

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ  
ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ*

**ΜΑΛΑΚΟΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ**  
**ΣΠΑΝΟΥΔΑΚΗ ΙΩΑΝΝΑ**

Υπεύθυνος Καθηγητής : Βουρδουμπάς Ιωάννης

1. Περίληψη.....	3
2. Σκοπός της εργασίας.....	4
3. Εισαγωγή	
3.1 Γενικά για το νερό.....	5
3.2 Αφαλάτωση με απόσταξη.....	7
3.3 Αφαλάτωση με εναλλακτικές πηγές ενέργειας.....	7
3.4 Ηλιακή απόσταξη.....	8
4. Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας	
4.1 Ηλιακή ακτινοβολία.....	10
4.2 Απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας – Μέλαν σώμα.....	11
4.3 Αρχές λειτουργίας ηλιακών αποστακτήρων.....	12
4.4 Ισολογισμός μάζας και ενέργειας.....	14
4.5 Η εξέλιξη των ηλιακών αποστακτήρων – Απόδοση - Κόστος.....	18
5. Πειραματική διαδικασία – Διεξαγωγή των πειραμάτων	
5.1 Ηλιακός αποστακτήρας.....	34
5.2 Πυρανόμετρο.....	36
5.3 Θερμόμετρα.....	37
5.4 Ογκομετρικοί κύλινδροι.....	38
5.5 Πεχάμετρο – Αγωγιμόμετρο.....	39
5.6 Πυξίδα.....	39
5.7 Πείραμα.....	40
6. Αποτελέσματα & Αξιολόγηση αποτελεσμάτων	
6.1 Διόρθωση μετρήσεων.....	41
6.2 Υπολογισμός της ολικής ηλιακής ενέργειας που εισέρχεται στον αποστακτήρα – Αναγωγή μετρήσεων.....	41
6.3 Μετατροπές Μονάδων.....	43
6.4 Υπολογισμός αποδοτικότητας και παραγωγικότητας – Υπολογισμός απόκλισης.....	44
6.5 Πίνακες αποτελεσμάτων και διαγράμματα.....	46
7. Συμπεράσματα.....	98
8. Βιβλιογραφία.....	101

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A) Πειραματικές Μετρήσεις.....	102
B) Σφάλματα.....	113
Γ) Προτάσεις για συνέχεια της παρούσας πτυχιακής Εργασίας.....	115

# 1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η υπάρχουσα εργασία αφορά την κατασκευή και την πειραματική λειτουργία ενός μικρού ηλιακού αποστακτήρα (για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού) στα Χανιά Κρητης.

- Αρχικά γίνεται διερεύνηση της υπάρχουσας διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με την ηλιακή απόσταξη και αφαλάτωση νερού και καταγράφονται τα υπάρχοντα μαθηματικά μοντέλα που αφορούν την λειτουργία των ηλιακών αποστακτήρων.
- Στην συνέχεια γίνεται σειρά πειραμάτων για την διερεύνηση της συμπεριφοράς του κατασκευασθέντος ηλιακού αποστακτήρα, στις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής των Χανίων το καλοκαίρι.
- Ακολούθως αξιολογούνται τα ληφθέντα πειραματικά δεδομένα, συγκρίνονται με τα δεδομένα της υπάρχουσας διεθνούς βιβλιογραφίας και εξάγονται διάφορα συμπεράσματα.
- Η λειτουργία του κατασκευασθέντος μικρού και απλού ηλιακού αποστακτήρα το καλοκαίρι στα Χανιά, δείχνει ότι η συμπεριφορά του είναι παρόμοια με της υπάρχουσες αναφορές της διεθνούς βιβλιογραφίας, η απόδοση του είναι ικανοποιητική και θα μπορούσε υπο ορισμένες προϋποθέσεις να χρησιμοποιηθεί σε κάποιες εφαρμογές.

## ABSTRACT

- The present work concerns the commissioning and the experimental operation of a small solar distiller (for the desalination of seawater) in Chania – Crete.
- Initially the existing international literature is investigated related with solar distillation and solar water desalination and the existing mathematical models related with their behaviour are recorded.
- After that, the produced experimental results are assessed and compared with the existing results (from the literature survey) and various conclusions are deducted.
- The operation of the constructed small and simple solar distiller in Chania – Crete, proves that it's behaviour is comparable with the existing results in the literature, it's effectiveness is satisfactory, and it could be used under specific circumstances in various applications.

## 2. Σκοποί της εργασίας

Οι σκοποί της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι οι εξής:

A) Η διερεύνηση της υπάρχουσας διεθνούς βιβλιογραφίας για τους ηλιακούς αποστακτήρες και η εξεύρεση υπάρχουσων μαθηματικών μοντέλων που αφορούν την λειτουργία τους.

B) Η κατασκευή και η λειτουργία ενός πειραματικού ηλιακού αποστακτήρα στα Χανιά Κρήτης.

Γ) Η λήψη πειραματικών δεδομένων από την λειτουργία του ηλιακού αποστακτήρα το καλοκαίρι στα Χανιά Κρήτης και η αξιολογήσή τους.

Δ) Η σύγκριση των ληφθέντων πειραματικών δεδομένων, με τα υπάρχοντα δεδομένα της βιβλιογραφίας και η εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.



### 3. Εισαγωγή

#### 3.1 Γενικά για το νερό

Ο πλανήτης γη διαθέτει μια ολική επιφάνεια από  $510 \cdot 10^{12} \text{ m}^2$ . Από αυτά στερεό έδαφος αποτελούν μόνο το  $150 \cdot 10^{12}$  ενώ τα υπόλοιπα  $360 \cdot 10^{12}$  αποτελούν τις υδάτινες επιφάνειες. Ο ολικός όγκος των αποθεμάτων νερού της γης είναι  $1,41 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$ , εκ των οποίων το 97% ή  $1,37 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$ , αποτελούν τις θάλασσες και τους ωκεανούς, δηλαδή τα πολύ αλμυρά νερά, ενώ το υπόλοιπο 3 % σχηματίζει τα αποθέματα του γλυκού ή πόσιμου νερού στα οποία συγκαταλέγονται και τα υφάλμυρα νερά. Το 3 % του γλυκού νερού ήτοι  $0,04 \cdot 10^{18} \text{ m}^3$  κατανέμεται ως εξής :

Πάγος στους πόλους και τους παγετώνες	$30 \cdot 10^{15}$	$\text{m}^3$
Νερά μέχρι βάθους 750 m	$4,4 \cdot 10^{15}$	$\text{m}^3$
Νερά σε βάθος από 750 m έως 3500 m	$5,6 \cdot 10^{15}$	$\text{m}^3$
Νερά λιμνών	$12 \cdot 10^4$	$\text{m}^3$
Ποταμοί και ρυάκια	$1,2 \cdot 10^4$	$\text{m}^3$
Υγρασία εδάφους	$2,4 \cdot 10^4$	$\text{m}^3$
Υγρασία ατμόσφαιρας	$1,3 \cdot 10^4$	$\text{m}^3$

Από αυτά τα στατιστικά στοιχεία υπολογίζεται ότι μόνο το 0,75 % του γήινου γλυκού ή πόσιμου νερού υπάρχει σε υγρή μορφή και ότι μονό το 0,01 % από αυτό το νερό βρίσκεται στα ποτάμια και στις λίμνες, άμεσα προσιτό στη διάθεση μας. Το γλυκό νερό προέρχεται από την συμπύκνωση των ατμών της ατμόσφαιρας που με τις βροχοπτώσεις παρασύρεται και σχηματίζει τα υδάτινα ρεύματα στην επιφάνεια της γης. Οι ατμοί της ατμόσφαιρας σχηματίζονται όταν από την επιφάνεια των λιμνών, των θαλασσών και των ωκεανών εξατμίζεται νερό λόγω θερμότητας της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι ατμοί οι οποίοι σχηματίζονται, στο μεγαλύτερο μέρος συμπυκνώνονται σε σύννεφα, ενώ το υπόλοιπο αποτελεί την υγρασία της ατμόσφαιρας. Κατά την εποχή των βροχοπτώσεων το συμπύκνωμα από τα σύννεφα, ως γλυκό νερό και όχι αναγκαστικά στο σημείο που δημιουργήθηκε, πέφτει σαν βροχή στην επιφάνεια της γης και σχηματίζει υδάτινα ρεύματα ή εισχωρεί στο έδαφος σχηματίζοντας τις υπόγειες φλέβες νερού. Και στις δυο περιπτώσεις η τελική κατάληξη είναι είτε μια λίμνη ή η θάλασσα. Κατά την πορεία του προς τη θάλασσα παρασύρει ή διαλύει διάφορα συστατικά από τα πετρώματα με τα οποία έρχεται σε επαφή και εμπλουτίζεται προοδευτικά με μια μεγάλη ποικιλία από

διαλυτές ή αιωρούμενες ουσίες, σχηματίζοντας τα αλμυρά ή υφάλμυρα νερά, εμπλουτίζοντας τις θάλασσες με διάφορα άλατα.

Ο κύκλος αυτός της εξάτμισης και της επιστροφής του συμπυκνώματος ως βροχή, καλείται "κύκλος του ύδατος" και αποτελεί μια φυσική διεργασία αφαλάτωσης που η φύση επεξεργάζεται ασταμάτητα εκατομμύρια χρόνια.

Τα διάφορα συστατικά που παρασύρει το νερό καθώς κυλάει στη επιφάνεια της γης ή στο υπέδαφος είναι ανόργανες και οργανικές ουσίες που του προσδίδουν ορισμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως π.χ. οσμή, χρώμα, γεύση, θολότητα, σκληρότητα, και προπάντων καταλληλότητα για μια ορισμένη χρήση.

Οι περισσότερες οργανικές ενώσεις στα φυσικά νερά περιέχονται σε μικρές ποσότητες και προέρχονται από σπόρους, φύλλα, κομμάτια από διάφορα φυτά κλπ. που τα παρασύρει κατά τη ροή του στην επιφάνεια της γης. Σε επιφανειακά, στάσιμα νερά, σχηματίζονται μεγάλες ποσότητες χουμικού οξέος που προέρχεται από την αποσύνθεση οργανικών ενώσεων μεγάλου μοριακού βάρους.

Στην σημερινή εποχή, εκτός από τις φυσικές οργανικές ουσίες, τα νερά περιέχουν και μεγάλες ποσότητες οργανικών ουσιών που προέρχονται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως κάθε είδους οικιακά και βιομηχανικά λύματα τα οποία δεν αποσυντίθενται και παραμένουν στο νερό, εμπλουτίζοντας το με επικίνδυνα συστατικά.

Οι περισσότερες οργανικές ενώσεις είναι συνδυασμοί άνθρακα με υδρογόνο, οξυγόνο, άζωτο φώσφορο και θείο, η παρουσία τους δε προκαλεί προβλήματα για την καταλληλότητα του σαν νερό χρήσης, οικιακής, κοινοτικής ή και αγροτικής.

Οι ανόργανες ουσίες είναι διάφορα μεταλλικά άλατα που η περιεκτικότητά τους καθορίζει την καταλληλότητα για μια ορισμένη χρήση.

Όταν τα φυσικά νερά καταλήξουν στην θάλασσα ή σε λίμνες, τα μεν ανόργανα άλατα εμπλουτίζουν το νερό της υδάτινης λεκάνης, ενώ οι φυσικές οργανικές ουσίες αποσυντίθενται.

Η καταλληλότητα των νερών, ανάλογα με τη χρήση δίνεται από τα πρότυπα προδιαγραφών όπου αναφέρεται το είδος των αλάτων και τα όρια που τίθενται στην περιεκτικότητά των. Αυτές οι προδιαγραφές έχουν καθιερωθεί παγκόσμια χωρίς όμως αυτό να αποκλείει ολικές ή μερικές διαφορές από τοπικά κρατικά πρότυπα, ιδίως για νερά που αφορούν σε κοινοτική ή βιομηχανική χρήση, όπου οι προδιαγραφές είναι ελαστικές και καθορίζονται συχνά από τις ίδιες τις βιομηχανίες ανάλογα με τις διαθέσιμες πηγές νερού.

Αντίθετα για το πόσιμο νερό οι προδιαγραφές είναι πολύ αυστηρές και έχουν δοθεί από τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας, ο οποίος εδρεύει στην Γενεύη (World Health Organization, WHO, Geneva, SW). Ο οργανισμός αυτός εκδίδει κατά καιρούς πρότυπα περιεκτικότητας σε διάφορα άλατα ή σε ουσίες μόλυνσης των νερών, που καθορίζουν την καταλληλότητα του ως ποσίμου. Εκτός από τον παγκόσμιο οργανισμό υγείας ο οποίος ελέγχει κυρίως το νερό του Τρίτου λεγόμενου Κόσμου, τα διάφορα κράτη έχουν αναπτύξει τοπικούς οργανισμούς, τα πρότυπα των οποίων αποκλίνουν περισσότερο ή λιγότερο από αυτά του WHO, ανάλογα με τις δυνατότητες παροχής, τις ιδιαιτερότητες των αποθεμάτων που διατίθενται και την κρατική ελαστικότητα.

### 3.2 Αφαλάτωση με απόσταξη

Η απόσταξη (distillation) είναι μια από τις πιο γνωστές και παλαιότερες μεθόδους για την παραγωγή γλυκού νερού από αλατούχο διάλυμα και η πιο ανεπτυγμένη μέθοδος για πολύ μεγάλες παροχές αφαλατωμένου νερού.

Η πολύ απλή βασική αρχή της μεθόδου είναι η αλλαγή φάσης από υγρό σε αέριο, τους ατμούς οι οποίοι επανασυμπυκνώνονται σε υγρό, τον καθαρό διαλύτη, και ο οποίος είναι τελείως απαλλαγμένος από τα άλατα του αρχικού διαλύματος. Η αλλαγή αυτή της φάσης γίνεται με την προσαγωγή θερμότητας, θεωρητικά ίση με τη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού η οποία αποδίδεται ξανά στο σύστημα κατά στη συμπύκνωση των ατμών.

Όταν ένα υδατικό διάλυμα αλάτων θερμαίνεται έως τη θερμοκρασία του βρασμού του, σχηματίζονται υδρατμοί ελεύθεροι από άλατα του διαλύματος, πρακτικά έως τη θερμοκρασία των 300 °C. Σε θερμοκρασία μεγαλύτερη των 300 °C ο σχηματιζόμενος ατμός παρασύρει κατά το σχηματισμό του ιόντα των διαλυμένων αλάτων με αποτέλεσμα το συμπύκνωμα να περιέχει μια μικρή ποσότητα αλάτων.

Οι ατμοί ψύχονται όταν έρθουν σε επαφή με μια κρύα επιφάνεια, οπότε συμπυκνώνονται και το συμπύκνωμα σχηματίζει το αφαλατωμένο απόσταγμα (distillate).

Απαιτούνται επομένως τρία στάδια για τον ολικό κύκλο της παραγωγής αφαλατωμένου νερού από το διάλυμα του θαλασσινού νερού :

- Σχηματισμός ατμών με την πρόσδοση, από εξωτερική πηγή, θερμότητας στο θαλασσινό νερό.
- Συμπύκνωση ατμών σε επαφή με μια επιφάνεια, η οποία βρίσκεται σε κατά πολύ χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτή των ατμών και σύγχρονη απορρόφηση της θερμότητας που εκλύεται κατά τη συμπύκνωση, από διάλυμα που κυκλοφορεί στην άλλη πλευρά της επιφάνειας ψύξης.

Κατά την απόσταξη των υδατικών αλατούχων διαλυμάτων η περιεκτικότητα των αλάτων του διαλύματος δεν έχει ιδιαίτερη σημασία για την καθαρότητα του παραγόμενου αποστάγματος, η οποία επηρεάζει μόνο την ανύψωση του σημείου βρασμού και το βαθμό συμπύκνωσης της άλμης

### 3.3 Αφαλάτωση με εναλλακτικές πηγές ενέργειας

Ένα από τα σημαντικά προβλήματα της σημερινής εποχής είναι η εξασφάλιση νέων πηγών ενέργειας, καθώς τα υπάρχοντα αποθέματα σταδιακά εξαντλούνται. Έχουν μελετηθεί διάφορες μη συμβατικές πηγές ενέργειας από ερευνητές από αυτές η ηλιακή ενέργεια έχει μελετηθεί σε ευρύτερη κλίμακα, είναι γνωστή από την αρχαιότητα, και όπως το νερό αποτελεί ένα από τα θαυμαστά δώρα της φύσης.

Η χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία υπάρχει σχεδόν παντού δεν επιφέρει μόλυνση στο περιβάλλον. Δεν εκλύει ούτε θειάφι, ούτε κάπνες, ούτε επικίνδυνη ραδιενέργεια και διατίθεται σε αστείρευτα αποθέματα κατά πολύ μεγαλύτερα από τις ανάγκες της ανθρωπότητας.

Διαθέτει το πλεονέκτημα της χωρίς κόστος παροχής, όμως οι τεχνικοί περιορισμοί που τίθενται στην εκμετάλλευση της αναχαιτίζουν την ευρύτερη εφαρμογή της. Θεωρητικά η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αντικαταστήσει όλες τις μορφές κατανάλωσης ενέργειας, πρακτικά όμως δεν έχει επιτευχθεί το βέλτιστο της μετατροπής της σε χρησιμοποιήσιμη μορφή ενέργειας, ούτε έχει βρεθεί η τεχνική που θα δίνει τη δυνατότητα μακρόχρονης αποθήκευσης της σε παραδεκτό κόστος. Αυτό οφείλεται εν μέρει, στο ότι η ηλιακή ακτινοβολία είναι διασκορπισμένη, επομένως έχει μικρή ένταση η οποία μεταβάλλεται, για έναν ορισμένο γεωγραφικό τόπο, ανάλογα με την ώρα της ημέρας, την εποχή του έτους και τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες.

Από τις φυσικές πηγές ενέργειας κυρίως η ηλιακή, βρίσκεται σε αφθονία στην Ελλάδα και η προσοχή μας πρέπει να στραφεί στην σωστή και εντατική έρευνα ώστε να γίνει όσο το δυνατό ευρύτερη η εκμετάλλευση της.

### 3.4 Ηλιακή Αφαλάτωση

Στις ξηρές νοτιοδυτικές περιοχές της Αμερικής και σε άλλες περιοχές του κόσμου όπως η Λατινική Αμερική και η Αφρική, μικρές, απομακρυσμένες, κοινότητες έχουν κρίσιμα προβλήματα που σχετίζονται με την παροχή ασφαλών αποθεμάτων νερού.

Ειδικότερα προβλήματα που έχουν να κάνουν με προβλήματα ποιότητας του νερού αποτελούν η αλμυρότητα, ο σίδηρος, το μαγγάνιο, το φθόριο, τα βαρέα μέταλλα, η βακτηριδιακή μόλυνση και τα υπολλείματα από μικροβιοκτόνα και λιπάσματα. Αυτές οι κοινότητες βασίζονται σε ξεχωριστά πηγάδια, δεξαμενές, ή έχουν συστήματα παροχής νερού από πηγές οι οποίες είναι βλαβερές ή η ποιότητα του νερού που παρέχουν είναι οριακά αποδεκτή.

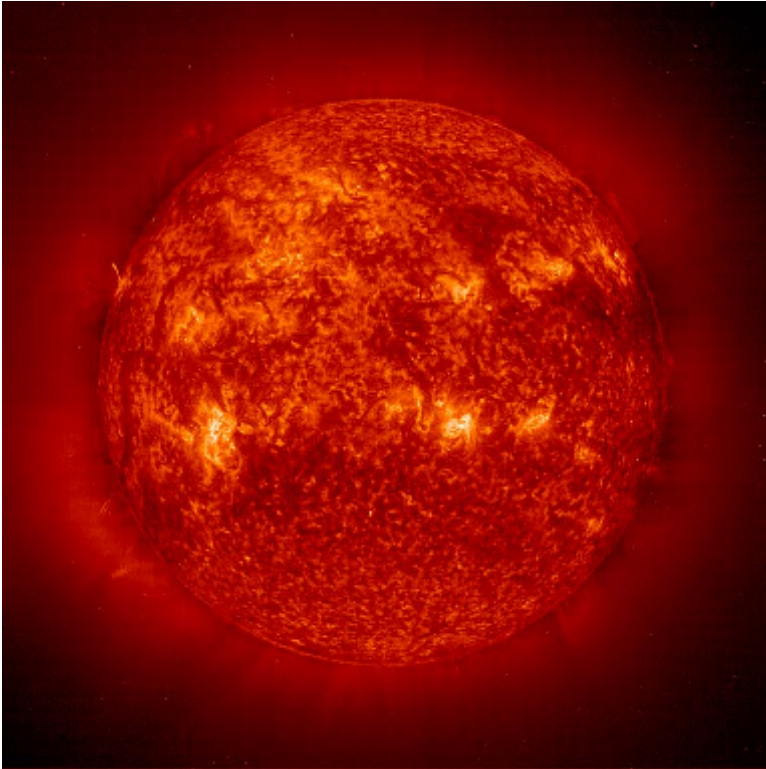
Οι συμβατικές τεχνολογίες για την επεξεργασία αυτών των νερών αποτελούνται από απλή καθίζηση, απολύμανση με χλώριο ή ιώδιο, συστήματα αντίστροφης όσμωσης ή αποσκλυντές νερού ανταλλαγής ιόντων. Η απλή απολύμανση μειώνει τα επικίνδυνα βακτήρια αλλά δεν μειώνει τη σκληρότητα ή απομακρύνει τα βαρέα μέταλλα. Τα συστήματα αντίστροφης όσμωσης είναι αποτελεσματικά για την αντιμετώπιση προβλημάτων που σχετίζονται με την αλμυρότητα, αλλά είναι ακριβά στη λειτουργία τους και παράγουν 50 % συγκεντρωμένο νερό προς απόρριψη.

Τα συστήματα αντίστροφης όσμωσης δεν απολυμαίνουν και δεν απομακρύνουν μικροβιοκτόνα και λιπάσματα. Οι αποσκλυντές νερού μειώνουν τη σκληρότητα του νερού και εξαφανίζουν προβλήματα βαφής με σίδηρο και μαγγάνιο αλλά δεν απομακρύνουν μικροβιοκτόνα, λιπάσματα και βαρέα μέταλλα ούτε προσφέρουν απολύμανση. Επιλογές προεπεξεργασίας είναι διαθέσιμες για τα συστήματα αντίστροφης όσμωσης και για τους αποσκλυντές. Ωστόσο ένα απλό άτομο εμπορεύεται ένα σύστημα αντίστροφης όσμωσης ή ένα αποσκλυντή χωρίς να μελετήσει την καταλληλότητα του νερού που θα έχει από αυτά.

Η ηλιακή απόσταξη έχει χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή χαμηλών ποσοτήτων, ασφαλών και καθαρών αποθεμάτων νερού σε απομακρυσμένες περιοχές. Οι ηλιακοί αποστακτήρες έχουν πολλά πλεονεκτήματα τα οποία περιλαμβάνουν ευρεία διάθεση ηλιακής ενέργειας, απλή και χαμηλού κόστους λειτουργία, σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης και χαμηλό κόστος κατασκευής. Οι Ghoneyem και Ileri (1997), εκτίμησαν ότι ένας ικανού μεγέθους για παραγωγή ηλιακός αποστακτήρας μπορεί να παράγει νερό με \$20/m<sup>3</sup>, ενώ οι Madani και Zaki (1995) εκτίμησαν ότι η αποτιμημένη παραγωγή νερού είναι τόσο χαμηλή ίση με \$2,4/m<sup>3</sup>.

Σύμφωνα με τον Bouchekima et al (1998), οι πρόσφατες βελτιώσεις στην τεχνολογία της ηλιακής απόσταξης την καθιστούν την ιδανική λύση για απομονωμένες περιοχές με ζήτηση νερού μικρότερη από 50 m<sup>3</sup>/ημέρα. Όλες οι άλλες τεχνολογίες είναι ακριβές για αυτή τη μικρή κλίμακα. Ο Fath (1997) πιστεύει ότι οι ηλιακοί αποστακτήρες είναι η τεχνολογία επιλογής για ζήτηση νερού μέχρι 200 m<sup>3</sup>/ημέρα. Η επικρατούσα αντίπαλη τεχνολογία είναι η αντίστροφη όσμωση η οποία έχει απαιτήσεις ενέργειας μεταξύ 22\*10<sup>6</sup> και 36\*10<sup>6</sup> J/m<sup>3</sup> (6 και 10 kWh/m<sup>3</sup>) για το επεξεργαζόμενο νερό και επενδυτικά κόστη μεταξύ \$600 και \$2000 ανά m<sup>3</sup>. Η περισσότερο συνηθισμένη τεχνολογία ηλιακής απόσταξης είναι η μιας βαθμίδας μονής βάσης ηλιακός αποστακτήρας με χαρακτηριστικό τη σχετικά μεγάλη θερμική μάζα (νερό στη βάση). Παραγωγή νερού από αποστακτήρες μιας βαθμίδας έχουν μελετηθεί σε βάθος και αρκετά σχέδια είναι διαθέσιμα στις ξηρές περιοχές του βορειοδυτικού Μεξικού, όπου τα αποθέματα νερού υψηλής ποιότητας σπανίζουν και η επιλογή της ηλιακής απόσταξης είναι οικονομικά εφαρμόσιμη (Palacio και Fernandes, 1993).

## 4. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας



Η ηλιακή ακτινοβολία είναι μια σημαντική πηγή ενέργειας που έχουμε στην διάθεση μας. Δεν μολύνει το περιβάλλον είναι αστείρευτη πρακτικά και δεν εκλύει ρύπους, επίσης έχει το πλεονέκτημα ότι δεν υπάρχει κόστος για την παροχή της. Όπως σε εκατοντάδες άλλες εφαρμογές έτσι και στην αφαλάτωση μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε την ηλιακή ενέργεια για να απομακρύνουμε άλατα και άλλες ουσίες από το νερό.

### 4.1 Η ηλιακή ακτινοβολία

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα του ήλιου εκτείνεται από κλάσματα του ενός Angstrom έως εκατοντάδες μέτρα. Όλα τα μήκη κύματος δεν είναι κατάλληλα για την χρησιμοποίησή τους στις πρακτικές εφαρμογές της μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε χρησιμοποιήσιμη μορφή. Το φάσμα το οποίο εκπέμπεται από τον λεγόμενο "ήσυχο ήλιο", δηλαδή όταν οι δραστηριότητες στην επιφάνεια του δεν είναι βίαιες, βρίσκεται στην περιοχή των 2500 έως 30000 Å και περιέχει το 98 % της ολικής ενέργειας η οποία εκπέμπεται. Η ακτινοβολία κάτω των 2500 και άνω των 30000 Å είναι χαμηλής έντασης. Η περιοχή άνω των 30000 Å, περιοχή των υπέρυθρων ακτίνων, έχει ακτινοβολία η οποία απορροφάται σχεδόν ολοκληρωτικά από τους υδρατμούς και το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας. Στην περιοχή της υπεριώδους ακτινοβολίας ~2860 Å, ένα μικρό ποσό φθάνει έως την επιφάνεια της γης, στο επίπεδο της θάλασσας, ενώ τα μικρότερα μήκη κύματος απορροφώνται από το όζον της ατμόσφαιρας. Το ποσοστό της ακτινοβολίας που απορροφάται από το αέριο στρώμα της ατμόσφαιρας και από τους υδρατμούς που περιέχει αποτελούν την σκοτεινή ή αφανή ακτινοβολία (obscure

radiation). Ένα άλλο τμήμα της ακτινοβολίας διαχέεται από τα μόρια των συστατικών της ατμόσφαιρας και αποτελεί την διάχυτη ακτινοβολία (diffuse radiation). Το υπόλοιπο της ακτινοβολίας φθάνει κατευθείαν στην επιφάνεια της γης και ονομάζεται άμεση ακτινοβολία (Beam radiation που αναφέρεται και ως direct radiation).

Η ολική ακτινοβολία την οποία δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια πάνω στη γη (Total Solar Radiation, συχνά αναφέρεται και ως Global radiation) αποτελείται από την άμεση και την διάχυτη ακτινοβολία. Εάν αντί του όρου ακτινοβολία χρησιμοποιήσουμε την λέξη ενέργεια, τότε έχουμε την ολική ηλιακή ενέργεια η οποία προσπίπτει σε μια γήινη οριζόντια επιφάνεια. Τόσο η διάχυτη, όσο και η έμμεση ακτινοβολία εξαρτώνται από τις μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής στην οποία αναφέρονται.

Η μέση ημερήσια ολική ακτινοβολία παρουσιάζει σημαντικές διαφορές κατά την διάρκεια ενός έτους εξαρτώμενη από το γεωγραφικό μήκος της περιοχής όπου γίνεται η αναφορά, από την γενική διαμόρφωση του εδάφους της περιοχής και από τις τοπικές μετεωρολογικές συνθήκες.

#### 4.2 Απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας – μέλαν σώμα

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω κατανέμεται σε όλα τα μήκη κύματος από το μηδέν έως το άπειρο. Όμως τα όρια του μήκους κύματος που ενδιαφέρουν πρακτικά περιορίζονται σε σχετικά μικρή περιοχή, στα μήκη κύματος από 0,8 έως 400 μ και για τις περισσότερες εφαρμογές το μήκος αυτό περιορίζεται στα 0,8 έως 25 μ. Η ακτινοβολία είναι συνυφασμένη με το είδος της επιφάνειας που την εκπέμπει και ακολουθεί όπως είναι γνωστό τους ίδιους νόμους με το φως, δηλαδή την φωτεινή ακτινοβολία και είναι δυνατόν να ανακλαστεί ή να παρεμποδιστεί στην ευθύγραμμη πορεία της από παρεμβαλλόμενα σώματα.

Περιγράφοντας τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας μιας πραγματικής επιφάνειας είναι χρήσιμο να γίνει αναφορά στο ονομαζόμενο "μέλαν σώμα" (black body). Μέλαν σώμα είναι μια θεωρητική ή ιδανική επιφάνεια η οποία έχει τις ακόλουθες ιδιότητες :

-- εκπέμπει την μεγαλύτερη δυνατή ακτινοβολία, από οποιοδήποτε σώμα, για μια καθορισμένη θερμοκρασία και καθορισμένο μήκος κύματος.

-- απορροφά όλη την προσπίπτουσα ακτινοβολία, ανεξάρτητα από το μήκος κύματος και την κατεύθυνση της.

Ο όρος "μέλαν σώμα" δεν έχει ουσιαστικά σχέση με το μαύρο χρώμα της επιφάνειας του σώματος, επειδή από τις πραγματικές επιφάνειες, οι μαύρες με τραχεία υφή έχουν την μεγαλύτερη απορροφητικότητα σε φωτεινή ακτινοβολία το τέλειο σώμα ονομάστηκε μαύρο. Εφ'όσον αυξάνει η θερμοκρασία το μήκος κύματος μετατοπίζεται προς το μικρότερο μήκος κύματος. Η ολική εκπεμπόμενη ενέργεια στην μονάδα του χρόνου και της επιφάνειας αντιπροσωπεύεται από την επιφάνεια που βρίσκεται κάτω από την καμπύλη της καθορισμένης θερμοκρασίας. Η ποσότητα της ενέργειας η οποία εκπέμπεται από ένα μέλαν σώμα δίνεται από την εξίσωση του Steffan Boltzmann ως :

$$Q=5,67032*(T/100)^4$$

$$W/m^2$$

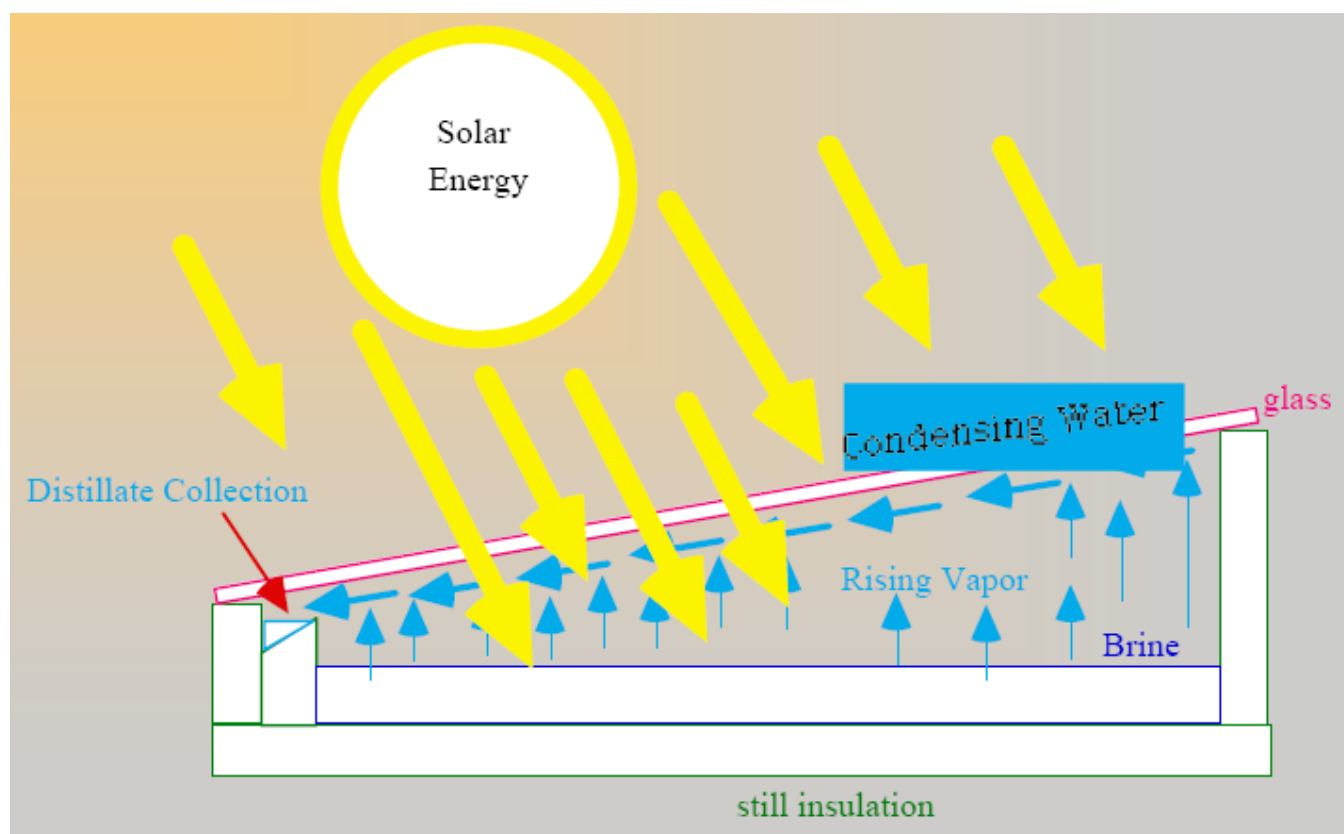
Μια πραγματική επιφάνεια για μια ορισμένη θερμοκρασία  $T$  έχει ικανότητα εκπομπής της ακτινοβολίας μικρότερη από αυτής του μέλαν σώματος η οποία εκφράζεται από τον συντελεστή εκπομπής (emissivity)  $\epsilon$ . Για το πραγματικό αυτό σώμα ή όπως ονομάζεται "τεφρό σώμα" η εκπεμπόμενη ενέργεια είναι :

$$Q = 5,67032 \cdot \epsilon \cdot (T/100)^4 \quad \text{W/m}^2$$

Σύμφωνα με το νόμο του Kirchoff η ικανότητα εκπομπής ενός σώματος ισούται με την απορροφητική του ικανότητα  $\alpha$ . Ισχύει δηλαδή  $\epsilon \equiv \alpha$ .

Στους ηλιακούς αποστακτήρες όπως και στους επίπεδους συλλέκτες χρησιμοποιούνται διάφορα υλικά, συνήθως μαύρου χρώματος, τα οποία έχουν τον μεγαλύτερο δυνατό συντελεστή εκπομπής  $\epsilon$ , ώστε να απορροφούν κατά το δυνατό την μεγαλύτερη ποσότητα ηλιακής ενέργειας.

#### 4.3 Αρχές λειτουργίας ηλιακών αποστακτηρών



Σχηματική αναπαράσταση του τρόπου με τον οποίο λειτουργεί ένας ηλιακός αποστακτήρας.

Οι ηλιακοί αποστακτήρες είναι απλές συσκευές, κατασκευάζονται εύκολα και τοποθετούνται επίσης εύκολα σε οποιαδήποτε επίπεδη ή κεκλιμένη επιφάνεια, ανάλογα με τον τύπο του αποστακτήρα. Αποτελούνται στην απλούστερη μορφή τους, από μια λεκάνη η οποία περιέχει το προς εξάτμιση νερό και από ένα διαφανές κάλυμμα το οποίο επιτρέπει την διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας. Διαφανές κάλυμμα και λεκάνη σχηματίζουν ένα αεροστεγή χώρο όπου



επιτελείται η διεργασία της εξάτμισης και της συμπύκνωσης. Παραπάνω βλέπουμε ένα απλό σχεδιάγραμμα διάταξης ασσύμετρου αποστακτήρα.

Η λειτουργία ενός ηλιακού αποστακτήρα τύπου λεκάνης βασικά γίνεται ως εξής: Μετά τις ανακλάσεις από το γυαλί και την απορρόφηση εσωτερικά του καλύμματος, η ηλιακή ακτινοβολία η οποία μεταφέρεται διαμέσου του διαφανούς μέσου υφίσταται ανάκλαση από την επιφάνεια του νερού, απορρόφηση από το στρώμα του νερού καθώς επίσης απορρόφηση και ανάκλαση από την επιφάνεια των μαύρων τοιχωμάτων. Δεν χάνεται όλη η ενέργεια που ανακλάται από το νερό και τα μαύρα τοιχώματα της λεκάνης, επειδή ένα μέρος ανακλάται ξανά από το γυάλινο κάλυμμα. Ένα κλάσμα της ηλιακής ενέργειας που απορροφάται από το κάλυμμα εκπέμπεται στο νερό, σχηματίζοντας με την ανακλώμενη ακτινοβολία το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ως συνέπεια αυτών των διεργασιών έχουμε την θέρμανση του νερού σε μια θερμοκρασία κατά πολύ μεγαλύτερη από αυτήν του καλύμματος, η οποία ψύχεται από τον αέρα. Από κει και πέρα το νερό ανταλλάσει θερμότητα με το κάλυμμα μέσω ταυτόχρονων διεργασιών μεταφοράς θερμότητας μέσω ακτινοβολίας, ελεύθερης μεταγωγής θερμότητας και μεταφοράς μάζας και θερμότητας με εξάτμιση. Θερμότητα χάνεται επίσης με αγωγή στο περιβάλλον δια μέσου της βάσης του αποστακτήρα και των πλευρών του.

Θερμότητα από το νερό που φτάνει στο κάλυμμα συν ένα μέρος από την ηλιακή ενέργεια που απορροφάται από το κάλυμμα (και συνεπώς μετατρέπεται σε θερμότητα) διασκορπίζονται στην ατμόσφαιρα μέσω αγωγής και ακτινοβολίας μετά από την επαφή με το κάλυμμα. Το εξατμισμένο νερό το οποίο έρχεται σε επαφή με το γυαλί συμπυκνώνεται (οπότε η εσωτερική θερμοκρασία του σημείου δρόσου είναι υψηλότερη από την θερμοκρασία του καλύμματος) και τρέχει στην εσωτερική επιφάνεια του γυαλιού όπου συγκεντρώνεται στο τέλος του καλύμματος.

Ως απορροφητικό συστατικό χρησιμοποιούνται διάφορα υλικά, όπως π.χ μαύρο χρώμα, μαύροι τάπητες από ελαστικό ή διάφορα πλαστικά υλικά, όπως επίσης και ειδικές κατεργασίες της επιφάνειας της λεκάνης εφόσον αυτή δεν είναι μεταλλική. Συχνά, σαν φθινό υλικό, χρησιμοποιείται τάπητας λινάτσας εμποτισμένης με άσφαλτο.

Το στρώμα του νερού συχνά διαφέρει ως προς το πάχος. Λεπτή στοιβάδα νερού θερμαίνεται γρήγορα και κατά τις ώρες της εντατικής ακτινοβολίας εξατμίζεται εξίσου γρήγορα αφήνοντας μια λεπτότατη στοιβάδα νερού η οποία ψύχεται ταχύτατα κατά την δύση του ήλιου σταματώντας την εξάτμιση. Αντίθετα όταν το πάχος της στοιβάδας του νερού είναι σημαντικό, εξατμίζεται μόνο μικρό ποσοστό της ολικής μάζας του, το μεγαλύτερο ποσοστό της οποίας συγκρατεί την αισθητή θερμότητα που έχει συλλεχθεί κατά τη διάρκεια της ημέρας, επιτρέποντας την συνέχιση της εξάτμισης, με σταδιακά ελαττούμενη ταχύτητα, και κατά την διάρκεια της νύχτας. Δηλαδή η ρύθμιση του πάχους της υδάτινης στοιβάδας επιτρέπει μια μερική αποθήκευση ενέργειας.

Μέσα στον αποστακτήρα η θερμοκρασία του νερού είναι υψηλότερη από αυτήν του διάφανου καλύμματος. Συνήθως η θερμοκρασία του νερού κυμαίνεται από 50 έως 70 τις ώρες της εντατικής ακτινοβολίας και εφ' όσον το υδάτινο στρώμα είναι λεπτό, φτάνει έως 80 °C.

Στον ελεύθερο χώρο κάτω από το γυάλινο κάλυμμα σχηματίζονται, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας νερού – καλύμματος, ρεύματα από μίγμα ατμών και αέρα. Το μίγμα ακριβώς κάτω από το κάλυμμα έχει χαμηλότερη θερμοκρασία και είναι ακόρεστο σε υδρατμούς ενώ

στην επιφάνεια του νερού η θερμοκρασία του μίγματος είναι υψηλότερη, έχει μικρότερη πυκνότητα και είναι κορεσμένο σε υδρατμούς. Αυτό δημιουργεί ανοδικά ρεύματα του κορεσμένου σε υδρατμούς θερμού μίγματος προς την επιφάνεια του καλύμματος, όπου το μίγμα ψύχεται και μέρος των υδρατμών συμπυκνώνεται, ενώ το υπόλοιπο μίγμα αναστρέφει την πορεία του και κινείται προς την επιφάνεια του νερού.

Το συμπύκνωμα των ατμών σχηματίζει ένα λεπτό υμένα στην εσωτερική επιφάνεια του καλύμματος το οποίο ρέει προς τα κανάλια συλλογής, όπου συλλέγεται ως αφρατωμένο νερό.

Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ καλύμματος και επιφάνειας του νερού τόσο εντονότερος είναι ο σχηματισμός ανοδικών και καθοδικών ρευμάτων, επομένως η παραγωγή αποστάγματος είναι μεγαλύτερη. Συγχρόνως όμως κατ' αναλογία αυξάνουν και οι θερμικές απώλειες από τα διάφορα σημεία του αποστακτήρα.

Το διαφανές κάλυμμα αποτελείται είτε από γυαλί είτε από πλαστικό υλικό το οποίο κατεργάζεται κατάλληλα ως προς την εσωτερική του επιφάνεια, ώστε να διαβρέχεται από το συμπύκνωμα. Πλαστικά τα οποία δεν διαβρέχονται από το συμπύκνωμα, σχηματίζουν στην επιφάνεια τους σταγόνες αφρατωμένου νερού οι οποίες μεγαλώνουν σε μέγεθος καθώς το συμπύκνωμα συσσωρεύεται και επαναφέρονται, πέφτοντας με την βαρύτητα πίσω στην λεκάνη του αποστακτήρα.

#### *4.4 Ισολογισμός μάζας και ενέργειας*

Οι ηλιακοί αποστακτήρες είναι γενικά συσκευές που λειτουργούν με χαμηλή απόδοση παρουσιάζοντας αρκετές θερμικές απώλειες.

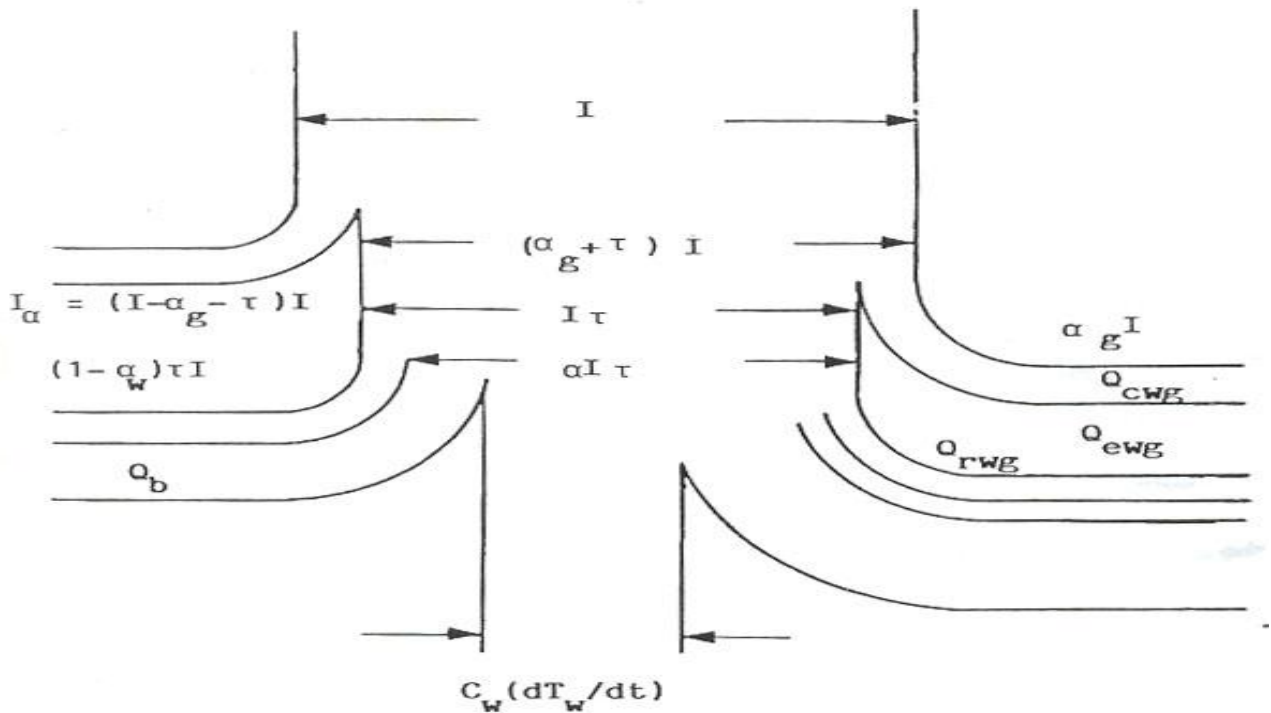
Ο ισολογισμός της ενέργειας σε έναν ηλιακό αποστακτήρα ο οποίος βρίσκεται σε λειτουργία μια ασυννεφιαστή μέρα, δίνεται από εξισώσεις που έχουν προταθεί από διάφορους ερευνητές σε αυτή την ενότητα θα δοθούν ενδεικτικά δυο πρότυπα εξισώσεων ισολογισμού της ενέργειας χωρίς να γίνει χρήση τους στην πρακτική ανάλυση της λειτουργίας του αποστακτήρα που χρησιμοποιείται σε αυτή την εργασία. Το πρώτο αναλύει την κατανομή της ενέργειας και το δεύτερο υπολογίζει τον ισολογισμό με βάση τους συντελεστές μετάδοσης θερμότητας.

Η ποσότητα του παραγόμενου αποστάγματος είναι δυνατόν να προβλεφθεί και να υπολογιστεί από τα δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας, της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος και ορισμένες παραμέτρους που καθορίζονται από τα κατασκευαστικά δεδομένα του αποστακτήρα.

