD_{20}(\text{Δείγματος}) = 18\text{mg/L}$ .

### 8.2.6 Οπτική απεικόνιση των αποτελεσμάτων

Παρακάτω ακολουθούν φωτογραφίες από τα τρυβλία με τα θρεπτικά υποστρώματα. Στην επιφάνεια τους διακρίνεται η ανάπτυξη των μικροοργανισμών σε αποικίες. Στην φωτογραφία 8.1 φαίνεται η ύπαρξη ολικών και κοπρανώδων κολοβακτηρίων στην ανάπτυξη αποικιών κίτρινου χρώματος, ενώ η ύπαρξη εντεροκόκκων στην ανάπτυξη αποικιών σκούρου κόκκινου χρώματος.

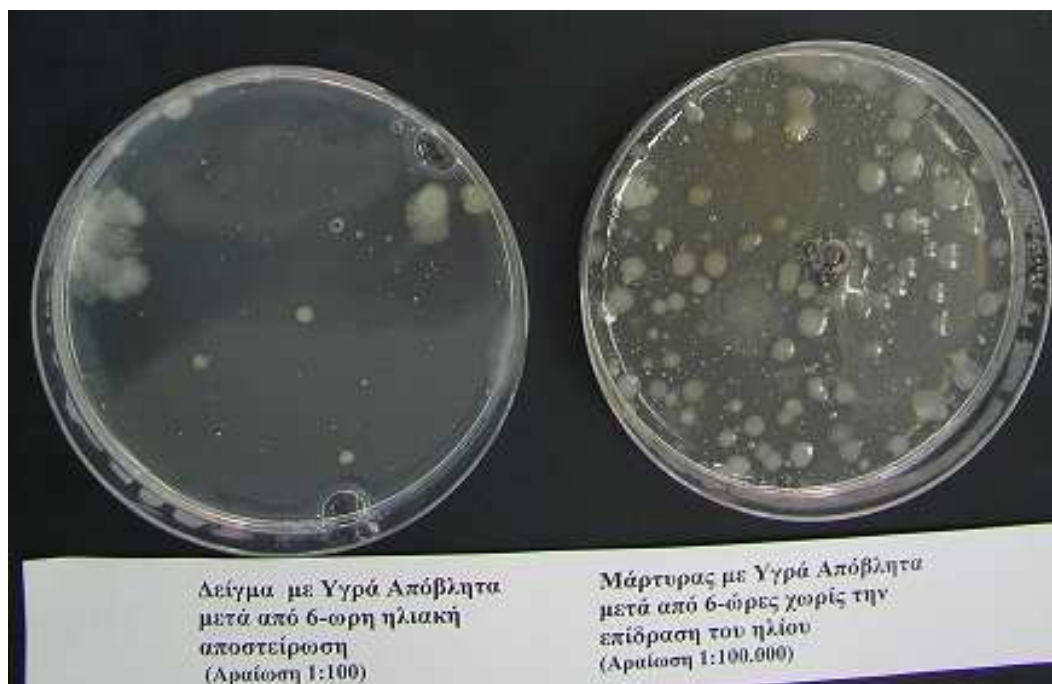
Στην φωτογραφία 8.1. διακρίνεται η μείωση των παθογόνων βακτηρίων μετά από την 6-ωρη ηλιακή απολύμανση. Παρόλα αυτά παρατηρείται η μερική αύξηση μη προσδιορίσιμων με αυτή τη μέθοδο βακτηρίων που δεν ανήκουν στα εντεροβακτήρια (βλέπε ολικά κολοβακτήρια μετά την 6-ωρη ηλιακή απολύμανση).

Ανάλογα οι φωτογραφίες 8.2 και 8.3 δείχνουν την μείωση των καλλιεργήσιμων στους 37° C και 22° C ολικών ετερότροφων βακτηρίων μετά την 6-ωρη ηλιακή επεξεργασία. Σε αυτήν την περίπτωση καταμετρήθηκε ο συνολικός αριθμός των αποικιών που αναπτύχθηκε ανεξάρτητα χρώματος.

