



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ
ΗΛΙΑΚΟ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ
ΠΗΠΤΟΝΤΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΜΕΝΑ

ΑΓΙΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΟΥΜΕΝΤΑΚΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Δρ. Β. ΜΠΟΝΤΟΖΟΓΛΟΥ

ΒΟΛΟΣ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2018

© 2018 **Άγις Γ. Κουμεντάκος**

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής

Πρώτος Εξεταστής Δρ. Βασίλειος Μποντόζογλου
(Επιβλέπων) Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Νικόλαος Ανδρίτσος
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Νικόλαος Πελεκάσης
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, καθηγητή Δρ. Βασίλειο Μποντόζογλου, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης, είμαι ευγνώμων στα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, καθηγητές κκ. Νικόλαο Ανδρίτσο και Νικόλαο Πελεκάση για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Τέλος είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια.

Άγις Γ. Κουμεντάκος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αφαλάτωση θαλασσινού νερού αποτελεί σημαντική αιεφόρο μέθοδο αντιμετώπισης της λειψυδρίας, καθώς χρησιμοποιεί μια ανεξάντλητη πηγή νερού, τη θάλασσα. Σε σύγκριση με την αντίστροφη ώσμωση, την κυρίαρχη μέθοδο βιομηχανικής αφαλάτωσης, η ηλιακή αφαλάτωση, παρόλο που δεν πλησιάζει τις αντίστοιχες παροχές σε αφαλατωμένο νερό, είναι μια πλήρως αυτόνομη μέθοδος καθώς αξιοποιεί την άφθονη πηγή, της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η μέθοδος που μελετάται στην παρούσα διπλωματική συνδυάζει την γνωστή απ' τα αρχαία χρόνια ηλιακή αφαλάτωση, με την μέθοδο εξάτμισης ρέοντος υγρού υμένα. Η διάταξη βρίσκεται υπό συγκεκριμένη κλίση προκαλώντας την ροή του υγρού, σε μορφή πίπτοντος υμένα. Σε συγκεκριμένη γωνία κλίσης και σε συνδυασμό με την ηλιακή ακτινοβολία, προκαλείται φυσική ανακυκλοφορία του αέριου ρεύματος εντός της συσκευής, εξαλείφοντας την όποια ανάγκη για ανεμιστήρα ανακυκλοφορίας.

Στο υπολογιστικό μέρος περιλαμβάνονται κάποιες αρχικές θερμοδυναμικές εκτιμήσεις, παραδοχές για τον υπολογισμό βασικών μεγεθών και ανάλυση της εξάρτησης της λειτουργίας της συσκευής από την ένταση και τη διάρκεια της ηλιακής ακτινοβολίας εντός του έτους.

Τέλος, η παραμετρική ανάλυση της συσκευής καταλήγει σε έναν «ιδανικό» συνδυασμό γεωμετρικών χαρακτηριστικών, με σκοπό την μεγιστοποίηση της παροχής αφαλατωμένου νερού. Επίσης παρέχονται κάποιες αρχικές εκτιμήσεις της ελάχιστης και της μέγιστης δυναμικότητας της συσκευής φτάνοντας ~4,5 λίτρα/ημέρα τον χειμώνα ~24 λίτρα/ημέρα το καλοκαίρι.

ABSTRACT

The desalination of seawater is a very important method in addressing water scarcity as it uses the inexhaustible source of the sea. Despite the dominance of the reverse osmosis method in terms of the industrial desalination, solar desalination though not approaching the respective benefits in desalinated water, is a fully autonomous process that utilizes the abundant energy source of solar radiation.

This method studied in this diploma thesis is innovative because it combines the known, since the ancient years, method of solar desalination with the as well, known method of evaporation of thin water film on a tilted plate. This provision is under specified tilt, causing the liquid stream to flow as falling film. That tilt in combination with the solar radiation, create natural air recirculation within the device, avoiding the installation of a fan and therefore saving the equivalent energy need for its operation.

In terms of the computational part, some initial thermodynamic considerations, but also assumptions for calculating certain basic sizes, were made. Furthermore the dependence of the device's

operation on the intensity and the duration of solar radiation during the course of a year, was estimated.