Οι παράμετροι κατασκευής καθορίζουν το ύψος των διάφορων απωλειών θερμότητας και ενέργειας. Στο σχήμα 1 Α δίνεται ο διασκορπισμός της ηλιακής ενέργειας  $I$  η οποία προσπίπτει ανά ώρα στην διάφανη επιφάνεια του καλύμματος. Ένα ποσοστό της ηλιακής ενέργειας  $I_a$  ανακλάται στην επιφάνεια του γυαλιού και διασκορπίζεται στο περιβάλλον, ενώ

ένα ποσοστό  $I_\gamma$  απορροφάται από το γυαλί. Η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας η οποία εισέρχεται στο χώρο του αποστακτήρα ανέρχεται σε  $I_\tau$ , όπου  $\tau$  είναι ο συντελεστής διαπερατότητας του γυαλιού ή γενικά του διάφανου καλύμματος.

Σχήμα 1 Α



Το διάγραμμα 1 Α είναι ένα διάγραμμα Sankey που δείχνει την κατανομή της ενέργειας για ωριαία λειτουργία ενός αποστακτήρα. Τα διαγράμματα Sankey είναι πολύ χρήσιμα στις μελέτες της ενεργειακής συμπεριφοράς των αποστακτήρων.

Το νερό απορροφά ένα ποσό ενέργειας το οποίο ανέρχεται σε  $\alpha_w \tau I$ . Ένα μέρος αυτής της ενέργειας διατίθεται σαν θερμότητα για την ανύψωση της θερμοκρασίας του νερού στην λεκάνη του αποστακτήρα. Το ποσό αυτό ανέρχεται σε  $C_w (dT_w/dt)$ . Η διαφορά  $\alpha_w \tau I - C_w (dT_w/dt)$  αποτελεί τις απώλειες οι οποίες κατανέμονται ως εξής :

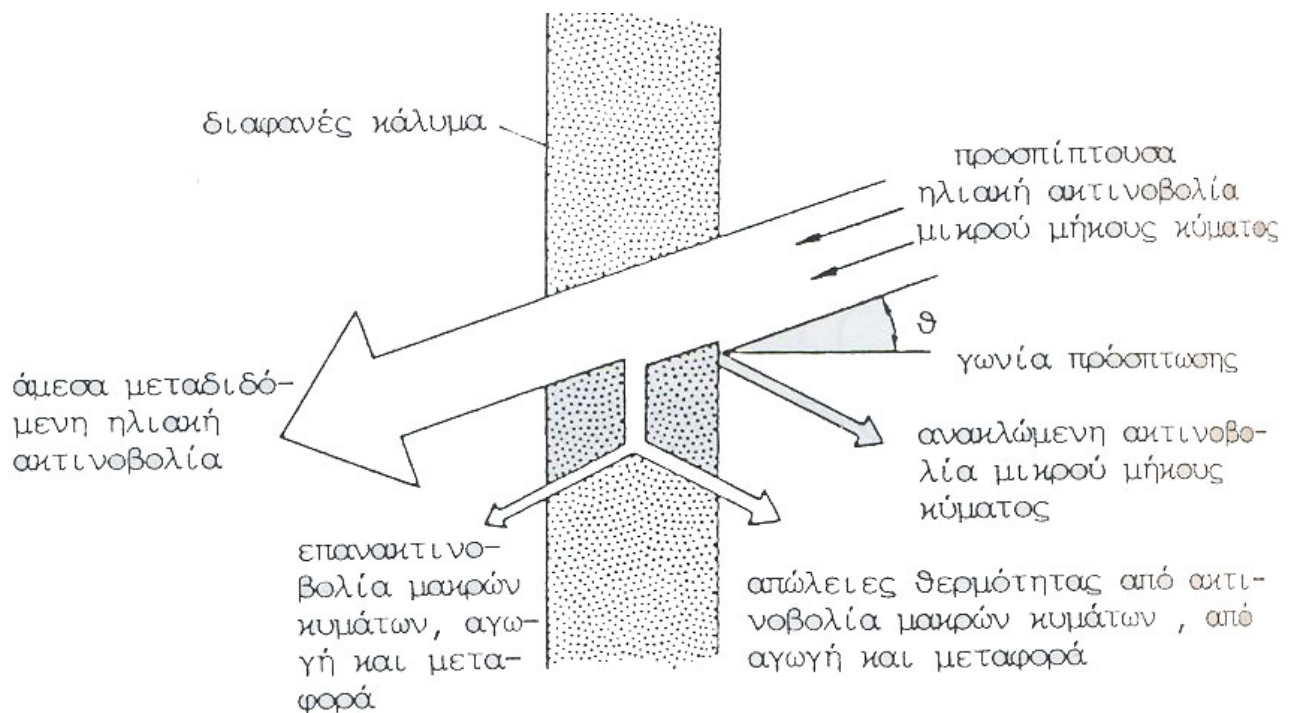
-- απώλειες που οφείλονται στην ανάκλαση από την επιφάνεια του νερού. Η ποσότητα αυτής της ενέργειας είναι  $(1 - \alpha_w) \tau I$ , και διαπερνά το γυαλί από μέσα προς το περιβάλλον όπου διασκορπίζεται.

-- απώλειες από ακτινοβολία από την επιφάνεια του νερού προς την εσωτερική επιφάνεια του γυαλιού

-- απώλειες μεταφοράς θερμότητας από την επιφάνεια του νερού προς την εσωτερική επιφάνεια του γυαλιού

-- απώλειες θερμότητας από την επιφάνεια του νερού προς την εσωτερική επιφάνεια του γυαλιού που οφείλονται στη θερμότητα που εκλύεται από την συμπύκνωση των ατμών.

-- απώλειες από τον πυθμένα του αποστακτήρα  $Q_b$



Σχήμα 1 Β Σχηματική αναπαράσταση της κατανομής της ηλιακής ενέργειας κατά την πρόσπτωση της, υπό γωνία  $\theta$ , στην κεκλιμένη επιφάνεια του διαφανούς καλύμματος ενός ηλιακού αποστακτήρα.

Συμφωνά με το διάγραμμα Sankey ο ολικός ισολογισμός της ηλιακής ενέργειας είναι :

$$\alpha_g I + \alpha_w \tau I = Q_{cgs} + Q_b + c_w (dT_w/dt) \quad \text{εξίσωση 1}$$

ενώ ο ισολογισμός στην εσωτερική επιφάνεια του γυαλιού είναι :

$$Q_{cgs} = Q_{ewg} + Q_{rwg} + Q_{ewg} + \alpha_g I \quad \text{εξίσωση 2}$$

Όπου τα σύμβολα στις δυο εξισώσεις είναι :

$\alpha_g, \alpha_w$  : η απορροφητικότητα του γυαλιού και του νερού αντίστοιχα

$\tau$  : ο συντελεστής διαπερατότητας του γυαλιού

$I$  : η ολικά ακτινοβολούμενη ηλιακή ενέργεια kJ/h

$C_w$	: η θερμοχωρητικότητα του νερού και του σκελετού του αποστακτήρα	kJ/h
$dT_w/dt$	: η ανύψωση της θερμοκρασίας του νερού στη μονάδα του χρόνου	K/h
$Q_b$	: είναι η θερμότητα η οποία διασκορπίζεται από την εξωτερική επιφάνεια του γυαλιού προς το περιβάλλον	kJ/h
$Q_{ecw}$	: αποτελεί τη θερμότητα που χάνεται από μεταφορά μεταξύ της επιφάνειας του νερού και του γυαλιού	kJ/h
$Q_{rwg}$	: είναι η θερμότητα που ακτινοβολείται από την επιφάνεια του νερού προς αυτήν του γυαλιού	kJ/h
$Q_{ewg}$	: αποτελεί την θερμότητα η οποία μεταφέρεται από την επιφάνεια του νερού στην επιφάνεια του γυαλιού από την συμπύκνωση των ατμών	kJ/h

Οι απώλειες από τον πυθμένα του αποστακτήρα είναι συνάρτηση της κατασκευής του και του είδους της μόνωσης. Η ποιότητα του γυαλιού επίσης, δηλαδή ο συντελεστής διαπερατότητας επηρεάζει την ανάκλαση και το ποσοστό της ακτινοβολίας που διαπερνά την επιφάνεια του.

Ο ισολογισμός της θερμότητας που δόθηκε παραπάνω έχει εφαρμογή σε αεροστεγής κατασκευές όπου δεν παρατηρούνται θερμικές και απώλειες απεσταγμένου νερού από διαφυγές υδρατμών. Οι εξισώσεις 1,2 όπως δόθηκαν προηγούμενα δεν είναι εύκολο να λυθούν, δίνουν όμως μια σαφή εικόνα, όπως το διάγραμμα Sankey, της κατανομής της ενέργειας σε ένα ηλιακό αποστακτήρα. Η λύση των εξισώσεων για ωριαία λειτουργία γίνεται με την μέθοδο της δοκιμής και του λάθους και η ημερησία απόληψη αφαλατωμένου νερού υπολογίζεται γραφικά από τα διαγράμματα που χαράσσονται από μετρήσεις.

Ο δεύτερος ισολογισμός θερμότητας που παραθέτουμε εδώ είναι βασισμένος στο νερό που βρίσκεται στην λεκάνη του αποστακτήρα και ανά  $m^2$  μαύρης επιφάνειας δίνεται από την επόμενη εξίσωση :

$$(mc_p)_w dT_w/dt = GT_c \alpha - g_{ewg} - g_{rwg} - g_{ewg} - q_k \quad \text{εξίσωση 3}$$

όπου είναι :

$q_k$  : η θερμότητα που χάνεται από αγωγή  $J/s m^2$

ενώ οι δείκτες έχουν την ίδια έννοια όπως στις εξισώσεις 1 και 2

παρόμοια εξίσωση ισολογισμού στο διαφανές κάλυμμα δίνει :

$q_{ewg} + q_{rwg} + q_{cwg} = q_{cga} + q_{rga}$  εξίσωση 4

Οι εξισώσεις 3 και 4 πρέπει να λύνονται συγχρόνως για την ίδια χρονική στιγμή καθ' όσον  $q_{ewg}$  δεν είναι γραμμική συνάρτηση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ καλύμματος και της λεκάνης. Επομένως οι θερμοκρασίες της λεκάνης  $T_w$ , καλύμματος  $T_c$  και  $q_{egw}$  βρίσκονται από τις προηγούμενες εξισώσεις ως συνάρτηση του χρόνου.

Η θερμότητα ακτινοβολίας υπολογίζεται από την εξίσωση :

$Q_1 = Q_2 = \sigma \cdot (T_2^4 - T_1^4) / [(1 - \epsilon_1) / (\epsilon_1 A_1)] + [(1 / A_1 F_{1,2})] + [(1 - \epsilon_2) / \epsilon_2 A_2]$  Η εξίσωση αυτή δίνει την μεταφορά θερμότητας μεταξύ δυο επιφανειών  $A_1$  και  $A_2$  που βρίσκονται σε θερμοκρασία  $T_1$  και  $T_2$ ,  $T_2 > T_1$  και έχουν συντελεστή εκπομπής  $\epsilon_1$  και  $\epsilon_2$  αντίστοιχα.  $F_{1,2}$  είναι ένας συντελεστής διαμόρφωσης ή συντελεστής εναλλαγής μεταξύ δυο επιφανειών  $A_1$  και  $A_2$ .

Ενώ για γυάλινες επιφάνειες χρησιμοποιείται η επόμενη απλοποιημένη εξίσωση :

$$Q_{rwg} = 0,96(T_w^4 - T_g^4)$$

Ενώ η θερμότητα  $q_k$  η οποία χάνεται με αγωγή από το έδαφος και υπό την προϋπόθεση ότι το έδαφος έχει την ίδια θερμοκρασία με το περιβάλλον δίνεται από την σχέση :

$$Q_k = U_b(T_w - T_a)$$

#### 4.4 Η εξέλιξη των ηλιακών αποστακτήρων – Απόδοση – Κόστος

Αρκετές θερμοδυναμικές αναλύσεις έχουν αναφερθεί από την βιβλιογραφία για τους ηλιακούς αποστακτήρες οι οποίες προάγουν την γνώση πάνω στην τεχνολογία της ηλιακής αφαλάτωσης.

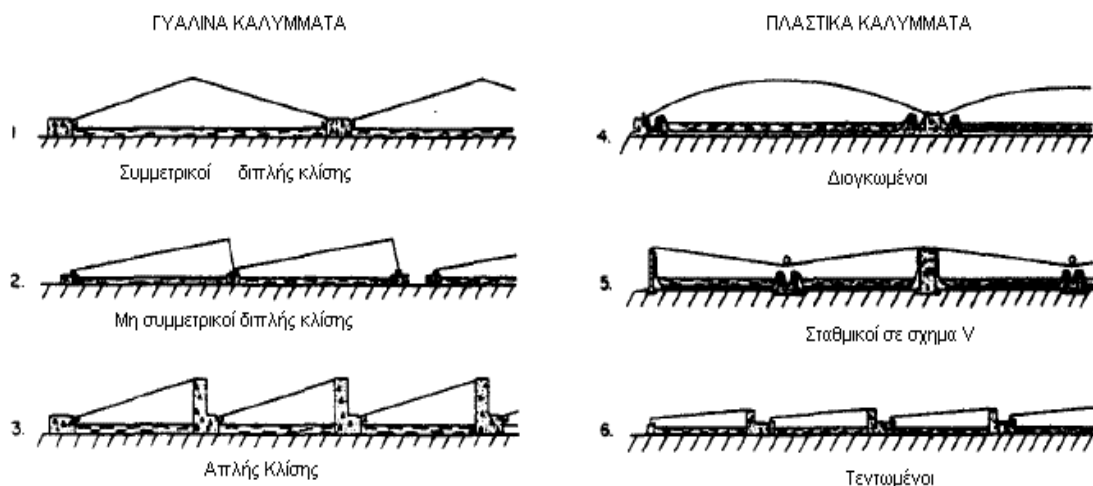
Η εξαγόμενη γνώση πάνω στις επιρροές πολλών παραγόντων, μαζί με την διαθεσιμότητα των δεδομένων από πρόσφατες πειραματικές μελέτες, επέτρεψαν τον σχεδιασμό εξελιγμένων αποστακτήρων. Οι παρακάτω πληροφορίες δοσμένες από τους J. A. EIBLING, G. TALBERT και G.O.G. LÖF συγκεντρώνουν την τωρινή τεχνολογία και τα οικονομικά και είναι μια συντομευμένη έκδοση από ένα εγχειρίδιο πάνω στην ηλιακή αφαλάτωση το

οποίο είχε παρουσιαστεί από τον Battelle κάτω από την χορηγία του αμερικανικού γραφείου για το αλμυρό νερό (U.S. Office of Saline water). Τα συμπεράσματα που παρουσιάζονται εδώ έχουν αποκτηθεί με μια προσεκτική μελέτη όλων των σημαντικών αποτελεσμάτων τα οποία έχουν εξαχθεί από πολλούς μελετητές. Η ανάγκη για συντομία εμποδίζει την αναφορά σε πολυάριθμες πηγές πληροφοριών. Περισσότερες από 500 αναφορές υπάρχουν στο εγχειρίδιο που αναφέρθηκε παραπάνω.

Αρκετοί τύποι ηλιακών αποστακτηρών έχουν αναπτυχθεί με τα χρόνια. Οι εικόνες που δίδονται παρακάτω απεικονίζουν τρεις τύπους αποστακτήρων με γυάλινο κάλυμμα και με πλαστικό κάλυμμα.

Ένας αποστακτήρας τύπου λεκάνης αποτελείται απαραίτητα από μια ρηχή λεκάνη με αλμυρό νερό καλυμμένη με μια διαφανή οροφή. Οι περισσότερες λεκάνες είναι επικαλυμμένες με ένα μαύρο – αδιαπέρατο στο νερό – υλικό όπως λάστιχα βουτιλίου. Όλες οι ενώσεις στο κάλυμμα και στις πλευρές της λεκάνης πρέπει να είναι καλά σφραγισμένες για να αποφεύγεται η διαρροή υδρατμών.

Το κάλυμμα πρέπει να έχει κατάλληλη κλίση για να αφήνει τον συμπυκνωμένο ατμό στην εσωτερική πλευρά του καλύμματος να ρέει σε κατάλληλα κατασκευασμένα κανάλια για να συλλέγει το απόσταγμα.



Χαρακτηριστικά Παραδείγματα Ηλιακών Αποστακτήρων

Η άλμη στην λεκάνη μπορεί να κρατηθεί σε ένα σχετικά σταθερό επίπεδο με συνεχή ή σε ξεχωριστές ποσότητες παροχή αλμυρού νερού και υποχώρηση της άλμης. Η ποσότητα του αφαιρούμενου νερού σε ένα τυπικό καλοσχεδιασμένο αποστακτήρα είναι ονομαστικά 0,08 γαλόνια ανά τετραγωνικό πόδι και ημέρα (gallons per day grpd) όταν το επίπεδο της ηλιακής ακτινοβολίας είναι στο επίπεδο περίπου των 2000 BTU ανά τετραγωνικό πόδι και ημέρα. Το εισαγόμενο νερό μπορεί να χρειάζεται επεξεργασία για να αποφευχθεί η δημιουργία άλμης ή

γλίτσας στην λεκάνη, και οι λεκάνες μπορεί να χρειάζονται καθαρισμό περιοδικά εάν υπάρχουν σημαντικές επικαθίσεις ορυκτών σωματιδίων στην εσωτερική επικάλυψη της λεκάνης. Το αποσταγμένο νερό μπορεί να επεξεργαστεί ή να αναμειχθεί με το κανονικό νερό για να βελτιωθεί η γεύση του.

Τα τελευταία 10 χρόνια, περισσότεροι από έναν απλά υψηλό αριθμό σχετικά μεγάλων αποστακτήρων τύπου λεκάνης έχουν κατασκευαστεί σε διάφορα μέρη του κόσμου και έχουν λειτουργήσει κάτω από πραγματικές συνθήκες υπαίθρου. Η απόδοση αυτών των αποστακτήρων αντανάκλα το μεσουράνημα πάρα πολλών εργαστηριακών και σχεδιαστικών μελετών που έχουν γίνει από διάφορους ερευνητές δια μέσω των ετών.

Ο παρακάτω πίνακας (σχήμα 1 Γ) δείχνει 27 από τους μεγαλύτερους αποστακτήρες τύπου λεκάνης που έχουν κατασκευαστεί στον κόσμο. Το μέγεθος βάσης (basin area) αναφέρεται στην επιφάνεια εξάτμισης, και η "παραγωγικότητα" (productivity) είναι ένας ημερήσιος μέσος με βάση τον κύκλο λειτουργίας ενός έτους. Από τους αποστακτήρες που βρίσκονται στην λίστα, 20 πιστεύεται ότι βρίσκονται επί του παρόντος σε λειτουργία, με μια συνολική επιφάνεια πάνω από 284,000 τετραγωνικά πόδια και μια μέση παραγωγικότητα περίπου 20,000 γαλονιών ανά τετραγωνικό πόδι και ημέρα. Σχεδόν όλοι αυτοί οι αποστακτήρες κατασκευάστηκαν κατευθείαν πάνω στο έδαφος, χωρίς καμιά θερμική μόνωση κάτω από από την λεκάνη εκτός ίσως από ένα στρώμα ξηρής άμμου.

Η ποσότητα του απεσταγμένου νερού που παράγεται από ένα ηλιακό αποστακτήρα είναι κατά μεγάλο ποσοστό συνάρτηση της θερμοκρασίας της άλμης και της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας της άλμης και του καλύμματος. Αυτή η διαφορά θερμοκρασίας επηρεάζεται κυρίως από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και, σε ένα μικρότερο βαθμό, από την κατασκευή του αποστακτήρα, την θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα και την ταχύτητα του ανέμου. Η παραγωγικότητα ενός ηλιακού αποστακτήρα μπορεί συνήθως, και είναι καλύτερο, να συσχετίζεται με την ημερήσια ποσότητα της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας την οποία δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια. Για ένα τυπικό αποστακτήρα τύπου λεκάνης η παραγωγικότητα αυξάνει εκθετικά με την ηλιακή ακτινοβολία επειδή η συνολική θερμική απόδοση αυξάνει καθώς η θερμοκρασία της άλμης αυξάνει.



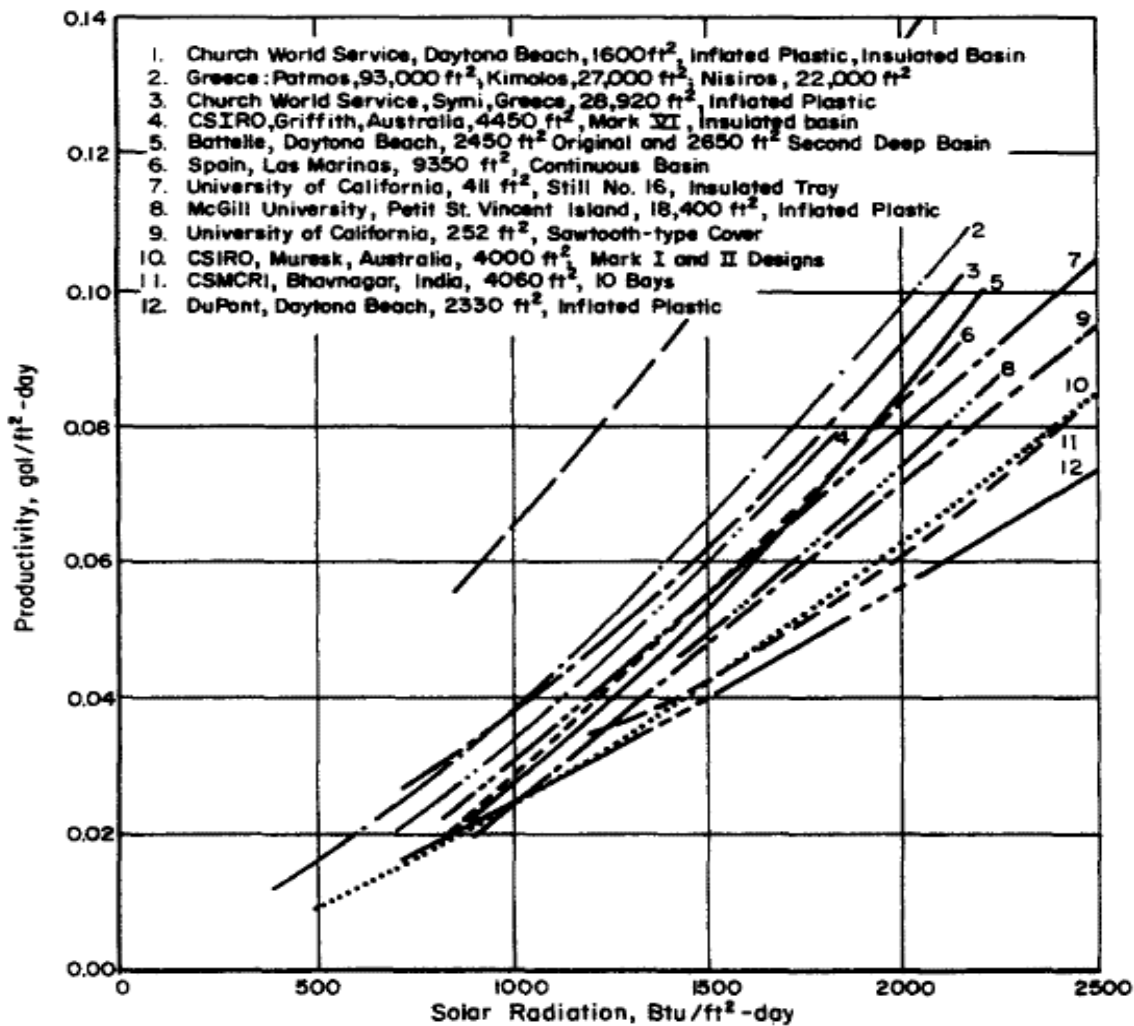
Table 1. Large basin-type solar stills

Country	Location	Date built	Type <sup>(a)</sup>	Basin size (ft <sup>2</sup> )	Productivity (gpd)
Australia	Muresk I <sup>(b)</sup>	Dec. 1963	1	4,000	220
	Muresk II	Nov. 1966	1	4,000	220
	Coober Pedy	Nov. 1966	1	34,000	1,680
	Caiguna	Dec. 1966	1	4,000	205
	Hamelin Pool	Dec. 1966	1	6,000	320 <sup>(c)</sup>
Cape Verde Islands	Griffith	Aug. 1967	1	4,450	240
	Santa Maria do Sal	1965	4	8,000	560 <sup>(c)</sup>
Chile	Las Salinas <sup>(b)</sup>	1872	1	48,000	3,900 <sup>(c)</sup>
	Quillagua	1968	1	1,076	106
Greece	Symi <sup>(b)</sup>	July 1964	4.6	28,920	2,000 <sup>(c)</sup>
	Aegina	Oct. 1965	5.6	16,040	1,120 <sup>(c)</sup>
	Salamis	Oct. 1965	5	4,180	290 <sup>(c)</sup>
	Patmos	July 1967	2	93,000	6,900
	Kimolos	1968	2	27,000	2,000
India	Nisiros	1969	2	22,000	1,600
	Bhavnagar	Oct. 1965	1.2	4,060	240
Mexico	Natividad Island				
	Baja, California	Mar. 1969	3	1,024	100 <sup>(d)</sup>
Spain	Las Marinas	Mar. 1966	1	9,350	680
Tunisia	Chakmou	1967	3	4,730	140
	Mahdia	1968	3	14,000	1,100
U.S.A.	Daytona Beach, Fla. <sup>(b)</sup>				
	Original Deep Basin	Jan. 1959	1	2,450	140 <sup>(c)</sup>
	Second Deep Basin	Apr. 1961	1	2,650	150 <sup>(c)</sup>
	Large Inflated Plastic	Jan. 1959	4	2,330	160 <sup>(c)</sup>
U.S.S.R.	Church World Service	July 1963	4	1,600	430 <sup>(d)</sup>
	Bakharden, Turkmenia	Apr. 1969	2	6,450	430 <sup>(d)</sup>
West Indies	Petit St. Vincent	Feb. 1967	4	18,400	1,300
	Haiti	June 1969	3	2,400	200 <sup>(d)</sup>

(α) αναφέρεται στους τύπους των αποστακτήρων ο κάθε αριθμός αντιστοιχεί και σε ένα αποστακτήρα στους τύπους των αποστακτήρων (β) δεν λειτουργούν πλέον (γ) αποτιμημένη παραγωγικότητα (δ) προβλεφθείσα παραγωγικότητα

Το σχήμα 1 Δ είναι ένα γράφημα με τις παραγωγικότητες 12 μεγάλων αποστακτήρων. Αρκετά εκτεταμένα και αξιόπιστα αποτελέσματα είναι διαθέσιμα για τις 11 χαμηλότερες ευθείες, δεδομένου ότι από την υψηλότερη ευθεία (το νούμερο 1 number 1) προέρχεται ένας πολύ μικρός αριθμός από δεδομένα όσο ο αποστακτήρας ήταν ακόμα καινούργιος. Αυτός ο αποστακτήρας είχε 2 ίντσες πριονίδι ως μόνωση και μια ίντσα βάθος άλμης και η χαρακτηριστική ευθεία του μάλλον αναπαριστά περίπου την μέγιστη παραγωγικότητα που μπορεί να επιτευχθεί από ένα αποστακτήρα τύπου λεκάνης.

Οι 11 χαμηλότερες ευθείες δεν είναι άμεσα συγκρίσιμες εξαιτίας των πολλών διαφορετικών συνθηκών στις οποίες συλλέχθηκαν τα δεδομένα – διαφορές όπως παρεμβάσεις που έγιναν κατά την διάρκεια λειτουργίας, σχεδιαστικές αλλαγές σε μέρη της ίδιας εγκατάστασης, το βαθμό προσοχής στις ανάγκες συντήρησης και η γεωγραφική περιοχή. Έτσι η ανωτερότητα οποιουδήποτε από τα σχέδια δεν μπορεί να εξαχθεί από αυτές τις ευθείες. Βεβαίως και τα δεδομένα δείχνουν μεγάλη ομοιότητα στην απόδοση, παρά τις αξιοσημείωτες διαφορές στο σχέδιο και το μεγάλο εύρος συνθηκών λειτουργίας.



Σχήμα 1 Δ παραγωγικότητα μεγάλων αποστακτήρων τύπου λεκάνης

Αρκετές σημειώσεις επεξηγήσεων θα έπρεπε να γίνουν για τις χαμηλότερες παραγωγικότητες συγκεκριμένα των τριών χαμηλότερων ευθειών 10,11,12. η ευθεία 12 αναπαριστά αποστακτήρα με πλαστικό κάλυμμα το οποίο δεν διαβρεχόταν από το συμπύκνωμα. Το παραγόμενο συμπύκνωμα επέστρεφε πίσω στον αποστακτήρα και μεγάλη ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας. Διαρροές υδρατμών αναφέρθηκε να είναι σχετικά υψηλές για τον αποστακτήρα που απεικονίζεται από την ευθεία 11. Διαφορετικά, αυτοί οι αποστακτήρες θα ήταν παρόμοιοι με αυτούς που αναπαρίστανται από τις ευθείες 5 και 6. Το σχέδιο του αποστακτήρα της ευθείας 10 έχει ένα σχετικά μεγάλο λόγο περιμέτρου προς την επιφάνεια της λεκάνης. Επομένως, μεγάλης σημασίας απώλειες θερμότητας ευθύνονται για την χαμηλή παραγωγικότητα. Όταν προστέθηκε μόνωση στη βάση και στις πλευρές αυτής της κατασκευής δημιουργήθηκε η ευθεία 4. Καθώς μπορούμε να συμπεράνουμε από το σχήμα 1 Δ, οι τυπικοί ετήσιοι μεσοί για την παραγωγικότητα είναι περίπου 0,08 grd (η περίπου 29 grd).

Η μέση παραγωγικότητα των 11 χαμηλότερων ευθειών αναπαρίσταται αρκετά καλά από την επόμενη εξίσωση :

$$P=1,16*10^{-3}(R/100)^{1,40} \text{ ,gal/ft}^2\text{/day} \quad \text{εξίσωση (α)}$$

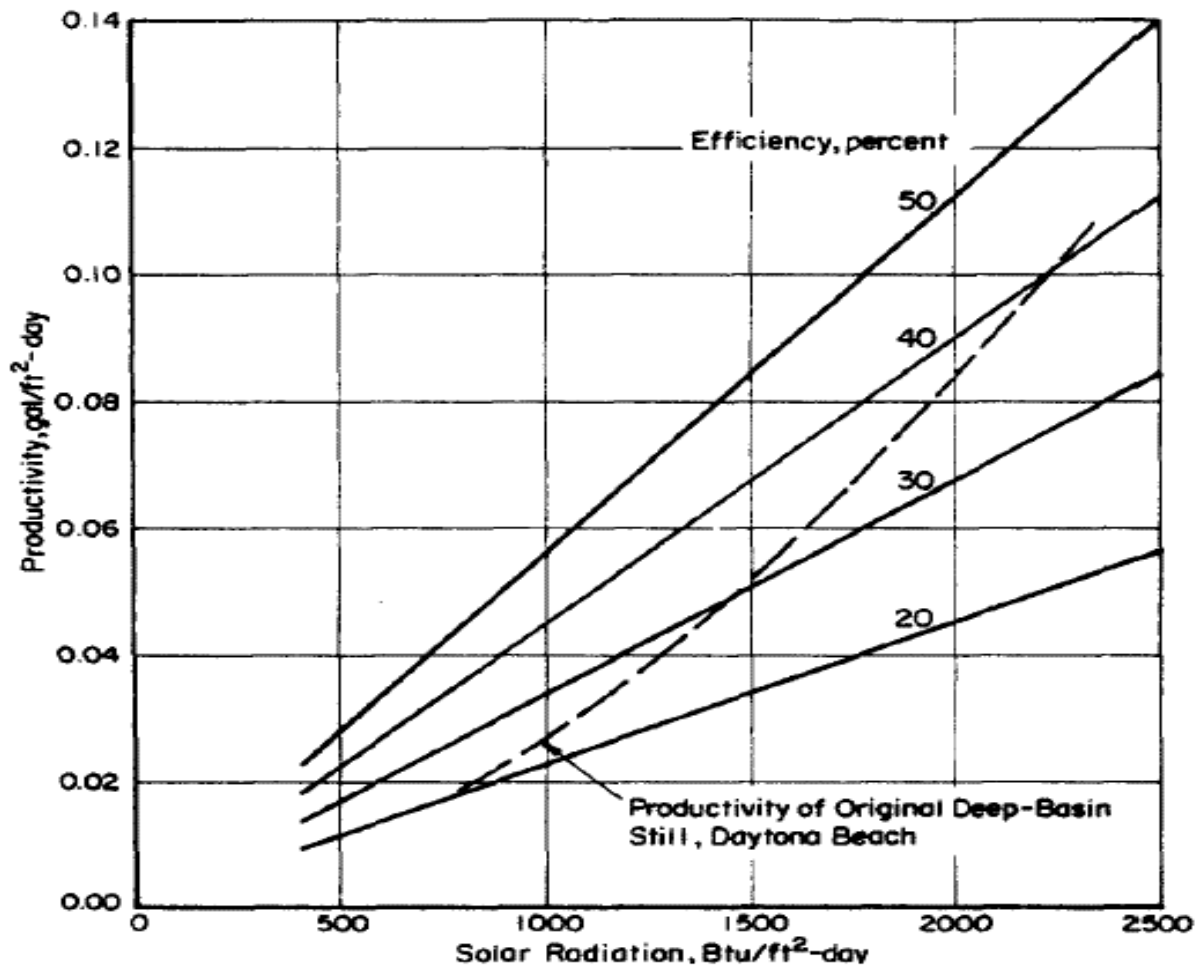
Όπου R η συνολική ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία σε BTU./ft<sup>2</sup>/day. Η απόκλιση στις μετρήσεις από αυτόν τον μέσο είναι περίπου +/- 25% από το εύρος των δεδομένων που αναπαρίστανται.

Η απόδοση (Efficiency) ενός ηλιακού αποστακτήρα μερικές φορές δίνεται με όρους της αποδοτικότητας λειτουργίας. Μια έκφραση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της αποδοτικότητας είναι :

$$\text{Efficiency (\%)} = \frac{(\text{Productivity, gal/ft}^2\text{/day}) * (8913 \text{ B.t.u./gal}) * (100)}{(\text{Solar Radiation, B.t.u./ft}^2\text{/day})} \quad \text{Εξίσωση (β)}$$

Η σταθερά σε αυτήν εξίσωση είναι βασισμένη στα 1070 B.t.u. τα οποία χρειάζονται για την προθέρμανση και εξάτμιση μιας λίβρας (pound) αποστάγματος και ένα βάρος αποστάγματος 8,33 lb/gal. Για παράδειγμα εάν η παραγωγικότητα ενός ηλιακού αποστακτήρα ήταν 0,09 gal/ft<sup>2</sup>/day, με εισερχόμενο ποσό ηλιακής ενέργειας 2000 B.t.u./ft<sup>2</sup>/day, τότε η αποδοτικότητα η οποία υπολογίζεται από την εξίσωση β θα ήταν περίπου 40%. Οι εξισώσεις α και β θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της απόδοσης και της παραγωγικότητας του ηλιακού αποστακτήρα που παρουσιάζεται σε αυτήν την εργασία.

Το σχήμα 1 Ε είναι μια απεικόνιση της εξίσωσης β με την ευθεία παραγωγικότητας από ένα αποστακτήρα με βαθιά λεκάνη στην Daytona beach τοποθετημένη πάνω από το διάγραμμα ως ένα τυπικό παράδειγμα. Η αποδοτικότητα λειτουργίας ενός ηλιακού αποστακτήρα αυξάνει με την εισαγωγή μεγαλύτερων ποσοτήτων ηλιακής ακτινοβολίας εξαιτίας του γεγονότος ότι ο ρυθμός εξάτμισης αυξάνει εκθετικά με τη θερμοκρασία της άλμης. Ωστόσο, αυτή η αύξηση του ρυθμού εξάτμισης συνοδεύεται από εκθετικές αυξήσεις στις απώλειες θερμικών ακτινοβολιών από την άλμη και το κάλυμμα στις υψηλότερες θερμοκρασίες, καθώς και αυξημένες απώλειες από διαφυγές υδρατμών. Σε ένα τυπικό ηλιακό αποστακτήρα, η αποδοτικότητα μπορεί να είναι 25% με εισερχόμενη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας τα 1000 B.t.u./ft<sup>2</sup>/day και μπορεί να αυξηθεί στο 40% στα 2000 B.t.u./ft<sup>2</sup>/day.



Σχέδιο 1 Ε Αποδοτικότητα και παραγωγικότητα ηλιακών αποστακτήρων

## ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

### 1) Ηλιακή ακτινοβολία

Πειράματα έχουν δείξει ότι, στο βαθμό που αφορά τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, η παραγωγικότητα ενός ηλιακού αποστακτήρα εξαρτάται σχεδόν αποκλειστικά από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Άλλες ατμοσφαιρικές μεταβλητές είναι μικρής σημασίας. Επομένως οι ηλιακοί αποστακτήρες είναι συνήθως πλεονεκτικότεροι μόνο σε περιοχές του κόσμου που έχουν υψηλή μέση διασπορά της ηλιακής ενέργειας για διάφορους μήνες του χρόνου.

Η κατεύθυνση και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που πέφτει πάνω σε ένα ηλιακό αποστακτήρα διαφέρει κατά την διάρκεια κάθε ημέρας. Η εμπειρία και οι υπολογισμοί έχουν δείξει ότι για να μπορέσει ένας αποστακτήρας να εξάγει την μεγαλύτερη ποσότητα φρέσκου νερού θα πρέπει να έχει σχεδιαστεί ώστε να επιτυγχάνει μεγάλες θερμοκρασίες άλμης με την

ελάχιστη δυνατή χρονική υστέρηση. Για παράδειγμα, μια λεπτή στοιβάδα άλμης θα φθάσει σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες λειτουργίας από μια παχιά στοιβάδα με όλα τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά ίδια.

## *2 Θερμοκρασία περιβάλλοντος*

Η παραγωγικότητα ενός ηλιακού αποστακτήρα αυξάνει ελαφρά καθώς η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα αυξάνει. Το μέγεθος των αναφερόμενων αυξήσεων έχουν ένα μέσο περίπου 5% για κάθε 10 °F αύξησης της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.

## *3) Ταχύτητα του ανέμου*

Καθώς η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει πάνω από ένα ηλιακό αποστακτήρα, θερμότητα απομακρύνεται από το κάλυμμα με αγωγή πιο γρήγορα. Αυτό μειώνει την θερμοκρασία του καλύμματος η οποία πρέπει να αυξάνει προσωρινά τον ρυθμό της συμπύκνωσης μέσα στον αποστακτήρα. Ωστόσο καθώς η θερμοκρασία του καλύμματος μειώνεται, ο ρυθμός μετάβασης της θερμότητας από την άλμη στο κάλυμμα, μέσω ακτινοβολίας και αγωγής επίσης αυξάνει. Η θερμοκρασία της άλμης επομένως μειώνεται έως ότου μια νέα θερμοκή ισορροπία επιτευχθεί σε όλο το σύστημα του αποστακτήρα. Επειδή ο ρυθμός εξάτμισης μειώνεται εκθετικά με την θερμοκρασία της άλμης, το παράλληλο φαινόμενο που παρατηρείται είναι μια ελαφριά μείωση της παραγωγικότητας. Δεδομένα που έχουν παρουσιαστεί από πολλούς ερευνητές έχουν δείξει ότι η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου έχει μόνο μια μικρή αρνητική επίδραση στην παραγωγικότητα ενός αποστακτήρα εάν αυτός είναι καλά σφραγισμένος για να αποφευχθεί διαρροή υδρατμών. Ωστόσο, όταν υπάρχουν αδύναμες συνδέσεις ή ρωγμές στο κάλυμμα του αποστακτήρα, η αυξημένη ταχύτητα του ανέμου μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της παραγωγικότητας σε σημαντικό βαθμό, εξαρτώμενη από αεροδυναμικούς παράγοντες καθώς και από το μέγεθος και την περιοχή των ρωγμών. Πολύ δυνατοί άνεμοι μπορούν να μετακινήσουν το γυάλινο τζαμί ή να σκίσουν τις πλαστικές μεμβράνες ενδεχόμενα τα οποία πρέπει να αντιμετωπιστούν με προσεκτικό σχεδιασμό.

## *4) Βροχόπτωση*

Το κάλυμμα του ηλιακού αποστακτήρα είναι ένας εξαιρετικός συλλέκτης για τη βροχή. Και τα γυάλινα και τα πλαστικά καλύμματα έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για αυτή τη λειτουργία. Το ακριβές ποσοστό που μπορεί να συλλεχθεί και να διατηρηθεί διαφέρει ευρέως εξαρτώμενο από τις τοπικές συνθήκες και την συχνότητα των βροχοπτώσεων. Για παράδειγμα ούτε πολύ μικρή ποσότητα π.χ ψιχάλα μπορεί να συλλεχθεί αλλά ούτε όμως και όλο το νερό π.χ από μια καταιγίδα. Η εμπειρία διάφορων ερευνητών σε διάφορα μέρη του κόσμου δείχνει ότι το 70 – 90 % μπορεί να συλλεχθεί, με περίπου 80% να είναι ένας ασφαλής μέσος όρος ως αποτιμημένο ποσοστό για περιοχές που έχουν μια σταθερή βροχόπτωση με περιθώριο υπερβολής περίπου τις 10 ίντσες βροχόπτωσης το χρόνο. Είναι

αμφίβολο ότι η συλλογή της βροχής στα καλύμματα ενός αποστακτήρα μπορεί να δικαιολογηθεί σε περιοχές όπου τα κατακρημνίσματα είναι λιγότερα από 10 ίντσες, εκτός εάν αυτή η μικρή ποσότητα πέφτει συχνά την εποχή όπου η παραγωγή αποστάγματος είναι χαμηλή. 10 ίντσες βροχόπτωσης αντιστοιχούν σε 6,24 gal/ft<sup>2</sup>.

Η συλλογή της βροχής μπορεί να αυξήσει σημαντικά την παραγωγή ενός ηλιακού αποστακτήρα. Για παράδειγμα ένας ετήσιος μέσος 0,08 gal/ft<sup>2</sup>/day αντιστοιχεί σε 29 gal/ft<sup>2</sup>/year, αναφερόμενος στην επιφάνεια εξάτμισης. Επομένως, η παραγωγή ενός τυπικού αποστακτήρα είναι περίπου 46 ίντσες βροχόπτωσης με 100% απόδοση συλλογής.

Εναλλακτικά 80% συλλογή από 15 ίντσες βροχόπτωσης θα αύξανε τα 29 gal από το ηλιακά αποσταγμένο νερό κατά 7,5 gal το χρόνο αύξηση περίπου 26%.

## ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ

Ανάμεσα στις πολλές σχεδιαστικές διαφορές στους ηλιακούς αποστακτήρες, μόνο 4 έχουν σημαντική επιρροή στην παραγωγικότητα : βάθος άλμης , μόνωση υδρατμών, διαφυγή συμπυκνώματος, μόνωση της λεκάνης.

### 1) βάθος άλμης

Έχει αποδειχθεί ότι όσο μικρότερη είναι η θερμική χωρητικότητα (λεπτή στοιβάδα άλμης) ενός ηλιακού αποστακτήρα, τόσο υψηλότερη είναι η ημερήσια παραγωγικότητα. Αυτό δικαιώνει το αξίωμα ότι ένας αποστακτήρας θα πρέπει να επιτυγχάνει υψηλές θερμοκρασίες άλμης με την ελάχιστη χρονική υστέρηση, για να εκμεταλλεύεται το γεγονός της αύξησης του ρυθμού εξάτμισης εκθετικά με την ταυτόχρονη αύξηση της θερμοκρασίας της άλμης. Σε ένα συνηθισμένο μη μονωμένο σχέδιο, η μεγάλη θερμική χωρητικότητα του εδάφους κάτω από τον αποστακτήρα μειώνει την επιρροή λεπτών στοιβάδων άλμης στη συνολική θερμική χωρητικότητα. Εναντία στην θεωρία των προσδοκιών, θα πρέπει να σημειωθεί ότι παρά το μεγάλο εύρος στην στοιβάδα της άλμης (2-12 ίντσες) από τους 11 αποστακτήρες που παρουσιάζονται στο σχήμα 1 Γ οι διαφορές στην παραγωγικότητα ήταν σχετικά μικρές. Συστήματα με παχιά στοιβάδα άλμης λειτούργησαν καλύτερα από συστήματα με λεπτή στοιβάδα, ενδεχομένως των συνδυασμένων επιρροών άλλων παραγόντων όπως η διαρροή υδρατμών και αποστάγματος, απώλειες θερμότητας και το κλίμα. Για ένα αποστακτήρα με μεγάλη λεκάνη το πρακτικό ελάχιστο πάχος στοιβάδας είναι περίπου οι 2 ίντσες. Για λόγους οικονομικού διαχωρισμού, διαχείρισης του νερού τροφοδοσίας και την αποφυγή στεγνών σημείων στην επιφάνεια της βάσης.

### 2) Μόνωση υδρατμών

Οι ηλιακοί αποστακτήρες θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε η διαρροή αέρα και υδρατμών να μένουν σε ένα πρακτικό ελάχιστο. Για να επιτευχθεί αυτή η απαίτηση υλικά στεγανοποίησης χρειάζονται τα οποία ν' αντέχουν στις κακουχίες του περιβάλλοντος λειτουργίας ενός ηλιακού αποστακτήρα. Σχεδόν κάθε μεγάλος ηλιακός αποστακτήρας έχει παρουσιάσει μια ελάττωση στην παραγωγικότητα, ένα μέρος της οποίας πιστεύεται ότι οφείλεται στη διαρροή υδρατμών. Έτσι οι σχεδιαστές έχουν ακόμα δουλειά για να λύσουν το πρόβλημα της μόνωσης ολοκληρωτικά, αν και το πλαστικό σιλικόνης ως στερεή κόλλα που

χρησιμοποιείται στους νεότερους αυστραλέζικους αποστακτήρες εμφανίζεται ως πολλά υποσχόμενο υλικό. Κάποιοι ερευνητές έχουν μετρήσει την ποσότητα της διαρροής υδρατμού σε μεγάλους αποστακτήρες. Πρόσφατες θεωρητικές μελέτες έχουν αναφερθεί, οι οποίες επιτρέπουν τον υπολογισμό της ποσότητας των υδρατμών που διαφεύγουν λόγω διαφόρων επιρροών της ταχύτητας του ανέμου ή της φυσικής θερμικής συμπεριφοράς. Ωστόσο θα πρέπει να εντοπιστούν τα ρήγματα ή οι διαρροές για να εφαρμοστούν αυτές οι πρακτικές.

### *3) Διαρροή Αποστάγματος*

Ακόμα και πολύ μικρές τρύπες στα κανάλια συλλογής του αποστάγματος μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντικά χαμηλότερη παραγωγή αποστάγματος, επειδή ο ρυθμός ροής σε ένα απλό κανάλι είναι τόσο μικρός που ολόκληρη η ροή μπορεί εύκολα να χαθεί (εξωτερικά ή να γυρίσει στην άλμη) εάν το αυλάκι έχει ατέλειες. Μόνο απολύτως ανθεκτικά στην διάβρωση, ξεχωριστά αυλάκια μπορούν να βρεθούν ικανοποιητικά. Αυλάκια από λεπτό ανοξείδωτο ατσάλι και μεμβράνες από πολυαιθυλένιο έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς δεδομένου ότι ο χαλκός, το αλουμίνιο, το τσιμέντο, διάφορα επιληπτικά στρώματα και αρθρωτοί πλαστικοί σωλήνες έχουν αποτύχει. Τα αυλάκια πρέπει να είναι αρκετά βαθιά για να αποτραπεί το χύσιμο ή υπερχειλίση σε περίπτωση που γίνει μη ευθύγραμμη τοποθέτηση ή προκύψουν εμπόδια και αρκετά στενά ώστε να μην σκιάζουν την άλμη. Ενδεχομένως ο μεγαλύτερος απλός λόγος οπου έχουμε σταδιακή απόκλιση της παραγωγικότητας του αποστακτήρα ήταν η διαρροή αποστάγματος από τα αυλακιά.