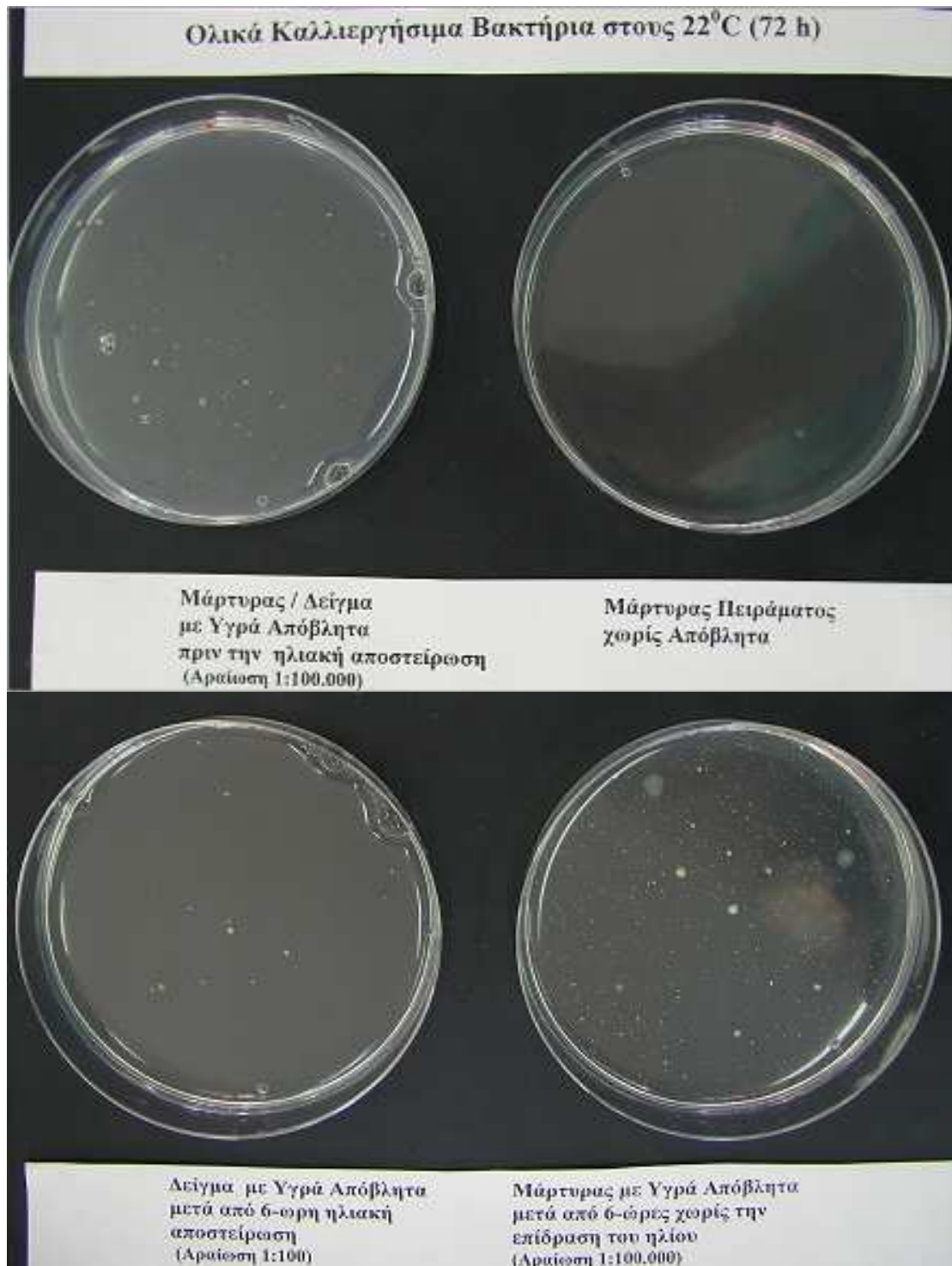
**Φωτογραφία 8.1** από το Πείραμα στις 29/07/2004



**Φωτογραφία 8.2** από τα Πειράματα στις 16/09/2004 και 23/09/2004 για την ανίχνευση των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων στους 37° C για 48h.