Then follows the parametric analysis of the device in order to find the "perfect" combination of geometric characteristics with the purpose of achieving the maximum production of desalinated water. Finally are given, some initial estimates of the minimum and the maximum capacity of the device, if placed in the city of Volos in Greece, able to provide about 4.5 liters of water per day (winter) and 24 liters of water per day (summer) respectively.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
1.1.ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	3
1.1.1.Η Αφαλάτωση στην φύση.....	3
1.1.2.Η αφαλάτωση στην Αρχαία Ελλάδα.....	3
1.1.3.Πριν και μετά τον Μεσαίωνα	4
1.2.ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ	7
1.2.1.Πολυβάθμια εξάτμιση (Multi-Effect Distillation, MED)	7
1.2.2.Πολυβάθμια στιγμιαία εξάτμιση-εκτόνωση (Multi-Stage Flash Distillation, MSF).....	8
1.2.3.Εξάτμιση με επανασυμπίεση ατμών (Vapor Compression, VC).....	9
1.2.4.Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis).....	11
1.2.5.Αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (Reverse Electrodialysis)	11
1.2.6.Αντίστροφη ώσμωση (Reverse Osmosis).....	12
1.2.7.Ιοντοανταλλαγή (Ion Exchange).....	13
1.2.8.Πάγωμα (Freezing)	13
1.2.9.Υβριδικές μέθοδοι (Methane Hydrate Crystallization)	13
1.3.ΗΛΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΞΗ	14
1.3.1.Αρχές λειτουργίας των ηλιακών αποστακτήρων	15
1.4.ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	16
2. ΑΝΑΛΥΣΗ- ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΗΛΙΑΚΟ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗΡΑ ΠΙΠΤΟΝΤΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΜΕΝΑ	19
2.1.ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	19
2.1.1.Μέρη Συσκευής	20
2.2.ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	22
2.2.1.Ανάλυση λειτουργίας εξατμιστή.....	25
3.ΑΚΡΙΒΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΥΣΑΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟΝ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ	34
4.ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ	40
4.1.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ	41
4.2.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΨΟΥΣ ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΗΣ ΠΛΑΚΑΣ	42

4.3.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΚΑΙ ΤΖΑΜΙΟΥ	44
4.4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ.....	46
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	51
6.ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ.....	52
6.1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ	52
6.2. ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ.....	52
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	54

Πληροφορίες για τα φύλλα εργασίας που δημιουργήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας , agiskount@hotmail.com

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο *Αφαλάτωση* εννοείται οποιαδήποτε μέθοδος ή διαδικασία κατά την οποία ένα μίγμα (συνήθως θαλασσινό νερό ή υφάλμυρο) απαλλάσσεται από τα άλατα ή άλλα μεταλλικά στοιχεία που περιέχει. Η απαλλαγή αυτή μπορεί να ποικίλει σε ότι αφορά τον βαθμό αφαίρεσης των αλάτων. Συγκεκριμένα στο θαλασσινό νερό, η αφαλάτωση μπορεί να μας προσφέρει από υφάλμυρο νερό, νερό άρδευσης έως και πόσιμο.

1.1.ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

1.1.1.Η Αφαλάτωση στην φύση

Παρόλο που ο άνθρωπος αναφέρθηκε έστω και θεωρητικά στην αφαλάτωση κατά τα αρχαία χρόνια, η διεργασία αυτή προϋπήρχε του ανθρώπου κατά πολύ και ίσως και οποιασδήποτε άλλης ζωής που γνώρισε ποτέ ο πλανήτης Γη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι και μόνον η εξάτμιση του αλμυρού νερού των ωκεανών, η δημιουργία σύννεφων και η μετέπειτα συμπύκνωση τους (βροχή) δίνοντας γλυκό νερό, διαδικασία γνωστή ως «Κύκλος του νερού» αποτελεί διαδικασία αφαλάτωσης πολύ μεγάλης κλίμακας και μάλιστα θερμικής.

Άλλη μέθοδος αφαλάτωσης που συναντάται στην φύση και είναι επίσης πολύ μεγάλης κλίμακας είναι η δημιουργία παγόβουνων. Όπως αναλύεται παρακάτω λόγω της διαδικασίας παγώματος τα παγόβουνα παρόλο που δημιουργούνται από θαλασσινό νερό, έχουν ελάχιστη αλμυρότητα.