### *4) Η μόνωση της λεκάνης*

Η βάση και οι πλευρές της λεκάνης του ηλιακού αποστακτήρα μπορούν να μονωθούν για να αυξηθεί η θερμοκρασία της άλμης και να μειωθούν οι απώλειες θερμότητας. Το πλεονέκτημα της μόνωσης φαίνεται περισσότερο σε λεπτές στοιβάδες άλμης. Επιπλέον, επειδή οι θερμικές απώλειες είναι ανάλογες της περιμέτρου, η μόνωση είναι επικερδής περισσότερο στους μικρούς αποστακτήρες και ξεχωριστούς αποστακτήρες κλειστού τύπου παρά στους συνεχόμενους αποστακτήρες με μεγάλη λεκάνη. Για τους μεγάλους αποστακτήρες που έχουν συνεχόμενες βάσεις, 2 ίντσες πάχος στοιβάδας της άλμης και 2 ίντσες μόνωση τύπου γυαλιού κάτω από την βάση θα αυξήσει την ετήσια παραγωγικότητα κατά 15% σε σχέση με τους μη μονωμένους. Είναι απίθανο η μόνωση κάτω από ένα στερεωμένο στο έδαφος ηλιακό αποστακτήρα να δικαιολογείται οικονομικά εκτός από πολύ μικρούς αποστακτήρες μερικών εκατοντάδων τετραγωνικών ποδιών.

### *5) Σχέδια καλυμμάτων*

Για μόνιμες εγκαταστάσεις ηλιακών αποστακτηρών, η πρόσφατη εμπειρία και οι οικονομικές μελέτες στηρίζουν την επιλογή του γυαλιού ως το καλύτερο υλικό για το κάλυμμα εάν υποστηρίζεται σωστά και έχει μονωθεί αποτελεσματικά για την διάρκεια ζωής που προορίζεται ο αποστακτήρας. Ένα συμμετρικό διπλής κλίσης κάλυμμα τοποθετημένο σε γωνία 10°-20° από το οριζόντιο επίπεδο θα ήταν το πιο πρακτικό για μεγάλες εγκαταστάσεις. Απλής ενίσχυσης γυαλί ( 0,10 ίντσες πάχος) μπορεί να

χρησιμοποιηθεί σε γωνίες κοντά στους 20°, ενώ διπλής ενίσχυσης γυαλί ( 0,125 ίντσες πάχος) πιθανά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για γωνίες κοντά στις 10° όταν το άνοιγμα ξεπερνά τα 3 ποδιά. Για να μειωθεί η σκίαση από τις υποστηρίξεις, το κάλυμμα θα πρέπει να τοποθετείται σε όχι μεγαλύτερη απόσταση από την επιφάνεια της άλμης από την αναγκαία για την τοποθέτηση των αυλακιών αποστάγματος. Με τους αποστακτήρες να έχουν μικρής γωνίας, συμμετρικά, διπλής κλίσης καλύμματα, και προσανατολισμό με πυξίδα δεν φαίνεται να επηρεάζει την παραγωγικότητα. Απλής κλίσης ή ασύμμετρα καλύμματα φαίνεται να μην προσφέρουν κάποια πλεονεκτήματα όσον αφορά την παραγωγή αποστάγματος ή να κοστίζουν παραπάνω από τον ανωτέρω σχεδιασμό, και τα δυο έχουν κάποια μειονεκτήματα. Όπου μια προσωρινή ή μη-μόνιμη εγκατάσταση (με μέγιστο τα 5 χρόνια) έχει σχεδιαστεί ή σε περιοχές απομονωμένες όπου η μεταφορά του γυαλιού είναι δύσκολη, η χρήση πλαστικών καλυμμάτων πρέπει να αρχίσει να θεωρείται λύση. Πρέπει να επεξεργάζονται για διαβρεξιμότητα για να αποφευχθεί επαναφορά του αποστάγματος και ειδική προσοχή πρέπει να δοθεί για την αποφυγή βλάβης από ανέμους και να παρέχει συλλογή βροχής. Οι διάφοροι αποστακτήρες με πλαστικά καλύμματα χρησιμοποιούν σχέδια με διόγκωση από ανεμιστήρα ή υποστηριζόμενα μηχανικά. Ο πιο ανθεκτικός τύπος πλαστικού καλύμματος που έχει χρησιμοποιηθεί στους ηλιακούς αποστακτήρες είναι 4 χιλιοστών της ίντσας βρεχόμενο πολυβινιλοφθορίδιο (Tedlar).

Σχετικά με την ανωτερότητα του γυαλιού ή του πλαστικού ως καλύμματα ηλιακών αποστακτών μελέτες που έχουν γίνει από τους Badawi W. Pleimat και Everret D. Hawe και παρουσιάζονται εκτενώς στην εργασία τους `` Σύγκριση πλαστικών και γυάλινων επιφανειών συμπίκνωσης για ηλιακούς αποστακτήρες εξάγουν τα εξής συμπεράσματα:

- Τα γυαλί είναι ανώτερο από το πλαστικό για χρήση του ως διαφανούς υλικού στους ηλιακούς αποστακτήρες από άποψη απόδοσης.
- Δυο διαφορετικοί τύποι πλαστικού που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη εργασία κυτταρίνη από εστέρα και Tedlar δεν έδειξαν μετρήσιμη διαφορά στην απόδοση.
- Οι αστοχίες των πλαστικών υλικών που προέκυψαν κατά την διάρκεια της μελέτης ήταν εξαιτίας ταραχών της μεμβράνης που προκλήθηκαν από την επίδραση του ανέμου. Αυτά τα φαινόμενα φαίνεται ότι αυξάνονται με την αύξηση του πλάτους της μονάδας απόσταξης.
- Η χρήση πλαστικών μεμβρανών επιτρέπει μεγαλύτερο εύρος επιλογών από συνδυασμούς γεωμετρικών σχημάτων για τους ηλιακούς αποστακτήρες σε σχέση με την χρήση του γυαλιού. Οι παράγοντες μεγάλης σημασίας στο σχεδιασμό για την χρήση πλαστικής μεμβράνης είναι η ευκαμψία του και ο μεγάλος συντελεστής θερμικής διαστολής.
- Τα περισσότερα πλαστικά καλύμματα μπορούν να γίνουν διαβρέξιμα μόνο με κατεργασία της εσωτερικής επιφάνειάς τους. Στη συγκεκριμένη μελέτη τα πλαστικά καλύμματα κατεργάστηκαν από τους ερευνητές με γυαλόχαρτο με αποτέλεσμα να μειωθεί η αντοχή τους. Αλλά είναι πιθανό αυτή η επεξεργασία να γίνει κατά την διάρκεια της παραγωγής τους έτσι ώστε να μην υπάρχει μείωση της μηχανικής αντοχής τους.



## 6) Υλικά κατασκευής

Ο παρακάτω πίνακας σχήμα 1 ΣΤ δείχνει μια λίστα από υλικά κατασκευές τα οποία έχει αποδειχτεί ότι είναι ικανοποιητικά για τους ηλιακούς αποστακτήρες σε διάφορα μέρη του κόσμου. Για κάθε εξάρτημα, τα υλικά είναι τοποθετημένα με σειρά προτίμησης από άποψη αντοχής. Εάν ένας ηλιακός αποστακτήρας πρόκειται να εγκατασταθεί κατευθείαν πάνω στο έδαφος χρησιμοποιώντας μια βάση λεκάνης, είναι άξιο σύστασης να χρησιμοποιηθεί πρώτα ένα εντομοκτόνο και ένας καταστροφέας αγριόχορτων για να μειωθεί η πιθανότητα κοψιμάτων η τρυπημάτων.

Σχήμα 1 ΣΤ υλικά για την κατασκευή ηλιακών αποστακτήρων

Component	Materials
Basin liner	Butyl rubber (0.015–0.030-in. thick); asphalt mats (0.12–0.25-in. thick); black polyethylene* (0.008-in. thick); roofing asphalt (over concrete, etc.)
Cover	Window glass (0.10 or 0.12-in. thick); wettable Tedlar plastic* (0.004-in. thick)
Support structure	Concrete; concrete block; aluminum; galvanized-metal; redwood*
Distillate trough	Stainless steel; butyl rubber (lining); black polyethylene (lining)
Sealant	Silicone rubber; asphalt caulking compound; butyl-rubber extrusions
Piping and valves	PVC (polyvinylchloride); asbestos cement (for saline water); ABS (acrylonitrile-butadiene-styrene)
Water storage reservoirs	Concrete; masonry

\*Relatively short lifetimes.

Με αστερίσκο(\*) δείχνονται τα υλικά με σχετικά μικρό χρόνο ζώνης.

## ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Συνίσταται ότι ένας ηλιακός αποστακτήρας θα πρέπει να λειτουργεί συνεχώς καθ'ολη την διάρκεια του έτους, για να κρατηθεί υψηλή η θερμοκρασία του εδάφους και επομένως να μειωθεί η πιθανότητα αυτό να βραχεί και να αποφευχθεί βλάβη λόγω μετακίνησης του εδάφους. Η συνεχής λειτουργία θα αποτρέψει επίσης πιθανή αδυναμία της βάσης της λεκάνης λόγω στεγνών σημείων.

### *1) Θέρμανση νερού τροφοδότησης*

Διάφορες τεχνικές έχουν χρησιμοποιηθεί για προθέρμανση του νερού. Καμιά όμως δεν μπορεί να δικαιολογηθεί, ωστόσο, επειδή η προθέρμανση αντιπροσωπεύει λιγότερο από το 5% από την ολική ενέργεια εισαγωγής που χρειάζεται, και ο αποστακτήρας από μόνος του αποτελεί τον φθηνότερο εναλλάκτη θερμότητας που είναι διαθέσιμος.

### *2) Άδειασμα και γέμισμα της λεκάνης*

Δυο μέθοδοι υπάρχουν για να αναπληρωθεί η άλμη μέσα στον αποστακτήρα: (1) λειτουργία με εισαγωγή καθορισμένων ποσοτήτων, από το άδειασμα και το γέμισμα γίνονται πριν την αρχή της νέας ημέρας οπού η άλμη είναι στην χαμηλότερη θερμοκρασία και (2) συνεχής τροφοδοσία. Αν και πιο δύσκολο να αυτοματοποιηθεί, η μέθοδος με εισαγωγή καθορισμένων ποσοτήτων χρησιμοποιεί λιγότερη θερμότητα και εάν γίνει σωστά, μπορεί να ελέγξει την εμφάνιση φύκης και κρούστας αλάτων.

### *3) Μεταχείριση νερού τροφοδοσίας*

Η δημιουργία φύκης και βακτηριών μέσα στον αποστακτήρα μπορεί να γίνει σοβαρό πρόβλημα εάν χρησιμοποιηθεί ρυπασμένο νερό τροφοδοσίας ή το νερό της βροχής ρέει μέσα στον αποστακτήρα. Διάφορες μεταχειρίσεις για να αποφευχθεί αυτή η δημιουργία έχουν δοκιμαστεί, ξεκινώντας από απλό φιλτράρισμα άμμου έως χημικά πρόσθετα όπως άλατα χαλκού και υποχλωρίτης. Τα χαρακτηριστικά του νερού τροφοδοσίας θα καθορίσουν την έκταση της μεταχείρισης που χρειάζεται, αλλά το ολοκληρωτικό άδειασμα της άλμης πριν τη ανατροφοδότηση αποδείχθηκε αποτελεσματικό.

### *4) Καθάρισμα*

Μακρόχρονη λειτουργία των αποστακτών με γυαλί δείχνει ότι τα γυάλινα καλύμματα κανονικά δεν χρειάζονται καθάρισμα. Τα πλαστικά καλύμματα έχουν ηλεκτροστατικές ιδιότητες οι οποίες έχουν σαν αποτέλεσμα την έλξη σκόνης και μπορεί να χρειάζεται να καθαρίζονται περιοδικά – με αποσταγμένο δυστυχώς. Μερικές φορές η βάση των λεκανών μπορεί να χρειάζεται καθάρισμα εξαιτίας των σχηματισμένων εποικήσεων αυτό γίνεται μια ακριβή εργασία συντήρησης, καθώς πρέπει να μετακινηθεί μέρος του καλύμματος και να αναλωθεί μεγάλος αριθμός εργατικού δυναμικού.

### *5) Διάφορες Αναβαθμίσεις*

Αρκετοί άλλοι τύποι ηλιακών αποστακτών έχουν δείξει ανεπτυγμένη παραγωγικότητα, όπως κεκλιμένοι δίσκοι, βεβιασμένη μεταγωγή θερμότητας με εξωτερική συμπύκνωση, και πολλαπλές βαθμίδες. Μερικές φορές οι αυξήσεις μπορεί να είναι διπλάσιες από έναν μιας λεκάνης ηλιακό αποστακτήρα. Ωστόσο μέχρι σήμερα, καμιά από αυτές τις αναβαθμίσεις ενάντια σε ένα αποστακτήρα μονής βάσης μπορεί να δικαιολογηθεί οικονομικά.

## ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΤΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΩΝ

Το κόστος του νερού από τους ηλιακούς αποστακτήρες εξαρτάται από : (1) το κεφαλαίο επένδυσης της εγκατάστασης, (2) τα κόστη λειτουργίας, συντήρησης και επίβλεψης της εγκατάστασης, και (3) την παραγωγή νερού από την εγκατάσταση. Παράγοντες που σχετίζονται με τους προηγούμενους και μπορούν να επηρεάσουν το συνολικό κόστος του νερού είναι το κόστος αποθήκευσης του νερού για να εξισορροπηθούν οι μεταβολές στην παραγωγικότητα του νερού του αποστακτήρα και η ποσότητα και το κόστος το νερού από τα κατακρημνίσματα που συλλέγεται από την επιφάνεια του αποστακτήρα.

Εφόσον η διαδικασία της ηλιακής αφαλάτωσης παράγει ένα αγαθό το οποίο μπορεί να παραχθεί και με άλλους τρόπους, αποφάσεις για την χρήση της συγκεκριμένης διεργασίας σε συγκεκριμένες περιπτώσεις πρέπει επίσης να βασίζονται και σε εναλλακτικές λύσεις. Εδώ αναφέρονται δυο εναλλακτικές λύσεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Η πρώτη είναι φυσικά το φρέσκο νερό από την φύση. Το κόστος μιας τέτοιας παροχής, στην ποσότητα που χρειάζεται, και η μεταφορά της στο μέρος ή στα μέρη όπου χρειάζεται, πρέπει να την γνωρίζουμε ή να μπορούμε να την υπολογίσουμε πριν παρθούν συνετές αποφάσεις. Η δεύτερη λύση είναι η παραγωγή αφαλατωμένου νερού με κάποιες άλλες μη ηλιακές διεργασίες όπως πολυβάθμια απόσταξη, απόσταξη με συμπίεση υδρατμών, η αντίστροφη όσμωση και η ηλεκτροδιάλυση. Το κόστος του νερού που λαμβάνεται από αυτές τις διεργασίες πρέπει επίσης να εκτιμηθεί ούτως ώστε το κόστος του διανεμημένου νερού να μπορεί να συγκριθεί με το κόστος του ηλιακά αποσταγμένου νερού. Μόνο μελέτες κόστους που αφορούν το ηλιακά αποσταγμένο νερό θα παρουσιαστούν εδώ αφού επαρκής πληροφορία υπάρχουν αλλού για το κόστος του φρέσκου νερού ή το κόστος του αφαλατωμένου νερού που παράγεται από άλλες περισσότερο συμβατικές τεχνολογίες. Η αλληλοσυσχέτιση του κόστους και των άλλων παραγόντων παραγωγής είναι τέτοιοι ώστε : (1) το κόστος του αφαλατωμένου θαλάσσιου νερού και του υφάλμυρου υπογείου νερού μπορεί να είναι χαμηλότερο από το κόστος του φρέσκου φυσικού νερού, σε ξηρές περιοχές, όπου τα φρέσκα αποθέματα νερού θα έπρεπε να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις με ακριβά συστήματα μεταφοράς. Και (2) το νερό που παράγεται από τους ηλιακούς αποστακτήρες μπορεί να είναι φθηνότερο από άλλες παροχές αφαλατωμένου νερού εάν το κλίμα είναι ευνοϊκό και χρειάζονται σχετικά χαμηλές παραγωγές (πιθανώς μέχρι 50,000 gpd).

Στις περισσότερες διεργασίες αφαλάτωσης το κόστος της ενέργειας είναι μεγάλο, αν όχι το μεγαλύτερο, αντικείμενο κόστους. Τα κεφαλαιουχικά κόστη (τόκος, χρεολύσιο, κ.λ.π) είναι συνήθως τα αμέσως πιο σημαντικά αντικείμενα κόστους. Στην ηλιακή αφαλάτωση, ωστόσο, τα κόστη ενέργειας είναι 0 και περισσότερο από το 90% του κόστους του νερού είναι αποτέλεσμα αλλαγών του επενδυτικού κεφαλαίου. Έτσι, οι προσπάθειες για να μειωθεί το κόστος του ηλιακά αφαλατωμένου νερού κατευθύνονται κυρίως στη αύξηση της παραγωγής νερού ανά μονάδα σε ετήσια αμετάβλητα κόστη. Δεν υπάρχει αξία στην αποδοτικότερη χρήση της εισερχομένης ενέργειας εκτός αν με αυτό τον τρόπο, η παραγωγή νερού ανά μονάδα με σταθερά ετήσια κόστη είναι μεγαλύτερη. Με τις περισσότερες συμβατικές τεχνολογίες αφαλάτωσης, ωστόσο, που το κόστος της ενέργειας είναι ο κυριότερος παράγοντας στο συνολικό κόστος, προσπάθειες για να αυξηθεί η παραγωγή νερού ανά

μονάδα ενέργειας που παρέχεται είναι φανερά επιθυμητές, ακόμα και με επιπλέον επένδυση σε εγκαταστάσεις.

Δεν πρέπει όμως να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι, με απλή μείωση του πρωταρχικού κόστους σε ένα ηλιακό αποστακτήρα θα οδηγήσει σε φθηνότερο αφαλατωμένο νερό. Γιατί εάν πράττοντας με αυτόν τον τρόπο, η ωφέλιμη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης μειωθεί και η επένδυση θα χρεωλυθεί σε μικρότερη περίοδο, το κόστος ανά 100 γαλόνια παραγωγής μπορεί να αυξηθεί. Συμπερασματικά, είναι σημαντικό να αναγνωριστεί ότι το κεφαλαιουχικό κόστος ανά μονάδα παραγόμενου νερού, κατά την διάρκεια ζωής της εγκατάστασης, είναι τρίτο σημαντικό κριτήριο. Με αλλά λόγια το ετήσιο κόστος της επένδυσης (συμπεριλαμβανομένων και του τόκου, του τοκοφόρου κεφαλαίου, οι φόροι, η ασφάλιση και άλλοι παράγοντες που σχετίζονται με την κεφαλαιουχική επένδυση) διαιρούμενο με την ετησία παραγωγή νερού θα πρέπει να είναι ελάχιστο.

Είναι φανερό εάν η βροχόπτωση είναι στο ελάχιστο σημαντική, η συλλογή της θα είναι ένα οικονομικό πλεονέκτημα στην λειτουργία της ηλιακής αφαλάτωσης. Το μέγεθος του κέρδους εξαρτάται από την ποσότητα της βροχής καθώς και από το αν αυτή η ποσότητα συλλέγεται σε ρυθμούς και σε χρόνο όπου αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Μια πρόχειρη ανάλυση αυτών των παραγόντων δείχνει ότι μπορεί να υπάρξει μια αύξηση 15-30% στην παροχή χρήσιμου νερού από ένα ηλιακό αποστακτήρα, εάν έχουν τοποθετηθεί διατάξεις που επιτρέπουν την συλλογή και την αποθήκευση του νερού κατακρημνισμάτων 10-15 ιντσών το έτος, με απόδοση συλλογής εύρους μεταξύ του 70 και 100%.

#### ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΑ 100 ΓΑΛΟΝΙΑ

Το κόστος της παραγωγής νερού βασίζεται σε 4 κύριους παράγοντες : Τα ετήσια σταθερά κόστη κεφαλαίου, τα κόστη λειτουργίας, το κόστος παροχής αλμυρού νερού και η ετήσια παραγωγικότητα του συστήματος. Είναι καλό να εκφράσουμε αυτά τα στοιχεία στην μορφή μιας λειτουργικής εξίσωσης από την οποία το κόστος παραγωγής 1000 γαλονιών μπορεί να υπολογιστεί.

Η επόμενη εξίσωση συσχετίζει το κόστος της παραγωγής νερού με τους ανωτέρω παράγοντες :

$$C = \frac{10 I [\overline{AP} + \overline{MR} + \overline{TI}] + 1000 Lw}{Y_D A_D + Y_R A_R} + S$$

Οπού:

C= κόστος του νερού σε \$/1000 gal

I= Συνολικό κεφαλαίο επένδυσης σε \$

AP= Ετήσια πληρωμή\* =  $r \{ 1 + [1 / (1 + r / 100)^n - 1] \}$ , επί τοις 100 της επένδυσης/χρόνο

$r$ = ετήσιο ποσοστό τιμής τόκου, επί τοις 100/χρόνο  
 $n$ =χρόνος αποπληρωμής σε χρονιά  
 $MR$ = ετήσια συντήρηση και επισκευή (εργασία και υλικά), επί τοις 100 της επένδυσης/χρόνο  
 $TI$ = ισχύον ετήσιος φόρος και χρεώσεις ασφάλισης, επί τοις 100 της επένδυσης/χρόνο  
 $L$ = Ετήσιος εργασία λειτουργίας, εργατοώρες/χρόνο  
 $w$ = αμοιβή εργατικού δυναμικού, \$/εργατοώρες  
 $Y_D$ = ετήσια παραγωγή αποσταγμένου νερού, gal/ft<sup>2</sup>/yr  
 $Y_R$ =ετήσια παραγωγή νερού από την συλλογή βροχής  
 $A_D$ = επιφάνεια αποστακτήρα πάνω στην οποία υπολογίζεται η απόδοση αποστάγματος, ft<sup>2</sup>  
 $A_R$ = επιφάνεια αποστακτήρα πάνω στην οποία συλλέγεται το νερό της βροχής  
 $S$ = συνολικό κόστος (πάγιο και λειτουργίας) για την παροχή αλμυρού νερού, \$/1000 gal προϊόντος.

---

\* βασισμένα σε σταθερές ετήσιες πληρωμές του τοκοφόρου κεφαλαίου συν τον τόκο.

#### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

Το παρόν σύγχρονο επίπεδο τεχνικής της ηλιακής απόσταξης είναι καλά μελετημένο από τις πλευρές των θερμοδυναμικών και γεωμετρικών παραμέτρων. Έτσι, γνωρίζουμε πως να επιλέξουμε τις σχεδιαστικές παραμέτρους οι οποίες θα προσφέρουν την μέγιστη παραγωγικότητα. Ωστόσο χρειάζεται μακρόχρονη δοκιμή με τα καλύτερα υλικά από αυτά που χρησιμοποιούνται τώρα στους αποστακτήρες, επειδή δεν έχει επιδειχθεί ακόμα μεγάλη διάρκεια ζωής με ελάχιστη συντήρηση ή με διάφορους συνδυασμούς υλικών. Κανένας με κύρος δεν μπορεί να ισχυριστεί ότι ένας ηλιακός αποστακτήρας μπορεί να διαρκέσει 20 χρόνια χωρίς εκτεταμένη και ακριβή συντήρηση, αν και αυτή η διάρκεια ζωής φαίνεται επιτεύξιμη με τα υλικά που παρουσιάζονται στο σχήμα 1 ΣΤ. Τα οικονομικά της ηλιακής απόσταξης είναι τέτοια ώστε μακρά διάρκεια ζωής με ελάχιστες διαδικασίες συντήρησης να είναι απαραίτητα ούτως ώστε το κόστος του φρέσκου νερού, με αυτούς τους τρόπους, να βρίσκεται μέσα στα αποδεκτά όρια των 3\$ έως 4\$ ανά 1000 γαλόνια. Ελπίζουμε ότι οι περισσότεροι ηλιακοί αποστακτήρες που βρίσκονται τώρα σε λειτουργία θα διατηρηθούν επαρκώς και θα συνεχίσουν να λειτουργούν για επαρκή χρόνο ώστε να κερδηθούν οι πολυπόθητες γνώσεις για την περαιτέρω εξέλιξη των ηλιακών αποστακτήρων.

## 5. Πειραματική Διαδικασία – Διεξαγωγή των πειραμάτων

Για την παρούσα εργασία μελετήθηκε η λειτουργία ηλιακού αποστακτήρα ως συσκευή αντιπροσωπευτική της μεθόδου απόσταξης με ηλιακή ενέργεια συνεπώς το κεντρικό αντικείμενο μελέτης ήταν η συμπεριφορά μιας τέτοιας κατασκευής.

Παραθέτουμε συνοπτικά τα όργανα και τις συσκευές που χρησιμοποιηθήκαν στην πειραματική διαδικασία και ακολουθεί μια λεπτομερής αναφορά σε αυτά.

- 1) Ηλιακός Αποστακτήρας
- 2) Πυρανόμετρο
- 3) Θερμόμετρα
- 4) Ογκομετρικοί Κύλινδροι
- 5) Πεχάμετρο – Αγωγιμόμετρο
- 6) Πυξίδα

## 5.1. Ηλιακός Αποστακτήρας

Ο ηλιακός αποστακτήρας αποτελεί την κυριότερη διάταξη για την αφαλάτωση νερού με ηλιακή ενέργεια. Για την παρούσα εργασία εξετάστηκε ένας εκ κατασκευής ασύμμετρου τύπου αποστακτήρας μιας βαθμίδας και μονής βάσης δεδομένου ότι ο συγκεκριμένος τύπος αποστακτήρα είναι πολύ συνηθισμένος και χρησιμοποιείται ευρέως σε πολλές εγκαταστάσεις όπου πραγματοποιείται αφαλάτωση νερού.

Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται ο ηλιακός αποστακτήρας που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις.



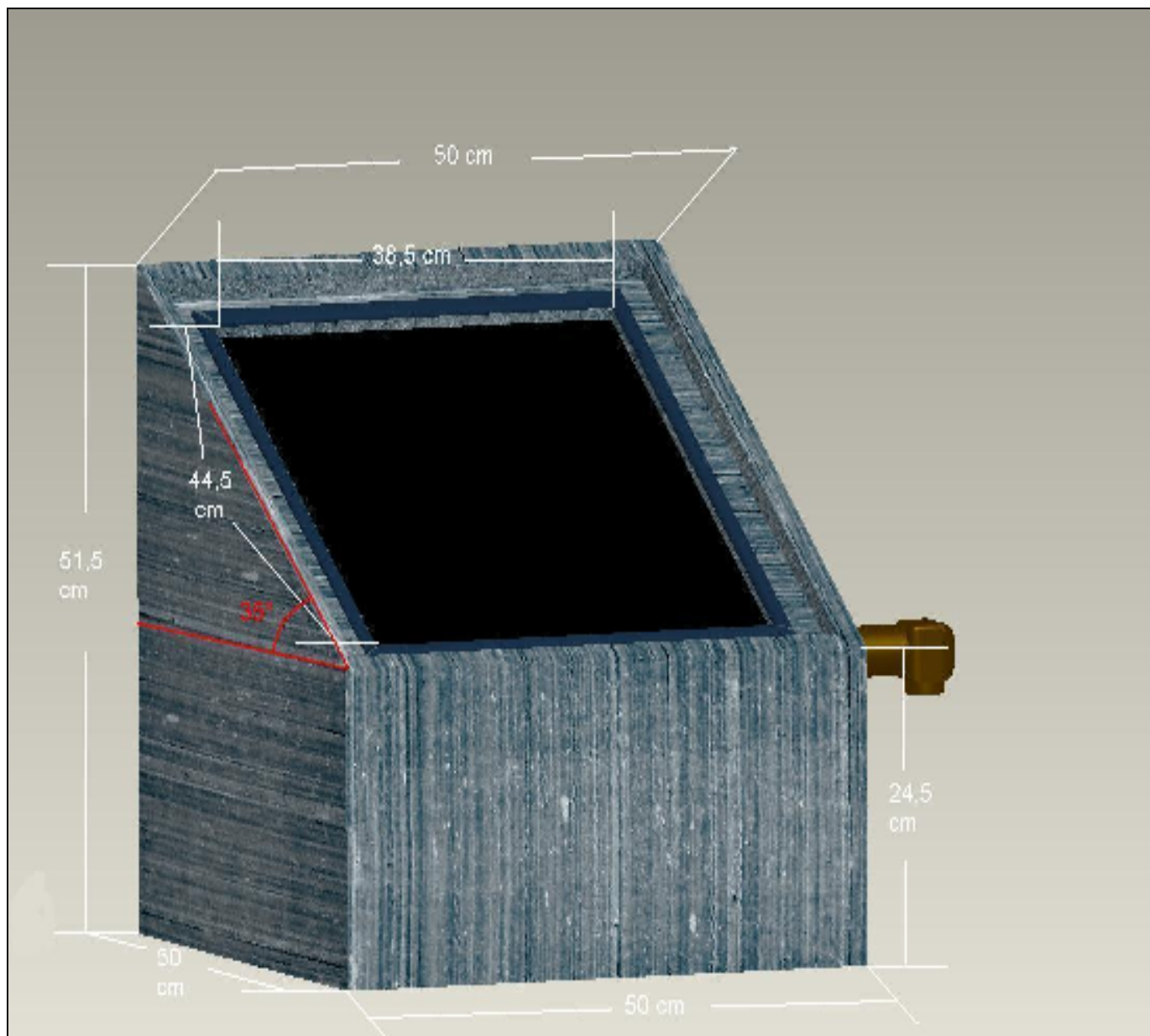
Σχήμα 1

Εδώ βλέπουμε την γενική εικόνα του αποστακτήρα.

Όπως φαίνεται και από την εικόνα πρόκειται για ένα ασύμμετρου τύπου αποστακτήρα μονής βάσης και μιας βαθμίδας ο οποίος είναι πολύ συνηθισμένος και αποτελεί μια πολύ απλή κατασκευή.

Ιδιαίτερης σημασίας σε ένα ηλιακό αποστακτήρα και γενικά σε κάθε συσκευή που λειτουργεί με ηλιακή ενέργεια είναι η διαστασιολόγηση της η οποία παίζει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία της και στη συνολική απόδοση της. Στο σχήμα 2 πιο κάτω παραθέτουμε το σχέδιο του ηλιακού αποστακτήρα με τοποθετημένα τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά πάνω στο σχέδιο. Για την δημιουργία του σχεδίου χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό λογισμικό Pro Engineer.

Σχήμα 2



Με βάση τα κατασκευαστικά δεδομένα που παρουσιάζονται και στο παραπάνω σχήμα ο ηλιακός αποστακτήρας παρουσιάζει τα παρακάτω κύρια γεωμετρικά χαρακτηριστικά :

- A) Μέγιστη χωρητικότητα νερού στο δοχείο  $0,5\text{m} \times 0,5\text{m} \times 0,245\text{m} = 0,06125\text{m}^3 = 61,25 \text{ Litres}$
- B) Ωφέλιμη επιφάνεια εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας  $0,385\text{m} \times 0,445\text{m} = 0,17 \text{ m}^2$
- Γ) Κλίση της επιφάνειας συλλογής σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο  $35^\circ$

-Το εσωτερικό δοχείο του αποστακτήρα αποτελείται από μεταλλικά φύλλα τα οποία έχουν βαφτεί με μαύρο χρώμα για την όσο το δυνατό καλύτερη απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας. Η εξωτερική επιφάνεια του αποστακτήρα αποτελείται από ξύλο με ενδιάμεση παρεμβολή μονωτικού υλικού.



-Περιμετρικά της ωφέλιμης επιφάνειας για την εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια βρίσκονται τοποθετημένα εύκαμπτα λάστιχα με τα οποία έρχεται σε επαφή το γυάλινο κάλυμμα για την αποφυγή διαρροής υδρατμών κατά τη λειτουργία του αποστακτήρα.

-Στην βάση της κατασκευής υπάρχει στρόφιγγα για την απομάκρυνση της άλμης στο τέλος της ημέρας επίσης υπάρχει και ο σωλήνας που είναι τοποθετημένος στο ανώτερο σημείο του δοχείου συλλογής της άλμης στον οποίο οδηγείται το αφραλατωμένο νερό από την γυάλινη επιφάνεια και συλλέγεται στον ογκομετρικό κύλινδρο.

- Η επιφάνεια συλλογής παρουσιάζει κλίση  $35^\circ$  σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο αυτή η γωνία έχει επιλεγεί ώστε να έχουμε όσο το δυνατό μεγαλύτερη συγκέντρωση των ηλιακών ακτίνων πάνω στην επιφάνεια αυτή. Η τιμή των  $35^\circ$  εφαρμόστηκε πάνω στην κατασκευή με βάση τον εμπειρικό κανόνα για την επιλογή της κλίσης της επιφάνειας συλλογής που μας λέει ότι " η κλίση της επιφάνειας συλλογής πρέπει να είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου όπου βρίσκεται η συσκευή" στην δική μας περίπτωση η τιμή των  $35^\circ$  είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής των Χανίων όπου γίνεται το πείραμα μας. Να σημειωθεί πως ο εμπειρικός αυτός κανόνας εξασφαλίζει την βέλτιστη συλλογή ηλιακών ακτίνων καθ'ολη την διάρκεια του έτους.

## 5.2 Πυρανόμετρο

Το πυρανόμετρο (σχήμα 3) είναι η κατεξοχήν συσκευή μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Το όργανο αυτό μας παρέχει πληροφορίες για την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο στην κεκλιμένη επιφάνεια.



Σχήμα 3

Το πυρανόμετρο αυτό χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της έντασης  $I$  της ηλιακής ακτινοβολίας σε  $W/m^2$ . Οι μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας παίζουν τον πιο σημαντικό ρόλο στην μελέτη της ηλιακής αφαλάτωσης.

- Ο αισθητήρας του πυρανομέτρου τοποθετείται παράλληλα με την επιφάνεια του γυάλινου καλύματος για την συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας. Κατά τη διαδικασία των μετρήσεων δόθηκε προσοχή έτσι ώστε να μην καλύπτεται μεγάλο μέρος της επιφάνειας συλλογής από τον αισθητήρα του οργάνου.

### 5.3 Θερμόμετρα

Κατά την πειραματική διαδικασία εκτός από την συλλογή μετρήσεων για την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας συλλέχθηκαν και μετρήσεις θερμοκρασίας από τη μάζα του νερού μέσα στον αποστακτήρα και από το περιβάλλον για να μελετηθεί η επίδραση τους στην λειτουργία της συσκευής.

Στο ξεκίνημα των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε θερμόμετρο σαν αυτό του σχήματος 4 το οποίο χρησιμοποιείται και σε ενυδρεία. Τα θερμόμετρο περιείχε δυο αισθητήρες θερμοκρασίας έναν εσωτερικό και έναν εξωτερικό. Ο εσωτερικός αισθητήρας του οργάνου μας έδινε ενδείξεις θερμοκρασίας του περιβάλλοντος ενώ ο εξωτερικός ο οποίος συνδεόταν με καλώδιο στον εξωτερικό αισθητήρα και τον οποίο τοποθετούσαμε μέσα στο αλμυρό νερό μας παρείχε μετρήσεις για την θερμοκρασία της άλμης μέσα στον αποστακτήρα.



Σχήμα 4

Το θερμόμετρο που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις μας παρείχε δυο ενδείξεις θερμοκρασίας στο σχήμα φαίνεται επίσης και ο εξωτερικός αισθητήρας του οργάνου ο οποίος βρισκόταν μέσα στην άλμη για την μέτρηση της θερμοκρασίας της.

Το παραπάνω θερμόμετρο είχε εύρος μετρήσεων από  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  έως  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$  κατά την διάρκεια κάποιων συγκεκριμένων μετρήσεων όμως η άλμη ανέβαζε θερμοκρασίες υψηλότερες από  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί πρόβλημα στη συλλογή των μετρήσεων. Για την λύση αυτού του προβλήματος επιστρατεύτηκε ένα άλλο θερμόμετρο (σχήμα 5) με εύρος θερμοκρασιών από  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  έως  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  και με το οποίο ξεπεράστηκε αυτό το εμπόδιο.

Σχήμα 5



Το θερμόμετρο αυτό έλυσε τα προβλήματα με το διαθέσιμο εύρος μετρήσιμης θερμοκρασίας που δημιουργηθήκαν με το προηγούμενο θερμόμετρο έτσι οι μετρήσεις θερμοκρασίας νερού βασιστήκαν στο συγκεκριμένο θερμόμετρο και οι μετρήσεις θερμοκρασίας περιβάλλοντος βασιστήκαν στο προηγούμενο.

Ειδική προσοχή δόθηκε έτσι ώστε ο αισθητήρας του οργάνου να αιωρείται στο νερό και να μην έρχεται σε επαφή με τα μαύρα τοιχώματα του αποστακτήρα ώστε να μας δίνονται αξιόπιστες μετρήσεις για την θερμοκρασία του νερού. Ο αισθητήρας μέτρησης θερμοκρασίας του περιβάλλοντος τοποθετούνταν έτσι ώστε να βρίσκεται καθ'ολη την διάρκεια της ημέρας στην σκιά για να μην λαμβάνουμε λανθασμένες ενδείξεις θερμοκρασίας του περιβάλλοντος.

#### 5.4 Ογκομετρικοί κύλινδροι

Στο πείραμα χρησιμοποιηθήκαν δυο σκευή μέτρησης όγκου το πρώτο ήταν ογκομετρικός κύλινδρος με ονομαστική χωρητικότητα 50 ml και το δεύτερο ήταν ένα δοχείο μέτρησης όγκου των 1000 ml.

Το πρώτο χρησιμοποιήθηκε για την μέτρηση του όγκου του αποσταγμένου νερού στη μονάδα του χρόνου και το δεύτερο χρησιμοποιήθηκε για την καθημερινή πλήρωση του δοχείου του αποστακτήρα με αλμυρό νερό η ακρίβεια που παρείχε αυτό το όργανο ήταν περιορισμένη αλλά δεν έπαιζε ρόλο η μεγάλη ακρίβεια στην ποσότητα του νερού που τοποθετούνταν μέσα στον αποστακτήρα.

#### 5.5 Πεχάμετρο – Αγωγιμόμετρο

Το προϊόν της ηλιακής αφαλάτωσης το νερό είναι το κέντρο του ενδιαφέροντος γύρω από την μεθοδολογία της ηλιακής αφαλάτωσης αν και στη συγκεκριμένη εργασία μελετάται η ενεργειακή συμπεριφορά ενός ηλιακού αποστακτήρα, η ποιότητα του νερού που αποστάσσεται δημιουργεί αρκετά ερωτήματα οπότε σαν μια ένδειξη της ποιότητας του νερού που

λαμβάνουμε από την διαδικασία της απόσταξης διεξάγουμε αγωγιμομετρικό και πεχαμετρικό προσδιορισμό για μια γενική ιδέα της ποιότητας του νερού που παίρνουμε διότι ο αγωγιμομετρικός προσδιορισμός μας δίνει αν μη τι άλλο μια σαφή εικόνα για την παρουσία αλάτων μέσα στο διάλυμα. Περεταίρω ανάλυση του νερού θα ξέφευγε από τους σκοπούς της εργασίας για αυτό επιμείναμε απλώς στους ανωτέρω προσδιορισμούς.

Σχήμα 6



Για τους ανωτέρω προσδιορισμούς χρησιμοποιήθηκε πεχάμετρο – αγωγιμόμετρο παρόμοιο με αυτό του σχήματος 6. Με αυτό έγινε προσδιορισμός της αγωγιμότητας του θαλασσινού νερού που χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις στην αρχή της ημέρας και του αφαλατωμένου νερού στο τέλος της ημέρας έπειτα έγινε και σύγκριση με το νερό που παίρνουμε από την ιοντοανταλλακτική στήλη του εργαστηρίου Χημείας. Επίσης έγινε και μέτρηση του PH για να παρατηρήσουμε αν η μετρούμενη τιμή βρίσκεται σε αποδεκτά όρια εφόσον μιλάμε για νερό προοριζόμενο προς πόση.

## 5.6 Πυξίδα

Με την χρήση της πυξίδας προσανατολίσαμε τον ηλιακό αποστακτήρα νότια διότι με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνουμε την μέγιστη διάρκεια πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων κατά την διάρκεια της ημέρας.

## 5.7 Πείραμα

Η περίοδος στην οποία διεξήχθησαν οι μετρήσεις ήταν από τις 5/7/2007 έως τις 17/7/2007 όπου η ηλιακή ακτινοβολία βρίσκεται ανάμεσα στις υψηλότερες τιμές του χρόνου για την περιοχή των Χανίων. Να σημειωθεί ότι κατά το συγκεκριμένο μήνα παρατηρήθηκαν πολύ υψηλές θερμοκρασίες κάποιες συγκεκριμένες μέρες όμως κατά την περίοδο που έγιναν οι

πειραματικές μετρήσεις δεν υπήρχε κάποια μέρα όπου να συναντήσαμε παρόμοια φαινόμενα. Έτσι η λειτουργία του οργάνου καθ' όλη τη διάρκεια των μετρήσεων δεν έγινε κάτω από ακραίες κλιματικές συνθήκες (καύσωνας).

Οι μετρήσεις διεξάγονταν καθημερινά από τις 8:30 πμ έως τις 20:00 μμ, κάθε μισή ώρα γινόταν λήψη μετρήσεων ηλιακής ακτινοβολίας, θερμοκρασίας της άλμης στον αποστακτήρα, θερμοκρασίας περιβάλλοντος και μετρήσεις όγκου του αποστάγματος. Οι μετρήσεις όγκου έγιναν με τον ογκομετρικό κύλινδρο των 50 ml. Στην αρχή της ημέρας χρησιμοποιούσαμε το δοχείο μέτρησης όγκου των 1000 ml για την πλήρωση του αποστακτήρα με θαλασσινό νερό από την περιοχή της Χαλέπας.

Καθημερινά πριν από την έναρξη των σχεδιασμένων μετρήσεων τοποθετούσαμε στον αποστακτήρα τα θερμόμετρα μετρήσεως με τέτοια διάταξη ώστε να ελαχιστοποιήσουμε όσο είναι δυνατό τα σφάλματα, επίσης γινόταν καθαρισμός του γυάλινου καλύμματος αφού μετά από μια μέρα πλήρους λειτουργίας επικάθονταν σκόνη στο κάλυμμα με αποτέλεσμα να περιορίζεται η ένταση της εισερχομένης ηλιακής ακτινοβολίας. Με τον καθαρισμό επιτυγχάνουμε καλύτερη λειτουργία του αποστακτήρα. Ο αποστακτήρας τοποθετήθηκε στο χώρο του ΤΕΙ Κρήτης πάνω από την οροφή του αμφιθεάτρου με νότιο προσανατολισμό όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, έτσι είχαμε πρόσπτωση των ηλιακών ακτίνων για όσο το δυνατό περισσότερες ώρες. Το μόνο μεταβλητό μέγεθος στις μετρήσεις οι οποίες ήταν στον αριθμό 11, ήταν η αρχική ποσότητα του νερού που τοποθετούσαμε κάθε μέρα στον αποστακτήρα. Έτσι έγιναν μετρήσεις με αρχικές ποσότητες θαλασσινού νερού 1500 ml, 2000ml, 4000 ml, 6000ml και 8000 ml για κάθε ξεχωριστή ποσότητα διεξάγονταν δυο μετρήσεις εκτός από την μέτρηση με αρχική ποσότητα τα 1500 ml όπου έγινε μέτρηση μόνο για λόγους εμπειρικούς αφού η τιμή αυτή ως αρχική ποσότητα νερού καθίσταται μη εκμεταλλεύσιμη πρακτικά και δεδομένου ότι αυτή η ποσότητα είναι πολύ μικρή για πραγματική χρήση. Έτσι η μέτρηση αυτή γίνεται για κάποιες παραπάνω πληροφορίες σχετικά με την λειτουργία του αποστακτήρα. Από τις 11 μετρήσεις 2 έγιναν δοκιμαστικά προς εξοικείωση με τη λειτουργία του αποστακτήρα όπου δεν χρησιμοποιήθηκε θαλασσινό νερό, αυτές οι μετρήσεις δεν παίρνουν μέρος στην επεξεργασία που γίνεται σε αυτή την εργασία.

Τέλος όπως αναφέρθηκε παραπάνω κάποιες μέρες έγιναν μετρήσεις αγωγιμότητας και PH του θαλασσινού νερού πριν την απόσταξη και μετά από αυτή.

## 6. Αποτελέσματα & Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων χρήσιμων για την μελέτη του ηλιακού αποστακτήρα έγιναν οι παρακάτω διαδικασίες με τις οποίες εξήχθησαν τα αποτελέσματα.

### 6.1 Διόρθωση Μετρήσεων

Οι μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας που παίρνουμε από το πυρανόμετρο δεν αντιπροσωπεύουν την πραγματική ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει πάνω στο όργανο έτσι έχει γίνει διόρθωση των μετρήσεων με την παρακάτω εξίσωση.

$$Y=0,7953*X+4,8162$$

Όπου :

Y= Η πραγματική ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

X= Η ένταση της ακτινοβολίας που μετράμε με το πυρανόμετρο.

### 6.2 Υπολογισμός της ολικής ηλιακής ενέργειας που εισέρχεται στον αποστακτήρα – Αναγωγή Μετρήσεων.

Για τον υπολογισμό της ολικής ενέργειας που εισέρχεται στον αποστακτήρα όλη την ημέρα χρησιμοποιούμε τον εξής τύπο:

$$Q(Wh) = I(W/m^2) * A(m^2) * t(h)$$

Όπου:

I: Η μέση ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ανά μισή ώρα.

A: Η ωφέλιμη επιφάνεια εισαγωγής της ηλιακής ενέργειας στον αποστακτήρα.

t : Το χρονικό διάστημα αναφοράς (μισή ώρα).

Δίνουμε ένα παράδειγμα με το οποίο υπολογίζουμε την συνολική ηλιακή ενέργεια για τις ώρες 8:30-10:00 χρησιμοποιώντας τα δεδομένα από την πρώτη μέτρηση.

Χρόνος	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m <sup>2</sup> )
8:30	322,9
9:00	423,9
9:30	542,4
10:00	653,0

Για το χρονικό διάστημα 8:30-9:00 :

$$I=(I_{9:00}+I_{8:30})/2 \text{ (W/m}^2\text{)}=(423,9+322,9)/2=373,4 \text{ W/m}^2$$

$A=0.17 \text{ m}^2$  (από τα κατασκευαστικά δεδομένα του αποστακτήρα)

$t=0,5 \text{ h}$  (χρονικό διάστημα μισής ώρας)

$$Q_{8:30-9:00}=373,4(\text{W/m}^2)*0,17(\text{m}^2)*0,5(\text{h})=31,7 \text{ Wh}$$

Για το χρονικό διάστημα 9:00-9:30 :

$$I=(I_{9:30}+I_{9:00})/2 \text{ (W/m}^2\text{)}=(542+423,9)/2=483,2 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

$A=0.17 \text{ m}^2$  (από τα κατασκευαστικά δεδομένα του αποστακτήρα)

$t=0,5 \text{ h}$  (χρονικό διάστημα μισής ώρας)

$$Q_{9:00-9:30}=483,2(\text{W/m}^2)*0,17(\text{m}^2)*0,5(\text{h})=41,1 \text{ Wh}$$

Για το χρονικό διάστημα 9:30-10:00 :

$$I=(I_{10:00}+I_{9:30})/2 \text{ (W/m}^2\text{)}=(653+542,4)/2=597,7 \text{ W/m}^2$$

$A=0.17 \text{ m}^2$  (από τα κατασκευαστικά δεδομένα του αποστακτήρα)

$t=0,5 \text{ h}$  (χρονικό διάστημα μισής ώρας)

$$Q_{9:30-10:00}=597.7(\text{W/m}^2)*0,17(\text{m}^2)*0,5(\text{h})=50,8 \text{ Wh}$$

Η ολική ενέργεια που εισέρχεται από τις 8:30-10:00 είναι :

$$Q_{8:30-10:00}=Q_{8:30-9:00}+Q_{9:00-9:30}+Q_{9:30-10:00}=31,7(\text{Wh})+41,1(\text{Wh})+50,8(\text{Wh})=123,6 \text{ Wh}$$

Για να υπολογίσουμε την ολική ηλιακή ενέργεια που εισέρχεται στο σύστημα όλη την ημέρα υπολογίζουμε την ενέργεια για όλα τα χρονικά διαστήματα μισής ώρας που μεσολαβούν από τις 8:30 πμ έως τις 20:00 μμ και τα αθροίζουμε παρόμοια με τα παραπάνω.