**Φωτογραφία 8.3** από τα Πειράματα στις 16/09/2004 και 23/09/2004 για την ανίχνευση των Ολικών ετερότροφων βακτηρίων στους 22° C για 72h.



## Κεφάλαιο 9

### Συμπεράσματα

Από τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας συμπεραίνουμε ότι το πείραμα της ηλιακής απολύμανσης πέτυχε για τα δευτερογενώς επεξεργασμένα υγρά απόβλητα της ΕΕΑΑ του Δήμου Χανίων. Αυτό αιτιολογείται από τα παρακάτω.

Αναλυτικότερα από τα γραφήματα 8.5-8.28 για την μεταβολή της συγκέντρωσης των μικροοργανισμών που περιέχονται στο δείγμα παρατηρούμε ότι οι συγκεντρώσεις τους μειώνονται κατά την διάρκεια της ηλιακής απολύμανσης σε μεγάλο βαθμό. Η ποσοστιαία μείωση αυξάνεται από 97,23% -99,58% για τα ολικά ετερότροφα βακτήρια (22° C και 37° C) μέχρι και 99,95%-100% για τους εντερόκοκκους (*enterococci*), τα ολικά κοπρανώδη (*total coliforms*) και τα θερμοανθεκτικά κοπρανώδη (*faecal coliforms*) αντίστοιχα.

Όπως προαναφέρθηκε τα ποσοστά αδρανοποίησης των ολικών ετερότροφων βακτηρίων στο τρίτο πείραμα (99,72% στους 37° C για 48h και 99,58% σε 22° C για 72h) είναι μεγαλύτερα από αυτά στο τέταρτο (97,27% στους 37° C για 48h και 97,53% στους 22° C για 72h) παρόλο που η δόση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι περίπου στα ίδια επίπεδα. Αυτό πιθανόν να οφείλονται στο γεγονός ότι στο τρίτο πείραμα ήταν ισχυρότερη η θερμική επεξεργασία (μεγαλύτερη θερμοκρασία δείγματος μέγιστη 48,5° C) από ότι στο τέταρτο (μέγιστη τιμή 41° C). Αυτό το αποτέλεσμα επιβεβαιώνει τα βιβλιογραφικά στοιχεία (βλέπε τέταρτο κεφαλαίο) ότι η επίδραση της θερμοκρασίας επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα από ότι η αυξημένη ηλιακή ακτινοβολία και η μικρή θερμοκρασία [14].

Οι τελικές συγκεντρώσεις των εξεταζόμενων παθογόνων μικροοργανισμών (*total coliforms*, *faecal coliforms* και *enterococci*) ήταν πολύ χαμηλότερες από τις επιθυμητές οριακές τιμές που ορίζει η ισχύουσα νομοθεσία για το θαλασσινό νερό (Πίνακες 3.1, 3.2 και 3.3). Τα ολικά και κοπρανώδη κολοβακτήρια είχαν τελική συγκέντρωση 0 cfu/100ml.

Αντίθετα παρατηρώντας τους πίνακες 8.5 και 8.8 για τους εντερόκοκκους βγάζουμε το συμπέρασμα ότι ανεξάρτητα από την αρχική συγκέντρωση του δείγματος (20.000 cfu/100ml είτε 110.000 cfu/100ml) η τελική συγκέντρωση μετά από την εξάωρη ηλιακή απολύμανση ήταν 10 cfu/100ml. Αυτή η συγκέντρωση είναι χαμηλότερη από την επιθυμητή οριακή συγκέντρωση εντερόκοκκων για τα νερά κολύμβησης (Πίνακας 3.1)