Ακόμη πιο ενδιαφέρον είναι ο τρόπος με τον οποίο ορισμένα ζώα χρησιμοποιούν την αφαλάτωση όταν δεν βρίσκουν γλυκό νερό. Πιο συγκεκριμένα ο μηχανισμός αυτός είναι έμφυτος κυρίως στα πτηνά της θάλασσας π.χ. γλάροι, πιγκουίνοι κλπ. Αυτά τα πτηνά διαθέτουν έναν ειδικό αδένα αντιρροής ο οποίος συγκρατεί το περίσσιο αλάτι από το αίμα. Το αλμυρό μίγμα συγκεντρώνεται εσωτερικά κοντά στα ρουθούνια λίγο πάνω απ' το ράμφος, ενώ το γλυκό νερό απορροφάται απ' τον οργανισμό. Τέλος το πτηνό με ένα είδος «φτερνίσματος» διώχνει το αλμυρό μίγμα.

1.1.2.Η αφαλάτωση στην Αρχαία Ελλάδα

Ο άνθρωπος κατάφερε, τα αρχαία μόλις χρόνια, παρατηρώντας και εξερευνώντας την φύση να αντιληφθεί την μέθοδο της αφαλάτωσης. Ο πρώτος ο οποίος έχει καταγραφεί πως το έκανε είναι ο ευρέως γνωστός Έλληνας φιλόσοφος και επιστήμονας, ο Αριστοτέλης.

Στο βιβλίο του «Μετεωρολογικά» αναφέρονται ξεκάθαρα δύο διαφορετικές διαδικασίες αφαλάτωσης και μάλιστα αναφέρει πως πραγματοποίησε πείραμα, που επιβεβαιώνει τις θεωρητικές εκτιμήσεις του, της μιας εκ των δυο μεθόδων. Αναλυτικότερα ο Αριστοτέλης δηλώνει πως γνωρίζει εκ πειράματος, ότι όταν εξατμίζεται αλμυρό νερό οι υδρατμοί που δημιουργούνται είναι γλυκοί και ύστερα κατά την συμπύκνωση τους παράγεται γλυκό νερό. Στην συνέχεια γίνεται φανερό πως ο Αριστοτέλης γνώριζε ότι το αλμυρό νερό είναι βαρύτερο απ' το πόσιμο και «παχύτερο» δηλαδή πυκνότερο. Επίσης είχε επίγνωση της άνωσης καθώς αναφέρει πως ένα καράβι που αδυνατεί να πλεύσει σε νερά ποταμού, λόγω του βάρους του, μπορεί να ναι ικανότατο να πλεύσει σε θαλασσινό νερό. Η δεύτερη μέθοδος αφαλάτωσης στην οποία αναφέρεται, αποτελεί μέθοδο μεμβρανών-φιλτραρίσματος, η οποία όμως δεν έχει επαληθευτεί στις μέρες μας. Συγκεκριμένα αναφέρει πως αν ένα κέρινο δοχείο με φραγμένο στόμιο, βυθιστεί κατάλληλα σε θαλασσινό νερό τότε, ύστερα από ικανό χρονικό διάστημα, στο εσωτερικό του δοχείου θα συλλεχθεί νερό απαλλαγμένο από αλάτι. Να σημειωθεί πως στη δεύτερη μέθοδο αφαλάτωσης ο Αριστοτέλης δεν αναφέρει την διεξαγωγή κάποιου πειράματος, επιτυχημένου ή μη.

1.1.3.Πριν και μετά τον Μεσαίωνα

Εκτεταμένη βιβλιογραφία υπάρχει από την Αρχαιότητα έως και τον Μεσαίωνα πάνω σε θέματα σχετικά με το θαλάσσιο νερό και την δυνατότητα μετατροπής του σε γλυκό νερό, οι περιγραφές αυτές βέβαια παρέμειναν σε θεωρητικό και φιλοσοφικό επίπεδο χωρίς κάποια πρακτική εφαρμογή. Μεμονωμένες περιγραφές πρακτικής εφαρμογής φανερώνουν πολύ πρωτόγονους τρόπους μετατροπής του θαλάσσιου νερού σε πόσιμο. Μια από αυτές αναφέρεται από τον Άγιο Βασίλειο, τον αρχιεπίσκοπο της Καισάρειας στις ομιλίες του. Την μέθοδο χρησιμοποιούσαν οι ναυτικοί που ταξίδευαν στη Μεσόγειο Θάλασσα. Η ιστορία λέει πως συλλεγόταν θαλασσινό νερό το οποίο τοποθετούνταν σε δοχεία και ύστερα το έβραζαν. Πάνω από το δοχείο τοποθετούσαν στεγνά σφουγγάρια. Καθώς το νερό έβραζε μέρος των υδρατμών εγκλωβιζόταν στα κρύα και στεγνά σφουγγάρια. υδρατμοί έβραζαν νερό σε ένα δοχείο και οι αχνοί που σχηματίζονταν συλλέγονταν στην κρύα επιφάνεια των σφουγγαριών, τα οποία κρατούσαν πάνω από το δοχείο βρασμού. Ύστερα πιέζοντας τα σφουγγάρια, μάζευαν το γλυκό νερό που προήλθε από την συμπύκνωση ατμών (Delyanni, 2003).