Για λόγους σύγκρισης με την διεθνή βιβλιογραφία ανάγουμε τα αποτελέσματα της ποσότητας της ηλιακής ενέργειας και του αποστάγματος στο τετραγωνικό μέτρο όπου με απλή μέθοδο των 3 έχουμε για τα αποτελέσματα ηλιακής ενέργειας που υπολογίσαμε παραπάνω.

$$\text{Στα } 0,17\text{m}^2 \quad Q_{8:30-9:00}=31,7 \text{ Wh}$$

$$\text{Στο } 1\text{m}^2 \quad Q_{8:30-9:00}= ;$$

$$Q=31,7(\text{Wh})*1/0.17(\text{m}^2)=186,7 \text{ Wh/m}^2$$

Για το απόσταγμα θα χρησιμοποιήσουμε την συνολική ποσότητα του αποστάγματος όλης της ημέρας από τη πρώτη μέτρηση και θα την ανάγουμε στο τετραγωνικό μέτρο.

Η συνολική ποσότητα του αποστάγματος για την πρώτη μέτρηση είναι 672 ml(0,672L)

Στα 0,17m<sup>2</sup>                    672 ml(0,672L)

Στο 1m<sup>2</sup>                        X= ; ml

$$X=672(\text{ml}) * 1(\text{m}^2) / 0,17(\text{m}^2) = 3952,9 \text{ ml}(3,95\text{L})$$

Κατά τα ίδια ανάγουμε όλες τις μετρήσεις ηλιακής ενέργειας και αποστάγματος και με αυτές υπολογίζουμε τις αποδόσεις και την παραγωγικότητα παρακάτω. Όλα τα αποτελέσματα είναι βασισμένα πάνω στις ανηγμένες μετρήσεις αλλά στα αποτελέσματα παραθέτουμε και τους υπολογισμούς στα 0,17m<sup>2</sup>.

Επίσης έγινε αφαίρεση των ποσοτήτων αποστάγματος των διαδοχικών μετρήσεων για τον υπολογισμό του ρυθμού απόσταξης ανά μισή ώρα π.χ για την 1<sup>η</sup> μέτρηση για το χρονικό διάστημα 11:00-11:30 έχουμε :

Στις 11:00 είχαμε απόσταγμα 12 ml (0,012L). Στο τετραγωνικό μέτρο αυτή η ποσότητα αντιστοιχεί σε 70,6 ml (0,07L).

Στις 11:30 είχαμε απόσταγμα 41 ml (0,041L). Στο τετραγωνικό μέτρο αυτή η ποσότητα αντιστοιχεί σε 241,2 ml (0,24L).

Στο μισάωρο 11:00-11:30 το απόσταγμα είναι 0,24(L)-0,07(L)=0,17L

Παρόμοια υπολογίζουμε και για όλες τις υπόλοιπες μετρήσεις.

### 6.1 Μετατροπές Μονάδων

Για την χρήση των τύπων υπολογισμού της παραγωγικότητας και της απόδοσης που θα αναφέρουμε πιο κάτω ήταν αναγκαίο να μετατραπούν κάποια μεγέθη που υπολογίσαμε πιο πάνω σε άλλο διαφορετικό σύστημα μέτρησης. Συγκεκριμένα οι τύποι που μας παραθέτει η βιβλιογραφία απαιτούν μετατροπή των μεγεθών αυτών στο βρετανικό σύστημα μονάδων έτσι δημιουργείται η ανάγκη για τις παρακάτω μετατροπές :

1)Μετατροπή της ηλιακής ενέργειας από Wh/m<sup>2</sup>\*day σε B.T.U/ft<sup>2</sup>\*day.

2)Μετατροπή των μονάδων όγκου από L/m<sup>2</sup>\*day σε gal/ft<sup>2</sup>\*day

Έχοντας τα παραπάνω υπόψη παραθέτουμε τις παρακάτω ισοδυναμίες μετατροπής :

$$1 \text{ B.T.U} = 0,252 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ B.T.U} = 1,055 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ Gal} = 3,785 \text{ Lt}$$

$$1 \text{ ft} = 0,305 \text{ m}$$

$$1 \text{ ft} = 0,09\text{m}^2$$



Επίσης είναι χρήσιμες και οι παρακάτω ισοδυναμίες για τις μονάδες στο S.I

1KWh= 861 kcal

1kcal = 4,18 kJ

Εδώ δίνουμε πάλι ένα παράδειγμα με τις παραπάνω μετατροπές εφαρμόζοντας τις στις μετρήσεις. Πάλι τα δεδομένα που δίνουμε για αυτό το παράδειγμα προέρχονται από την πρώτη μέτρηση.

Η ολική ενέργεια που εισήλθε στο σύστημα όλη την ημέρα υπολογίστηκε με τον τρόπο που αναφέραμε παραπάνω σε 8025,5 Wh/m<sup>2</sup>\*day. Αυτήν την ποσότητα θα την μετατρέψουμε σε B.T.U/ft<sup>2</sup>\*day έτσι διαδοχικά έχουμε :

8025,5 Wh/m<sup>2</sup>\*day= 8,02 kWh/m<sup>2</sup>\*day\*861kcal=6905,2 kcal/m<sup>2</sup>\*day/0,252kcal=27401,5 B.T.U/m<sup>2</sup>\*day\*0,09ft<sup>2</sup>=2467,8 B.T.U/ft<sup>2</sup>\*day.

Επίσης μετατρέπουμε και την συνολική ποσότητα του αποστάγματος σε gal :

3,95lt/m<sup>2</sup>\*day/3,785gal=1,04gal\*0,09m<sup>2</sup>=0,0939 gal/ft<sup>2</sup>\*day.

#### 6.4 Υπολογισμός Αποδοτικότητας και Παραγωγικότητας – Υπολογισμός απόκλισης

Σημαντικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας ενός ηλιακού αποστακτήρα είναι η απόδοση του και η παραγωγή του. Για τον υπολογισμό της απόδοσης ενός ηλιακού αποστακτήρα έχουν προταθεί παρά πολλές μεθοδολογίες και εξισώσεις, όπως επίσης και εξισώσεις οι οποίες μπορούν να προβλέψουν κατά κάποιο τρόπο την παραγωγή του αποστακτήρα με δεδομένες τις συνθήκες κάτω από τις οποίες αυτός λειτουργεί.

Για τον υπολογισμό της απόδοσης και της θεωρητικής παραγωγής του ηλιακού αποστακτήρα που εξετάζεται σε αυτήν την εργασία θα χρησιμοποιήσουμε τις εξισώσεις που μας παραθέτουν οι J. A EIBLING, G. TALBERT και G.O.G. LōF στην μελέτη τους πάνω στους ηλιακούς αποστακτήρες. Αυτές οι εξισώσεις δεν έχουν επιλεγεί τυχαία. Αποτελούν το αποτέλεσμα πολλών χρόνων έρευνας και πειραμάτων πάνω στους ηλιακούς αποστακτήρες σε όλο τον κόσμο. Οι εξισώσεις περιγράφουν αρκετά καλά τις συνθήκες λειτουργίας των ηλιακών αποστακτήρων παρέχοντας μας ένα ικανό εύρος απόκλισης που ανταποκρίνεται σε όλους τους αποστακτήρες που παρουσιάζονται στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας και που συμπεριλαμβάνουν και τις συνθήκες λειτουργίας του αποστακτήρα που εξετάζουμε.

Παραθέτουμε πάλι τις εξισώσεις αυτές μαζί με παραδείγματα υπολογισμού από την 1<sup>η</sup> μέτρηση:

$$P=1,16*10^{-3}(R/100)^{1,40}, \text{gal/ft}^2/\text{day} \quad \text{Εξίσωση 1}$$

Αυτή η εξίσωση υπολογίζει την θεωρητική παραγωγικότητα του αποστακτήρα με δεδομένη την συνολική ηλιακή ακτινοβολία (R) σε B.T.U/ft<sup>2</sup>\*day που εισέρχεται καθ'ολη τη διάρκεια της ημέρας στο σύστημα σε γαλόνια ανά τετραγωνικό πόδι και ημέρα.

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία που εισήλθε στον αποστακτήρα όλη την ημέρα υπολογίστηκε σε 8025,5 Wh/m<sup>2</sup>\*day. Αυτή η τιμή αφού τη μετατρέψουμε σε B.T.U/ft<sup>2</sup>\*day με τον τρόπο που αναφέραμε πιο πάνω θα την αντικαταστήσουμε στην εξίσωση.

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία όλη την ημέρα σε B.T.U/ft<sup>2</sup>\*day ισούται με 2467,8 B.T.U/ft<sup>2</sup>\*day έτσι έχουμε :

$$P=1,16*10^{-3}(2467,8/100)^{1,40} = 0,1032 \text{ gal/ft}^2*\text{day}$$

Η απόδοση του αποστακτήρα δίνεται με όρους αποδοτικότητας λειτουργίας σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\text{Efficiency (\%)} = \frac{(\text{Productivity, gal/ft}^2/\text{day})*(8913 \text{ B.t.u./gal})*(100)}{(\text{Solar Radiation, B.t.u./ft}^2/\text{day})} \quad \text{Εξίσωση 2}$$

Όπου Productivity είναι η πραγματική παραγωγικότητα του αποστακτήρα όλη την ημέρα σε γαλόνια ανά τετραγωνικό πόδι και ημέρα και Solar Radiation η συνολική ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται στον αποστακτήρα όλη την ημέρα σε B.t.u./ft<sup>2</sup>\*day. Η μετατροπή από λίτρα ανά τετραγωνικό μέτρο και ημέρα γίνεται σύμφωνα με τους υπολογισμούς που αναφέραμε στην επεξεργασία. Ακολουθεί παράδειγμα υπολογισμού της αποδοτικότητας του αποστακτήρα με τα αποτελέσματα της 1<sup>ης</sup> μέτρησης.

Η συνολική ποσότητα του απεσταγμένου νερού όλη την ημέρα για την 1<sup>η</sup> μέτρηση ήταν 3,95 L αυτή η ποσότητα αντιστοιχεί σε 0,0939 gal/ft<sup>2</sup>\*day. Αυτή την ποσότητα αντικαθιστούμε στην εξίσωση.

$$\text{Efficiency (\%)} = \frac{(0,0939, \text{ gal/ft}^2/\text{day})*(8913 \text{ B.t.u./gal})*(100)}{(2467,8, \text{ B.t.u./ft}^2/\text{day})} = 33,9\%$$

Η εξίσωση της παραγωγικότητας μας δίνει ένα εύρος απόκλισης +/- 25% στα δεδομένα που παρουσιάζουν οι αποστακτήρες που έχουν μελετηθεί στην παρουσίαση των J. A EIBLING, G. TALBERT και G.O.G. LÖF της ανασκόπησης της βιβλιογραφίας. Η απόκλιση υπολογίζεται ως εξής :

Θεωρητική Παραγωγικότητα- Πραγματική Παραγωγικότητα

\*100 (%)

Θεωρητική Παραγωγικότητα

Όπου Θεωρητική Παραγωγικότητα το αποτέλεσμα που έχουμε από την εξίσωση 1 και πραγματική παραγωγικότητα η παραγωγή αποστάγματος που έχει ο αποστακτήρας όλη την ημέρα. Υπολογίζοντας την απόκλιση για την πρώτη μέτρηση έχουμε:

$$\frac{0,1032-0,0939}{0,1032} *100 = 8,9 \%$$

Τα διαγράμματα που παρουσιάζονται στα αποτελέσματα έχουν γίνει με το λογισμικό επεξεργασίας Microsoft Excel. Επίσης όλοι οι υπολογισμοί που αναφέραμε πιο πάνω έχουν αυτοματοποιηθεί με το ίδιο πρόγραμμα διευκολύνοντας την διαδικασία της επεξεργασίας.

#### 6.4 Πίνακες και Διαγράμματα Αποτελεσμάτων

Σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα των υπολογισμών που αναφέραμε πιο πάνω και παρουσιάζουμε τα διαγράμματα που αποτελούν αποτελέσματα της επεξεργασίας των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων για κάθε ξεχωριστή μέτρηση.

# 1<sup>η</sup> Μέτρηση

Αρχική ποσότητα νερού 2000 ml

Ημερομηνία : 10/7/2007

Χρόνος	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (ml) 1m <sup>2</sup>	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (L) 1m <sup>2</sup>
8:30	0,0	0,00
9:00	0,0	0,00
9:30	0,0	0,00
10:00	0,0	0,00
10:30	0,0	0,00
11:00	70,6	0,07
11:30	241,2	0,24
12:00	470,6	0,47
12:30	711,8	0,71
13:00	994,1	0,99
13:30	1335,3	1,34
14:00	1688,2	1,69
14:30	2041,2	2,04
15:00	2376,5	2,38
15:30	2688,2	2,69
16:00	2970,6	2,97
16:30	3217,6	3,22
17:00	3429,4	3,43
17:30	3558,8	3,56
18:00	3676,5	3,68
18:30	3770,6	3,77
19:00	3835,3	3,84
19:30	3905,9	3,91
20:00	3952,9	3,95

Χρονικό Διάστημα (0,5 hrs)	Μέση Ένταση Ηλιακής ακτινοβολίας (W/m <sup>2</sup> )	Qεισερχόμενη (Wh) 0,17 m <sup>2</sup>	Qεισερχόμενη (Wh) 1 m <sup>2</sup>	Παραγωγή Νερού ανά 0,5 hrs (L/m <sup>2</sup> )
8:30 - 9:00	373,4	31,7	186,7	0,00
9:00 - 9:30	483,2	41,1	241,6	0,00
9:30 - 10:00	597,7	50,8	298,9	0,00
10:00 - 10:30	814,0	69,2	407,0	0,00
10:30 - 11:00	992,6	84,4	496,3	0,07
11:00 - 11:30	1010,5	85,9	505,2	0,17
11:30 - 12:00	1022,8	86,9	511,4	0,23
12:00 - 12:30	1028,4	87,4	514,2	0,24
12:30 - 13:00	1009,3	85,8	504,6	0,28
13:00 - 13:30	1003,7	85,3	501,9	0,34
13:30 - 14:00	1006,1	85,5	503,0	0,35
14:30 - 15:00	988,6	84,0	494,3	0,35
15:00 - 15:30	955,2	81,2	477,6	0,34
15:30 - 16:00	901,9	76,7	451,0	0,31
16:00 - 16:30	827,2	70,3	413,6	0,28
16:30 - 17:00	735,3	62,5	367,6	0,25
17:00 - 17:30	637,9	54,2	318,9	0,21
17:30 - 18:00	532,9	45,3	266,4	0,13
18:00 - 18:30	427,1	36,3	213,6	0,12
18:30 - 19:00	320,9	27,3	160,5	0,09
19:00 - 19:30	221,1	18,8	110,6	0,06
19:30 - 20:00	161,1	13,7	80,5	0,07

Συνολική Εισερχόμενη Ενέργεια Q (Wh/m <sup>2</sup> *Day)	8025,46305
Συνολικό Απεσταγμένο Νερό (L/m <sup>2</sup> *Day)	3,95294118
Συνολικό Απεσταγμένο Νερό (gal/ft <sup>2</sup> *Day)	0,09399332
Συνολική Εισερχόμενη Ενέργεια Q (BTU/ft <sup>2</sup> *Day)	2467,82989

Productivity (gal/ft <sup>2</sup> *Day)	0,103204657
---	-------------

Declination(%)	8,9
----------------	-----

Efficiency (%)	33,9
----------------	------

## 2<sup>η</sup> Μέτρηση

Αρχική ποσότητα νερού 2000 ml

Ημερομηνία : 11/7/2007

Χρόνος	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (ml) 1m <sup>2</sup>	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (L) 1m <sup>2</sup>
8:30	0,00	0,00
9:00	0,00	0,00
9:30	0,00	0,00
10:00	0,00	0,00
10:30	0,00	0,00
11:00	64,71	0,06
11:30	188,24	0,19
12:00	376,47	0,38
12:30	629,41	0,63
13:00	823,53	0,82
13:30	1176,47	1,18
14:00	1482,35	1,48
14:30	1817,65	1,82
15:00	2164,71	2,16
15:30	2458,82	2,46
16:00	2752,94	2,75
16:30	2970,59	2,97
17:00	3182,35	3,18
17:30	3388,24	3,39
18:00	3505,88	3,51
18:30	3576,47	3,58
19:00	3641,18	3,64
19:30	3694,12	3,69
20:00	3735,29	3,74

Χρονικό Διάστημα (0,5 hrs)	Μέση Ένταση Ηλιακής ακτινοβολίας (W/m <sup>2</sup> )	Qεισερχόμενη (Wh) 0,17 m <sup>2</sup>	Qεισερχόμενη (Wh) 1 m <sup>2</sup>	Παραγωγή Νερού ανά 0,5 hrs (L/m <sup>2</sup> )
8:30 - 9:00	369,46125	31,40420625	184,730625	0,00
9:00 - 9:30	484,3821	41,1724785	242,19105	0,00
9:30 - 10:00	598,9053	50,9069505	299,45265	0,00
10:00 - 10:30	701,499	59,627415	350,7495	0,00
10:30 - 11:00	788,982	67,06347	394,491	0,06
11:00 - 11:30	857,3778	72,877113	428,6889	0,12
11:30 - 12:00	920,2065	78,2175525	460,10325	0,19
12:00 - 12:30	971,901	82,611585	485,9505	0,25
12:30 - 13:00	996,95295	84,74100075	498,476475	0,19
13:00 - 13:30	1005,3036	85,450806	502,6518	0,35
13:30 - 14:00	1005,70125	85,48460625	502,850625	0,31
14:30 - 15:00	1018,0284	86,532414	509,0142	0,34
15:00 - 15:30	981,84225	83,45659125	490,921125	0,35
15:30 - 16:00	898,7334	76,392339	449,3667	0,29
16:00 - 16:30	829,14465	70,47729525	414,572325	0,29
16:30 - 17:00	746,43345	63,44684325	373,216725	0,22
17:00 - 17:30	644,63505	54,79397925	322,317525	0,21
17:30 - 18:00	535,67895	45,53271075	267,839475	0,21
18:00 - 18:30	426,3252	36,237642	213,1626	0,12
18:30 - 19:00	315,38085	26,80737225	157,690425	0,07
19:00 - 19:30	216,366	18,39111	108,183	0,06
19:30 - 20:00	164,27385	13,96327725	82,136925	0,05

Συνολική Εισερχόμενη Ενέργεια Q (Wh/m <sup>2</sup> *Day)	7738,7574
Συνολικό Απεσταγμένο Νερό (L/m <sup>2</sup> *Day)	3,73529412
Συνολικό Απεσταγμένο Νερό (gal/ft <sup>2</sup> *Day)	0,08881809
Συνολική Εισερχόμενη Ενέργεια Q (BTU/ft <sup>2</sup> *Day)	2379,6679

Productivity (gal/ft <sup>2</sup> *Day)	0,098080096
---	-------------

Declination(%)	9,443308547
----------------	-------------

Efficiency (%)	33,26664346
----------------	-------------

### 3<sup>η</sup> Μέτρηση

Αρχική ποσότητα νερού 4000 ml

Ημερομηνία : 12/7/2007

Χρόνος	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (ml) 1m <sup>2</sup>	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (L) 1m <sup>2</sup>
8:30	0,00	0,00
9:00	0,00	0,00
9:30	0,00	0,00
10:00	0,00	0,00
10:30	0,00	0,00
11:00	0,00	0,00
11:30	23,53	0,02
12:00	111,76	0,11
12:30	252,94	0,25
13:00	447,06	0,45
13:30	670,59	0,67
14:00	964,71	0,96
14:30	1223,53	1,22
15:00	1458,82	1,46
15:30	1729,41	1,73
16:00	2005,88	2,01
16:30	2223,53	2,22
17:00	2394,12	2,39
17:30	2576,47	2,58
18:00	2700,00	2,70
18:30	2823,53	2,82
19:00	2929,41	2,93
19:30	3011,76	3,01
20:00	3076,47	3,08



Χρονικό Διάστημα (0,5 hrs)	Μέση Ένταση Ηλιακής ακτινοβολίας (W/m <sup>2</sup> )	Qεισερχόμενη (Wh) 0,17 m <sup>2</sup>	Qεισερχόμενη (Wh) 1 m <sup>2</sup>	Παραγωγή Νερού ανά 0,5 hrs (L/m <sup>2</sup> )
8:30 - 9:00	371,4495	31,5732075	185,72475	0,00
9:00 - 9:30	482,7915	41,0372775	241,39575	0,00
9:30 - 10:00	592,14525	50,33234625	296,072625	0,00
10:00 - 10:30	713,03085	60,60762225	356,515425	0,00
10:30 - 11:00	806,87625	68,58448125	403,438125	0,00
11:00 -11:30	844,653	71,795505	422,3265	0,02
11:30 - 12:00	873,2838	74,229123	436,6419	0,09
12:00 - 12:30	919,4112	78,149952	459,7056	0,14
12:30 - 13:00	951,2232	80,853972	475,6116	0,19
13:00 - 13:30	985,81875	83,79459375	492,909375	0,22
13:30 - 14:00	1010,8707	85,9240095	505,43535	0,29
14:30 - 15:00	996,15765	84,67340025	498,078825	0,26
15:00 - 15:30	962,75505	81,83417925	481,377525	0,24
15:30 - 16:00	906,6864	77,068344	453,3432	0,27
16:00 - 16:30	831,9282	70,713897	415,9641	0,28
16:30 - 17:00	748,02405	63,58204425	374,012025	0,22
17:00 - 17:30	655,3716	55,706586	327,6858	0,17
17:30 - 18:00	547,60845	46,54671825	273,804225	0,18
18:00 - 18:30	435,0735	36,9812475	217,53675	0,12
18:30 - 19:00	331,28685	28,15938225	165,643425	0,12
19:00 - 19:30	229,0908	19,472718	114,5454	0,11
19:30 - 20:00	168,25035	14,30127975	84,125175	0,08

Συνολική Εισερχόμενη Ενέργεια Q (Wh/m <sup>2</sup> *Day)	7681,89345
Συνολικό Απεσταγμένο Νερό (L/m <sup>2</sup> *Day)	3,07647059
Συνολικό Απεσταγμένο Νερό (gal/ft <sup>2</sup> *Day)	0,07315254
Συνολική Εισερχόμενη Ενέργεια Q (BTU/ft <sup>2</sup> *Day)	2362,18224

Productivity (gal/ft <sup>2</sup> *Day)	0,097072619
---	-------------

Declination(%)	24,64143065
----------------	-------------

Efficiency (%)	27,60195862
----------------	-------------

#### 4<sup>η</sup> Μέτρηση

Αρχική ποσότητα νερού 4000 ml

Ημερομηνία : 15/7/2007

Χρόνος	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (ml) 1m <sup>2</sup>	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (L) 1m <sup>2</sup>
8:30	0,00	0,00
9:00	0,00	0,00
9:30	0,00	0,00
10:00	0,00	0,00
10:30	0,00	0,00
11:00	0,00	0,00
11:30	41,18	0,04
12:00	105,88	0,11
12:30	247,06	0,25
13:00	452,94	0,45
13:30	647,06	0,65
14:00	929,41	0,93
14:30	1023,53	1,02
15:00	1258,82	1,26
15:30	1541,18	1,54
16:00	1817,65	1,82
16:30	2058,82	2,06
17:00	2205,88	2,21
17:30	2394,12	2,39
18:00	2511,76	2,51
18:30	2641,18	2,64
19:00	2805,88	2,81
19:30	2958,82	2,96
20:00	3041,18	3,04

Χρονικό Διάστημα (0,5 hrs)	Μέση Ένταση Ηλιακής ακτινοβολίας (W/m <sup>2</sup> )	Qεισερχόμενη (Wh) 0,17 m <sup>2</sup>	Qεισερχόμενη (Wh) 1 m <sup>2</sup>	Παραγωγή Νερού ανά 0,5 hrs (L/m <sup>2</sup> )
8:30 - 9:00	354,35055	30,11979675	177,175275	0,00
9:00 - 9:30	470,862	40,02327	235,431	0,00
9:30 - 10:00	595,32645	50,60274825	297,663225	0,00
10:00 - 10:30	672,0729	57,1261965	336,03645	0,00
10:30 - 11:00	707,0661	60,1006185	353,53305	0,00
11:00 - 11:30	762,7371	64,8326535	381,36855	0,04
11:30 - 12:00	827,9517	70,3758945	413,97585	0,06
12:00 - 12:30	923,3877	78,4879545	461,69385	0,14
12:30 - 13:00	1003,713	85,315605	501,8565	0,21
13:00 - 13:30	1014,0519	86,1944115	507,02595	0,19
13:30 - 14:00	1016,4378	86,397213	508,2189	0,28
14:30 - 15:00	1011,26835	85,95780975	505,634175	0,09
15:00 - 15:30	970,70805	82,51018425	485,354025	0,24
15:30 - 16:00	910,6629	77,4063465	455,33145	0,28
16:00 - 16:30	841,86945	71,55890325	420,934725	0,28
16:30 - 17:00	759,95355	64,59605175	379,976775	0,24
17:00 - 17:30	668,0964	56,788194	334,0482	0,15
17:30 - 18:00	552,38025	46,95232125	276,190125	0,19
18:00 - 18:30	439,8453	37,3868505	219,92265	0,12
18:30 - 19:00	333,67275	28,36218375	166,836375	0,13
19:00 - 19:30	225,9096	19,202316	112,9548	0,16
19:30 - 20:00	168,648	14,33508	84,324	0,15

Συνολική Εισερχόμενη Ενέργεια Q (Wh/m <sup>2</sup> *Day)	7615,4859
Συνολικό Απεσταγμένο Νερό (L/m <sup>2</sup> *Day)	3,04117647
Συνολικό Απεσταγμένο Νερό (gal/ft <sup>2</sup> *Day)	0,07231331
Συνολική Εισερχόμενη Ενέργεια Q (BTU/ft <sup>2</sup> *Day)	2341,76191

Productivity (gal/ft <sup>2</sup> *Day)	0,095899827
---	-------------

Declination(%)	24,5949514
----------------	------------

Efficiency (%)	27,52323101
----------------	-------------

## 5<sup>η</sup> Μέτρηση

Αρχική ποσότητα νερού 6000 ml

Ημερομηνία : 2/7/2007

Χρόνος	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (ml) 1m <sup>2</sup>	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (L) 1m <sup>2</sup>
8:30	0,00	0,00
9:00	0,00	0,00
9:30	0,00	0,00
10:00	0,00	0,00
10:30	0,00	0,00
11:00	0,00	0,00
11:30	0,00	0,00
12:00	0,00	0,00
12:30	29,41	0,03
13:00	123,53	0,12
13:30	270,59	0,27
14:00	447,06	0,45
14:30	676,47	0,68
15:00	911,76	0,91
15:30	1158,82	1,16
16:00	1394,12	1,39
16:30	1617,65	1,62
17:00	1817,65	1,82
17:30	2005,88	2,01
18:00	2176,47	2,18
18:30	2335,29	2,34
19:00	2470,59	2,47
19:30	2558,82	2,56
20:00	2600,00	2,60

Χρονικό Διάστημα (0,5 hrs)	Μέση Ένταση Ηλιακής ακτινοβολίας (W/m <sup>2</sup> )	Qεισερχόμενη (Wh) 0,17 m <sup>2</sup>	Qεισερχόμενη (Wh) 1 m <sup>2</sup>	Παραγωγή Νερού ανά 0,5 hrs (L/m <sup>2</sup> )
8:30 - 9:00	530,5095	45,0933075	265,25475	0,00
9:00 - 9:30	607,25595	51,61675575	303,627975	0,00
9:30 - 10:00	646,6233	54,9629805	323,31165	0,00
10:00 - 10:30	690,76245	58,71480825	345,381225	0,00
10:30 - 11:00	777,45015	66,08326275	388,725075	0,00
11:00 - 11:30	854,59425	72,64051125	427,297125	0,00
11:30 - 12:00	919,80885	78,18375225	459,904425	0,00
12:00 - 12:30	966,3339	82,1383815	483,16695	0,03
12:30 - 13:00	994,1694	84,504399	497,0847	0,09
13:00 - 13:30	1002,52005	85,21420425	501,260025	0,15
13:30 - 14:00	997,74825	84,80860125	498,874125	0,18
14:30 - 15:00	977,86575	83,11858875	488,932875	0,23
15:00 - 15:30	943,66785	80,21176725	471,833925	0,24
15:30 - 16:00	893,56395	75,95293575	446,781975	0,25
16:00 - 16:30	825,16815	70,13929275	412,584075	0,24
16:30 - 17:00	742,0593	63,0750405	371,02965	0,22
17:00 - 17:30	649,40685	55,19958225	324,703425	0,20
17:30 - 18:00	550,78965	46,81712025	275,394825	0,19
18:00 - 18:30	431,097	36,643245	215,5485	0,17
18:30 - 19:00	311,802	26,50317	155,901	0,16
19:00 - 19:30	202,8459	17,2419015	101,42295	0,14
19:30 - 20:00	173,4198	14,740683	86,7099	0,09

Συνολική Εισερχόμενη Ενέργεια Q (Wh/m <sup>2</sup> *Day)	7844,73113
Συνολικό Απεσταγμένο Νερό (L/m <sup>2</sup> *Day)	2,6
Συνολικό Απεσταγμένο Νερό (gal/ft <sup>2</sup> *Day)	0,06182299
Συνολική Εισερχόμενη Ενέργεια Q (BTU/ft <sup>2</sup> *Day)	2412,25482

Productivity (gal/ft <sup>2</sup> *Day)	0,09996557
---	------------

Declination(%)	38,15572137
----------------	-------------

Efficiency (%)	22,84287152
----------------	-------------

## 6<sup>η</sup> Μέτρηση

Αρχική ποσότητα νερού 6000 ml

Ημερομηνία : 13/7/2007

Χρόνος	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (ml) 1m <sup>2</sup>	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (L) 1m <sup>2</sup>
8:30	0,00	0,00
9:00	0,00	0,00
9:30	0,00	0,00
10:00	0,00	0,00
10:30	0,00	0,00
11:00	0,00	0,00
11:30	0,00	0,00
12:00	17,65	0,02
12:30	82,35	0,08
13:00	147,06	0,15
13:30	264,71	0,26
14:00	400,00	0,40
14:30	588,24	0,59
15:00	776,47	0,78
15:30	1000,00	1,00
16:00	1223,53	1,22
16:30	1435,29	1,44
17:00	1647,06	1,65
17:30	1811,76	1,81
18:00	1964,71	1,96
18:30	2158,82	2,16
19:00	2300,00	2,30
19:30	2423,53	2,42
20:00	2470,59	2,47

Χρονικό Διάστημα (0,5 hrs)	Μέση Ένταση Ηλιακής ακτινοβολίας (W/m <sup>2</sup> )	Qεισερχόμενη (Wh) 0,17 m <sup>2</sup>	Qεισερχόμενη (Wh) 1 m <sup>2</sup>	Παραγωγή Νερού ανά 0,5 hrs (L/m <sup>2</sup> )
8:30 - 9:00	330,49155	28,09178175	165,245775	0,00
9:00 - 9:30	435,47115	37,01504775	217,735575	0,00
9:30 - 10:00	550,78965	46,81712025	275,394825	0,00
10:00 - 10:30	429,5064	36,508044	214,7532	0,00
10:30 - 11:00	272,037	23,123145	136,0185	0,00
11:00 - 11:30	619,98075	52,69836375	309,990375	0,00
11:30 - 12:00	946,84905	80,48216925	473,424525	0,02
12:00 - 12:30	965,93625	82,10458125	482,968125	0,06
12:30 - 13:00	971,1057	82,5439845	485,55285	0,06
13:00 - 13:30	998,54355	84,87620175	499,271775	0,12
13:30 - 14:00	1022,40255	86,90421675	511,201275	0,14
14:30 - 15:00	989,3976	84,098796	494,6988	0,19
15:00 - 15:30	953,6091	81,0567735	476,80455	0,19
15:30 - 16:00	901,1193	76,5951405	450,55965	0,22
16:00 - 16:30	826,75875	70,27449375	413,379375	0,22
16:30 - 17:00	739,27575	62,83843875	369,637875	0,21
17:00 - 17:30	640,2609	54,4221765	320,13045	0,21
17:30 - 18:00	540,8484	45,972114	270,4242	0,16
18:00 - 18:30	439,44765	37,35305025	219,723825	0,15
18:30 - 19:00	320,5503	27,2467755	160,27515	0,19
19:00 - 19:30	213,9801	18,1883085	106,99005	0,14
19:30 - 20:00	161,88795	13,76047575	80,943975	0,12

Συνολική Εισερχόμενη Ενέργεια Q (Wh/m <sup>2</sup> *Day)	7135,1247	Productivity (gal/ft <sup>2</sup> *Day)	0,087539357
Συνολικό Απεσταγμένο Νερό (L/m <sup>2</sup> *Day)	2,47058824	Declination(%)	32,89210095
Συνολικό Απεσταγμένο Νερό (gal/ft <sup>2</sup> *Day)	0,05874582	Efficiency (%)	23,86460296
Συνολική Εισερχόμενη Ενέργεια Q (BTU/ft <sup>2</sup> *Day)	2194,05085		

## 7<sup>η</sup> Μέτρηση

Αρχική ποσότητα νερού 8000 ml

Ημερομηνία : 6/7/2007

Χρόνος	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (ml) 1m <sup>2</sup>	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (L) 1m <sup>2</sup>
8:30	0,00	0,00
9:00	0,00	0,00
9:30	0,00	0,00
10:00	0,00	0,00
10:30	0,00	0,00
11:00	0,00	0,00
11:30	0,00	0,00
12:00	0,00	0,00
12:30	70,59	0,07
13:00	152,94	0,15
13:30	235,29	0,24
14:00	382,35	0,38
14:30	564,71	0,56
15:00	776,47	0,78
15:30	1000,00	1,00
16:00	1205,88	1,21
16:30	1394,12	1,39
17:00	1600,00	1,60
17:30	1800,00	1,80
18:00	1976,47	1,98
18:30	2147,06	2,15
19:00	2317,65	2,32
19:30	2352,94	2,35
20:00	2682,35	2,68



Χρονικό Διάστημα (0,5 hrs)	Μέση Ένταση Ηλιακής ακτινοβολίας (W/m <sup>2</sup> )	Qεισερχόμενη (Wh) 0,17 m <sup>2</sup>	Qεισερχόμενη (Wh) 1 m <sup>2</sup>	Παραγωγή Νερού ανά 0,5 hrs (L/m <sup>2</sup> )
8:30 - 9:00	353,55525	30,05219625	176,777625	0,00
9:00 - 9:30	486,37035	41,34147975	243,185175	0,00
9:30 - 10:00	625,54785	53,17156725	312,773925	0,00
10:00 - 10:30	723,36975	61,48642875	361,684875	0,00
10:30 - 11:00	780,2337	66,3198645	390,11685	0,00
11:00 -11:30	861,75195	73,24891575	430,875975	0,00
11:30 - 12:00	937,7031	79,7047635	468,85155	0,00
12:00 - 12:30	973,88925	82,78058625	486,944625	0,07
12:30 - 13:00	998,54355	84,87620175	499,271775	0,08
13:00 - 13:30	1012,4613	86,0592105	506,23065	0,08
13:30 - 14:00	1010,0754	85,856409	505,0377	0,15
14:30 - 15:00	987,807	83,963595	493,9035	0,18
15:00 - 15:30	921,7971	78,3527535	460,89855	0,21
15:30 - 16:00	865,3308	73,553118	432,6654	0,22
16:00 - 16:30	823,1799	69,9702915	411,58995	0,21
16:30 - 17:00	744,04755	63,24404175	372,023775	0,19
17:00 - 17:30	656,1669	55,7741865	328,08345	0,21
17:30 - 18:00	550,78965	46,81712025	275,394825	0,20
18:00 - 18:30	427,9158	36,372843	213,9579	0,18
18:30 - 19:00	311,0067	26,4355695	155,50335	0,17
19:00 - 19:30	203,6412	17,309502	101,8206	0,17
19:30 - 20:00	91,5039	7,7778315	45,75195	0,04

Συνολική Εισερχόμενη Ενέργεια Q (Wh/m <sup>2</sup> *Day)	7673,34398
Συνολικό Απεσταγμένο Νερό (L/m <sup>2</sup> *Day)	2,68235294
Συνολικό Απεσταγμένο Νερό (gal/ft <sup>2</sup> *Day)	0,06378118
Συνολική Εισερχόμενη Ενέργεια Q (BTU/ft <sup>2</sup> *Day)	2359,55327

Productivity (gal/ft <sup>2</sup> *Day)	0,096921403
---	-------------

Declination(%)	34,19288436
----------------	-------------

Efficiency (%)	24,09276621
----------------	-------------

## 8<sup>η</sup> Μέτρηση

Αρχική ποσότητα νερού 8000 ml

Ημερομηνία : 14/7/2007

Χρόνος	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (ml) 1m <sup>2</sup>	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (L) 1m <sup>2</sup>
8:30	0,00	0,00
9:00	0,00	0,00
9:30	0,00	0,00
10:00	0,00	0,00
10:30	0,00	0,00
11:00	0,00	0,00
11:30	0,00	0,00
12:00	0,00	0,00
12:30	47,06	0,05
13:00	129,41	0,13
13:30	211,76	0,21
14:00	358,82	0,36
14:30	541,18	0,54
15:00	752,94	0,75
15:30	976,47	0,98
16:00	1182,35	1,18
16:30	1370,59	1,37
17:00	1576,47	1,58
17:30	1776,47	1,78
18:00	1952,94	1,95
18:30	2123,53	2,12
19:00	2294,12	2,29
19:30	2352,94	2,35
20:00	2417,65	2,42

Χρονικό Διάστημα (0,5 hrs)	Μέση Ένταση Ηλιακής ακτινοβολίας (W/m <sup>2</sup> )	Qεισερχόμενη (Wh) 0,17 m <sup>2</sup>	Εισερχόμενη (Wh) 1 m <sup>2</sup>	Παραγωγή Νερού ανά 0,5 hrs (L/m <sup>2</sup> )
8:30 - 9:00	352,3623	29,9507955	176,18115	0,00
9:00 - 9:30	464,4996	39,482466	232,2498	0,00
9:30 - 10:00	591,34995	50,26474575	295,674975	0,00
10:00 - 10:30	726,1533	61,7230305	363,07665	0,00
10:30 - 11:00	806,08095	68,51688075	403,040475	0,00
11:00 - 11:30	859,7637	73,0799145	429,88185	0,00
11:30 - 12:00	926,17125	78,72455625	463,085625	0,00
12:00 - 12:30	973,88925	82,78058625	486,944625	0,05
12:30 - 13:00	1000,5318	85,045203	500,2659	0,08
13:00 - 13:30	1013,65425	86,16061125	506,827125	0,08
13:30 - 14:00	1010,47305	85,89020925	505,236525	0,15
14:30 - 15:00	991,7835	84,3015975	495,89175	0,18
15:00 - 15:30	932,53365	79,26536025	466,266825	0,21
15:30 - 16:00	873,2838	74,229123	436,6419	0,22
16:00 - 16:30	823,1799	69,9702915	411,58995	0,21
16:30 - 17:00	744,04755	63,24404175	372,023775	0,19
17:00 - 17:30	656,1669	55,7741865	328,08345	0,21
17:30 - 18:00	550,78965	46,81712025	275,394825	0,20
18:00 - 18:30	436,6641	37,1164485	218,33205	0,18
18:30 - 19:00	326,9127	27,7875795	163,45635	0,17
19:00 - 19:30	223,5237	18,9995145	111,76185	0,17
19:30 - 20:00	157,5138	13,388673	78,7569	0,06

Συνολική Εισερχόμενη Ενέργεια Q (Wh/m <sup>2</sup> *Day)	7720,66433
Συνολικό Απεσταγμένο Νερό (L/m <sup>2</sup> *Day)	2,41764706
Συνολικό Απεσταγμένο Νερό (gal/ft <sup>2</sup> *Day)	0,05748698
Συνολική Εισερχόμενη Ενέργεια Q (BTU/ft <sup>2</sup> *Day)	2374,10428

Productivity (gal/ft <sup>2</sup> *Day)	0,097759213
---	-------------

Declination(%)	41,19532832
----------------	-------------

Efficiency (%)	21,58209708
----------------	-------------

## 9<sup>η</sup> Μέτρηση

Αρχική ποσότητα νερού 1500 ml

Ημερομηνία : 16/7/2007

Χρόνος	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (ml) 1m <sup>2</sup>	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (L) 1m <sup>2</sup>
8:30	0,00	0,00
9:00	0,00	0,00
9:30	0,00	0,00
10:00	0,00	0,00
10:30	70,59	0,07
11:00	141,18	0,14
11:30	305,88	0,31
12:00	529,41	0,53
12:30	941,18	0,94
13:00	1411,76	1,41
13:30	1882,35	1,88
14:00	2411,76	2,41
14:30	2705,88	2,71
15:00	2952,94	2,95
15:30	3200,00	3,20
16:00	3329,41	3,33
16:30	3464,71	3,46
17:00	3570,59	3,57
17:30	3664,71	3,66
18:00	3747,06	3,75
18:30	3805,88	3,81
19:00	3852,94	3,85
19:30	3888,24	3,89
20:00	3911,76	3,91

Χρονικό Διάστημα (0,5 hrs)	Μέση Ένταση Ηλιακής ακτινοβολίας (W/m <sup>2</sup> )	Qεισερχόμενη (Wh) 0,17 m <sup>2</sup>	Qεισερχόμενη (Wh) 1 m <sup>2</sup>	Παραγωγή Νερού ανά 0,5 hrs (L/m <sup>2</sup> )
8:30 - 9:00	359,52	30,5592	179,76	0,00
9:00 - 9:30	472,4526	40,158471	236,2263	0,00
9:30 - 10:00	579,8181	49,2845385	289,90905	0,00
10:00 - 10:30	693,94365	58,98521025	346,971825	0,07
10:30 - 11:00	790,17495	67,16487075	395,087475	0,07
11:00 -11:30	878,8509	74,7023265	439,42545	0,16
11:30 - 12:00	946,4514	80,448369	473,2257	0,22
12:00 - 12:30	982,2399	83,4903915	491,11995	0,41
12:30 - 13:00	1013,2566	86,126811	506,6283	0,47
13:00 - 13:30	1025,1861	87,1408185	512,59305	0,47
13:30 - 14:00	1022,8002	86,938017	511,4001	0,53
14:30 - 15:00	1006,8942	85,586007	503,4471	0,29
15:00 - 15:30	976,27515	82,98338775	488,137575	0,25
15:30 - 16:00	924,58065	78,58935525	462,290325	0,25
16:00 - 16:30	847,8342	72,065907	423,9171	0,13
16:30 - 17:00	760,74885	64,66365225	380,374425	0,14
17:00 - 17:30	666,90345	56,68679325	333,451725	0,11
17:30 - 18:00	559,53795	47,56072575	279,768975	0,09
18:00 - 18:30	447,7983	38,0628555	223,89915	0,08
18:30 - 19:00	336,85395	28,63258575	168,426975	0,06
19:00 - 19:30	227,5002	19,337517	113,7501	0,05
19:30 - 20:00	172,22685	14,63928225	86,113425	0,04

Συνολική Εισερχόμενη Ενέργεια Q (Wh/m <sup>2</sup> *Day)	7845,92408
Συνολικό Απεσταγμένο Νερό (L/m <sup>2</sup> *Day)	3,91176471
Συνολικό Απεσταγμένο Νερό (gal/ft <sup>2</sup> *Day)	0,09301422
Συνολική Εισερχόμενη Ενέργεια Q (BTU/ft <sup>2</sup> *Day)	2412,62165

Productivity (gal/ft <sup>2</sup> *Day)	0,099986853
---	-------------

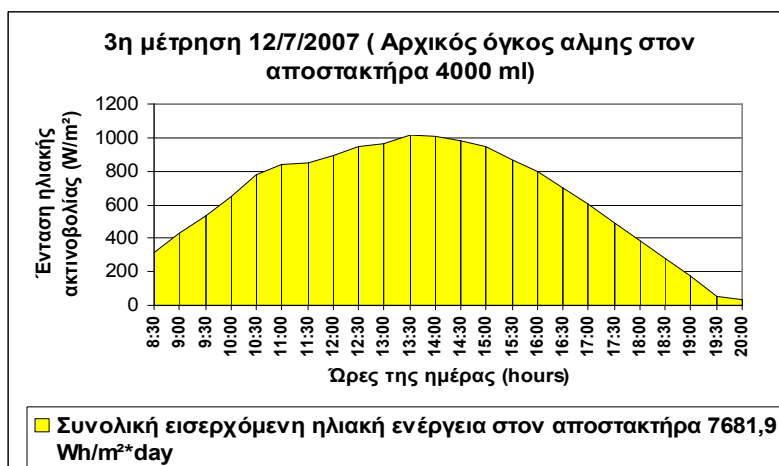
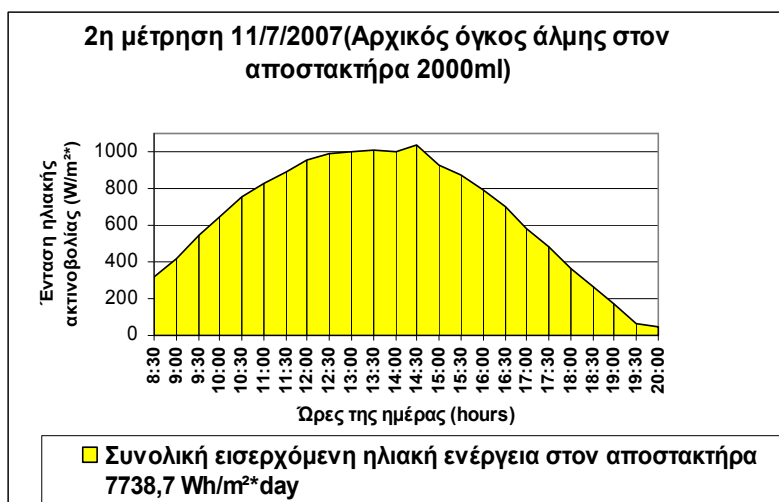
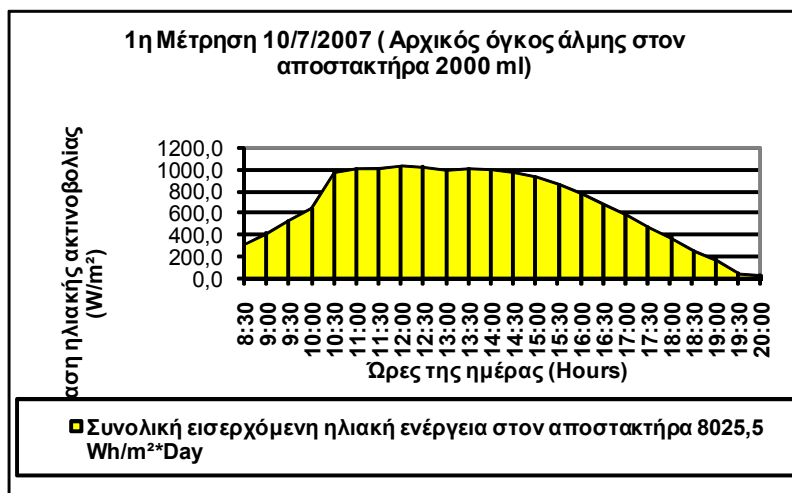
Declination(%)	6,973549473
----------------	-------------