Η συγκέντρωση των ολικών ετερότροφων βακτηρίων που ήταν αλλόχθονα (επώαση στους 37° C και για 48h) μετά την ηλιακή απολύμανση κυμαινόταν από 10.032 cfu/ml - 19.780 cfu/ml, ενώ η συγκέντρωση των αυτόχθονων ολικών ετερότροφων βακτηρίων (επώαση στους 22° C και για 72h) κυμαινόταν από 85.993 cfu/ml -65.600 cfu/ml. Λόγω του ότι δεν υπάρχει νομοθετικό πλαίσιο για την ύπαρξη τόσο των αλλόχθονων όσο και των αυτόχθονων ολικών ετερότροφων βακτηρίων στα νερά κολύμβησης μπορούμε να συγκρίνουμε μόνο με το ΦΕΚ892 (11/06/2001) για το πόσιμο νερό. Σε αυτή την περίπτωση οι μετρηθείσες συγκεντρώσεις υπερβαίνουν κατά 2.644 (37° C) και 378 (22° C) φορές αντίστοιχα την ανώτατη οριακή τιμή των 20 cfu/ml (37° C) και 100 cfu/ml (22° C) του πόσιμου νερού [29].

Γενικά από τα Διαγράμματα (8.7, 8.10, 8.13, 8.16, 8.19, 8.22, 8.25, 8.28) που παρουσιάζουν το ποσοστό μείωσης της συγκέντρωσης των εξεταζόμενων μικροοργανισμών σε συνάρτηση με την δόση της ηλιακής ακτινοβολίας καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι όσο αυξάνει η δόση της ηλιακής ακτινοβολίας τόσο μειώνεται η συγκέντρωση των βακτηρίων στο δείγμα.



Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα από τα πειράματα με τους παθογόνους μικροοργανισμούς (TC, FC, Enterococcus)(Διαγράμματα 8.7, 8.10, 8.13 και 8.16) παρατηρούμε ότι για ηλιακή δόση >14.000.000 W\*sec/m<sup>2</sup> για διάρκεια 2 ωρών έχουμε μία 100% μείωση των TC και FC, ενώ αντίθετα οι εντερόκοκκοι αποδεικνύονται ακόμη πιο ανθεκτικοί διατηρώντας ένα υπολειμματικό ενεργό μικροβιακό φορτίο ίσο με 10cfu/100ml.

Παρατηρώντας τη μορφή των γραφικών παραστάσεων για την μεταβολή της συγκέντρωσης του μάρτυρα κατά την διάρκεια του πειράματος βλέπουμε ότι αρχικά αυξάνει με έντονο ρυθμό (αποκτά μία μέγιστη τιμή), στη συνέχεια μειώνεται με πιο αργούς ρυθμούς και τελικά σταθεροποιείται. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αρχικά οι μικροοργανισμοί καταναλώνουν τις υπάρχουσες άφθονες οργανικές ουσίες και αυξάνονται με γρήγορους ρυθμούς. Έπειτα ο ρυθμός ανάπτυξης τους μειώνεται εξαιτίας της μείωσης συγκεντρώσεων του οργανικού φορτίου και ακολουθεί η φάση του ενδογενούς μεταβολισμού των μικροοργανισμών (σταθεροποίηση), όπου οι μικροοργανισμοί αρχίζουν να μεταβολίζουν αποθέματα στο πρωτόπλασμα τους και νεκρά κύτταρα από τη βιομάζα επειδή το οργανικό φορτίο είναι ελάχιστο. Σε μερικά Διαγράμματα όμως όπως στα 8.5(β) και 8.26(β) υπάρχει στην αρχή μία φάση καθυστέρησης, η οποία οφείλεται στο γεγονός ότι οι μικροοργανισμοί προσαρμόζονται στο νέο περιβάλλον που εισάγονται. Επομένως τα αποτελέσματα αύξησης της βιομάζας στον μάρτυρα που προσδιορίστηκαν ήταν τα αναμενόμενα για το συγκεκριμένο πείραμα [2].

Επίσης η ελαφριά αύξηση του pH του δείγματος μετά την ηλιακή απολύμανση του μάρτυρα μπορεί να οδηγήσει στη υπόθεση ότι οφείλεται στην παραγωγή αμμωνίας από την δράση των αμμωνιοποιητικών βακτηρίων [26].