Κατά τον Μεσαίωνα ο Giovanni Battista della Porta, στο βιβλίο του “Magiae Naturalis” περιέγραφε διάφορους τρόπους αφαλάτωσης και μια μέθοδο παραγωγής πόσιμου νερού από την υγρασία της ατμόσφαιρας. Από όλες τις περιγραφές του για αφαλάτωση μεγαλύτερης σημασίας είναι εκείνη που αναφέρεται στην χρησιμοποίηση ηλιακής ενέργειας, ως πηγή θερμότητας για την παραγωγή πόσιμου νερού από την θάλασσα και γενικότερα από αλμυρά νερά.

Το 1675 κατατίθεται το πρώτο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για μια συσκευή απόσταξης θαλάσσιου νερού, για την παραγωγή πόσιμου νερού και αργότερα το 1683 ένα δεύτερο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας επίσης για απόσταξη θαλάσσιου νερού. Έτσι εγκαταστάθηκαν οι τρεις πρώτοι επίσημοι αποστακτήρες, σε έδαφος εφόσον προϋπήρχαν οι πρωτόγονοι αποστακτήρες στα καράβια στην αναφορά του Άγιου Βασίλειου, δύο σε νησιά της Μάγχης και ένας στην Ηπειρωτική Αγγλία.

Η πρώτη αναφορά για τη αφαλάτωση θαλάσσιου νερού με πλήρη περιγραφή των επιτευγμάτων της εποχής του και ιδιαίτερα για την παραγωγή γλυκού νερού από την θάλασσα σε ποντοπόρα πλοία, δόθηκε από τον Γάλλο Ναύαρχο, A.F.B, Deslanes το 1724. Αργότερα, το 1739 ο φυσιολόγος Stephan Hales εξέδωσε ένα βιβλίο, φημισμένο στην εποχή του, το οποίο περιείχε λεπτομερή περιγραφή όλων των προβλημάτων των σχετικών με την αφαλάτωση και επιπλέον εκτεταμένη βιβλιογραφία.

Το 1870 κατατίθεται στις ΗΠΑ, δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για αφαλάτωση με ηλιακή ενέργεια. Το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας αυτό περιγράφει με λεπτομέρεια όλα όσα, μέχρι και σήμερα, εφαρμόζουμε στην συμβατική αφαλάτωση με (άμεση) χρήση ηλιακής ενέργειας. Μεταξύ άλλων περιγράφονται το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η συμπύκνωση και η επανεξάτμιση, η χρήση μαύρης επιφάνειας για μεγαλύτερη απορροφητικότητα ηλιακής ενέργειας και γίνεται αναφορά στην διάβρωση που υπόκεινται τα υλικά του αποστακτήρα απ' τα άλατα του θαλασσινού νερού. Τέλος γίνεται αναφορά στην σημαντική αύξηση της παροχής αφαλατωμένου νερού εάν η συσκευή απόσταξης είναι ικανή να περιστρέφεται με τρόπο τέτοιο, ώστε να ακολουθεί το μέγιστο δυνατό μερίδιο της πορείας που διαγράφει ο ήλιος σε μία ημέρα .