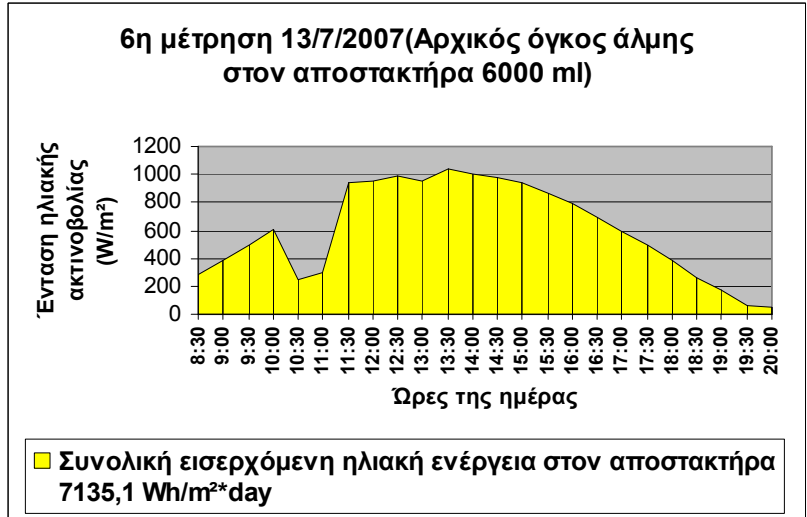
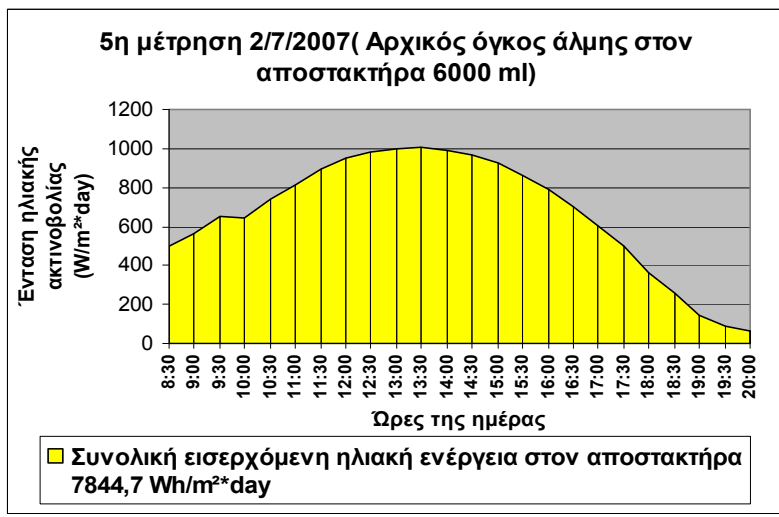
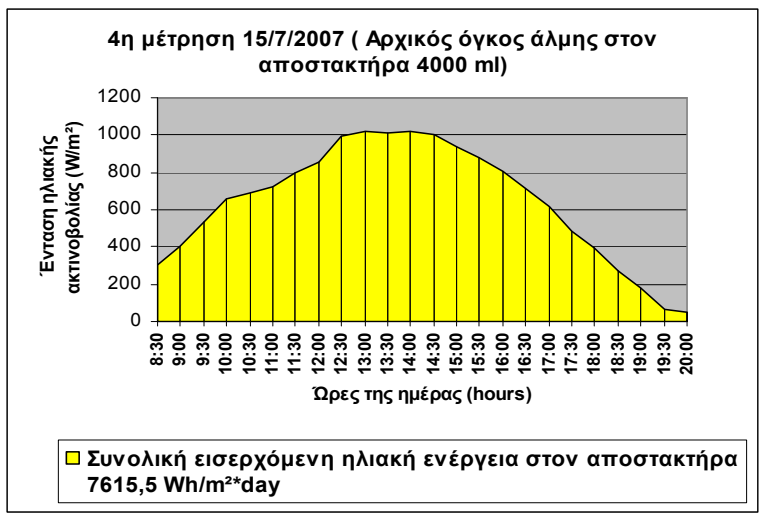
Efficiency (%)	34,36244319
----------------	-------------

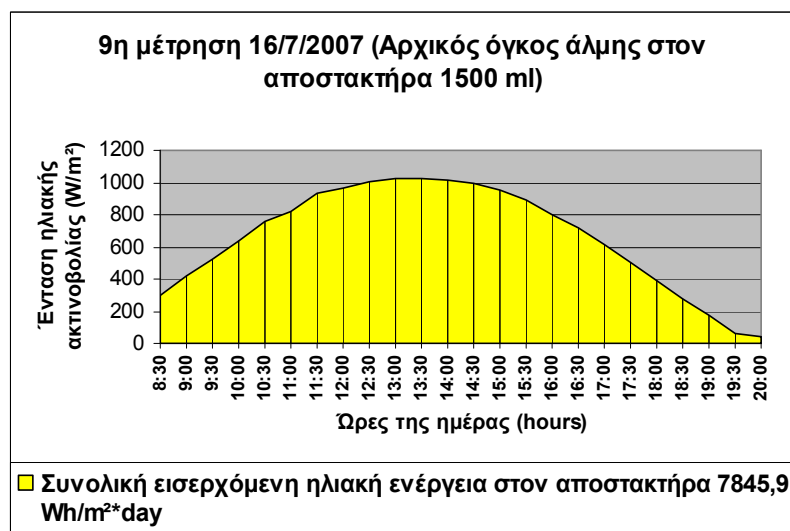
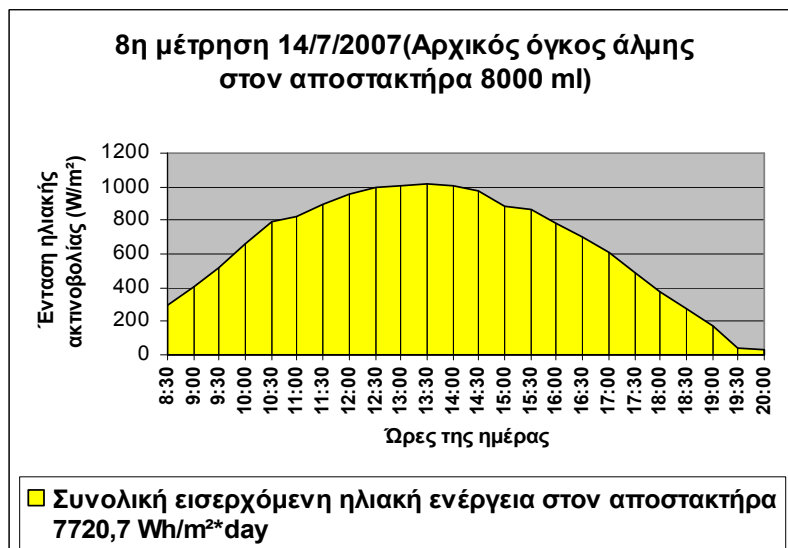
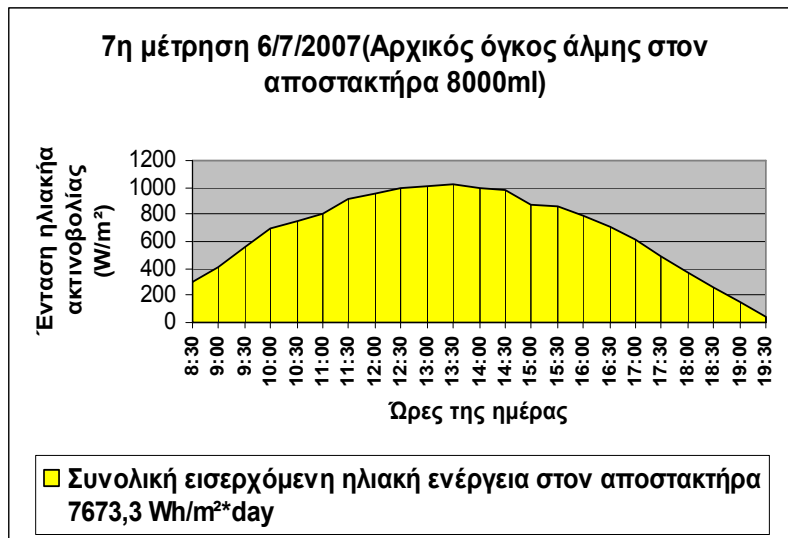
Εδώ παρουσιάζουμε τα διαγράμματα που προέκυψαν ως αποτέλεσμα της επεξεργασίας των μετρήσεων παραθέτοντας διάφορα σχόλια και παρατηρήσεις.

### Διαγράμματα Έντασης ηλιακής ακτινοβολίας

Τα διαγράμματα αυτά δείχνουν την ημερήσια διακύμανση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε σχέση με το χρόνο. Ακριβώς από κάτω από τα διαγράμματα παραθέτουμε την υπολογισμένη ολική ημερήσια ακτινοβολία σε  $Wh/m^2$  που εισέρχεται στον αποστακτήρα.





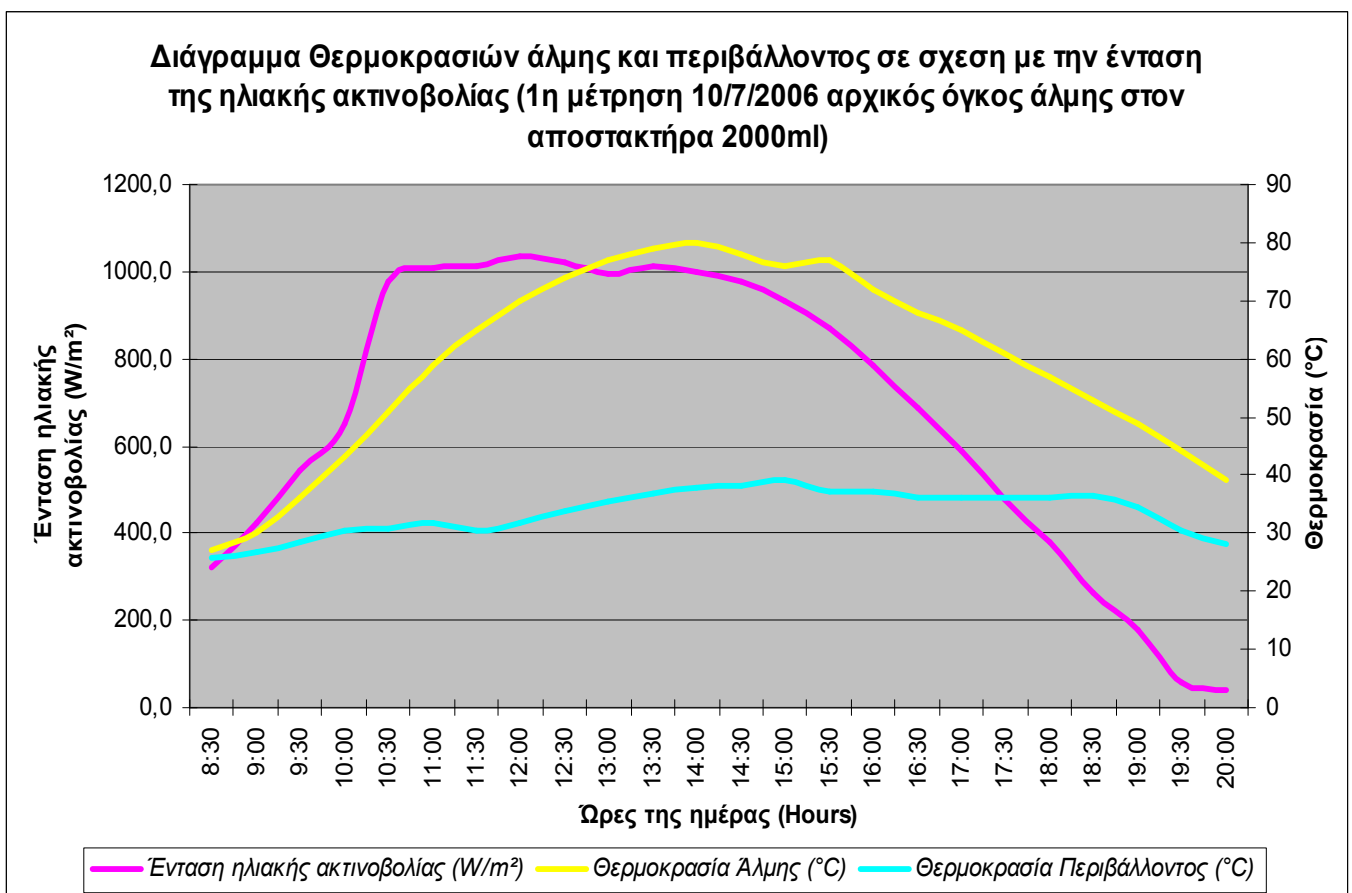




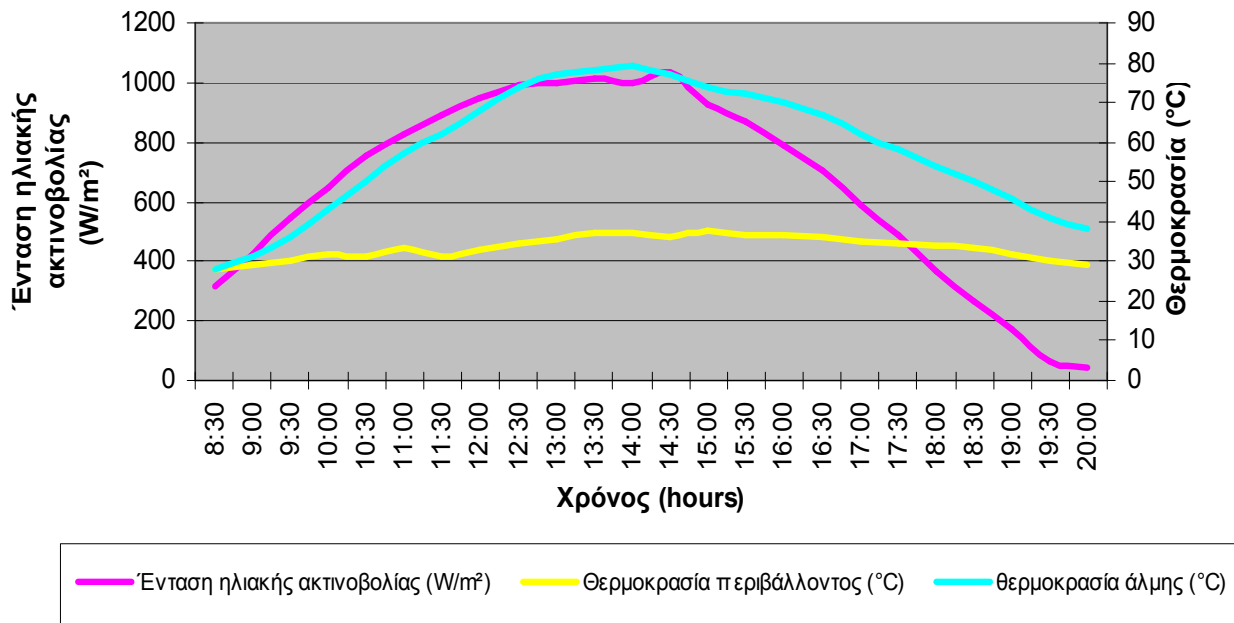
Τα διαγράμματα αυτά μας δείχνουν φυσιολογικές τιμές για την περίοδο όπου παίρνονται οι μετρήσεις. Όλες τις ημέρες είχαμε υψηλές τιμές ηλιακής ακτινοβολίας χωρίς διακυμάνσεις κατά την διάρκεια της ημέρας και χωρίς νεφώσεις. Η μόνη μέτρηση που παρουσιάζει διακύμανση είναι η 6<sup>η</sup> μέτρηση στις 13/7/2007. Στο χρονικό διάστημα που παρουσιάζεται η διακύμανση είχαμε μια μικρή νέφωση που είχε σαν αποτέλεσμα την μειωμένη τιμή της ηλιακής έντασης. Ο υπολογισμός της ολικής ακτινοβολίας που εισέρχεται στο σύστημα βασίστηκε στο ημίθροισμα της ηλιακής ακτινοβολίας για τα ημίωρα όπου παίρνονται οι μετρήσεις. Να σημειωθεί ότι οι τιμές που έχουν εξαχθεί ανήκουν ανάμεσα στις υψηλότερες της χρονιάς για την περιοχή των Χανίων χωρίς την ύπαρξη ακραίων καιρικών φαινομένων (καύσωνες). Επομένως η περίοδος αυτή κρίνεται ιδανική για την λήψη παρόμοιων μετρήσεων για τη μελέτη της λειτουργίας του αποστακτήρα κάτω από βέλτιστες συνθήκες.

*Διαγράμματα θερμοκρασιών άλμης και περιβάλλοντος σε σχέση με την ηλιακή ακτινοβολία*

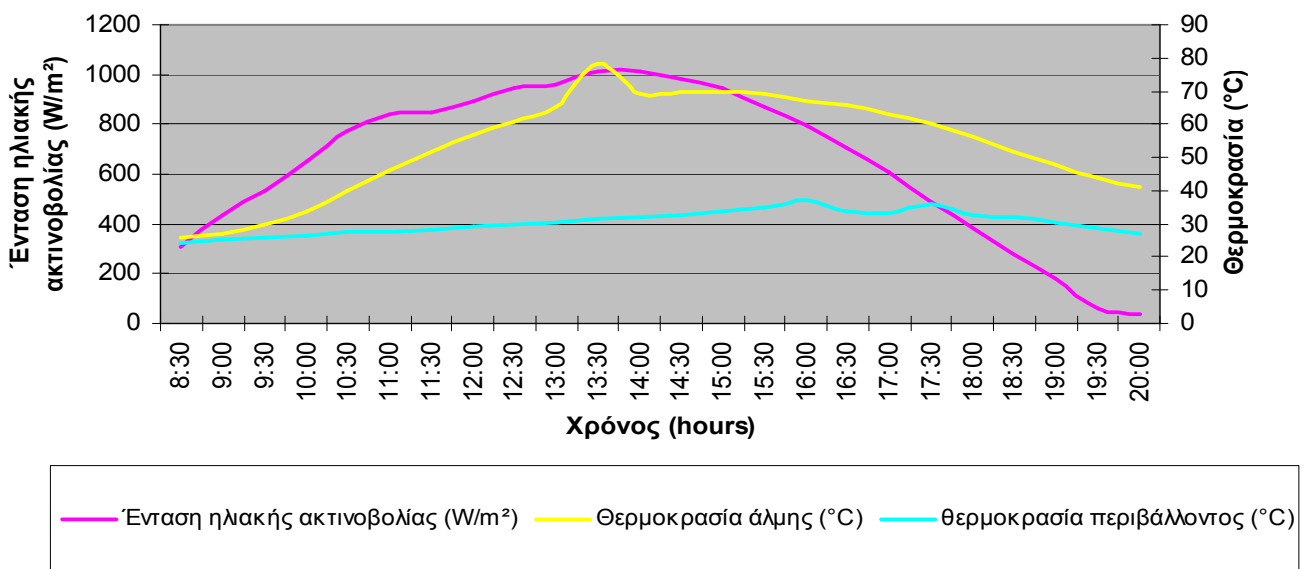
Σημαντικοί παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την λειτουργία του αποστακτήρα είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος και η θερμοκρασία που ανεβάζει η άλμη. Τα παρακάτω διαγράμματα δείχνουν τις μεταβολές των θερμοκρασιών σε σχέση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.



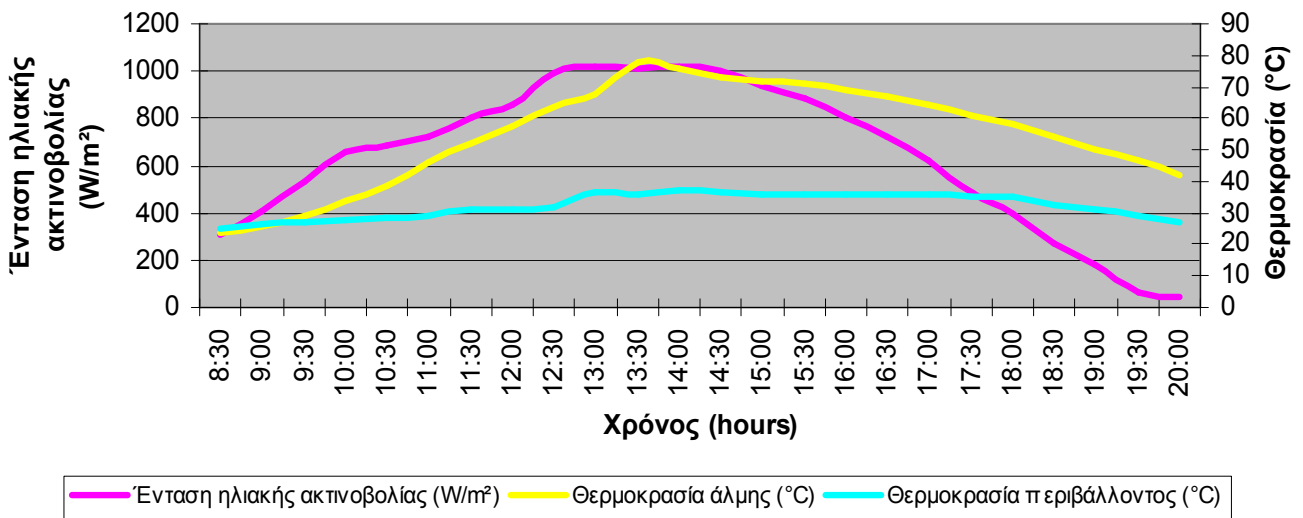
**Διάγραμμα Θερμοκρασιών άλμης και περιβάλλοντος σε σχέση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (2η μέτρηση 11/7/2006 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 2000 ml)**



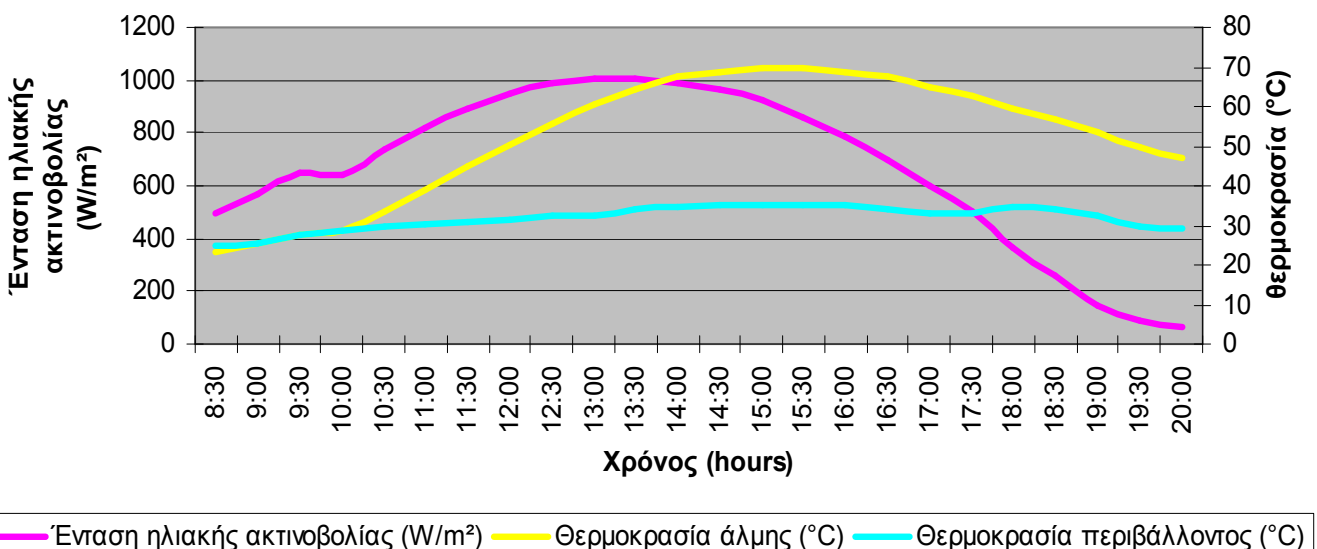
**Διάγραμμα θερμοκρασιών άλμης και περιβάλλοντος σε σχέση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (3η μετρηση 12/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 2000ml)**



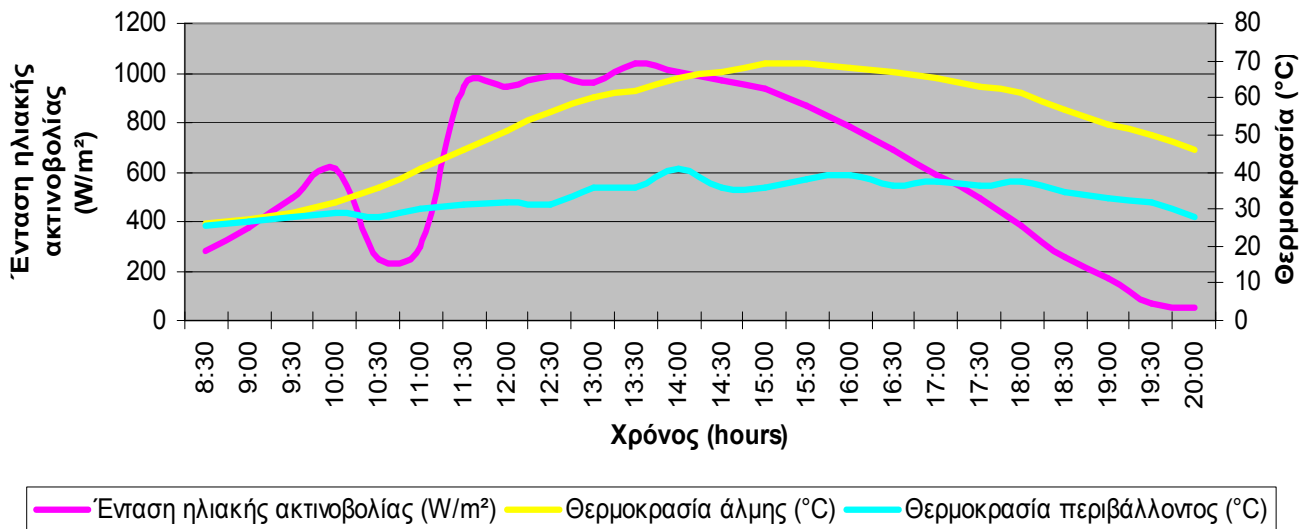
**Διάγραμμα θερμοκρασιών άλμης και περιβάλλοντος σε σχέση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (4η μέτρηση 15/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 4000 ml)**



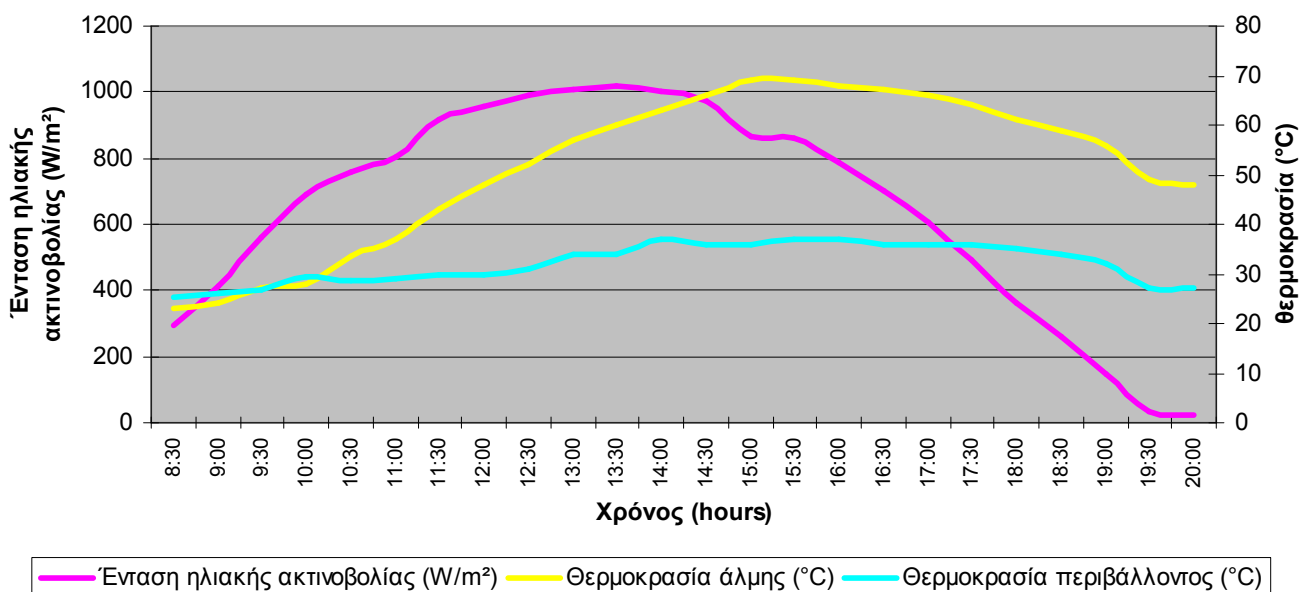
**Διάγραμμα θερμοκρασιών άλμης και περιβάλλοντος σε σχέση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (5η μέτρηση 2/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 6000 ml)**



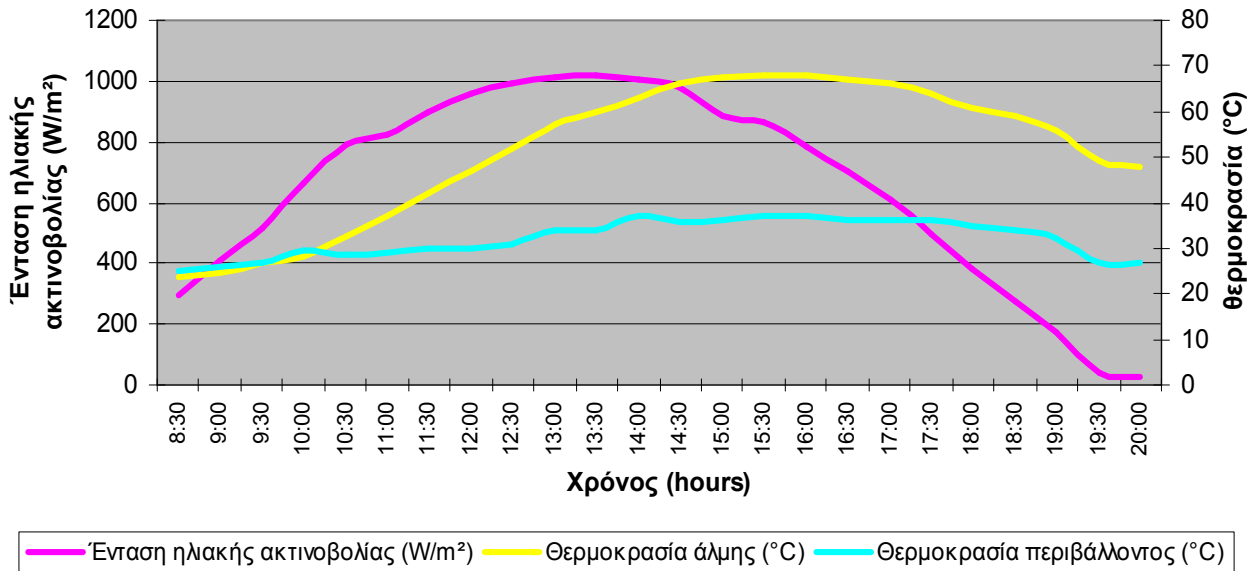
**Διάγραμμα θερμοκρασιών άλμης και περιβάλλοντος σε σχέση με την ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (6η μέτρηση 13/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 6000 ml)**



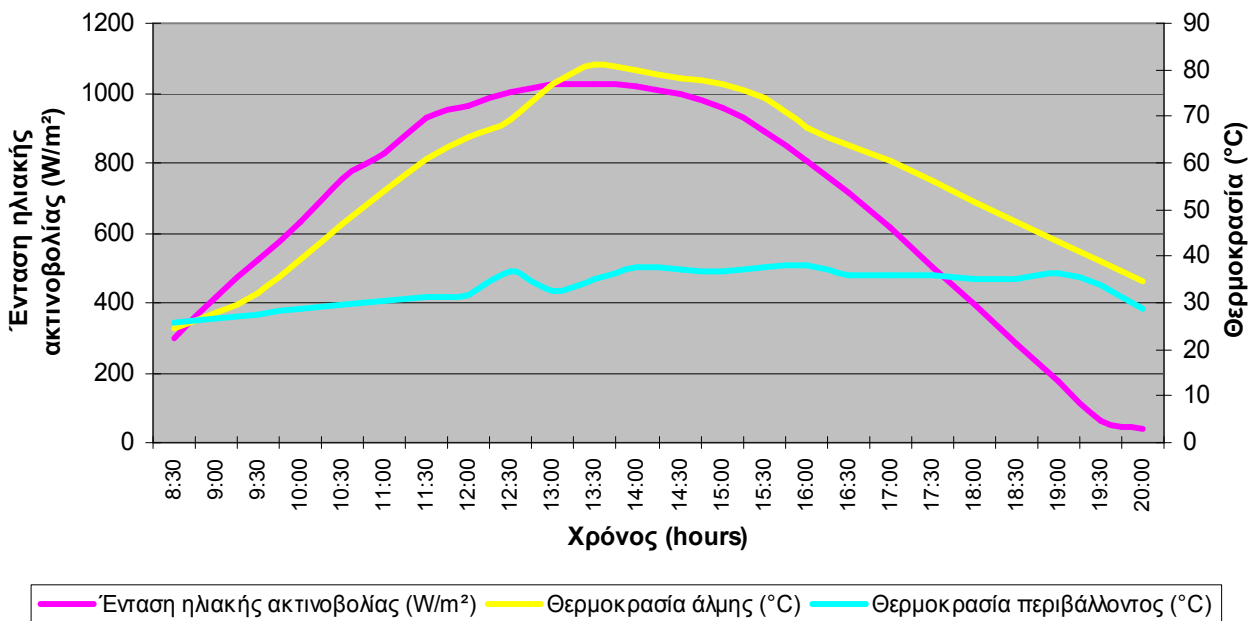
**Διάγραμμα θερμοκρασιών άλμης και περιβάλλοντος σε σχέση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (7η μέτρηση 6/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 8000 ml)**



**Διάγραμμα θερμοκρασιών άλμης και περιβάλλοντος σε σχέση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (8η μέτρηση 14/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 8000 ml)**



**Διάγραμμα θερμοκρασιών άλμης και περιβάλλοντος σε σχέση με την ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (9η μέτρηση 16/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 1500 ml)**



Σε αυτά τα διαγράμματα βλέπουμε την σχέση μεταξύ των θερμοκρασιών της άλμης και του περιβάλλοντος σε σχέση με την ηλιακή ακτινοβολία. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος ακολουθεί μια σταθερή πορεία καθ' όλη την διάρκεια των μετρήσεων σύμφωνα πάντα με ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η θερμοκρασία της άλμης αυξάνεται με την αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας σε όλες τις μετρήσεις.

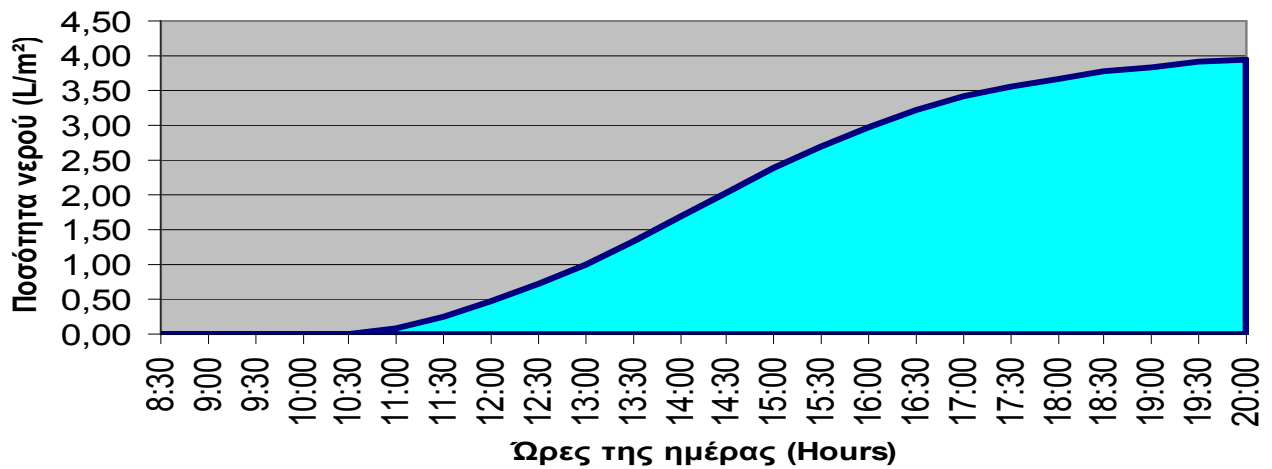
Οι υψηλότερες θερμοκρασίες άλμης παρατηρηθήκαν στις λεπτότερες στοιβάδες (1500ml,2000ml) όπου είχαμε ένα μέγιστο 81 °C στην μέτρηση με αρχική ποσότητα άλμης τα 1500 ml. Η μέγιστη θερμοκρασία που επιτύχανε το σύστημα κάθε φορά ήταν ανάλογη της στοιβάδας του νερού που υπήρχε αρχικά στον αποστακτήρα, έτσι οι χαμηλότερες θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της ημέρας παρατηρηθήκαν στις παχύτερες στοιβάδες άλμης (6000ml,8000ml).

Οι λεπτότερες στοιβάδες άλμης θερμαίνονται πιο γρήγορα και επιτυγχάνεται υψηλή θερμοκρασία της άλμης νωρίτερα μέσα στην ημέρα, κατά την δύση του ηλίου όμως η θερμοκρασία πέφτει ταχύτατα και η άλμη ψύχεται το ίδιο γρήγορα. Αντίθετα οι παχύτερες στοιβάδες άλμης θερμαίνονται βραδύτερα και κατά την δύση του ηλίου η ελάττωση της θερμοκρασίας της άλμης γίνεται πιο αργά. Οι διαφορές αυτές οφείλονται στη θερμοχωρητικότητα του νερού που όταν έχουμε λεπτή στοιβάδα άλμης έχουμε μικρότερη θερμοχωρητικότητα συστήματος συνεπώς η άλμη απαιτεί χαμηλότερα ποσά θερμότητας για να φτάσει σε μια ορισμένη θερμοκρασία. Το αντίθετο συμβαίνει όταν έχουμε παχιά στοιβάδα νερού. Επομένως ρυθμίζοντας το πάχος της στοιβάδας του νερού μπορούμε να επηρεάσουμε την θερμοκρασία της άλμης και γενικά μπορούμε να επιτύχουμε μια μερική αποθήκευση θερμικής ενέργειας.

*Διαγράμματα συνολικής παραγωγής αποστάγματος με το χρόνο – το πάχος της άλμης ως παράγοντας που επηρεάζει την συνολική ημερήσια ποσότητα αποστάγματος.*

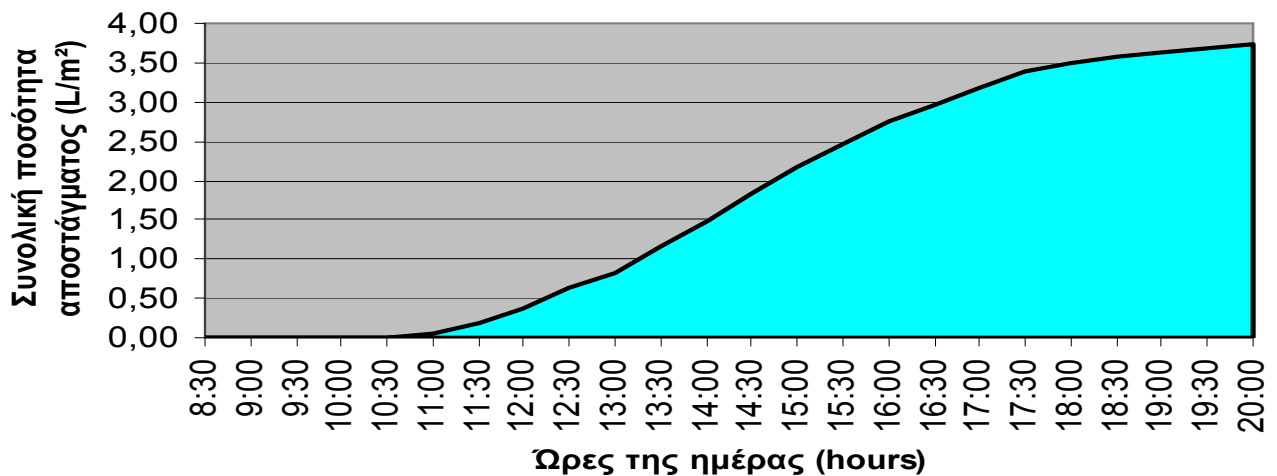
Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό της λειτουργίας ενός αποστακτήρα είναι η συνολική ποσότητα του αποστάγματος που μπορεί να παράγει. Το χαρακτηριστικό αυτό έχει άμεση συσχέτιση με την συνολική απόδοση του αποστακτήρα η οποία με την σειρά της επηρεάζεται από διάφορους επιμέρους παράγοντες ο καθένας με ένα δικό του ποσοστό συμμετοχής. Παρακάτω παραθέτουμε τα διαγράμματα της συνολικής παραγωγής αποστάγματος όλης της ημέρας για κάθε μέτρηση και έπειτα τα συγκρίνουμε μεταξύ τους.