Παρατηρούμε για τον μάρτυρα ότι το BOD αυξάνει με την πάροδο του χρόνου, ενώ για το δείγμα το BOD μειώνεται κάτι αναμενόμενο αφού το δείγμα έχει υποστεί απολύμανση και η συγκέντρωση του σε παθογόνους μικροοργανισμούς έχει ελαττωθεί αρκετά. Επίσης το γεγονός ότι το BOD<sub>20</sub> του δείγματος είναι αρκετά μικρότερο από το BOD<sub>5</sub> σημαίνει ότι έχουν καταστραφεί τα νιτροποιητικά βακτήρια (το BOD<sub>5</sub> του δείγματος από 25mg/L μειώθηκε σε 18mg/L στο BOD<sub>20</sub>).

Αντίθετα το BOD<sub>5</sub> του μάρτυρα από 23mg/L αυξήθηκε όπως ήταν αναμενόμενο σε 34 mg/L BOD<sub>20</sub> (άρα σε αυτόν υπάρχουν νιτροποιητικά βακτήρια). Σε αυτή την περίπτωση συμπεραίνουμε ότι μετρήθηκε και η οξειδωση των αζωτούχων ενώσεων από τα νιτροποιητικά βακτήρια και έτσι αυξήθηκε η συγκέντρωση του BOD.

Η μικρή αύξηση του BOD<sub>5</sub> του δείγματος συγκριτικά με το BOD<sub>5</sub> του μάρτυρα (25 mg O<sub>2</sub>/L σε σχέση με 23 mg O<sub>2</sub>/L) μπορεί να οφείλεται σε αρχική έντονη δραστηριότητα κάποιων βακτηρίων, τα οποία δεν επηρεάστηκαν αρνητικά από την επίδραση της ηλιακής απολύμανσης. Τα βακτήρια αυτά ίσως να απέκτησαν τη δυνατότητα να αναπτυχθούν στο πλούσιο σε οργανικό φορτίο υπόστρωμα των υγρών αποβλήτων χωρίς τον ανταγωνισμό κάποιων άλλων μικροοργανισμών που απενεργοποιήθηκαν. Σε αυτή την υπόθεση συνηγορεί και η ανάπτυξη μικροοργανισμών (όχι κολοβακτηρίων) στο υπόστρωμα MLSA μετά την 6-ωρη ηλιακή απολύμανση (φωτογραφία 8.1).

Τέλος η ηλιακή απολύμανση δευτεροβάθμια επεξεργασμένων υγρών αστικών αποβλήτων με θολερότητα μικρότερη από 20 NTU θα μπορούσε να εφαρμοστεί μόνο ως αναφορά την δραστηριότητα της μεθόδου στην θανάτωση των παθογόνων μικροοργανισμών κατά την διάρκεια ημερών με ηλιοφάνεια σε Εγκαταστάσεις Επεξεργασίας Υγρών Αποβλήτων οικισμών, οι οποίες δεν διαθέτουν διεργασία απολύμανσης των επεξεργασμένων αποβλήτων πριν τη διάθεση τους στον τελικό

αποδέκτη (π.χ με λιγότερους από 15.000 ισοδύναμους κατοίκους). Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ηλιακή επεξεργασία για τουλάχιστον 6 ώρες σε δεξαμενές βάθους  $\leq 10\text{cm}$  ή διαφανείς σωλήνες διαμέτρου  $\leq 10\text{ cm}$ .