Δύο χρόνια αργότερα ο Σουηδός μηχανικός Carlos Wilson, σχεδίασε και κατασκεύασε την πρώτη μεγάλη εγκατάσταση αφαλάτωσης με χρήση ηλιακής ενέργειας, με παροχή : $22,5 \text{ m}^3/\text{day}$. Οι αποστακτήρες εγκαταστάθηκαν στο Chacabuco, Las Salinas της Χιλής, μια περιοχή με υψόμετρο 1200 μέτρα, όπου εκείνη την εποχή λειτουργούσαν διάφορα ορυχεία ορυκτών αλάτων και αργύρου. Την ίδια εποχή ο σιδηρόδρομος είχε καταφέρει να αντικαταστήσει 4000 διψασμένα μουλάρια που μετέφεραν πόσιμο νερό από τις πεδιάδες στο Las Salinas και αντίστροφα την παραγωγή των ορυχείων. Η αφαλάτωση ξεκίνησε την λειτουργία της το 1874 και τροφοδοτείτο με την άλμη που παραγόταν από την έκλυση των ορυκτών αλάτων. Το σύστημα αφαλάτωσης αυτό ήταν ικανό να παρέχει πόσιμο νερό που κάλυπτε τις ανάγκες όλων των εργαζομένων στα ορυχεία του νιτρικού αμμωνίου όσο και αυτών στο παρακείμενο ορυχείο αργύρου. Η εγκατάσταση λειτούργησε επί 40 συνεχή χρόνια και σταμάτησε μαζί με την λήξη λειτουργίας των ορυχείων λόγω εξάντλησης.

Έως τις αρχές του 20^{ου} αιώνα η πρόοδος στην εφαρμογή της αφαλάτωσης ήταν πολύ βραδεία και παρ' όλη την διαρκή βελτίωση της τεχνολογίας, οι βιομηχανικές εφαρμογές ήταν λίγες και μικρής σημασίας.

Το ενδιαφέρον για την αφαλάτωση αναζωπυρώθηκε κατά το 1930 στην Καλιφόρνια, όταν η περιοχή πλήγηκε από πολύ μεγάλη ξηρασία και η ανάγκη για εναλλακτικούς τρόπους παροχής πόσιμου νερού έγινε αισθητή. Βέβαια η οικονομική κρίση της δεκαετίας του 30 δεν επέτρεψε την περαιτέρω έρευνα του θέματος. Κατά την διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου (1939-1945) ,διάφορες περιοχές τόσο στην Αφρική όσο και σε πολλά νησιά του Ειρηνικού Ωκεανού, όπου έδρευαν τα συμμαχικά στρατεύματα υπέφεραν από μεγάλη λειψυδρία, ιδίως σε κατάλληλο προς πόση νερό, ενώ διαθέσιμα υπήρχαν μόνο αλμυρά και υφάλμυρα νερά. Έγιναν λοιπόν μεγάλες έρευνες σε διάφορα πανεπιστήμια των Η.Π.Α. κυρίως στο Μ.Ι.Τ., για λογαριασμό του Υπουργείου Ναυτικών με αποτέλεσμα να κατασκευαστούν ατομικές πλωτές συσκευές αφαλάτωσης με ηλιακή ενέργεια που έσωσαν πολλές ζωές, κυρίως ναυαγών.

Μετά το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου άρχισε να εκδηλώνεται τεράστιο ενδιαφέρον για την αφαλάτωση, το οποίο προήλθε από την ραγδαία αύξηση της ζήτησης καλής ποιότητας νερού, όχι μόνο στα αστικά κέντρα αλλά και σε απόμακρες περιοχές. Η τεράστια αύξηση της βιομηχανίας οδήγησε στην εύρεση νέων πηγών νερού. Αφού μέχρι και σήμερα μεγάλο μέρος του πόσιμου νερού καταναλώνεται στις βιομηχανίες καθώς είναι απαραίτητο σε ένα μεγάλο αριθμό διεργασιών.

Η έντονη πίεση είχε ως αποτέλεσμα την εντατική έρευνα για την ανεύρεση νέων υδάτινων πόρων και την προώθηση της αφαλάτωσης για περιοχές που υπήρχαν μόνο αλμυρά ή υφάλμυρα νερά.

Οι Η.Π.Α. ως πρωτοπόροι της αφαλάτωσης διέθεσαν από το 1952 έως το 1965 περίπου 100 εκατομμύρια δολάρια για την εντατική έρευνα και ανάπτυξη των μεθόδων αφαλάτωσης και την κατασκευή πέντε πιλοτικών μονάδων. Στις εγκαταστάσεις αυτές έγινε εκτεταμένη μελέτη όλων των συνθηκών λειτουργίας και ερευνήθηκαν η τεχνολογία, τα κατάλληλα υλικά και οι βέλτιστες συνθήκες λειτουργίας. Οι εγκαταστάσεις λειτουργούσαν υπό την επίβλεψη του Γραφείου Αφαλάτωσης (OSW- Office of Saline Water) το οποίο μετά το 1965 παρέδωσε την σκυτάλη στον ιδιωτικό τομέα.