**Διάγραμμα Συνολικής παραγωγής αποστάγματος με το χρόνο (1η μέτρηση 10/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 2000ml)**



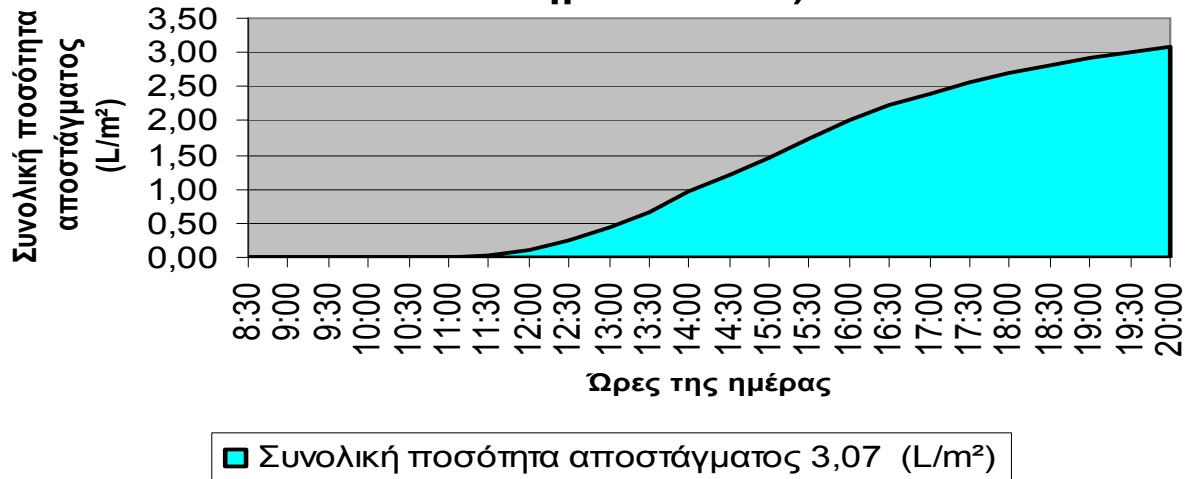
■ Συνολική ποσότητα απεσταγμένου νερού 3,95 L/m<sup>2</sup>\*day

**Διάγραμμα συνολικής παραγωγής αποστάγματος με το χρόνο (2η μετρηση 11/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 2000 ml)**

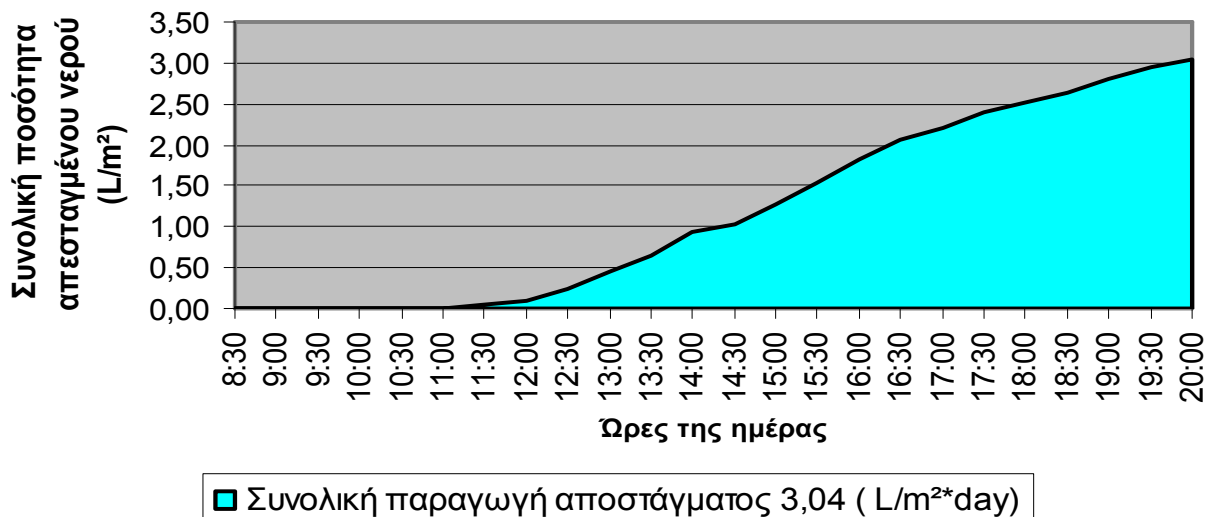


■ Συνολική παραγωγή αποστάγματος 3,74 L/m<sup>2</sup>\*day

**Διάγραμμα Συνολικής παραγωγής  
αποστάγματος με το χρόνο (3η μέτρηση  
12/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον  
αποστακτήρα 4000 ml)**

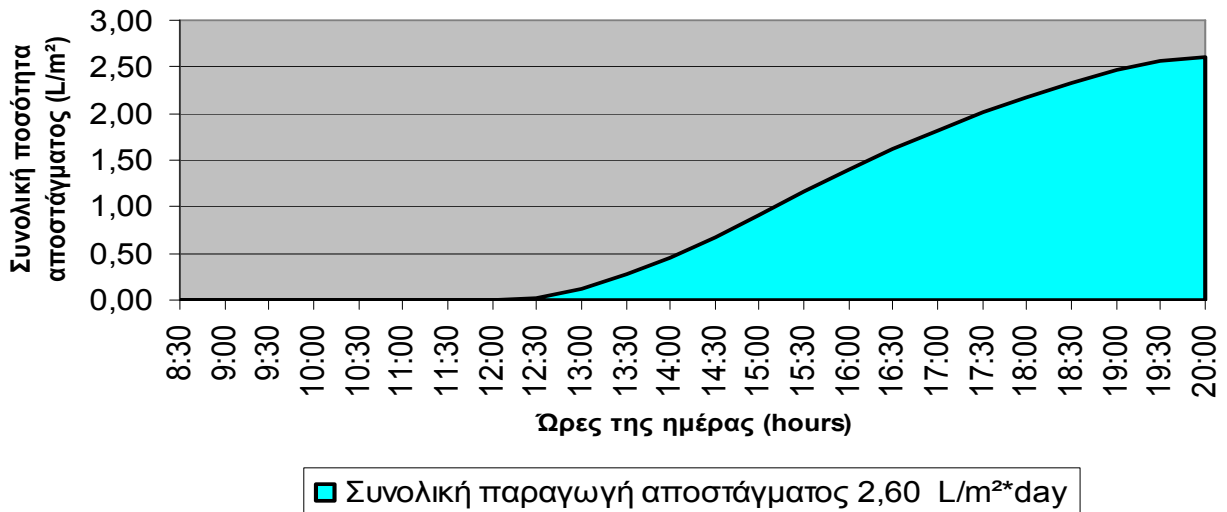


**Διάγραμμα Συνολικής παραγωγής αποστάγματος με το χρόνο  
(4η μέτρηση 15/7/2007 αρχική ποσότητα άλμης στον  
αποστακτήρα 4000 ml)**

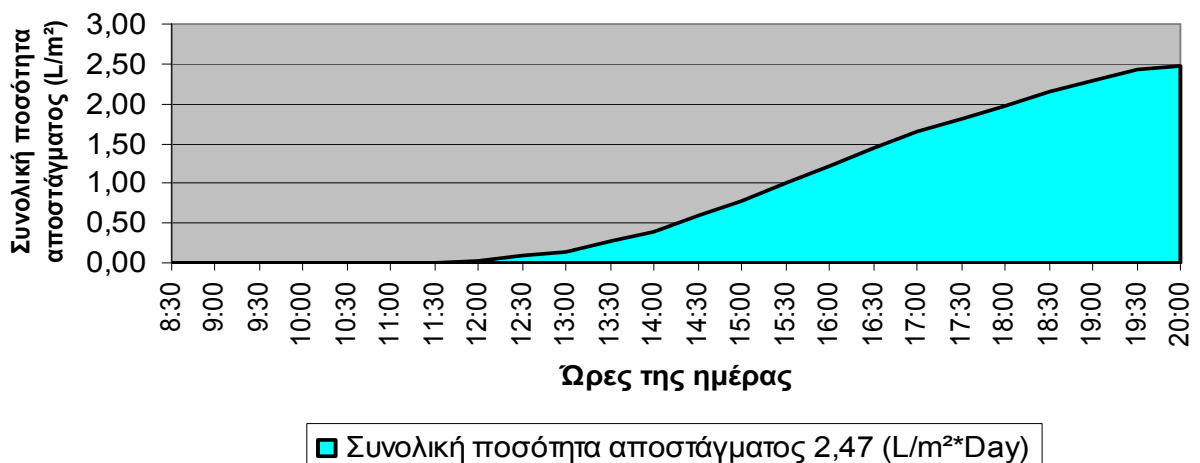




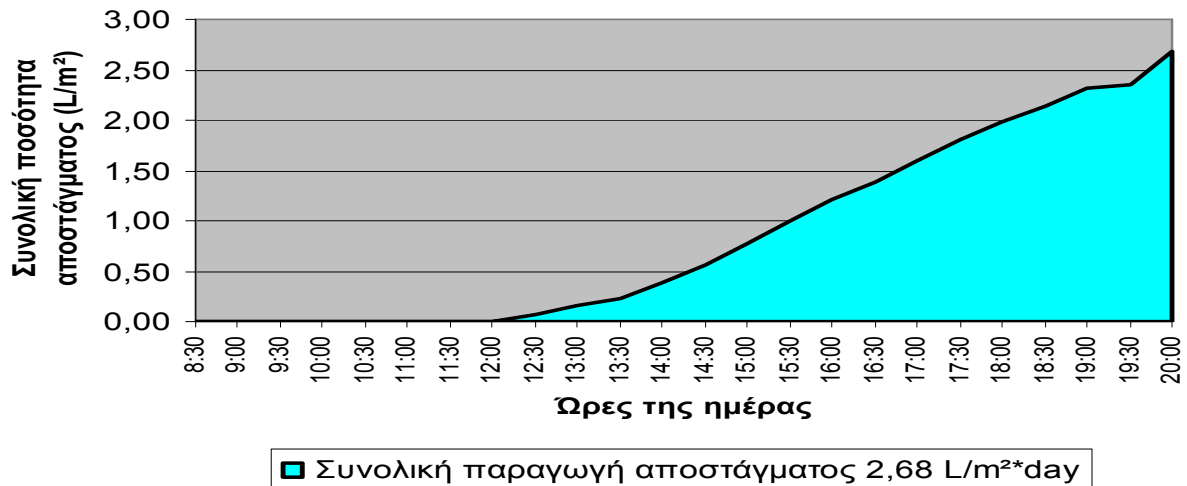
**Διάγραμμα συνολικής παραγωγής αποστάγματος με το χρόνο  
(5η μέτρηση 2/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα  
6000ml)**



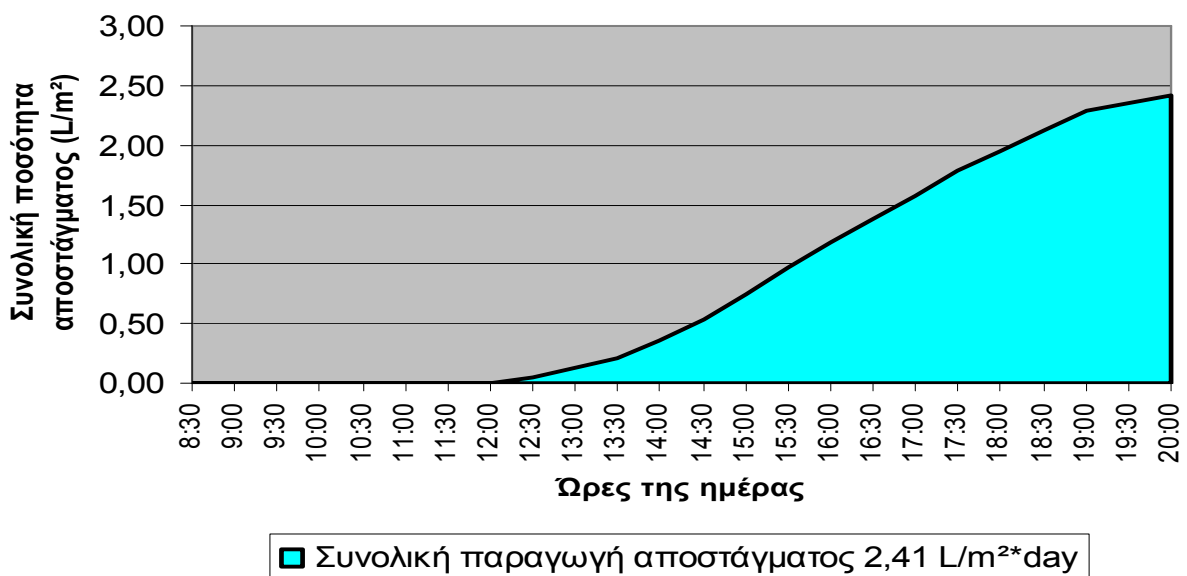
**Συνολική παραγωγή αποστάγματος (6η μέτρηση  
13/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον  
αποστακτήρα στον αποστακτήρα 6000 ml)**



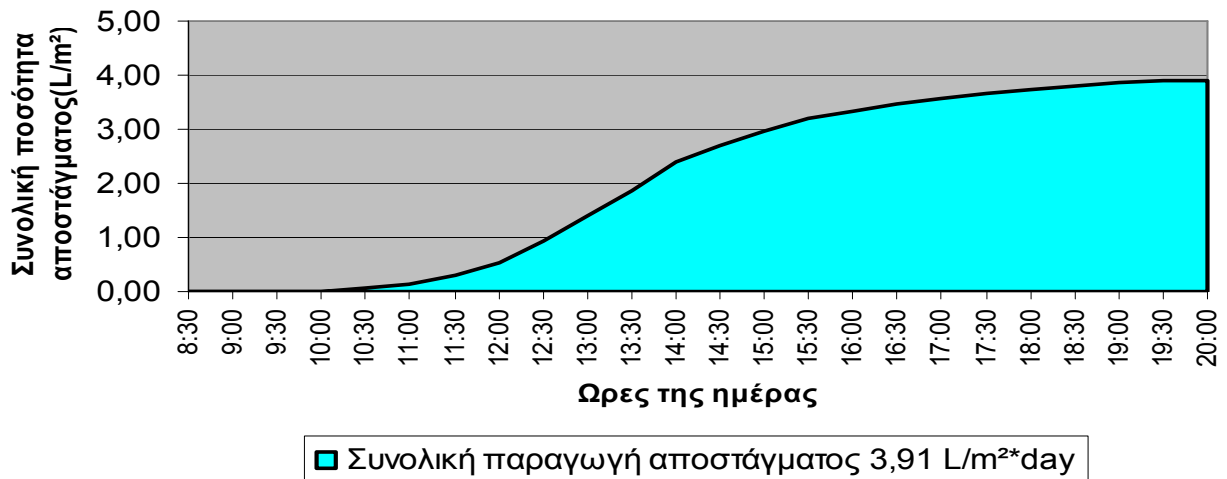
**Διάγραμμα συνολικής παραγωγής αποστάγματος με το χρόνο (7η μέτρηση 6/7/2007 αρχική ποσότητα άλμης στον αποστακτήρα 8000 ml)**



**Διάγραμμα συνολικής παραγωγής αποστάγματος με το χρόνο (8η μέτρηση 14/7/2007 αρχική ποσότητα άλμης στον αποστακτήρα 8000 ml)**



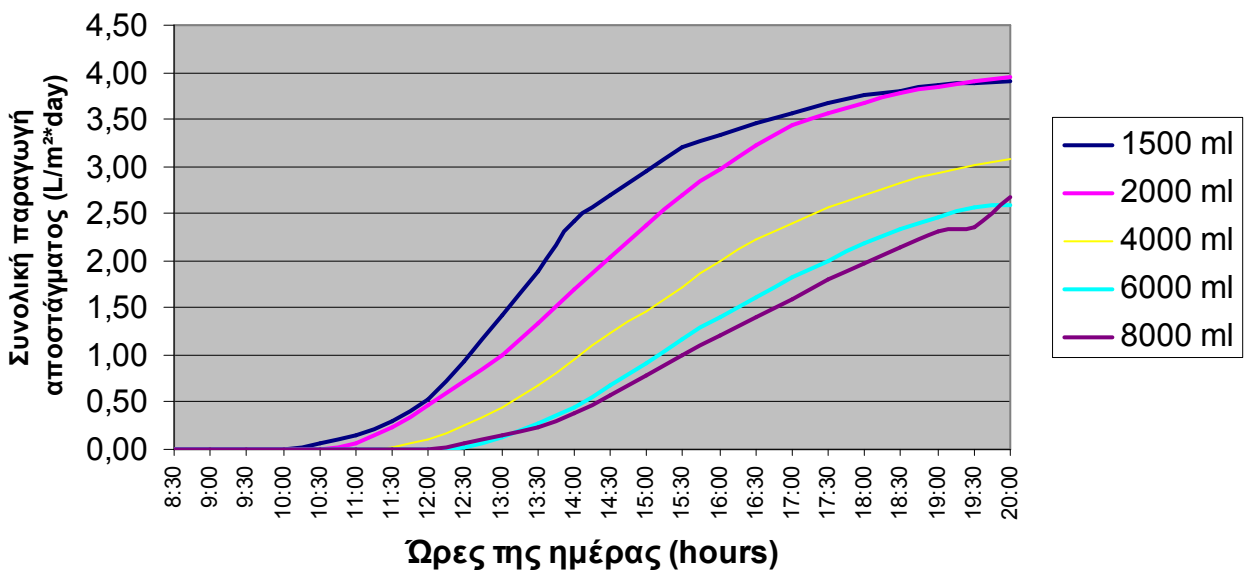
### Διάγραμμα συνολικής παραγωγής αποστάγματος με το χρόνο (9η μέτρηση 16/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 1500 ml)



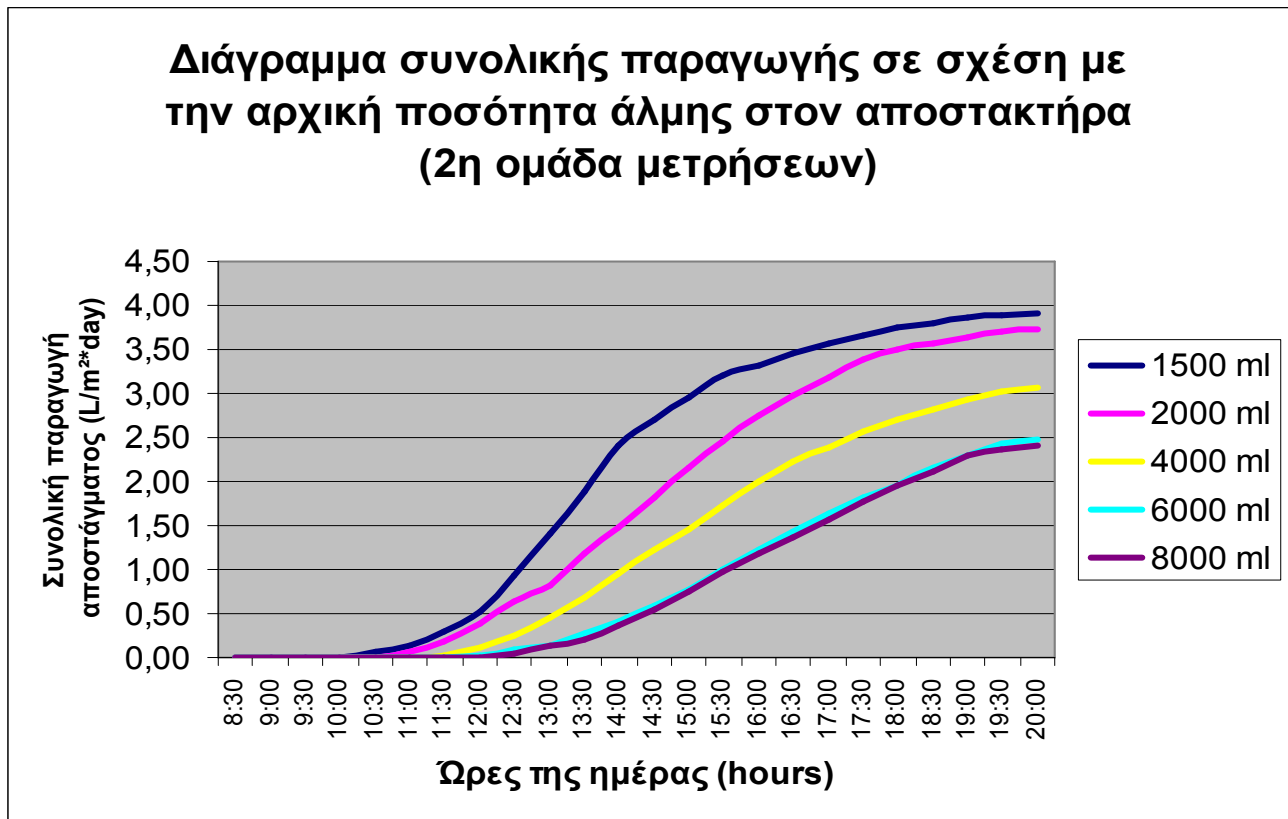
Τα συγκριτικά διαγράμματα που παρουσιάζονται παρακάτω απεικονίζουν την συνολική παραγωγή για όλη την ημέρα που είχε ο αποστακτήρας για κάθε διαφορετική αρχική ποσότητα άλμης σε σχέση με τον χρόνο.

#### 1<sup>ο</sup> ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ

### Διάγραμμα συνολικής παραγωγής σε σχέση με την αρχική ποσότητα άλμης στον αποστακτήρα (1η ομάδα μετρήσεων)



## 2<sup>ο</sup> ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ



Όλα τα ανωτέρω διαγράμματα μας δίνουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με την επίδραση της αρχικής ποσότητας της άλμης σε σχέση με τη συνολική παραγωγή αποστάγματος που παρουσιάζει ο αποστακτήρας κάθε φορά.

- Η σημαντικότερη παρατήρηση που εξάγεται από αυτά τα διαγράμματα είναι ότι η μεγαλύτερη ποσότητα αποστάγματος επιτυγχάνεται με λεπτότερες στοιβάδες άλμης. Συγκεκριμένα όσο λεπτότερη είναι η στοιβάδα της άλμης τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα του αποστάγματος που λαμβάνουμε. Τα ανωτέρω διαγράμματα όμως δεν επιβεβαιώνουν πλήρως αυτό τον κανόνα για αυτό θα κάνουμε μια περαιτέρω επεξήγηση για τις ευθείες που παρουσιάζονται.

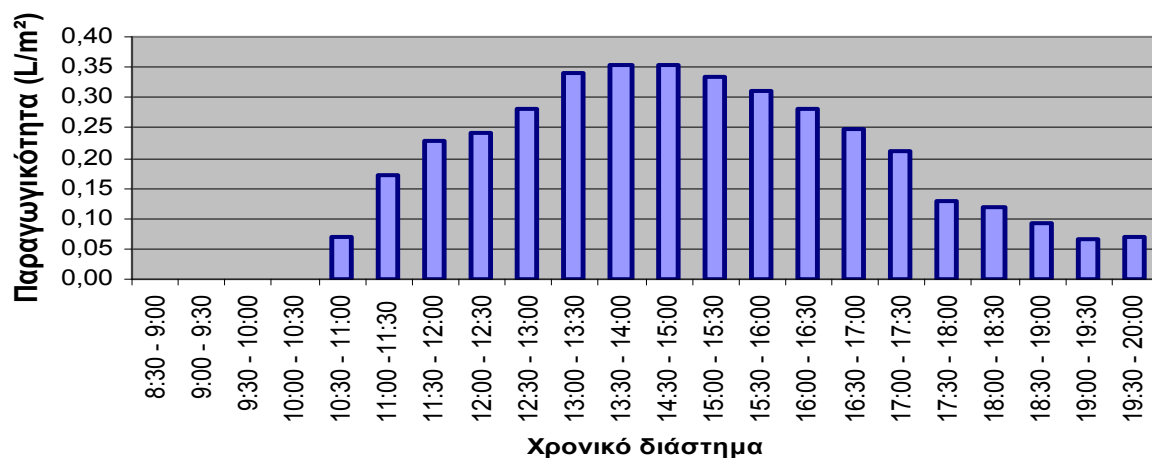
- Στο 1<sup>ο</sup> διάγραμμα η μεγαλύτερη παραγωγή αποστάγματος παρουσιάζεται στην μέτρηση με αρχική ποσότητα άλμης τα 2000 ml (ροζ ευθεία) η οποία αποτελεί και την μεγαλύτερη ποσότητα αποστάγματος που επιτεύχθηκε στις μετρήσεις (3,95 L/m<sup>2</sup>\*day). Η μέτρηση με την αμέσως μικρότερη στοιβάδα άλμης ήταν με αρχική ποσότητα τα 1500 ml (μπλε ευθεία) όπου σύμφωνα με τις γενικές παρατηρήσεις θα περιμέναμε αυτή η ποσότητα να απέδιδε την μεγαλύτερη συνολική παραγωγή όμως αυτό δεν συνέβη. Την εξήγηση αυτού του φαινομένου μπορούμε να την αποδώσουμε στην χαμηλότερη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που είχαμε στη μέτρηση με αρχική ποσότητα τα 1500 ml (7845,8 Wh/m<sup>2</sup>\*day). Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι ένας άλλος παράγοντας ο οποίος επηρεάζει την παραγωγή του αποστάγματος και ο οποίος θα μελετηθεί παρακάτω.

- Στο 1<sup>ο</sup> διάγραμμα επίσης παρατηρούμε ότι η μέτρηση με αρχική ποσότητα άλμης τα 6000 ml (γαλάζια ευθεία) παρουσιάζει χαμηλότερη συνολική παραγωγή σε σχέση με την αρχική ποσότητα των 8000 ml (μωβ ευθεία) και πάλι εδώ δίνουμε την ίδια εξήγηση με τα παραπάνω συν το γεγονός ότι τη μέρα της μέτρησης με αρχική ποσότητα τα 6000 ml αποκολλήθηκε ένα κομμάτι από την μόνωση που είχε ο αποστακτήρας για την αποφυγή διαρροής υδρατμών με αποτέλεσμα η λειτουργία του αποστακτήρα να γίνει με χαμηλότερη απόδοση.
- Το 2<sup>ο</sup> διάγραμμα δικαιολογεί την γενική θεώρηση που αναφέραμε πιο πάνω. Η υψηλότερη παραγωγικότητα σε αυτό το σετ μετρήσεων επιτεύχθηκε με την χαμηλότερη στοιβάδα της άλμης (1500 ml) να σημειωθεί ότι επειδή η μέτρηση των 1500 ml έγινε μόνο μια φορά την τοποθετήσαμε και στα δυο διαγράμματα.
- Ένα άλλο συμπέρασμα που βγαίνει από αυτά τα διαγράμματα είναι ότι όσο μικρότερη είναι η αρχική στοιβάδα της άλμης τόσο μικρότερη είναι η χρονική υστέρηση που υπάρχει από την έναρξη της λειτουργίας του αποστακτήρα μέχρι το σημείο που αυτός αρχίζει και αποστάζει. Πιο συγκεκριμένα η χρονική υστέρηση στην έναρξη παραγωγής αποστάγματος ήταν περίπου μισή ώρα ανάμεσα στα διαφορετικά πάχη στοιβάδας στα οποία έγιναν μετρήσεις Έτσι όταν ο αποστακτήρας είχε αρχική ποσότητα άλμης τα 1500 ml η απόσταξη ξεκινούσε στις 10:00 πμ με την αύξηση της αρχικής ποσότητας στα 2000 ml η απόσταξη ξεκινούσε στις 10:30πμ , με αρχική ποσότητα 4000 ml στις 11:00πμ κ.ο.κ συνεπώς αφού είχαμε απόσταγμα πιο νωρίς μέσα στην ημέρα είχαμε και αυξημένη ποσότητα αποστάγματος στις περισσότερες περιπτώσεις.

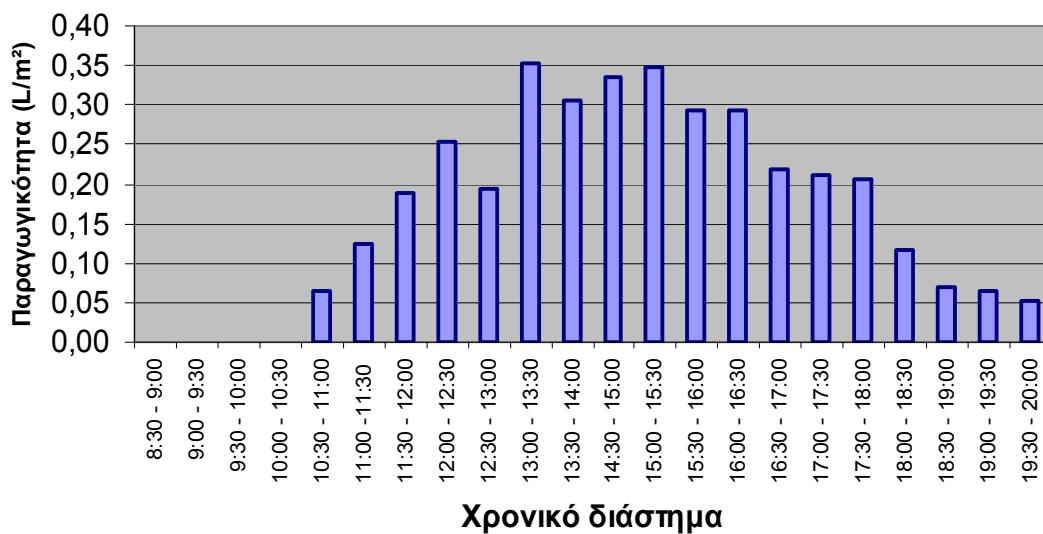
*Διαγράμματα παραγωγής αποστάγματος ανά μισή ώρα – Επιρροή της διαφοράς θερμοκρασίας περιβάλλοντος και άλμης στην παραγωγή αποστάγματος*

Τα διαγράμματα παραγωγής αποστάγματος που παρουσιάζουμε παρακάτω μας δίνουν μια σαφή εικόνα για την λειτουργία του αποστακτήρα και την παραγωγή που αυτός παρουσιάζει κάθε μισή ώρα. Επίσης μελετούμε την επίδραση που έχει η διαφορά θερμοκρασίας περιβάλλοντος και άλμης ( $\Delta T$ ) στην παραγωγή ανά μισή ώρα.

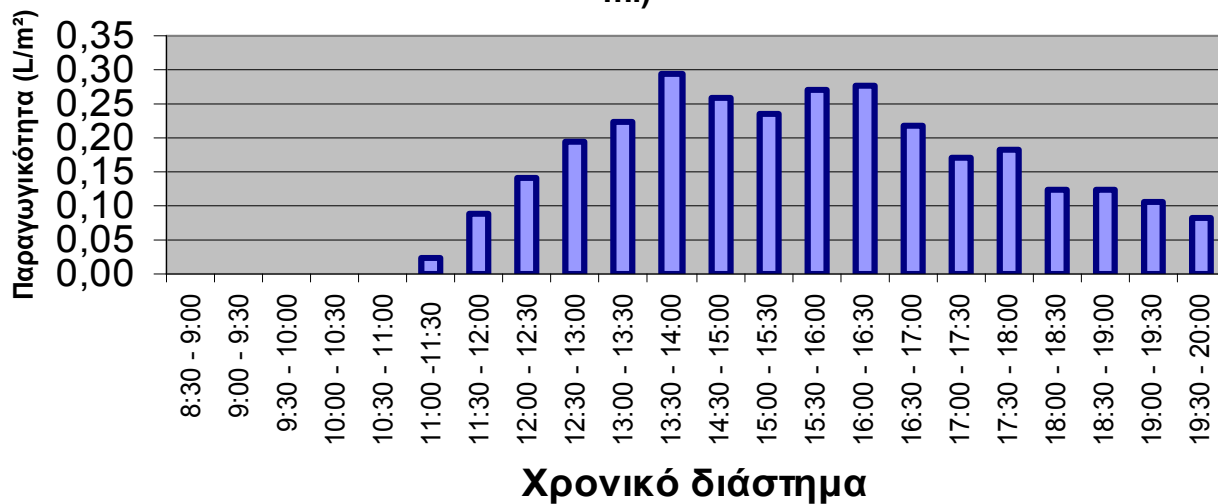
**Διάγραμμα παραγωγικότητας απεσταγμένου νερού ανα μιση ώρα (1η μέτρηση 10/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 2000 ml)**



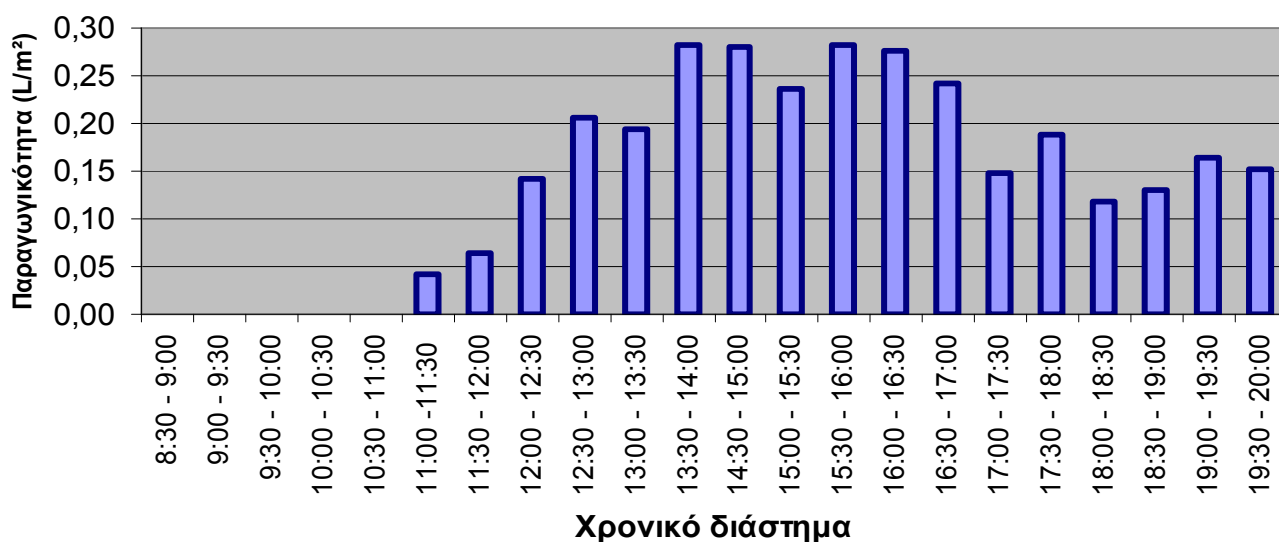
**Διάγραμμα παραγωγικότητας απεσταγμένου νερού ανα μιση ώρα (2η μέτρηση 11/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 2000 ml)**



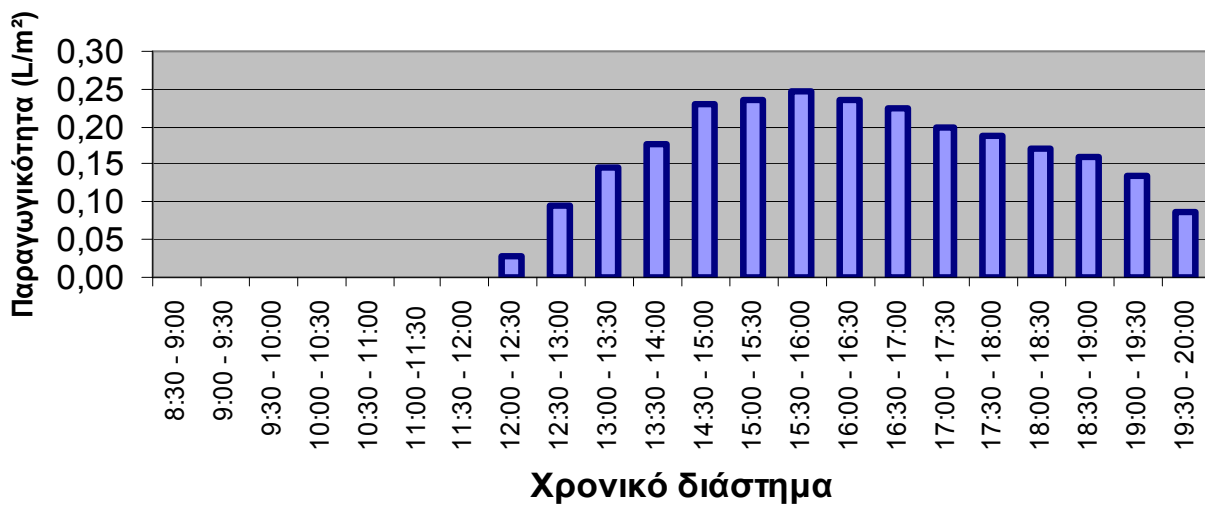
**Διάγραμμα παραγωγής αποστάγμενου νερού ανα μιση ώρα (3η μέτρηση 12/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 4000 ml)**



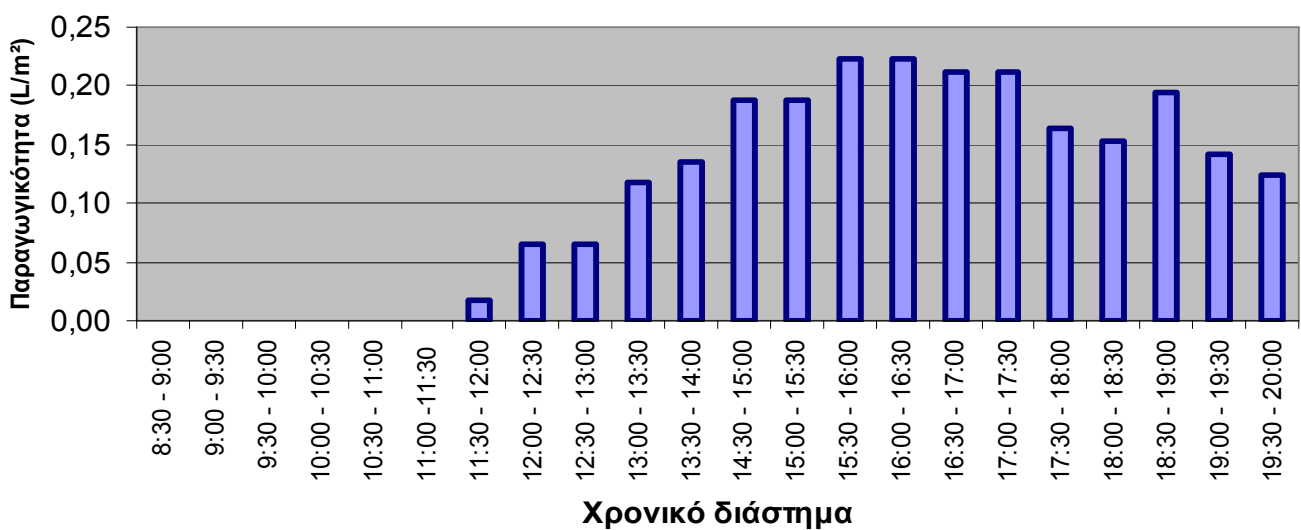
**Διάγραμμα παραγωγής απεσταγμένου νερού ανα μιση ώρα (4η μέτρηση 15/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 4000 ml)**



**Διάγραμμα παραγωγής απεσταγμένου νερού ανα μισή ώρα (5η μέτρηση αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 6000 ml 2/7/2007)**

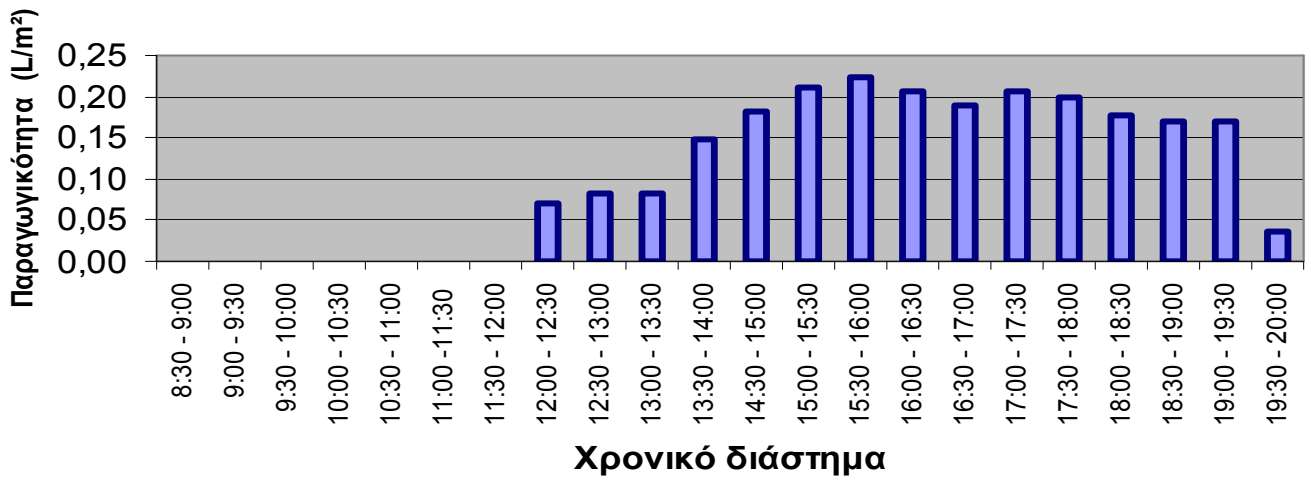


**Διάγραμμα παραγωγής αποστάγματος ανα μισή ώρα (6η μέτρηση 13/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 6000 ml)**

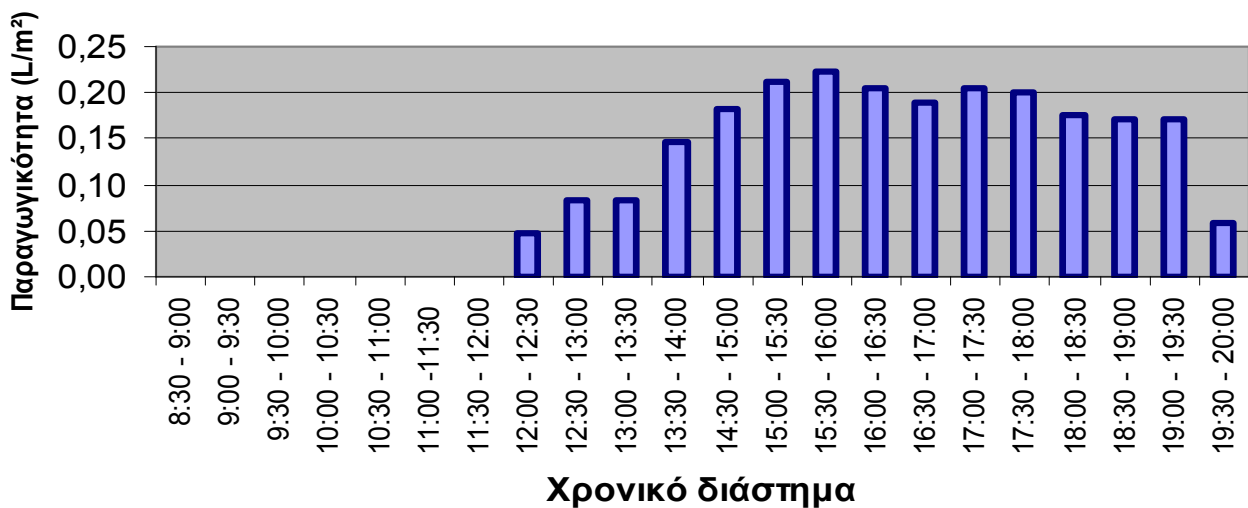




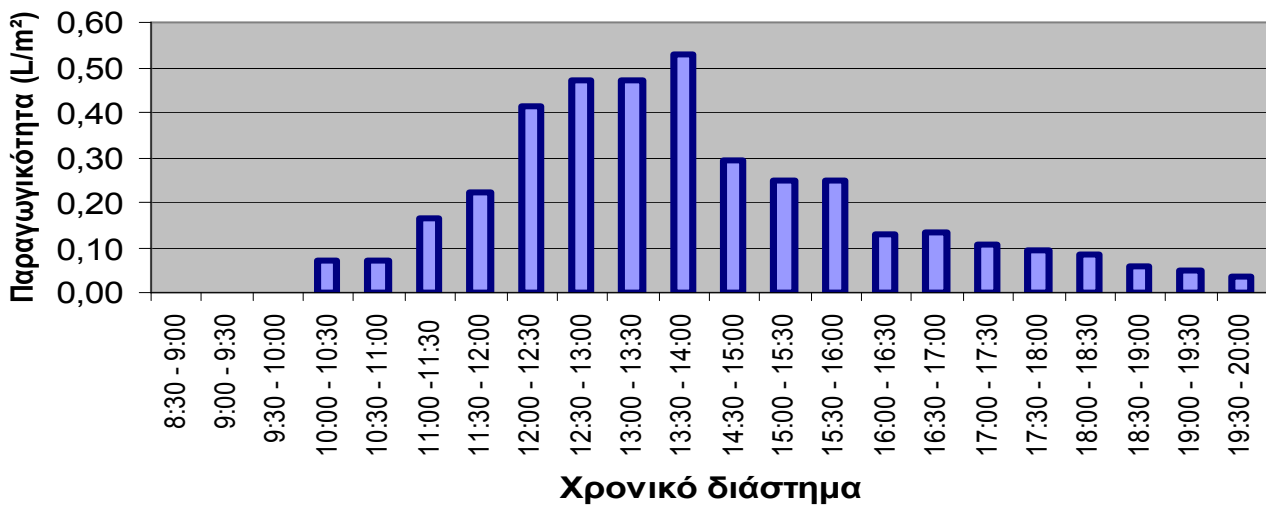
**Διάγραμμα παραγωγής απεσταγμένου νερού ανά μισή ώρα  
(7η μέτρηση 6/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα  
8000 ml)**



**Διάγραμμα παραγωγής απεσταγμένου νερού ανά μισή ώρα  
(8η μέτρηση 14/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον  
αποστακτήρα 8000 ml)**



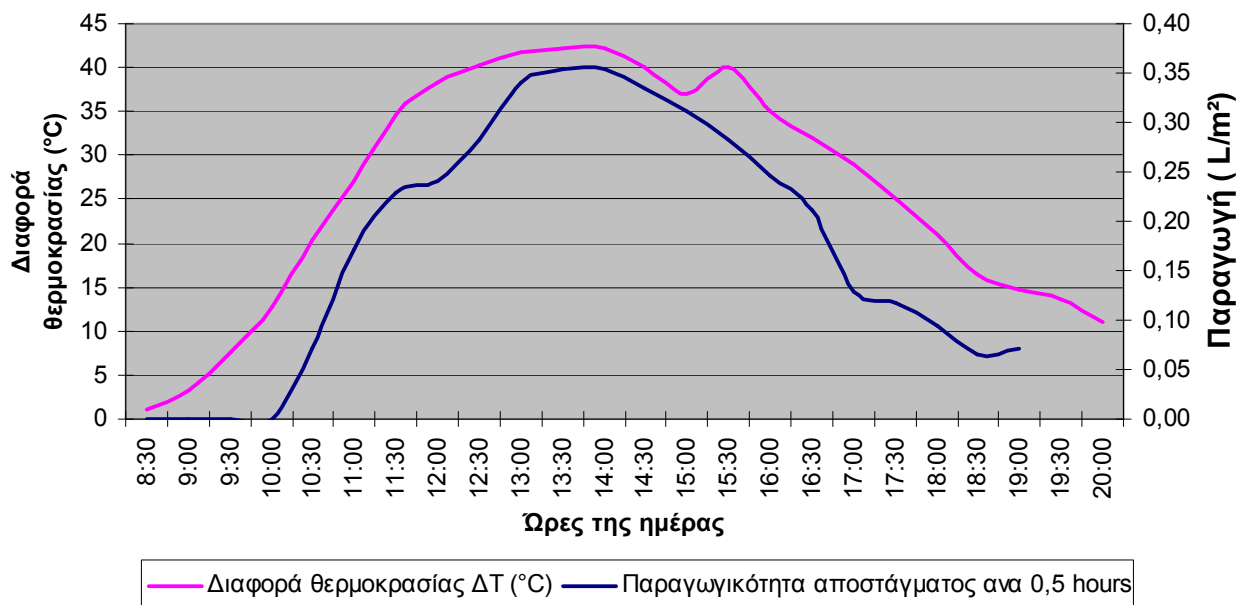
**Διάγραμμα παραγωγής αποσταγμένου νερού ανα μισή ώρα (9η μέτρηση 16/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 1500 ml)**



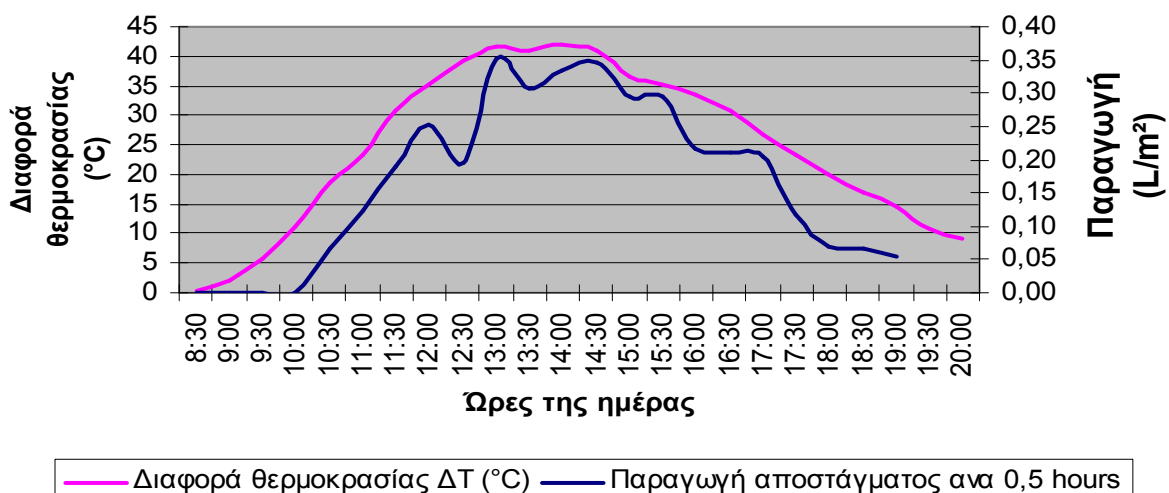
- Τα ανωτέρω διαγράμματα μας δείχνουν την ημερήσια πορεία της παραγωγής αποστάγματος κάθε μισή ώρα. Η παραγωγή ακολουθεί την αύξηση της ηλιακής έντασης όπου φτάνει τις μέγιστες τιμές της κατά τις ώρες 13:00 – 14:00 μμ και μειώνεται ανάλογα με αυτή. Οι υψηλότερες τιμές αποστάγματος ανά μισή ώρα παρατηρούνται στις λεπτότερες στριβάδες άλμης όπου στην μέτρηση με αρχική ποσότητα άλμης τα 1500 ml έχουμε την υψηλότερη παραγωγή ανά μισάωρο που επιτεύχθηκε στις μετρήσεις 0, 53 L/m<sup>2</sup>. Από κει και έπειτα κάθε μείωση της αρχικής στοιβάδας της άλμης οδηγεί και σε χαμηλότερες μέγιστες τιμές παραγωγικότητας ανά μισάωρο. Όπως είναι φυσικό οι πιο παχιές στοιβάδες άλμης διατηρούν μια σχετικά υψηλή τιμή παραγωγικότητας ανά μισάωρο και κατά τις τελευταίες απογευματινές ώρες λόγω της αισθητά μεγαλύτερης θερμότητας που έχουν διατηρήσει οι παχύτερες στοιβάδες νερού (6000 ml , 8000 ml). Συμπερασματικά όσο μεγαλύτερες είναι οι παραγωγικότητες που επιτυγχάνονται ανά μισάωρο ή γενικά στη μονάδα του χρόνου τόσο μεγαλύτερες είναι και οι συνολικές παραγωγές αποστάγματος οι οποίες επιτυγχάνονται με λεπτές στοιβάδες άλμης στον αποστακτήρα.

Στην συνέχεια παραθέτουμε διαγράμματα διαφοράς θερμοκρασίας ΔT (περιβάλλοντος – άλμης) σε σχέση με την παραγωγή νερού ανά μισή ώρα.