## Λίστα Βιβλιογραφικών Αναφορών

1. Α.Ν Αγγελάκης. Διαχείριση αστικών αποβλήτων, 1<sup>η</sup> Έκδοση, (2004), Λάρισα
2. Αναστάσιος Ι. Στάμου. Βιολογικός καθαρισμός Αστικών αποβλήτων με παρατεταμένο αερισμό και βιολογικά απομάκρυνση θρεπτικών, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, (2004), Αθήνα
3. SODIS How does it work. Διαθέσιμο: <http://www.sodis.ch/Text2002/T-Howdoesitwork.htm>, [accessed 14/04/2005]
4. Technical note #1, SODIS in Brief. Διαθέσιμο: <http://www.sodis.ch/files/note1.pdf>, [accessed 14/04/2005]
5. Technical note #7, Water Quality. Διαθέσιμο: Turbidity and water depth. <http://www.sodis.ch/files/note7.pdf>, [accessed 14/04/2005]
6. Technical note #2, Materials: Plastic vs. Glass bottles. Διαθέσιμο: <http://www.sodis.ch/files/note2.pdf>, [accessed 14/04/2005]
7. Technical note #8, Water Quality: Oxygen Concentration. <http://www.sodis.ch/files/note8.pdf>, [accessed 14/04/2005]
8. Technical note #5, Climatic Conditions: Solar Radiation. Διαθέσιμο: <http://www.sodis.ch/files/note5.pdf>, [accessed 14/04/2005]
9. Technical note #9, SODIS Efficiency: The process. Διαθέσιμο: <http://www.sodis.ch/files/note9.pdf>, [accessed 14/04/2005]
10. Acra, A., Jurdi, M., Mu'Allem, H., Karahagopian, Y., Raffoul, Z. *Water Disinfection by Solar Radiation – Assessment and Application*. Technical Study 66e. IDRC, 1990, (ISBN 0-88936-555-5)
11. M. Wegelin, S. Canonica, K. Mechsner, T. Fleischmann, F. Pesaro and A. Metzler. Solar water disinfection: Scope of the process and analysis of radiation experiments, *J. Water SRT-Aqua* **43**(3), 1994, pp.154-169
12. K. G. Mc Guigan, T. M. Joyce, R. M. Conroy, Solar disinfection: use of sunlight to decontaminate drinking water in developing countries, *J. Med. Microbiology*, Vol. 4, **48**, 1999, pp.785-787
13. Lawand TA, Alward R, Odeyemi O, Hahn J, Kandpal TC, Ayoub J (eds). Solar water disinfection, **In: Proceedings of a workshop held at the Brace Research Institute**, Montreal, Canada. Ottawa: International Development Research Centre, 1988
14. B. Sommer, A. Marino, Y. Solarte, M. L. Salas., C. Dierolf. C. Valientet, D. Morat, R. Rechsteiner, P. Setter, W. Wirojanagud, H. Ajarmeh, A. Al-Hassan and M. Wegelin. SODIS-an emerging water treatment process, *J. Water SRT-Aqua*, **46** (3), 1997, pp.127-137.

15. Webb RB, Brown MS. Sensitivity of strains of *Ercherichia coli* differing in repair capability to far UV, near UV and visible radiations, *Photochem Photobiol*, 1976, **24**, pp.425-432.
16. Calkins J, Buckles JD, Moeller JR. The role of solar ultraviolet radiation in 'natural' water purification, *Photochem Photobiol*, **24**, 1976, pp. 49-57.
17. Kelland LR, Moss SH, Davies DJG. An action spectrum for ultraviolet radiation-induced membrane damage in *Erscherichia coli* K-12, *Photochem Photobiol*, **37**, 1983, pp. 301-306.
18. Coohill TP. Action spectra again? *Photochem Photobiol*, **54**, 1991, pp.59-870.
19. Webb RB, Brown MS, Ley RD. Nonreciprocal synergistic lethal interaction between 365-nm and 405-nm radiation in wild type and uvrA strains of *Ersherichia coli* *Photochem Photobiol*, **35**, 1982, pp.697-703.
20. Περιοδικό SODIS news No.4 EAWAG / SANDEC, Μάιος 1999.
21. Harris, G.D. Ultraviolet inactivation of selected bacteria and viruses with photoreactivation of the bacteria, *Wat.Res.*, **21**, 1987,pp. 692.
22. Andreadakis, A., Mamais, D.,Cristoulas, D.,and Kabylafka, S. Ultraviolet disinfection of secondary and tertiary effluent in the Mediterranean region, *Wat. Sci. Tech.*, **40** (4-5), 1999, pp.253-260.
23. Ho, K.W.A. and Bohm P. UV disinfection of tertiary and secondary effluents, *Wat. Pollution Res.J.of Canada*, **16**, 1981, pp.33.
24. Εργαστήριο Υγειονομικής Τεχνολογίας. Πρόταση Ποιοτικών Ορίων και Προδιαγραφές Επαναχρησιμοποίησης Λυμάτων, Τελική Έκθεση Προγράμματος LIFE99/ENV/GR/000590, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2003.
25. Χρήστος Ερ. Τσόγκας. Δίκτυα Αποχέτευσης και επεξεργασία λυμάτων, Εκδόσεις Ίων, σελ 275-280.
- 26.Αθηνά Μαυρίδου, Μαρία Παπαπετροπούλου: Μικροβιολογία του Υδάτινου Περιβάλλοντος (Βασικές αρχές), Εκδόσεις Π.Τραυλός – Ε.Κωσταράκη, σελ158-159,175
27. Κ.Ζανάκη. Έλεγχος Ποιότητας Νερού, 2<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα, (2001), σελ105,112,123,125,127
28. Standard Methods for the examination of water and Wastewater, L. S. Clesceri, A. E. Greenberg, A. D. Eaton (1998), American Public Health Association, American Water Environment Federation.
29. Οδηγία για το πόσιμο νερό, ΦΕΚ 892 από 11 Ιουλίου 2001.