Στα χρόνια που ακολούθησαν εγκαταστάθηκαν πολλοί ηλιακοί αφαλατωτές, μικρής δυναμικότητας κυρίως στην Καραϊβική. Πολλές ακόμα έρευνες και πειράματα γύρω απ' την ηλιακή αφαλάτωση έγιναν τόσο απ' το πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια, το Εθνικό εργαστήριο Φυσικής στο Νέο Δελχί και το Ινστιτούτο Ναυτικής Χημικής Έρευνας στο Μπαβνάγκαρ της Ινδίας. Κομβικό σημείο αποτελεί η αναφορά του «Battelle Memorial Institute» στο Οχάιο των Η.Π.Α., που κάλυψε όλα τα συστήματα ηλιακών ατμοπαγίδων και ηλιακών αφαλατωτών που υπήρχαν είτε σε ερευνητικό είτε σε βιομηχανικό επίπεδο έως το 1970.

Εκτός απ' τις Η.Π.Α. και την Ινδία, έρευνες γύρω απ' τη ηλιακή αφαλάτωση γινόντουσαν και στην Μελβούρνη της Αυστραλίας και συγκεκριμένα στο «Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO)» με μεγαλύτερο επίτευγμα τον ηλιακό αφαλατωτή στο «Cooper Pedy» βασισμένο σε πρωτότυπη κλίνη μαύρης επιφάνειας καλυμμένης από γυαλί.

Παράλληλα με τις Η.Π.Α., την Ινδία και την Αυστραλία πειράματα στην ηλιακή αφαλάτωση έγιναν και από την ΕΣΣΔ (Ένωση Σοβιετικών Σοσιαλιστικών Δυνάμεων). Ενδιαφέρον είχε ένας ηλιακός αφαλατωτής με πειραματικό φωτοβολταϊκό πάνελ ισχύος 300-400W για την άντληση του νερού έως την συσκευή αφαλάτωσης.

Το 1995 διεξήχθη από την νεοσύστατη «International Solar Energy Society (ISES)» σε συνεργασία με το Πανεπιστήμιο της Αριζόνα, το Πρώτο Παγκόσμιο Συμπόσιο με θέμα «Εφαρμοσμένη Ηλιακή Ενέργεια», όπου και παρουσιάστηκε η συσκευή ηλιακής αφαλάτωσης στο «Las Salinas» με συνεχή λειτουργία 36 ετών έως τότε. Το 1957 η ISES, τύπωσε το πρώτο τεύχος «*The Journal of Solar Energy Science and Engineering*», πρόγονο του γνωστού έως και σήμερα περιοδικού «*Solar Energy Journal*».

Λίγα χρόνια μετά, στο διάστημα 1965-1970 μελετήθηκαν και εγκαταστάθηκαν από το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, συσκευές ηλιακής αφαλάτωσης σε τέσσερα ελληνικά νησιά, παρέχοντας πόσιμο νερό στις μικρές τοπικές κοινωνίες. Συγκεκριμένα η εγκατάσταση στο νησί της

Πάτμου, αποτέλεσε την παγκοσμίως μεγαλύτερη, έως τότε, εγκατάσταση ηλιακών αποστακτήρων. Οι ηλιακοί αποστακτήρες αυτοί ήταν ασύμμετροι με γυάλινο κάλυμμα και με μέγιστη ικανότητα αφαλάτωσης $8640 \text{ m}^3/\text{day}$.

Σαφώς υπήρξαν και πολλά άλλα πειράματα αλλά και λειτουργικά συστήματα αφαλάτωσης. Τα παραπάνω αποτελούν τα σημαντικότερα απ' αυτά καθώς αποτέλεσαν κομβικά σημεία στην ανάπτυξη της αφαλάτωσης έως και σήμερα. Παρόλα αυτά η δημιουργία μεγάλων μονάδων ηλιακής αφαλάτωσης άρχισε να φθίνει και στις μέρες μας έχει αντικατασταθεί από αποστακτήρες μικρής παροχής πόσιμου νερού που λειτουργούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ΑΠΕ, η αποτελούν υβρίδια. Τέτοιοι αποστακτήρες λειτουργούν ως επί το πλείστον με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης, η οποία θα αναλυθεί παρακάτω μαζί με όλες τις υπόλοιπες μεθόδους αφαλάτωσης.