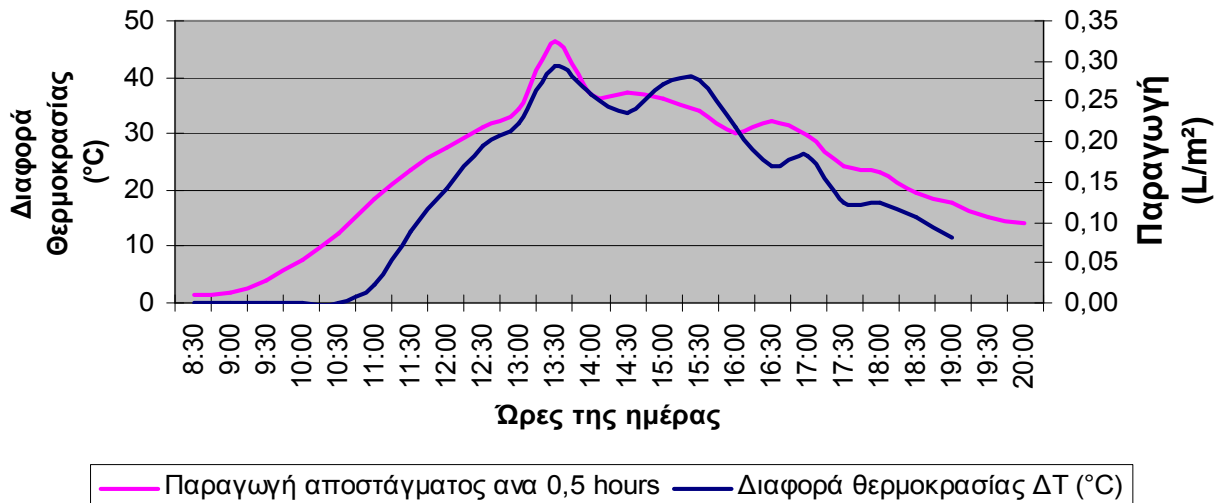
**Διάγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας ΔΤ (περιβάλλοντος - άλμης 2000 ml) με την παραγωγή αποστάγματος ανα μισή ώρα (1η μέτρηση 10/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 2000ml)**



**Διάγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας ΔΤ (περιβάλλοντος - άλμης) με την παραγωγή αποστάγματος ανα μισή ώρα (2η μέτρηση 10/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 2000 ml)**

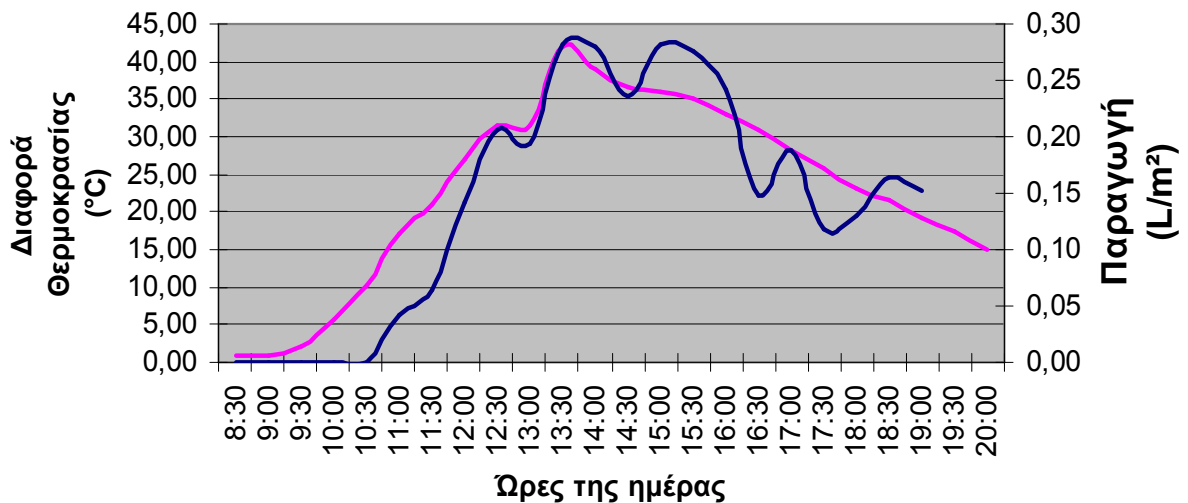


**Διάγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας ΔΤ (Περιβάλλοντος - άλμης) με την παραγωγή αποστάγματος ανα μισή ώρα (3η μέτρηση 12/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 4000 ml)**



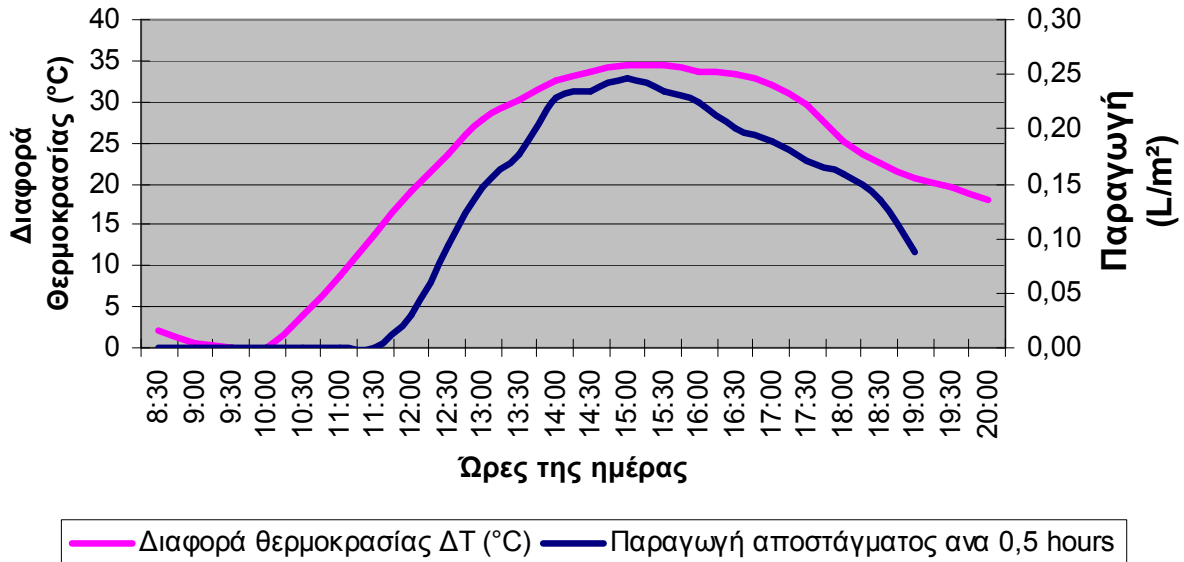
— Παραγωγή αποστάγματος ανα 0,5 hours — Διαφορά θερμοκρασίας ΔΤ (°C)

**Διάγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας ΔΤ (περιβάλλοντος - άλμης) με την παραγωγή αποστάγματος ανα μισή ώρα (4η μέτρηση 15/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 4000 ml)**

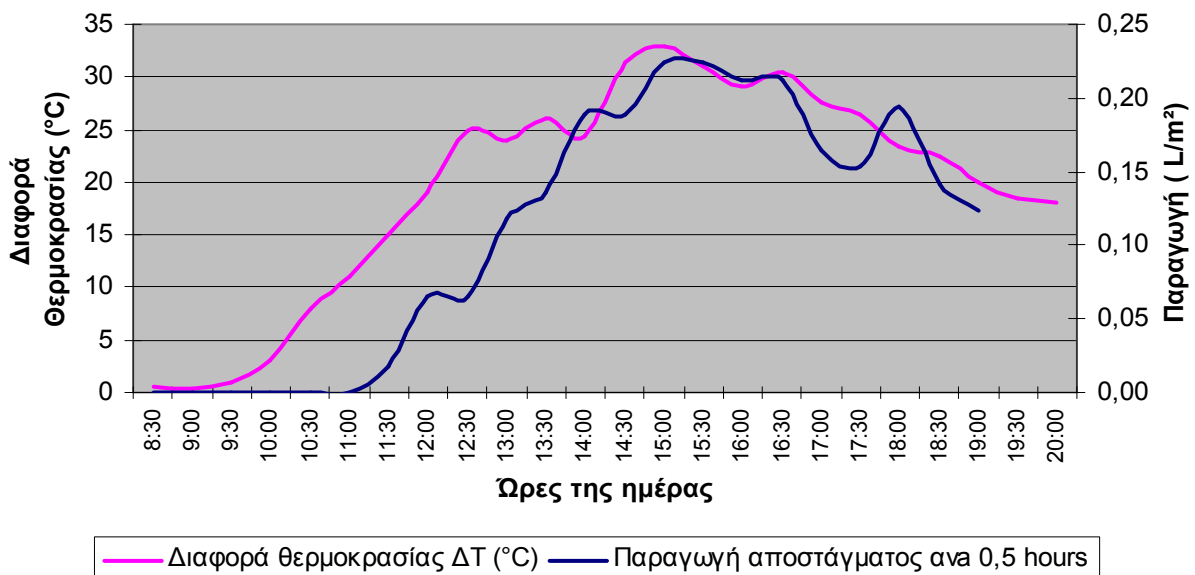


— Διαφορά θερμοκρασίας ΔΤ (°C) — Παραγωγή αποστάγματος ανα 0,5 hours

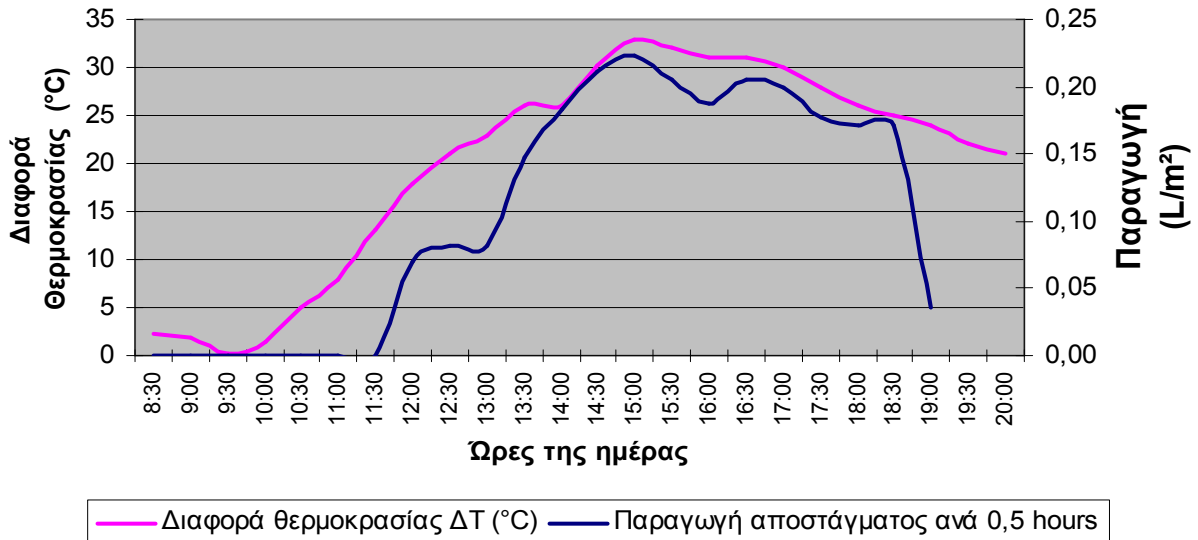
**Διάγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας ΔΤ (περιβάλλοντος - άλμης) με την παραγωγή αποστάγματος ανα μιση ώρα (5η μέτρηση αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 2/7/2007)**



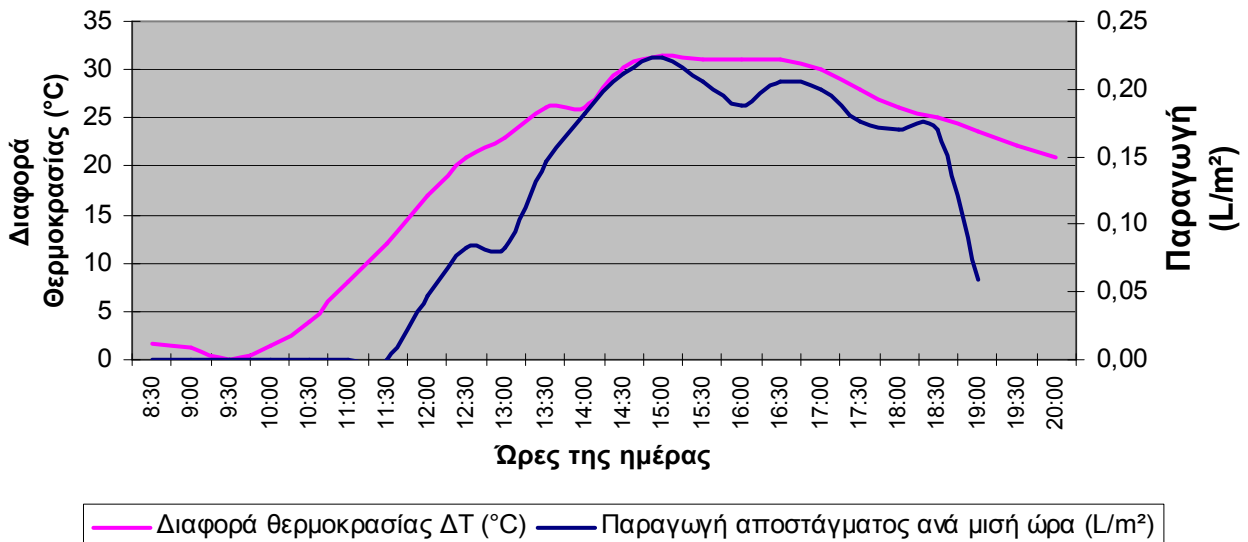
**Διάγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας ΔΤ (περιβάλλοντος - άλμης) σε σχέση με την παραγωγή αποστάγματος ανα μιση ώρα (6η μέτρηση 13/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 6000 ml)**



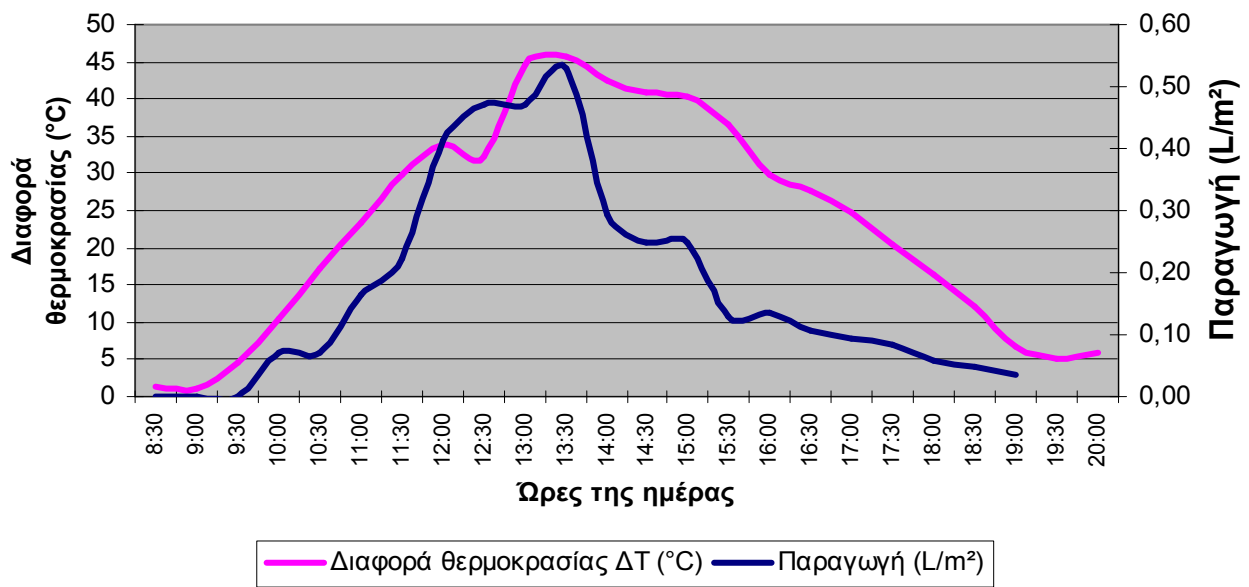
**Διάγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας ΔΤ (Περιβάλλοντος - άλμης) με την παραγωγή αποστάγματος ανά μισή ώρα (7η μέτρηση 6/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 8000 ml)**



**Διάγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας ΔΤ (περιβάλλοντος - άλμης) με την παραγωγή αποστάγματος ανά μισή ώρα (8η μέτρηση 14/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 8000 ml)**



**Διάγραμμα διαφοράς θερμοκρασίας ΔΤ (περιβάλλοντος - άλμης)  
με την παραγωγή αποστάγματος ανά μισή ώρα (9η μέτρηση  
16/7/2007 αρχικός όγκος άλμης στον αποστακτήρα 1500 ml)**



- Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ξεκάθαρα ότι, όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ άλμης και περιβάλλοντος τόσο μεγαλύτερη είναι η παραγωγή αποστάγματος ανά μισή ώρα. Η καμπύλη της παραγωγής αποστάγματος ακολουθεί, χωρίς καμιά εξαίρεση στις μετρήσεις, την καμπύλη της διαφοράς θερμοκρασίας τις ώρες οπου η διαφορά θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη ,τις ίδιες ώρες έχουμε και την μεγαλύτερη τιμή αποστάγματος ανά μισάωρο.

- Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η θεωρία μας λέει ότι η μεγαλύτερη παραγωγικότητα ανά μονάδα χρόνου επιτυγχάνεται με την μεγαλύτερη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ άλμης και καλύμματος. Η συσχέτιση ανάμεσα στην θερμοκρασία του καλύμματος του αποστακτήρα και την θερμοκρασία του περιβάλλοντος έγκειται στην ταυτόχρονη και αμφίδρομη μεταφορά θερμότητας μεταξύ αυτών των δυο μέσω αγωγής οπότε η θερμοκρασία του περιβάλλοντος επηρεάζει έμμεσα την θερμοκρασία του καλύμματος και συνεπώς η μέτρηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος μας δίνει μια ένδειξη για την θερμοκρασία του καλύμματος. Έτσι επιβεβαιώνεται η θεωρία μέσω αυτών των μετρήσεων που παρουσιάζονται παραπάνω.

- Με δεδομένη την σχετικά σταθερή θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται το περιβάλλον καθ'ολη την διάρκεια της ημέρας και που επιβεβαιώνεται από τις μετρήσεις και τα διαγράμματα, η υψηλότερη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του καλύμματος και της άλμης επιτυγχάνεται με υψηλότερη θερμοκρασία της τελευταίας. Αυτό ενισχύει την άποψη ότι ένας αποστακτήρας θα πρέπει να επιτυγχάνει υψηλές θερμοκρασίες της άλμης με την μικρότερη χρονική υστέρηση για μεγαλύτερη παραγωγικότητα ανά μονάδα χρόνου και συνεπώς μεγαλύτερη συνολική παραγωγικότητα. Να υπενθυμίσουμε ότι οι υψηλότερες θερμοκρασίες της άλμης επιτυγχάνονται με λεπτότερες στοιβάδες αυτής μέσα στον αποστακτήρα συμπεράσματα τα οποία εξήγαμε από τα ανωτέρω διαγράμματα.

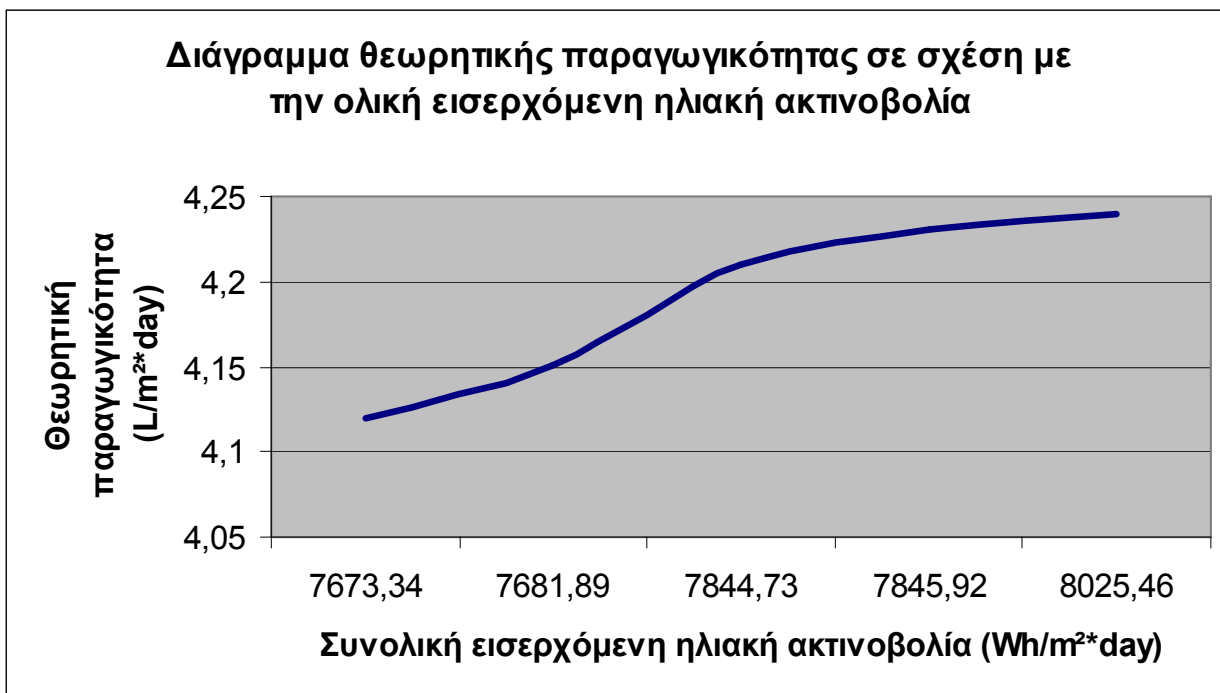
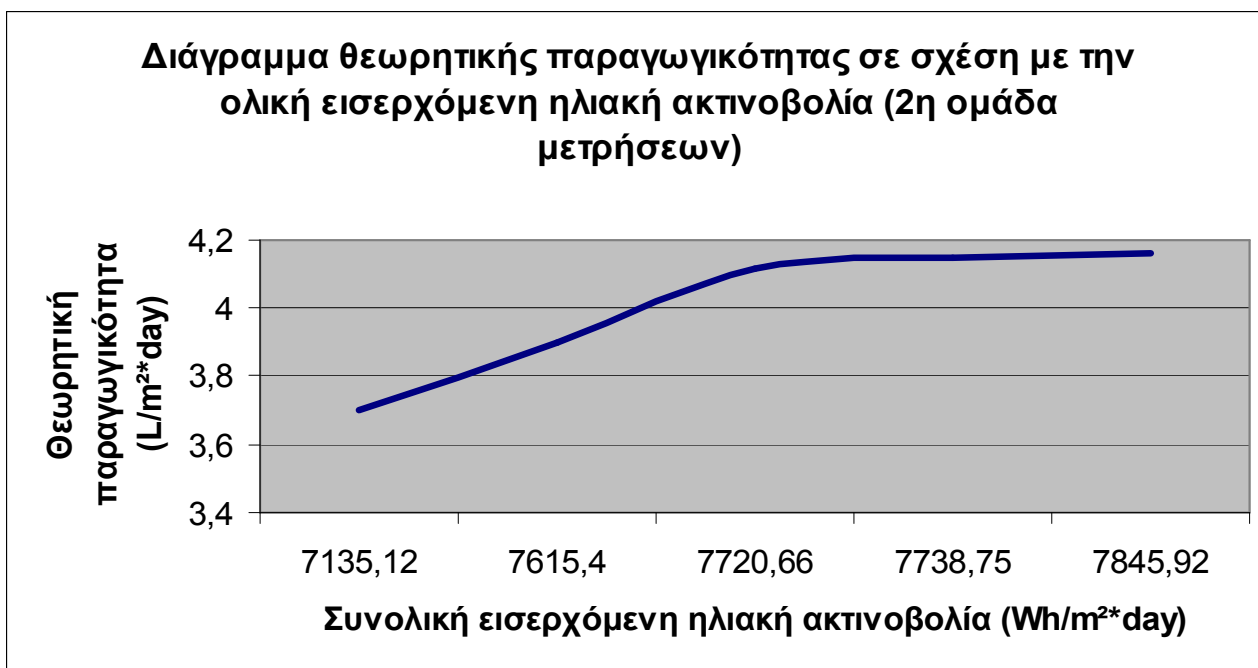
## *Η ηλιακή ακτινοβολία*

Σε όλα τα διαγράμματα και τις αναλύσεις που έγιναν παραπάνω το πάχος της στοιβάδας του θαλασσινού νερού ήταν από τα βασικότερα αντικείμενα μελέτης όσον αφορά την λειτουργία του ηλιακού αποστακτήρα. Τα διαγράμματα και τα συμπεράσματα μας δείχνουν ότι πρόκειται για έναν σημαντικό παράγοντα ο οποίος επηρεάζει την λειτουργία του αποστακτήρα, την παραγωγή και συνολικά την απόδοση του. Η επίδραση του πάχους της άλμης μελετήθηκε πρώτα σε αυτήν την εργασία γιατί αποτελεί χαρακτηριστικό που σχετίζεται άμεσα με την κατασκευή του αποστακτήρα και πρόκειται για ένα μέγεθος που μπορεί να μεταβληθεί άμεσα από τον άνθρωπο για να βελτιώσει ή να ρυθμίσει την λειτουργία του αποστακτήρα.

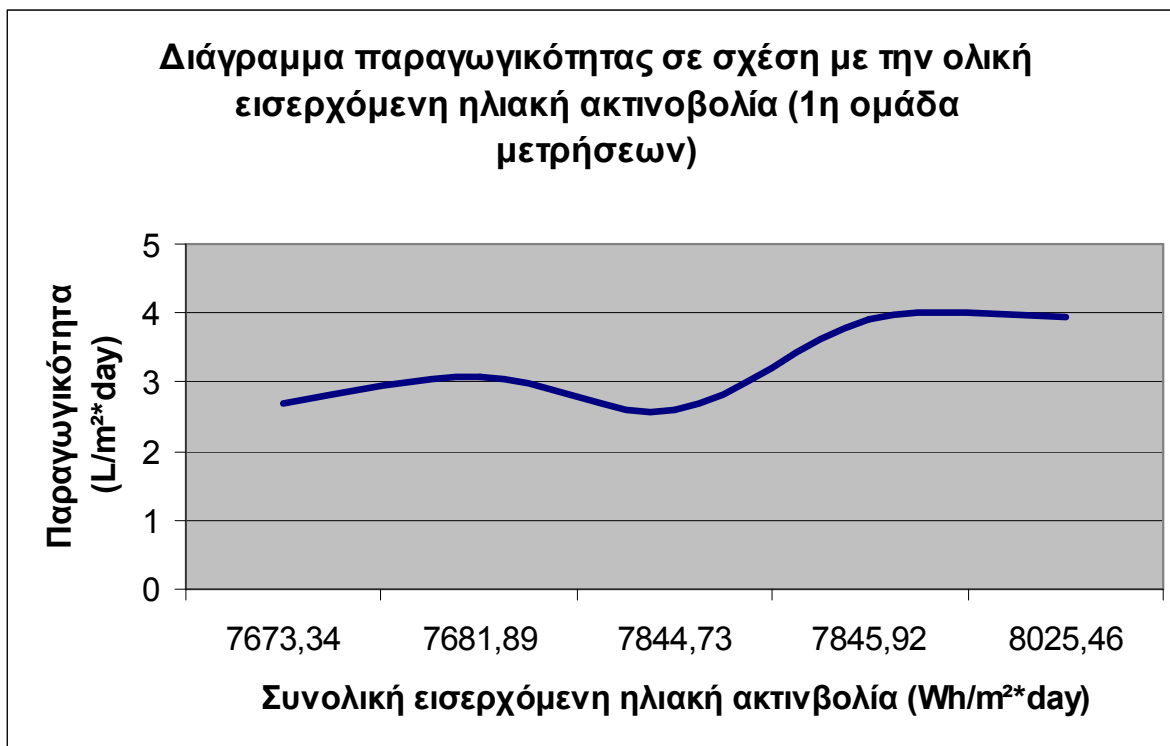
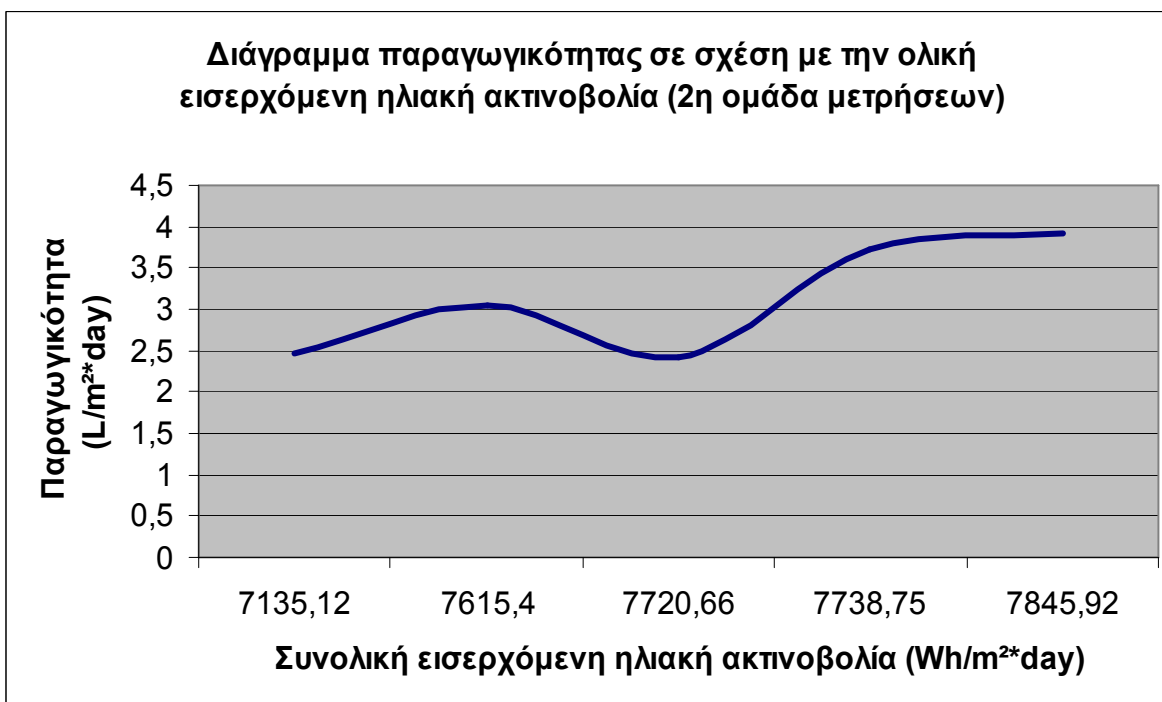
Η ηλιακή ακτινοβολία δεν μπορεί να ρυθμιστεί, σχετίζεται με πολλούς διαφορετικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες τους οποίους ο άνθρωπος εν γένει δεν μπορεί να ελέγξει και αποτελεί την απαραίτητη πηγή ενέργειας που χρειάζεται ο αποστακτήρας για να λειτουργήσει. Στην ανάλυση των μετρήσεων έγινε υπολογισμός των θεωρητικών τιμών παραγωγής σύμφωνα με μια εξίσωση η οποία προβλέπει την παραγωγή που θα έχει ένας αποστακτήρας με δεδομένη την ημερήσια ολική ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτή η εξίσωση αποτελεί αποτέλεσμα πολλών χρόνων έρευνας πάνω σε διάφορους αποστακτήρες ανά τον κόσμο. Κύριο χαρακτηριστικό αυτής της εξίσωσης είναι ότι λαμβάνει σαν κύρια σταθερά υπολογισμού την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας για να υπολογίσει την θεωρητική συνολική παραγωγή αποστάγματος όλη την ημέρα.

Εδώ παραθέτουμε 2 διαγράμματα με την θεωρητική παραγωγή αποστάγματος (υπολογισμένη με την εξίσωση που δίνεται στην βιβλιογραφική ανασκόπηση) σε σχέση με την ολική ηλιακή ενέργεια που εισέρχεται στο σύστημα όλη την ημέρα κατά την διάρκεια των μετρήσεων το κάθε διάγραμμα περιέχει και από μια ομάδα μετρήσεων όπως και σε προηγούμενα διαγράμματα.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1<sup>ο</sup>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2<sup>ο</sup>

- Είναι φανερό από τα ανωτέρω διαγράμματα ότι όσο αυξάνει η ολική εισερχόμενη ακτινοβολία όλη την ημέρα στο σύστημα τόσο αυξάνεται η θεωρητική παραγωγικότητα. Ακριβώς από κάτω παραθέτουμε τις πραγματικές μετρήσεις παραγωγικότητας σε σχέση με την ολική, εισερχόμενη στον αποστακτήρα, ηλιακή ενέργεια.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1<sup>ο</sup>ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2<sup>ο</sup>

- Είναι ξεκάθαρο ότι η παραγωγή αποστάγματος αυξάνει με την αύξηση της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας παρόλα αυτά δεν μπορούμε να αγνοήσουμε την μη γραμμική συμπεριφορά της καμπύλης. Οι διακυμάνσεις οφείλονται στις επιρροές που έχει η στοιβάδα της άλμης και στις απώλειες του αποστακτήρα λόγω κατασκευής. Η αυξητική τάση στα διαγράμματα είναι εμφανής και στις δυο ομάδες μετρήσεων για την παραγωγή αποστάγματος και οι αρνητικές διακυμάνσεις αντιστοιχούν σε μετρήσεις με παχιά στοιβάδα άλμης

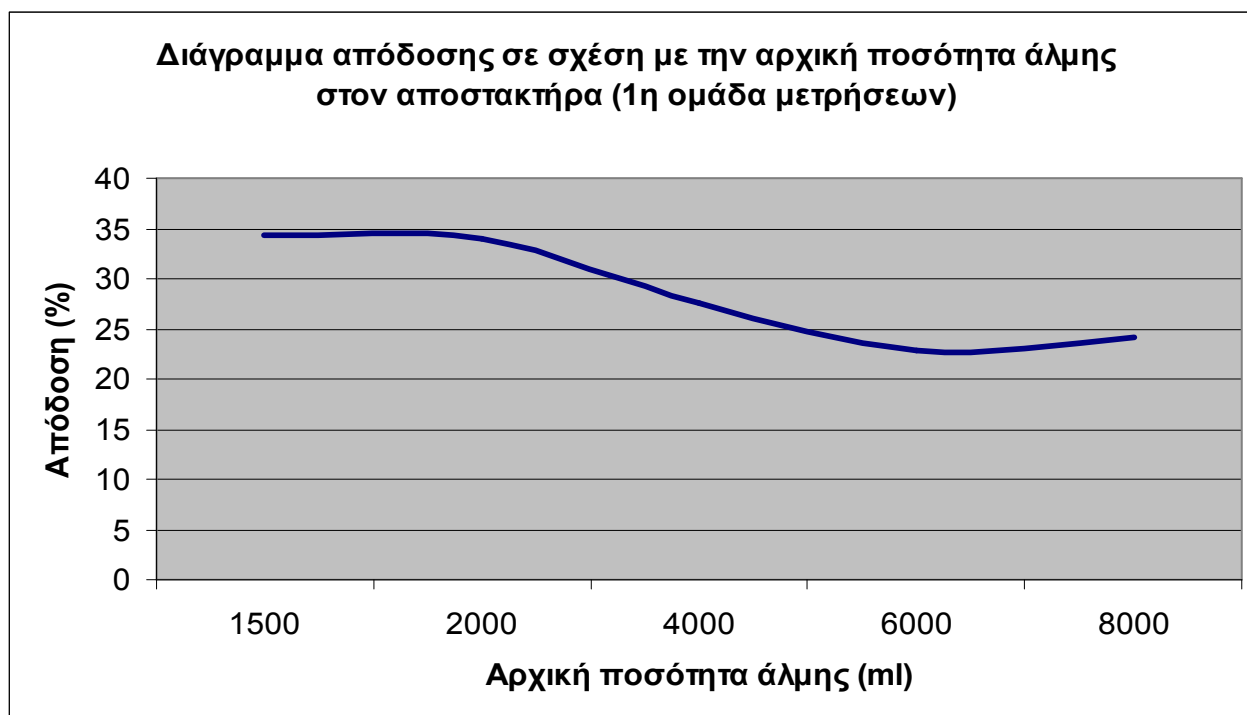
- Εάν παρατηρήσουμε πιο προσεκτικά τα διαγράμματα με την θεωρητική παραγωγικότητα και την πραγματική θα δούμε ότι ταυτίζονται σε αρκετά σημεία εκτός από τις μετρήσεις εκείνες όπου αντιστοιχούν στις παχύτερες στοιβάδες άλμης (6000 ml, 8000 ml) αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι θεωρητικές ευθείες ανταποκρίνονται πολύ καλά στα πειραματικά αποτελέσματα και ότι οι διαφορές οφείλονται σε μη σωστή προσδοκώμενη λειτουργία του αποστακτήρα. Στην πραγματικότητα ο αποστακτήρας υπέστη πολλές καταπονήσεις κατά την διάρκεια των μετρήσεων με αποτελέσματα να υπάρχουν αστοχίες υλικών, διαρροές κλπ πράγματα για τα οποία θα μιλήσουμε αργότερα. Το σημαντικό είναι ότι η απόκλιση από την αναμενομένη λειτουργία του αποστακτήρα οφείλεται και σε άλλους παράγοντες εκτός από το πάχος της άλμης.

#### *Γενική λειτουργία του αποστακτήρα – απόδοση - απόκλιση*

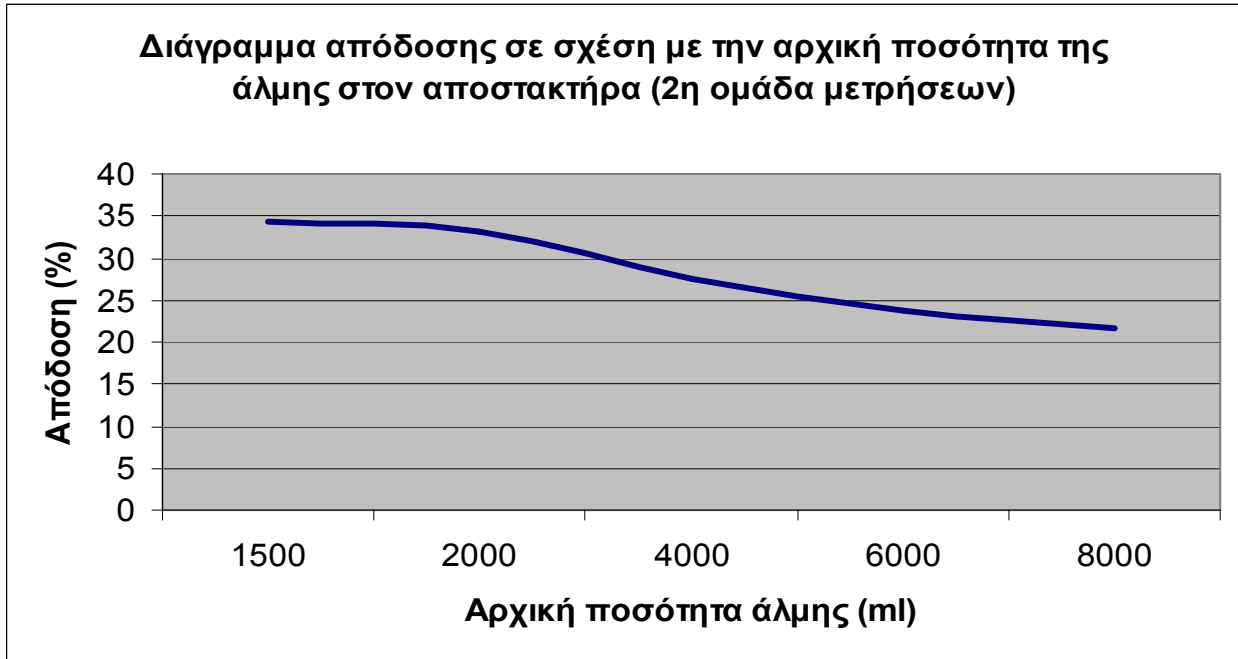
Μετά από όλες τις αναλύσεις και τους υπολογισμούς που έγιναν πιο πάνω και την εις βάθος μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν την λειτουργία ενός ηλιακού αποστακτήρα χρειαζόμαστε ένα δείκτη που να μας δείχνει το ποσό καλή είναι η λειτουργία του αποστακτήρα έτσι καταλήγουμε στον δείκτη εκείνο που χαρακτηρίζει την συνολική εικόνα του κάθε αποστακτήρα, την απόδοση.

Η απόδοση του ηλιακού αποστακτήρα που μελετάται σε αυτή την εργασία υπολογίζεται με μια εξίσωση η οποία έχει τις ίδιες καταβολές με την εξίσωση για την πρόβλεψη της παραγωγικότητας που αναφέραμε για τον υπολογισμό της θεωρητικής παραγωγικότητας νωρίτερα. Με αυτήν την εξίσωση που παρουσιάζουμε στη βιβλιογραφική ανασκόπηση υπολογίσαμε την απόδοση του αποστακτήρα για κάθε ξεχωριστή μέτρηση και τοποθετήσαμε τα αποτελέσματα σε συγκριτικά διαγράμματα σχετιζόμενα με την ηλιακή ακτινοβολία και με το πάχος στοιβάδας της άλμης τα οποία και παραθέτουμε.

#### 1<sup>ο</sup> ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ



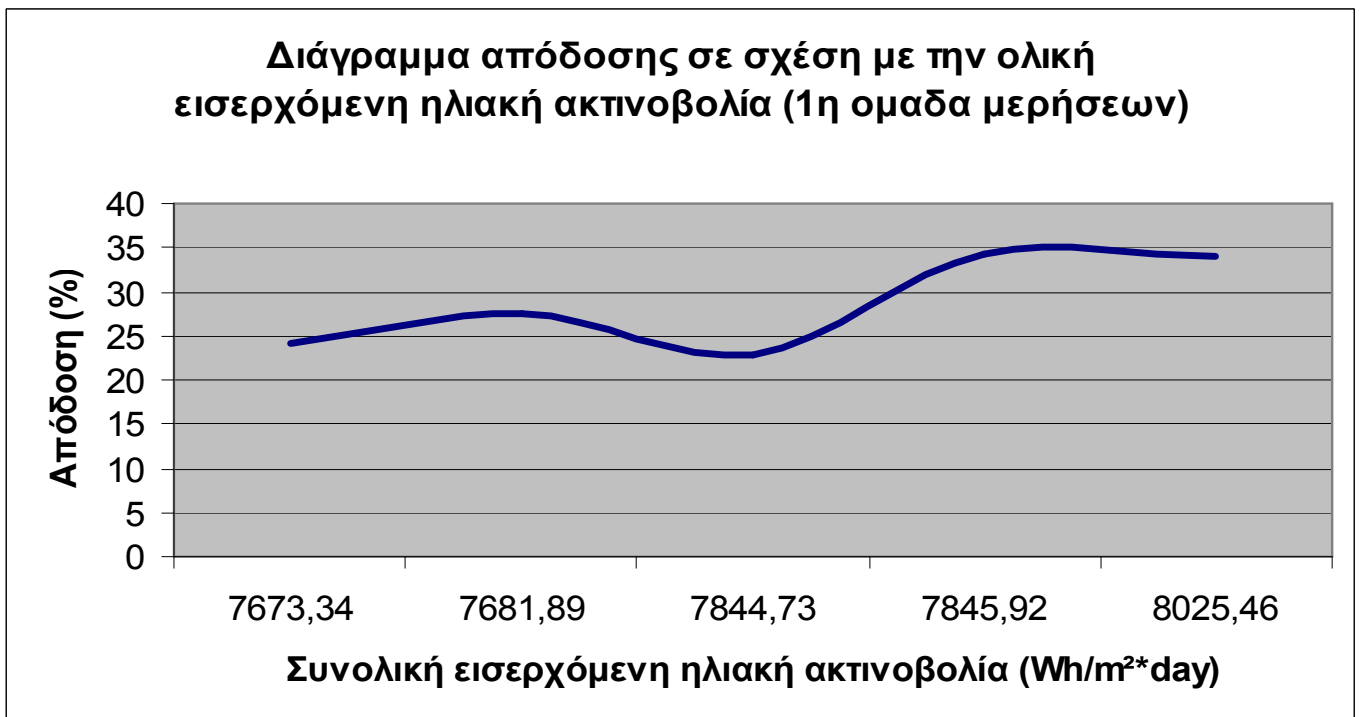
## 2<sup>ο</sup> ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ

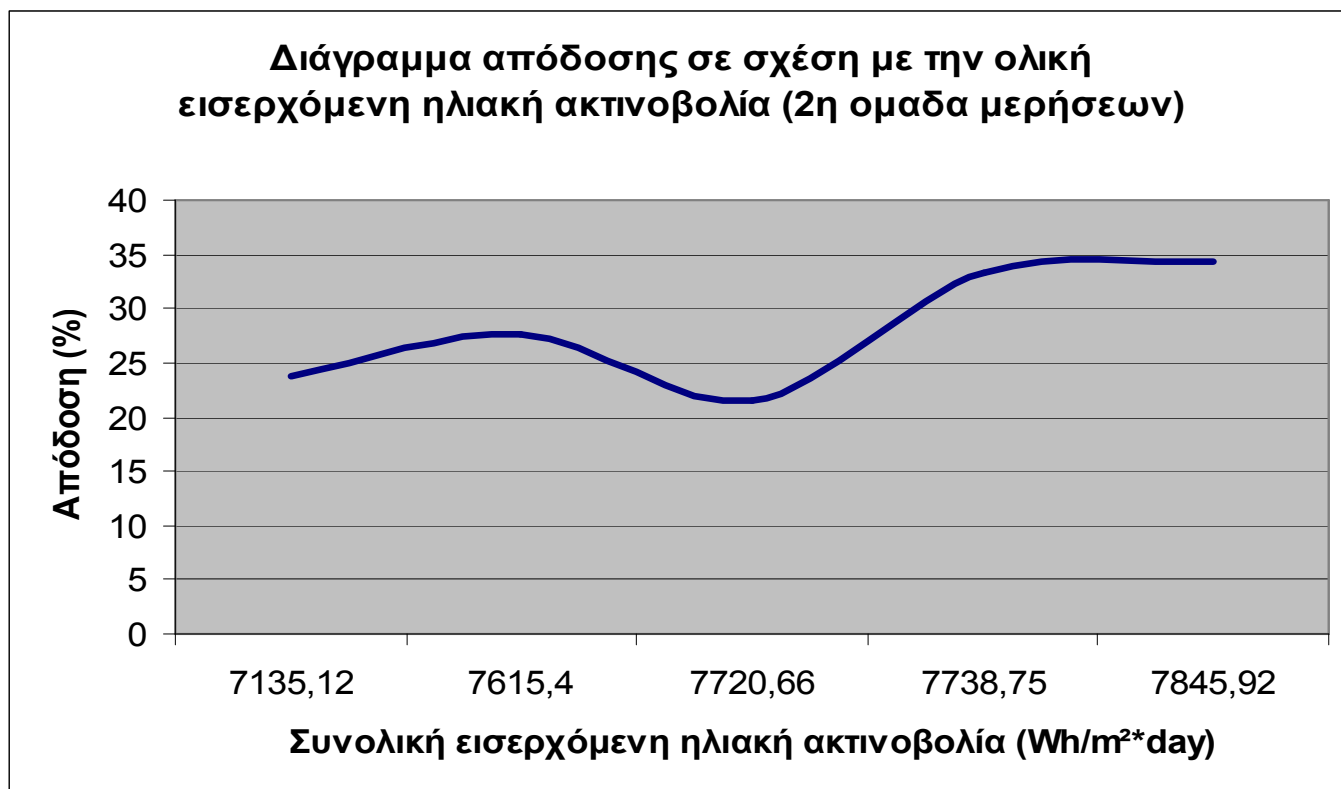


- Η απόδοση του αποστακτήρα μειώνεται με την αύξηση του πάχους της άλμης στον αποστακτήρα αυτό το φαινόμενο δικαιολογείται από τις παρατηρήσεις που έχουμε κάνει νωρίτερα πάνω στην επίδραση της στοιβάδας της άλμης στην λειτουργία του αποστακτήρα.