30. US. EPA. Design Manual: Municipal Wastewater Disinfection. EPA/625/1-86/001, (1986), USA.
31. Ενημερωτικό φυλλάδιο της ΔΕΥΑΧ για Βιολογικό καθαρισμό,(2004).
32. M. E. Meegan, T. Joyce, K. McGuigan, J. Barnes. Solar disinfection of drinking water and diarrhoea in Maasai children: a controlled field trial, *The LANCET*, **348**, 1996, pp. 1695-97. Διαθέσιμο: <http://www.sodis.ch/Text2002/T-Papers.htm>, SODIS Health Impact Studies, [accessed 14/04/2005]

## **Ελληνικός Αλφαβητικός Πίνακας Συντομογραφιών με Επεξηγήσεις**

ΔΧΛ: Δεξαμενή Χλωρίωσης

ΕΕ: Ευρωπαϊκή Ένωση

ΕΕΑΑ: Εγκατάσταση Επεξεργασίας Αστικών Αποβλήτων

ΚΥΑ: Κοινή Υπουργική Απόφαση

ΜΠΕ: Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

## **Αγγλικός Αλφαβητικός Πίνακας Συντομογραφιών με Επεξηγήσεις**

BOD: Biochemical Oxygen Demand, Βιοχημικά απαιτούμενο οξυγόνο

COD: Chemical Oxygen Demand , Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο

cfu/ml: colony forming units, μονάδες σχηματισμού αποικιών

DO: Dissolve oxygen, Διαλυμένο Οξυγόνο

DNA: Δεσοξυριβουκλεϊκό Οξύ

Ent: Enterococcus, Εντερόκοκκος

EAWAG: Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology

*E. coli*: *Escherichia coli*

EMCV: Encephalomyocarditis Virus

FC: Faecal Coliforms ,κοπρανώδη κολοβακτήρια

INRESA: Integrated Rural Energy Systems Association

TOC: Total Organic carbon, Ολικός Οργανικός Άνθρακας

NOD: Nitrogen Oxygen Demand

NOM: natural organic matter

NTU: Nephelometric Turbidity Units

WHO: World Health Organization, Παγκόσμιος οργανισμός Υγείας

TC: Total Coliforms, Ολικά κοπρανώδη κολοβακτήρια

PE: πολυαιθυλένιο

PET: Polyethylene terephthalate

*P. aeruginosa*: *Pseudomonas aeruginosa*

pfu: Plaque Forming Units

ppm: parts per million

PVC :Polyvinylchloride

RNA: Ριβονουκλεϊκό Οξύ

SODIS: Solar Disinfection, Ηλιακή Απολύμανση

SOPAS: Solar Pasteurization Reactor, Ηλιακός Αντιδραστήρας Παστερίωσης

SORAS: Solar oxidation and removal of arsenic

SDC :Swiss agency for Development and Cooperation

*S. faecalis*: *Streptococcus faecalis*

TCID<sub>50</sub>: Tissue Culture Infecting Dose

UV-A: Ultra Violet -A