1.2.ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

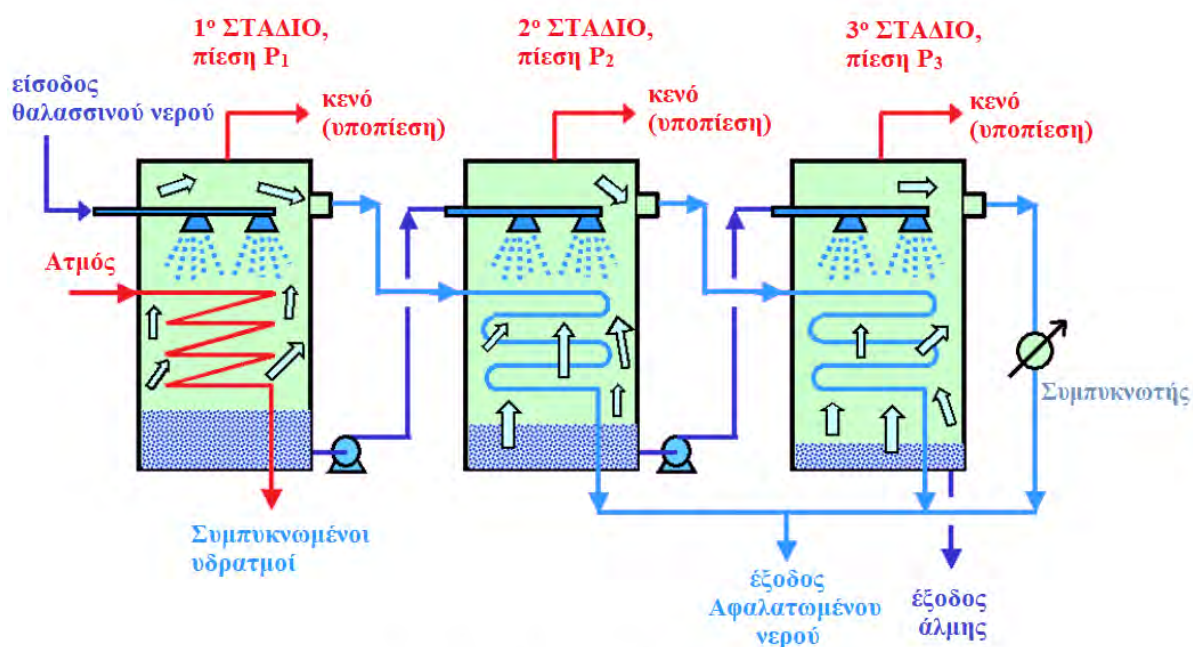
Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά οι διάφοροι μέθοδοι αφαλάτωσης όπως ταξινομούνται από τους Δεληγιάννη και Μπελεσιώτη,(1995)

1.2.1.Πολυβάθμια εξάτμιση (Multi-Effect Distillation, MED)

Τα εξατμιστήρια πολλών βαθμίδων χρησιμοποιούνται στη χημική βιομηχανία σχεδόν από τη εποχή που ανακαλύφθηκε ο ατμός. Στην αρχή περιοριζόντουσαν στην ανάκτηση της άλμης στη βιομηχανία κατεργασίας ορυκτών αλάτων και κυρίως στη βιομηχανία της ζάχαρης.

Η μεγάλη κατανάλωση ενέργειας στα εξατμιστήρια μιας βαθμίδας οδήγησε στην κατασκευή εξατμιστηρίων με περισσότερες βαθμίδες, δηλαδή πολλά εξατμιστήρια στη σειρά, ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη εκμετάλλευση της θερμότητας του όλου συστήματος.

Αποτελούνται από μια δέσμη σωλήνων με οριζόντια ή κατακόρυφη διάταξη και καλύπτονται από ένα περίβλημα ή κέλυφος που περιλαμβάνει τους σωλήνες. Ο ατμός εισάγεται μόνο στην πρώτη βαθμίδα, όπου θερμαίνει την άλμη ως τον βρασμό. Οι ατμοί που σχηματίζονται στην πρώτη βαθμίδα χρησιμοποιούνται σαν ατμός θέρμανσης στην δεύτερη βαθμίδα, η οποία βρίσκεται σε χαμηλότερη πίεση από την πρώτη, άρα το διάλυμα της άλμης βράζει σε μικρότερη θερμοκρασία απ' ότι στην προηγούμενη βαθμίδα. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται αλυσιδωτά σε όλες τις βαθμίδες. Τα εξατμιστήρια πολλαπλών βαθμίδων προσφέρονται στο εμπόριο σε μια μεγάλη ποικιλία κατασκευών και ανάλογα με την διάταξη κατατάσσονται σε...