Παρουσιάζουμε επίσης και τα διαγράμματα απόδοσης σε σχέση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας

## 1<sup>ο</sup> ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ





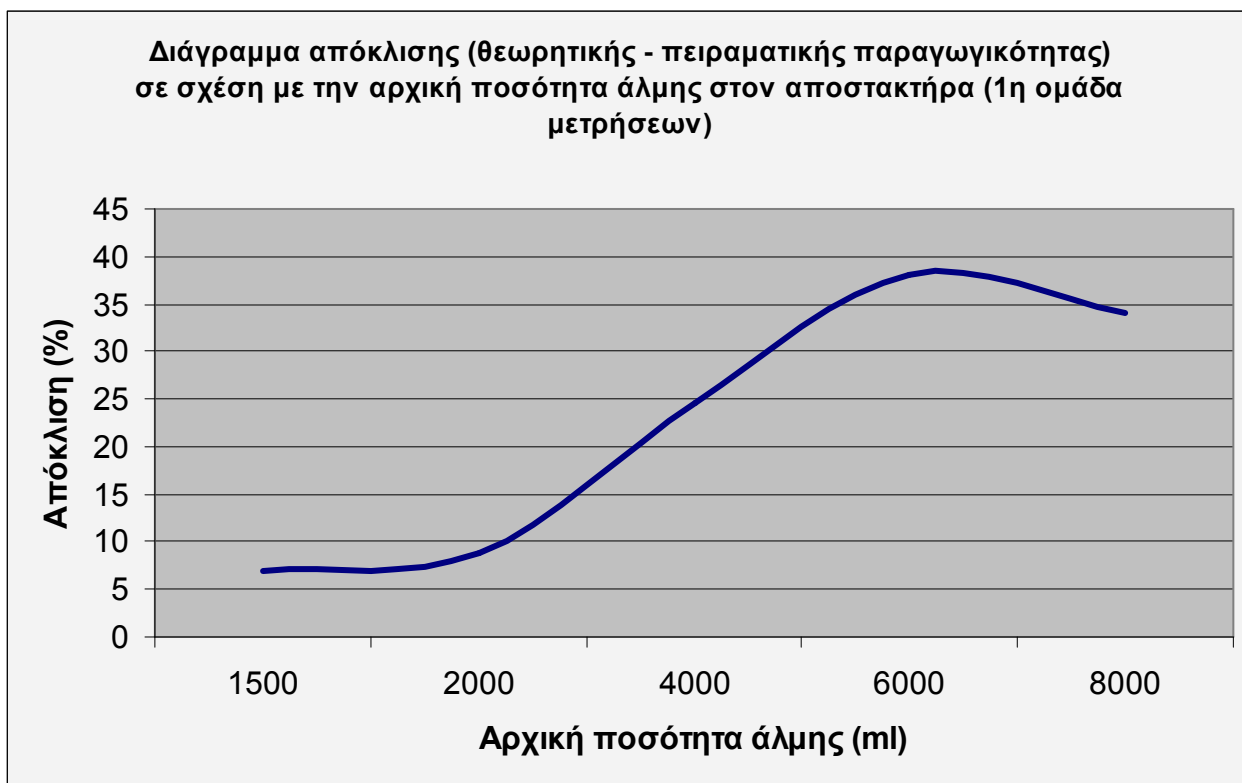
- Όπως είναι φυσικό η απόδοση αυξάνεται με την αύξηση της συνολικής ημερήσιας ακτινοβολίας η επίδραση που έχουν τα παχύτερα στρώματα της άλμης στην απόδοση είναι εμφανής και σε αυτά τα διαγράμματα. Η μεγαλύτερη απόδοση επιτεύχθηκε την ημέρα με την μεγαλύτερη ημερήσια ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας που είχαμε σε όλες τις μετρήσεις.

Εφόσον έχουν δημιουργηθεί εξισώσεις που μπορούν να προβλέψουν με αρκετά μεγάλη επιτυχία την παραγωγή ενός αποστακτήρα κρίθηκε απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί μια από αυτές και σε αυτήν την μελέτη. Η εξίσωση η οποία χρησιμοποιήσαμε και που αναφέρεται στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας έχει ένα εύρος απόκλισης στα αποτελέσματα της +/- 25%. Αυτή η τιμή αποδυναμώνει την χρησιμότητα της εξίσωσης λόγω του ότι συμπεριλαμβάνει μέσα στο σφάλμα τις διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του κάθε αποστακτήρα και τους παράγοντες που μπορεί να παίζουν ρόλο στην απόδοση του.

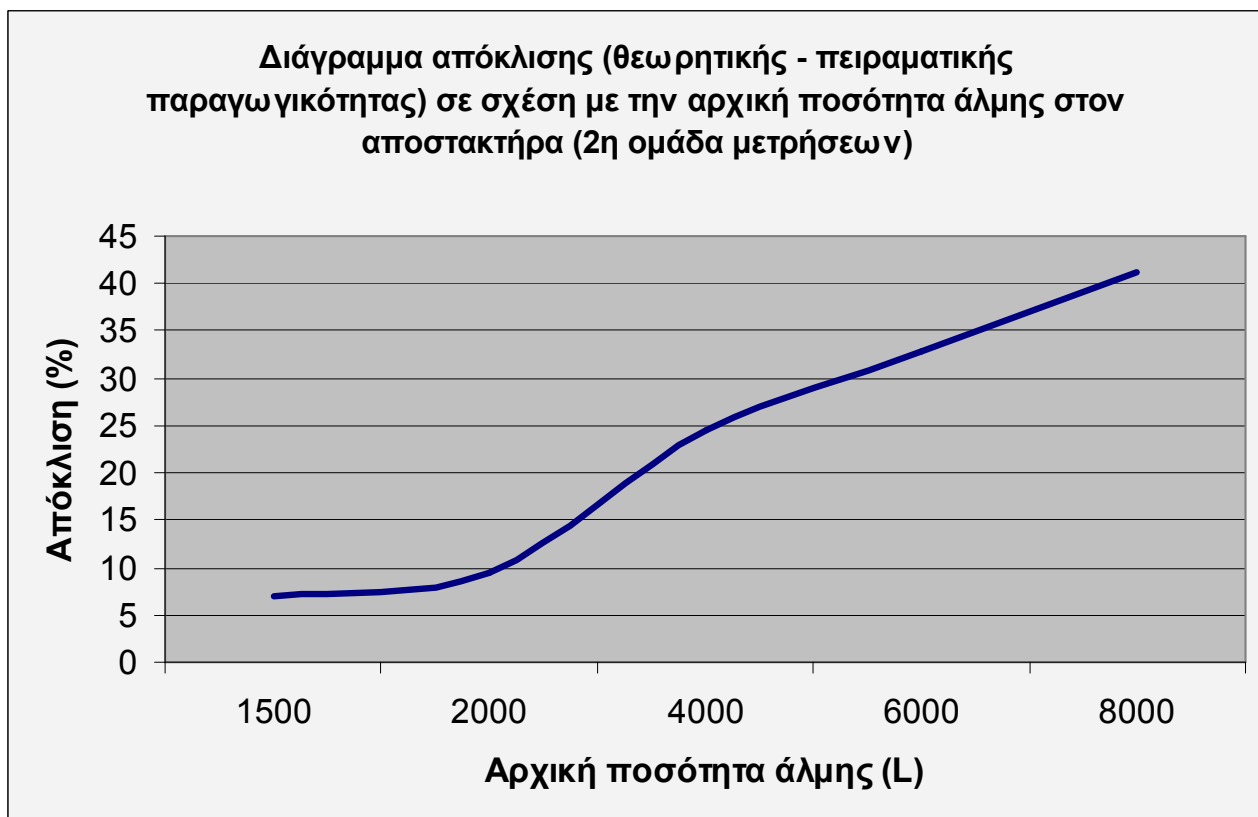
Η προβλεψιμότητα της λειτουργίας του αποστακτήρα είναι σημαντικό στοιχείο σε κάθε μελέτη για το αν ένας αποστακτήρας μπορεί να λειτουργήσει ικανοποιητικά σε μια συγκεκριμένη περιοχή ή εάν ένας υπάρχων αποστακτήρας έχει σχεδιαστεί σωστά.

Παρακάτω παραθέτουμε με την μορφή διαγραμμάτων τη διαφορά μεταξύ της θεωρητικής παραγωγικότητας (που υπολογίσαμε με την εξίσωση που προαναφέραμε) και της πραγματικής που επιτεύχθηκε με τον αποστακτήρα την οποία την συσχετίζουμε με την αρχική ποσότητα της άλμης στον αποστακτήρα. Όπως σε όλα τα συγκεντρωτικά διαγράμματα έτσι και σε αυτά οι μετρήσεις χωρίζονται σε δυο ομάδες.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2



- Όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα η λειτουργία του αποστακτήρα που μελετάται αποκλίνει από τους θεωρητικούς υπολογισμούς όσο αυξάνει η ποσότητα της άλμης στον αποστακτήρα.

Στο πρώτο διάγραμμα παρατηρούμε πως με αρχική ποσότητα άλμης τα 6000 ml έχουμε την μεγαλύτερη απόκλιση θεωρητικής και πραγματικής παραγωγικότητας αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η συγκεκριμένη μέτρηση έγινε με ανεπαρκή μόνωση για τους υδρατμούς στο κάλυμμα του αποστακτήρα με αποκόλληση του δεξιού μονωτικού λάστιχου και συνεπώς με ελαττωματική λειτουργία του αποστακτήρα.

Η περίπτωση αυτή αποτελεί αποτέλεσμα εκτεταμένων καταπονήσεων πάνω στον αποστακτήρα από τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται ειδικά κατά την λειτουργία με λεπτές στοιβάδες άλμης. Φυσικές απώλειες λόγω κατασκευής του αποστακτήρα μπορεί επίσης να ευθύνονται για την αύξηση της απόκλισης αλλά μπορεί να μην δικαιολογούνται από το συγκεκριμένο μέγεθος αποστακτήρα ο οποίος είναι μικρού μεγέθους και συνεπώς να χρειάζεται μεγαλύτερη προσοχή στην μόνωση.

- Σαν γενικό συμπέρασμα από τα προηγούμενα διαγράμματα μπορούμε να πούμε ότι η λειτουργία του συγκεκριμένου μεγέθους αποστακτήρα δεν γίνεται αποτελεσματικά για παχιές στοιβάδες άλμης. Με λεπτές στοιβάδες άλμης πετυχαίνουμε καλύτερη απόδοση, μεγαλύτερη παραγωγή και συνθήκες λειτουργίας του αποστακτήρα που μπορούν να προβλεφθούν ικανοποιητικά.

## 7. Συμπεράσματα

Έχοντας μελετήσει εκτενώς τα δεδομένα από τις μετρήσεις καθώς και τα διαγράμματα από την επεξεργασία και τα αποτελέσματα της για την λειτουργία του ηλιακού αποστακτήρα και την μέθοδο της ηλιακής αφαλάτωσης εξάγουμε τα παρακάτω συμπεράσματα :

1. Οι σημαντικότεροι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την παραγωγή και την απόδοση ενός ηλιακού αποστακτήρα είναι α) Η ηλιακή ακτινοβολία και β) η αρχική ποσότητα άλμης στον αποστακτήρα όλοι οι υπόλοιποι παράγοντες σχετίζονται με την μόνωση του αποστακτήρα, τα κατασκευαστικά δεδομένα και παράγοντες οι οποίοι σχετίζονται άμεσα με τους πρωταρχικούς. Παράδειγμα της παραπάνω παρατήρησης είναι το εξής. Ένας από τους παράγοντες που αναφέραμε ότι επηρεάζουν την απόδοση του αποστακτήρα είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της άλμης και του καλύμματος του αποστακτήρα. Η διαφορά αυτή της θερμοκρασίας επηρεάζεται άμεσα από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και από το πάχος της άλμης και συγκεκριμένα όσο λεπτότερη είναι η στοιβάδα της άλμης τόσο μεγαλύτερη θερμοκρασία αυτή ανεβάζει και έτσι η διαφορά θερμοκρασίας αυξάνεται.

2. Η μεγαλύτερη παραγωγή αποστάγματος που υπολογίστηκε αντιστοιχεί σε περίπου  $4 \text{ L/m}^2 \cdot \text{day}$  και επετεύχθη με την υψηλότερη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που είχαμε στις μετρήσεις και με μια από τις λεπτότερες στοιβάδες άλμης (2000 ml). Η χαμηλότερη παραγωγικότητα που είχαμε από τον αποστακτήρα ήταν  $2,41 \text{ L/m}^2 \cdot \text{day}$  με σχετικά υψηλή για το σύνολο των μετρήσεων ηλιακή ακτινοβολία και την παχύτερη στοιβάδα άλμης που είχαμε στις μετρήσεις (8000 ml).

3. Η απόδοση του αποστακτήρα αυξάνει με την αύξηση της ηλιακής ακτινοβολίας όπως επίσης και με την μείωση του πάχους της άλμης στην λεκάνη του αποστακτήρα. Η μεγαλύτερη απόδοση που είχε ο αποστακτήρας ήταν 34,36% με την ελάχιστη στοιβάδα άλμης στον αποστακτήρα (1500 ml). Από την άλλη πλευρά η μικρότερη απόδοση που υπολογίστηκε αντιστοιχούσε στην τιμή 21,58 % τιμή η οποία αντιστοιχούσε στην παχύτερη στοιβάδα άλμης που συμμετείχε στις μετρήσεις (8000 ml).



4. Η απόκλιση από τις θεωρητικές τιμές που μας παρέχει η εξίσωση παραγωγικότητας που βρίσκεται στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας ξεκινάει από την τιμή 6.97 % και φθάνει στην τιμή 41,19 % ακολουθώντας αυξητική τάση όσο αυξάνει και το αρχικό πάχος της άλμης στον αποστακτήρα. Η λειτουργία του αποστακτήρα βρίσκεται μέσα στα όρια τα οποία θέτει η εξίσωση μέχρι την τιμή των 4000 ml ως αρχική στοιβάδα άλμης από κει και πέρα οι αποκλίσεις αυξάνονται πολύ με αποτέλεσμα να θεωρείται μη συμφέρουσα η λειτουργία του αποστακτήρα κάτω από αυτές τις συνθήκες από την άποψη της παραγωγικότητας.

5. Συγκρίνοντας την λειτουργία του αποστακτήρα με τα διεθνή αποτελέσματα που παρουσιάζουμε στην ανασκόπηση της βιβλιογραφίας τοποθετούμε τον αποστακτήρα αυτής της μελέτης στην 3<sup>η</sup> ή 4<sup>η</sup> θέση από άποψη παραγωγής, γεγονός το οποίο μας δείχνει ότι ο αποστακτήρας έχει ικανή παραγωγή συγκρίσιμη με τα διεθνή δεδομένα όχι τόσο λόγω κατασκευής που είναι απλή και φθηνή, αλλά περισσότερο λόγω των υψηλών τιμών ηλιακής ακτινοβολίας που υπάρχει στον ελλαδικό χώρο και στην δική μας περίπτωση στην περιοχή των Χανίων.

6. Η απόδοση που έχουν γενικά οι ηλιακοί αποστακτήρες είναι σχετικά μικρή αυτό οφείλεται στις φυσικές απώλειες της διεργασίας της αφαλάτωσης με ηλιακή ενέργεια, απώλειες τις οποίες προαναφέραμε και που δικαιολογούν αυτές τις χαμηλές τιμές. Παρόλα αυτά το κόστος πέφτει σε χαμηλά επίπεδα λόγω της απουσίας κόστους για την παροχή ενέργειας γεγονός που κάνει την ηλιακή αφαλάτωση πολύ επιθυμητή έστω και με μειωμένη απόδοση.

7. Οι μετρήσεις αγωγιμότητας και PH του θαλασσινού νερού πριν από την αφαλάτωση είχαν ένα μέσο όρο 66,5 ms και 8,15 αντίστοιχα. Στο τέλος της ημέρας οι τιμές αγωγιμότητας και PH πήραν τις τιμές 162  $\mu$ S και 6,3 ως μέσο όρο. Η μείωση αυτή στις τιμές μας δείχνει ξεκάθαρα ότι είχαμε μείωση των αιωρούμενων αλάτων στο νερό που συλλέξαμε όμως δεν έχουμε μέτρο σύγκρισης για να βγάλουμε ένα ασφαλές συμπέρασμα. Για αυτό το λόγο και ως μέτρο σύγκρισης διεξήγαμε μέτρηση αγωγιμότητας και PH στο νερό που παίρνουμε από την ιοντοανταλλακτική στήλη του εργαστηρίου χημείας όπου πήραμε τις ακόλουθες τιμές ως μέσο όρο 122  $\mu$ S ως τιμή αγωγιμότητας και 5,6 ως τιμή PH. Οι τιμές αγωγιμότητας του

απεσταγμένου νερού και του νερού του εργαστηρίου βρίσκονται στην ίδια τάξη μεγέθους πράγμα που επιβεβαιώνει την αφαίρεση των αλάτων από το απόσταγμα. Έτσι λοιπόν γνωρίζουμε πως η ηλιακή αφαλάτωση μπορεί να μας δώσει καθαρό απαλλαγμένο από άλατα νερό.

8. Ο άνθρωπος χρειάζεται 1 έως 2 λίτρα την ημέρα για να ζήσει. Η ελάχιστη απαίτηση για κανονική ζωή σε αναπτυσσόμενες χώρες (η οποία περιλαμβάνει μαγείρεμα, καθάρισμα και καθάρισμα ρούχων) είναι περίπου 20 λίτρα την ημέρα (στον εκβιομηχανισμένο κόσμο 200 έως 400 λίτρα την ημέρα είναι τυπική τιμή). Ακόμα και έτσι κάποιες εφαρμογές μπορούν να γίνουν με χρήση αλμυρού νερού και μια τυπική τιμή ζήτησης για καθαρό νερό είναι περίπου 5 λίτρα ανά άτομο την ημέρα. Επομένως σύμφωνα με την απόδοση του αποστακτήρα που μελετάμε 2 τετραγωνικά μετρά ως επιφάνεια συλλογής κρίνεται επαρκής για τις ανάγκες κάθε ξεχωριστού ατόμου.

## 8. Βιβλιογραφία

1. *Ε. Δελληγιάννη, Β. Μπελεσιώτης. Μέθοδοι και συστήματα αφαλάτωσης (αρχές διεργασιών αφαλάτωσης Αθήνα 1995).*
2. *J.A Eibling, S.G Talbert and G.O.G LOF. Solar stills for community use- digest of technology (Review article.) (solar energy, vol 1, pp 263-276. Pergamon press,1971. Printed in Great Britain pdf Document).*
3. *Badawi W. Tleimat and Everret D. Howe. Comparison of Plastic and Glass Condensing Covers for Solar Distillers. (Solar energy vol 12 ,pp 293-304. Pergamon press,1969. Printed in Great Britain Pdf Document).*
4. *A. Hanson, W. Zachritz, K. Stevens, L. Mimbela, R. Polka, L. Cisneros. Distillate Water Quality of a single-Basin Solar Still: Laboratory and Field Studies (Solar energy 76 2004, pp 635-645 pdf Document)*
5. *Δρ Π.Αζαόπουλος. Σημειώσεις ΑΠΕ 1 (Ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο) (html document).*
6. *Ernani Sartori. Solar Still Versus Solar Evaporator: A Comparative Study Between Their Thermal Behaviors (Solar energy vol 56, pp 199-206. Pergamon press,1996. Printed in Great Britain pdf Document).*
7. *Robert Foster, Sharon Eby-Martin . Solar Water Purification for the Border: Solar Distillation). ([www.EPSEA.org](http://www.EPSEA.org) pdf document).*
8. *[www.Freemeteo.com](http://www.Freemeteo.com). Ο καιρός τώρα σε Χανιά, Ελλάδα (html document).*
9. *[www.PracticalAnswers.com](http://www.PracticalAnswers.com).Solar distillation Practical Answers (Practical Action Site html page).*
10. *[www.Solaqua.com](http://www.Solaqua.com). Solar Still Basics (Commercial Site html Page)*



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### A) Πειραματικές μετρήσεις

Σε αυτήν την ενότητα παραθέτουμε τις μετρήσεις που συλλέχθηκαν κατά την περίοδο 5/7/2007- 17/7/2007. οι μετρήσεις που έγιναν ήταν στον αριθμό 11 με δυο από αυτές να μην συμμετέχουν στην διαδικασία της επεξεργασίας. Έτσι σε αυτήν την ενότητα παρουσιάζονται οι 9 μετρήσεις οι οποίες διαφοροποιούνται ως εξής :

- 2 μετρήσεις με αρχική ποσότητα νερού τα 2000 ml
- 2 μετρήσεις με αρχική ποσότητα νερού τα 4000 ml
- 2 μετρήσεις με αρχική ποσότητα νερού τα 6000 ml
- 2 μετρήσεις με αρχική ποσότητα νερού τα 8000 ml
- 1 μέτρηση με αρχική ποσότητα νερού τα 1500 ml

Ακολουθούν οι πίνακες με τις καθημερινές μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας, θερμοκρασίας της άλμης, θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, και ποσότητας αποστάγματος ανά μισή ώρα από τις 8:30 πμ έως τις 20:00 μμ για κάθε ξεχωριστή μέτρηση. Επίσης παραθέτουμε παρατηρήσεις για τυχόν μεταβολές των κλιματολογικών συνθηκών και διάφορες παρατηρήσεις πάνω στον αποστακτήρα.

Επίσης παραθέτουμε και τις μετρήσεις PH και αγωγιμότητας του θαλασσινού και απεσταγμένου νερού από τον αποστακτήρα.

# 1<sup>η</sup> Μέτρηση

Αρχική ποσότητα νερού 2000 ml

Ημερομηνία : 10/7/2007

Χρόνος	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m <sup>2</sup> )	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία Νερού (°C)	ΔT (°C)	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (ml) 0,17m <sup>2</sup>
8:30	322,9	25,9	27	1,1	0
9:00	423,9	26,7	30	3,3	0
9:30	542,4	28,5	36	7,5	0
10:00	653,0	30,3	43	12,7	0
10:30	975,1	30,7	51	20,3	0
11:00	1010,1	31,9	59	27,1	12
11:30	1010,9	30,4	65	34,6	41
12:00	1034,7	31,7	70	38,3	80
12:30	1022,0	33,7	74	40,3	121
13:00	996,6	35,3	77	41,7	169
13:30	1010,9	36,9	79	42,1	227
14:00	1001,3	37,9	80	42,1	287
14:30	975,9	38	78	40	347
15:00	934,5	39	76	37	404
15:30	869,3	37	77	40	457
16:00	785,0	37	72	35	505
16:30	685,6	36	68	32	547
17:00	590,2	36	65	29	583
17:30	475,6	36	61	25	605
18:00	378,6	36	57	21	625
18:30	263,3	36,6	53	16,4	641
19:00	179,0	34,3	49	14,7	652
19:30	58,9	30,3	44	13,7	664
20:00	42,2	28	39	11	672

Παρατηρήσεις: Καμία παρατήρηση την συγκεκριμένη μέρα. Ηλιοφάνεια.

## 2<sup>η</sup> Μέτρηση

Αρχική ποσότητα νερού 2000 ml

Ημερομηνία : 11/7/2007

Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m <sup>2</sup> )	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία Νερού (°C)	ΔΤ (°C)	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (ml) 0,17m <sup>2</sup>
318	27,8	28	0,2	0
421	28,9	31	2,1	0
548	30,2	36	5,8	0
650	31,7	43	11,3	0
753	31,5	50	18,5	0
825	33,5	57	23,5	11
890	31,3	62	30,7	32
950	32,7	68	35,3	64
993	34,7	74	39,3	107
1001	35,5	77	41,5	140
1010	37	78	41	200
1001	37,1	79	41,9	252
1035	36,1	77	40,9	309
929	37,6	74	36,4	368
869	36,7	72	35,3	418
790	36,6	70	33,4	468
703	36,2	67	30,8	505
586	35,2	62	26,8	541
485	34,5	58	23,5	576
367	33,9	54	20,1	596
263	33,2	50	16,8	608
169	31,6	46	14,4	619
65	30,1	41	10,9	628
45	29	38	9	635

Παρατηρήσεις: Καμία παρατήρηση την συγκεκριμένη μέρα. Ηλιοφάνεια

### 3<sup>η</sup> Μέτρηση

Αρχική ποσότητα νερού 4000 ml

Ημερομηνία : 12/7/2007

Χρόνος	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m <sup>2</sup> )	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία Νερού (°C)	ΔΤ (°C)	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (ml) 0,17m <sup>2</sup>
8:30	311	24,4	26	1,6	0
9:00	432	25,1	27	1,9	0
9:30	534	26,1	30	3,9	0
10:00	651	26,5	34	7,5	0
10:30	775	27,5	40	12,5	0
11:00	838	27,5	46	18,5	0
11:30	851	28,3	52	23,7	4
12:00	896	29,3	57	27,7	19
12:30	943	29,7	61	31,3	43
13:00	959	30,5	65	34,5	76
13:30	1012	31,5	78	46,5	114
14:00	1009	32	69	37	164
14:30	983	32,7	70	37,3	208
15:00	942	33,9	70	36,1	248
15:30	871	34,9	69	34,1	294
16:00	793	36,9	67	30,1	341
16:30	703	33,6	66	32,4	378
17:00	608	33,3	63	29,7	407
17:30	488	35,9	60	24,1	438
18:00	383	32,8	56	23,2	459
18:30	280	32,3	32	-0,3	480
19:00	178	30,3	58	27,7	498
19:30	57	28,7	44	15,3	512
20:00	34	26,8	41	14,2	523

Παρατηρήσεις : Καμία παρατήρηση την συγκεκριμένη μέρα. Ηλιοφάνεια

#### 4<sup>η</sup> Μέτρηση

Αρχική ποσότητα νερού 4000 ml

Ημερομηνία : 15/7/2007

Χρόνος	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m <sup>2</sup> )	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία Νερού (°C)	ΔΤ (°C)	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (ml) 0,17m <sup>2</sup>
8:30	302	25	24	1	0
9:00	406	26,7	25,7	1	0
9:30	535	27	29,1	2,1	0
10:00	655	28	33,7	5,7	0
10:30	689	28,7	38,9	10,2	0
11:00	725	29	46	17	0
11:30	800	30,9	51,9	21	7
12:00	856	30,8	57,8	27	18
12:30	991	31,9	63,5	31,6	42
13:00	1016	36,3	67,8	31,5	77
13:30	1012	36	78	42	110
14:00	1021	37	76	39	158
14:30	1001	36,5	73	36,5	174
15:00	940	36	72	36	214
15:30	881	36	71	35	262
16:00	803	36	69,1	33,1	309
16:30	717	35,9	66,7	30,8	350
17:00	619	35,9	64	28,1	375
17:30	486	35,2	61	25,8	407
18:00	394	35,1	58,3	23,2	427
18:30	274	32,6	54,3	21,7	449
19:00	178	31,2	50,3	19,1	477
19:30	64	29,1	46,6	17,5	503
20:00	49	27,1	42	14,9	517

Παρατηρήσεις: Ελαφρός άνεμος από 12:00 – 16:00. Ηλιοφάνεια καθ'ολη την διάρκεια της ημέρας



## 5<sup>η</sup> Μέτρηση

Αρχική ποσότητα νερού 6000 ml

Ημερομηνία : 2/7/2007

Χρόνος	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m <sup>2</sup> )	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία Νερού (°C)	ΔΤ (°C)	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (ml) 0,17m <sup>2</sup>
8:30	497	25	23	2	0
9:00	564	25,6	25,2	0,4	0
9:30	651	27,4	27,4	0	0
10:00	643	28,9	28,9	0	0
10:30	739	29,5	33,5	4	0
11:00	816	30,1	38,9	8,8	0
11:30	893	30,7	44,6	13,9	0
12:00	946	31,3	50,3	19	0
12:30	986	32,4	55,9	23,5	5
13:00	1002	3,5	60,3	56,8	21
13:30	1003	34,2	64,3	30,1	46
14:00	993	34,7	67,4	32,7	76
14:30	963	35,1	68,8	33,7	115
15:00	924	35,1	69,6	34,5	155
15:30	863	35,1	69,5	34,4	197
16:00	787	35	68,7	33,7	237
16:30	697	34	67,4	33,4	275
17:00	602	33	65,1	32,1	309
17:30	499	33	62,7	29,7	341
18:00	363	34,6	59,7	25,1	370
18:30	261	34,2	56,6	22,4	397
19:00	145	32,7	53,4	20,7	420
19:30	86	29,9	49,5	19,6	435
20:00	64	29,1	47	17,9	442

Παρατηρήσεις: Αποκόλληση μονωτικού πλαστικού στην δεξιά πλευρά του αποστακτήρα.  
Ηλιοφάνεια.

## 6<sup>η</sup> Μέτρηση

Αρχική ποσότητα νερού 6000 ml

Ημερομηνία : 13/7/2007

Χρόνος	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m <sup>2</sup> )	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία Νερού (°C)	ΔΤ (°C)	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (ml) 0,17m <sup>2</sup>
8:30	282	25,5	26	0,5	0
9:00	379	26,7	27	0,3	0
9:30	492	28	29	1	0
10:00	609	29	32	3	0
10:30	250	28	36	8	0
11:00	294	30	41	11	0
11:30	946	31	46	15	0
12:00	948	32	51	19	3
12:30	984	31	56	25	14
13:00	958	36	60	24	25
13:30	1039	35,9	62	26,1	45
14:00	1006	40,6	65	24,4	68
14:30	973	35,6	67	31,4	100
15:00	935	36	69	33	132
15:30	868	37,9	69	31,1	170
16:00	786	38,9	68	29,1	208
16:30	693	36,5	67	30,5	244
17:00	588	37,5	65	27,5	280
17:30	494	36,5	63	26,5	308
18:00	385	37,6	61	23,4	334
18:30	256	34,5	57	22,5	367
19:00	172	33	53	20	391
19:30	68	31,5	50	18,5	412
20:00	48	27,9	46	18,1	420

Παρατηρήσεις: Νεφοκάλυψη τις ώρες 10:30-11:00. Ηλιοφάνεια. Αποκόλληση κομματιών της εσωτερικής μαύρης επένδυσης του αποστακτήρα.

## 7<sup>η</sup> Μέτρηση

Αρχική ποσότητα νερού 8000 ml

Ημερομηνία : 6/7/2007

Χρόνος	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m <sup>2</sup> )	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία Νερού (°C)	ΔΤ (°C)	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (ml) 0,17m <sup>2</sup>
8:30	295	25,2	23	2,2	0
9:00	412	25,9	24	1,9	0
9:30	561	26,7	27	0,3	0
10:00	690	29,5	28	1,5	0
10:30	756	28,5	33,5	5	0
11:00	804	29	37	8	0
11:30	919	29,9	43	13,1	0
12:00	956	30	48	18	0
12:30	992	31	52	21	12
13:00	1005	34	57	23	26
13:30	1020	34	60	26	40
14:00	1001	37	63	26	65
14:30	975	35,7	66	30,3	96
15:00	869	36	68,9	32,9	132
15:30	862	37	69	32	170
16:00	784	37	68	31	205
16:30	704	36	67	31	237
17:00	608	36	66	30	272
17:30	493	36	64	28	306
18:00	363	35	61	26	336
18:30	259	34	59	25	365
19:00	148	32	56	24	394
19:30	35	27	49	22	400
20:00	25	27	48	21	456

Παρατηρήσεις: Καμιά παρατήρηση την συγκεκριμένη μέρα. Ηλιοφάνεια.

## 8<sup>η</sup> Μέτρηση

Αρχική ποσότητα νερού 8000 ml

Ημερομηνία : 14/7/2007

Χρόνος	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m <sup>2</sup> )	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία Νερού (°C)	ΔΤ (°C)	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (ml) 0,17m <sup>2</sup>
8:30	295	25,2	23,5	1,7	0
9:00	410	25,9	24,7	1,2	0
9:30	519	26,7	26,7	0	0
10:00	663	29,5	28	1,5	0
10:30	789	28,5	32,5	4	0
11:00	823	29	37	8	0
11:30	896	29,9	42	12,1	0
12:00	956	30	47	17	0
12:30	992	31	52	21	8
13:00	1009	34	57	23	22
13:30	1018	34	60	26	36
14:00	1003	37	63	26	61
14:30	981	35,7	66	30,3	92
15:00	884	36	67,5	31,5	128
15:30	862	37	68	31	166
16:00	784	37	68	31	201
16:30	704	36	67	31	233
17:00	608	36	66	30	268
17:30	493	36	64	28	302
18:00	380	35	61	26	332
18:30	274	34	59	25	361
19:00	173	32	55,7	23,7	390
19:30	41	27	49,2	22,2	400
20:00	29	27	48	21	411

Παρατηρήσεις: Αποκόλληση κομματιών της εσωτερικής επένδυσης του αποστακτήρα.  
Ηλιοφάνεια.

## 9 Μέτρηση

Αρχική ποσότητα νερού 1500 ml

Ημερομηνία : 16/7/2007

Χρόνος	Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m <sup>2</sup> )	Θερμοκρασία Περιβάλλοντος (°C)	Θερμοκρασία Νερού (°C)	ΔΤ (°C)	Ποσότητα Απεσταγμένου Νερού (ml) 0,17m <sup>2</sup>
8:30	301	25,9	24,6	1,3	0
9:00	418	26,7	27,9	1,2	0
9:30	527	27,6	32,3	4,7	0
10:00	633	28,6	39,1	10,5	0
10:30	755	29,7	47	17,3	12
11:00	826	30,4	53,9	23,5	24
11:30	932	31,1	60,9	29,8	52
12:00	961	31,5	65,5	34	90
12:30	1004	36,9	69,1	32,2	160
13:00	1023	32,5	77	44,5	240
13:30	1028	35,2	81	45,8	320
14:00	1018	37,5	80	42,5	410
14:30	996	37,1	78	40,9	460
15:00	957	36,7	77	40,3	502
15:30	892	37,5	74	36,5	544
16:00	803	38	67,8	29,8	566
16:30	718	36	63,6	27,6	589
17:00	616	36	60,6	24,6	607
17:30	503	36	56,3	20,3	623
18:00	392	35	51,5	16,5	637
18:30	282	35	47,2	12,2	647
19:00	173	36,5	43,1	6,6	655
19:30	63	33,7	38,8	5,1	661
20:00	42	28,7	34,5	5,8	665

Παρατηρήσεις: Αποκόλληση κομματιών της εσωτερικής επένδυσης του αποστακτήρα.  
Ηλιοφάνεια.

## Μετρήσεις PH και αγωγιμότητας

Οι μετρήσεις που παραθέτουμε έγιναν τις τρεις τελευταίες μέρες των πειραμάτων 14/7, 15/7 και 16/7 του 2007.

Μετρήσεις	PH Θαλάσσιου Νερού	Αγωγιμότητα Θαλάσσιου Νερού	PH Απεσταγμένου Νερού	Αγωγιμότητα Απεσταγμένου Νερού	PH Απιονισμένου Νερού	Αγωγιμότητα Απιονισμένου Νερού
1 <sup>η</sup> 14/7/2007	8,40	65 ms	6,2	155 μs	5,67	125 μs
2 <sup>η</sup> 15/7/2007	7,9	71 ms	6,52	172 μs	5,32	119 μs
3 <sup>η</sup> 16/7/2007	8,15	63,5 ms	6,15	161 μs	5,86	123 μs

Οι μετρήσεις απιονισμένου νερού αναφέρονται στο νερό που παίρνουμε από την ιοντοανταλλακτική στήλη του εργαστηρίου Χημείας για λόγους σύγκρισης.

## B) Σφάλματα

Κατά την διάρκεια κάθε πειραματικής διαδικασίας και ανάλυσης υπεισέρχονται κάποια σφάλματα και παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν συνολικά το πείραμα. Σε αυτήν την ενότητα παραθέτουμε όλα τα σφάλματα που μπορεί να επηρέασαν τις μετρήσεις και σφάλματα που οφείλονται στην αναλυτική μέθοδο και στην πειραματική διάταξη καθώς επίσης και κάποιες παρατηρήσεις πάνω στον αποστακτήρα που σχετίζονται με την απόκλιση από μια πιθανώς καλύτερη λειτουργία του.

- Η σωστή λειτουργία του αποστακτήρα επιβάλλει όσο το δυνατό καλύτερη μόνωση του καλύμματος για την διαρροή υδρατμών. Η λεκάνη του αποστακτήρα πρέπει να είναι καλά σφραγισμένη και αεροστεγής. Δυστυχώς η μέτρηση της θερμοκρασίας της άλμης απαιτούσε να τοποθετηθεί ο αισθητήρας του θερμομέτρου μέσα στην λεκάνη. Το καλώδιο του αισθητήρα που έφτανε στην ένδειξη του θερμομέτρου δημιουργούσε μια ανωμαλία στην ευθύγραμμη επαφή του γυάλινου καλύμματος με το λάστιχο μόνωσης. Η ίδια ανωμαλία θα γινόταν αργότερα μεγαλύτερη αφού μετά από ανεπαρκή για τις μετρήσεις λειτουργία του πρώτου θερμομέτρου τοποθετήθηκε και δεύτερο.

- Για να μετρηθεί σωστά η θερμοκρασία της άλμης θα πρέπει ο αισθητήρας της θερμοκρασίας να έρχεται σε επαφή μόνο με την άλμη και όχι με τα τοιχώματα του αποστακτήρα που βρίσκονται σε μεγαλύτερη θερμοκρασία από ότι η άλμη. Το πρώτο θερμομέτρο που χρησιμοποιήσαμε είχε εκ κατασκευής μια πλαστική βάση πάνω στην οποία στηρίζονταν ο αισθητήρας και έτσι εφόσον αυτή η βάση μόνο ήταν σε επαφή με τα τοιχώματα ο αισθητήρας αιωρούταν στην άλμη παρέχοντας μας αξιόπιστες μετρήσεις θερμοκρασίας. Όμως όταν διεξήγαμε μετρήσεις με λεπτές στοιβάδες άλμης το εύρος μέτρησης του θερμομέτρου που χρησιμοποιούσαμε στην αρχή δεν επαρκούσε για τις υψηλές θερμοκρασίες που ανέπτυξε η άλμη. Έτσι χρησιμοποιήσαμε ένα δεύτερο θερμομέτρο που ξεπερνούσε αυτό το πρόβλημα, αλλά λόγω του ότι ο αισθητήρας του συγκεκριμένου οργάνου δεν είχε πλαστική βάση όπως το προηγούμενο τοποθετήσαμε και τον αισθητήρα από το πρώτο θερμομέτρο μέσα στη λεκάνη και στη πλαστική βάση του στηρίξαμε και τον δεύτερο αισθητήρα αυτό όμως είχε σαν αποτέλεσμα ακόμα μεγαλύτερο κενό στην μόνωση του καλύμματος και συνεπώς μεγαλύτερη διαρροή υδρατμών. Επιπλέον τα ρεύματα που δημιουργούνταν από τους υδρατμούς μπορεί να μετακινούσαν τον αισθητήρα ορισμένες φορές και να χρειαζόταν περεταίρω μετακίνηση τους κατά την διάρκεια λειτουργίας του αποστακτήρα.

- Οι μετρήσεις όγκου του αποστάγματος βασιστήκαν σε ένα ογκομετρικό κύλινδρο ονομαστικής χωρητικότητας 50 ml η ακρίβεια που παρείχε αυτό το όργανο ήταν 1 ml επαρκής ακρίβεια για τις μετρήσεις. Αυτές όμως οι ενδείξεις μέτρησης αυτού του οργάνου ξεκινούσαν από τα 5 ml. Αυτό σημαίνει ότι σε μετρήσεις που στα πρώτα ημίωρα απόσταξης η παραγωγή ήταν μικρότερη από 5 ml είχαμε πιο σημαντικό σφάλμα ειδικά αφού τις μετρήσεις αυτές τις ανάγαμε στο τετραγωνικό μέτρο. Επίσης όταν η ποσότητα του αποστάγματος είναι αρκετά μικρή στον ογκομετρικό κύλινδρο, μέρος του αποστάγματος όταν έχουμε υψηλές εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να εξατμιστεί έτσι υπολογίζουμε μειωμένη παραγωγή μέσα στην ημέρα. Αυτό το φαινόμενο προσπαθήσαμε να το περιορίσουμε με κάλυψη του ογκομετρικού κυλίνδρου με διάφορα

καλύμματα ώστε να περιορίσουμε την ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει πάνω στον κύλινδρο.

- Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος έγιναν με το πρώτο από τα δυο θερμόμετρα που αναφέραμε λόγω της ύπαρξης δυο αισθητήρων στο συγκεκριμένο θερμόμετρο ο εξωτερικός αισθητήρας χρησιμοποιήθηκε, στην αρχή τουλάχιστον, για τον υπολογισμό θερμοκρασίας της άλμης και ο εσωτερικός αισθητήρας για την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Τον εσωτερικό αισθητήρα τον τοποθετούσαμε έτσι ώστε να βρίσκεται υπό σκιά καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας. Αυτό όμως δεν κατέστη δυνατό για όλες τις ώρες τις ημέρας αφού για τις ώρες περίπου 15:00 – 16:00 μμ η θέση του ήλιου ήταν τέτοια ώστε να μην μπορούμε να τοποθετήσουμε κάλυμμα αποτελεσματικά γύρω από τον αισθητήρα τουλάχιστον χωρίς να σκιάσουμε και την επιφάνεια συλλογής του αποστακτήρα με τα καλύμματα αυτά με αποτέλεσμα να έχουμε σε μερικές περιπτώσεις αύξηση μέχρι και 6 °C από την πραγματική τιμή θερμοκρασίας όταν είχαμε άμεση πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω στον αισθητήρα. Ευτυχώς αυτό το φαινόμενο παρουσιαζόταν μόνο για μια έως μιάμιση ώρα μετά τις 15:00 παρόλα αυτά εισάγει κάποιο σφάλμα.

Επίσης ο αισθητήρας του οργάνου επηρεαζόταν και από την θερμοκρασία του αποστακτήρα με τον οποίο το είχαμε σε επαφή για μια ή δυο μετρήσεις αφού η εκπομπή θερμότητας από τις πλευρές του αποστακτήρα επηρέαζε και τον αισθητήρα του οργάνου για αυτό το λόγο αποσπάσαμε από τον αποστακτήρα την πρόσοψη του θερμομέτρου η οποία περιείχε τον εσωτερικό αισθητήρα και την τοποθετήσαμε σε ένα πέτρινο στήριγμα χωρίς όμως να απαλείψουμε την μεταφορά θερμότητας από οποιοδήποτε υλικό και να ερχόταν σε επαφή το θερμόμετρο.

- Οι μετρήσεις που έγιναν με τον αποστακτήρα σε λειτουργία δεν έγιναν με κάποια σειρά. Αυτό σημαίνει ότι οι μετρήσεις με διαφορετικά πάχη της άλμης έγιναν ακανόνιστα και όχι κατά αύξουσα ή φθίνουσα αρχική ποσότητα αλμυρού νερού στην λεκάνη. Μετά την πρώτη μέτρηση με χαμηλή ποσότητα άλμης (2000 ml) και καθώς συνεχίζονταν οι μετρήσεις ο αποστακτήρας άρχισε να παρουσιάζει μια σειρά από αστοχίες υλικών και διάφορες βλάβες στη δομή του. Έτσι οι πρώτες αστοχίες παρατηρήθηκαν όταν έγινε αποκόλληση των λάστιχων τα οποία προορίζονται για την μόνωση των υδρατμών του καλύμματος. Το υλικό συγκόλλησης των λάστιχων με τον αποστακτήρα, κατά πάσα πιθανότητα σιλικόνη, δεν άντεξε τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονταν μέσα στον αποστακτήρα (80 °C με 2000 ml και 81 °C με 1500 ml αρχική ποσότητα άλμης) και σταμάτησε την συγκράτηση των λάστιχων με αποτέλεσμα την εκτεταμένη διαρροή υδρατμών σε μια συγκεκριμένη μέτρηση. Τα λάστιχα επανακολλήθηκαν με κόλλα στιγμής κίνηση η οποία μείωνε την αποτελεσματικότητα της μόνωσης της σιλικόνης αλλά αύξανε την αντοχή για τις υπολειπόμενες μετρήσεις.

Τα ανωτέρω προβλήματα δεν ήταν τα μονά που συναντήσαμε κατά την διάρκεια των μετρήσεων. Μετά από την διεξαγωγή περίπου των μισών μετρήσεων άρχισε να παρατηρείται αποκόλληση του εσωτερικού μαύρου καλύμματος του αποστακτήρα αφήνοντας στην θέση του το εσωτερικό μεταλλικό φύλο κατασκευής του αποστακτήρα καλυμμένο με το υλικό συγκόλλησης του καλύμματος χρώματος λευκού με μεγάλη ανακλαστικότητα. Αυτό είχε σαν αποτελέσματα μειωμένη απορρόφηση της ηλιακής



ακτινοβολίας στις τελευταίες μετρήσεις. Παρόλο που το εσωτερικό του αποστακτήρα ξαναβάφτηκε είχαμε ακόμα κάποια μικρά κομμάτια να αποκολλούνται και να διορθώνουμε τα κενά στο τέλος της ημέρας.

Είναι ενδιαφέρον να αναφέρουμε ότι δυο μετρήσεις με αρχική ποσότητα νερού τα 2000 ml έγιναν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους η πρώτη μέτρηση έγινε όταν διεξήγαμε τις αρχικές μετρήσεις όπου ο αποστακτήρας δεν παρουσίασε αστοχία και η δεύτερη έγινε όταν είχαμε την πρώτη αποκόλληση δυο μεγάλων κομματιών του εσωτερικού του αποστακτήρα. Η διαφορά στην παραγωγικότητα στις δυο μετρήσεις ήταν ελάχιστη και κατά μεγάλο ποσοστό οφείλονται στην διαφορά έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Έχοντας αυτό υπόψη και γνωρίζοντας ότι η αποκόλληση των κομματιών έγινε στα μέρη του αποστακτήρα όπου δεν έρχονταν σε επαφή με την άλμη μπορούμε να συμπεράνουμε ότι από τις πλευρές του αποστακτήρα που συνεισφέρουν θερμότητα στην άλμη η βάση του αποστακτήρα έχει την μεγαλύτερη συνεισφορά στο συνολικό ποσοστό της θερμότητας που προσφέρεται από τις μαύρες επιφάνειες του αποστακτήρα.

- Στις μετρήσεις PH και αγωγιμότητας έχουμε την ύπαρξη σφαλμάτων που οφείλονται στα όργανα και στην σύσταση του διαλύματος του αποστάγματος. Το πεχάμετρο είχε αργή απόκριση και απαιτούνταν υπομονή για την σταθεροποίηση της τιμής του PH σε κάποια σταθερή τιμή. Παρόλο που περιμέναμε αρκετά η τιμή αυτή μπορεί να διαφέρει αρκετά από την πραγματική. Επίσης με την εισαγωγή σκόνης από τον αέρα και τον διασκορπισμό των υλικών του μαύρου καλύμματος του αποστακτήρα που αστόχησαν, είχαμε επικάλυψη διάφορων ουσιών στο αυλάκι συλλογής αποστάγματος. Αυτό είχε σαν συνέπεια τον εμπλουτισμό του αποστάγματος με αυτά τα υλικά και δημιουργία ενός διαλύματος απεσταγμένου νερού, σκόνης του περιβάλλοντος και υλικών της εσωτερικής επένδυσης του αποστακτήρα. Αυτό το φαινόμενο το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της τελικής αγωγιμότητας του αποστάγματος και να επηρεάσει την ίδια την μέτρηση.

- Ένα σφάλμα της αναλυτικής μεθόδου έγκειται στον τρόπο υπολογισμού της ολικής εισερχομένης ηλιακής ενέργειας όλη την ημέρα. Τα αποτελέσματα από την καμπύλη της ηλιακής έντασης προέκυψαν με τον υπολογισμό του ημιαθροίσματος για κάθε μισή ώρα μέτρησης. Αυτός ο υπολογισμός μπορεί να γίνει και με την μέθοδο της ολοκλήρωσης για τα ημίωρα που γίνονται οι μετρήσεις όμως η απόκλιση δεν ενδέχεται να είναι μεγάλη λόγω της μικρής πολυπλοκότητας της καμπύλης της ηλιακής έντασης.

## Γ) Προτάσεις για συνέχεια της παρούσας πτυχιακής Εργασίας

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε η συμπεριφορά ενός απλού ηλιακού αποστακτήρα και μελετήθηκαν κυρίως οι παράγοντες της ηλιακής ακτινοβολίας και του πάχους της άλμης στην λειτουργία του καθώς και εξήχθησαν κάποια συμπεράσματα για την ποιότητα του νερού που παίρνουμε απο αυτόν.

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα με το παρόν θέμα μπορούν να περιλαμβάνουν:

- 1) Μελέτη ηλιακού αποστακτήρα πολλαπλών βαθμίδων για αύξηση της απόδοσης.
- 2) Μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς του αποστακτήρα τον χειμώνα.
- 3) Μελέτη πάνω στην χρήση του καλύμματος του αποστακτήρα ως συλλέκτη βροχής το χειμώνα για αύξηση της παραγωγής.
- 4) Μελέτη πάνω στα υλικά κατασκευής και τις τεχνικές μόνωσης των ηλιακών αποστακτήρων.
- 5) Μελέτη πάνω στην ικανότητα της ηλιακής απόσταξης να αφαιρεί διάφορα είδη ρυπαντών μέσα από το νερό εκτός των αλάτων.