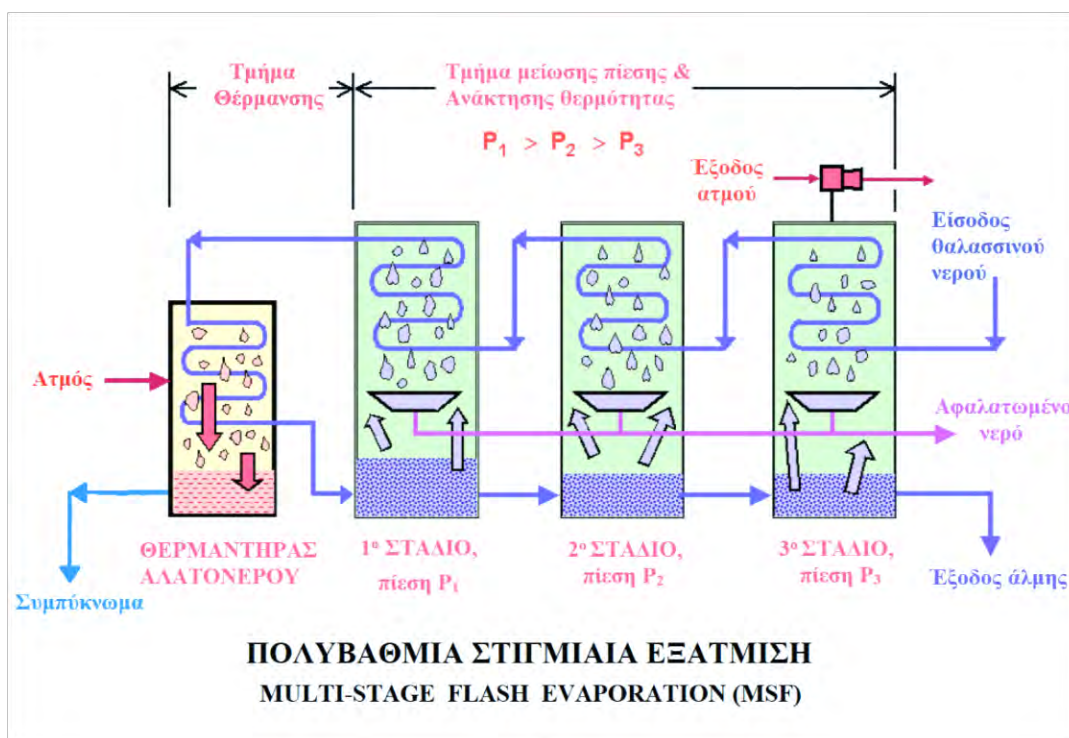


ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑ ΕΞΑΤΜΙΣΗ
MULTI-EFFECT DISTILLATION (MED)

ΣΧΗΜΑ 1.1: ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑ ΕΞΑΤΜΙΣΗ

1.2.2. Πολυβάθμια στιγμιαία εξάτμιση-εκτόνωση (Multi-Stage Flash Distillation, MSF)

Όταν μια ποσότητα θαλάσσιου νερού θερμανθεί, για μια ορισμένη πίεση, σε θερμοκρασία ελάχιστα χαμηλότερη απ' αυτή του σημείου βρασμού του και στην συνέχεια εισέλθει εντός θαλάμου, πίεσης μικρότερης αυτής του θαλασσινού διαλύματος, τότε θα συμβεί ένας εκρηκτικός, απότομος βρασμός του διαλύματος. Ο βρασμός συνεχίζεται έως ότου, για την πίεση που επικρατεί εντός του θαλάμου, επέλθουν συνθήκες ισορροπίας μεταξύ υγρής και αέριας φάσης. Αυτού του είδους ο βρασμός έχει ως άμεση συνέπεια, την πτώση της θερμοκρασίας του εναπομείναντος υγρού διαλύματος. Για να είναι δυνατή μια νέα εκρηκτική εξάτμιση στην επόμενη βαθμίδα, πρέπει η πίεση στον επόμενο θάλαμο της να ναι χαμηλότερη από την νέα πίεση του ψυχρότερου εναπομείναντος υγρού διαλύματος. Σε αυτή τη μέθοδο, αντίθετα με την πολυβάθμια εξάτμιση, προτιμάται η αντιρροή των δύο φάσεων.

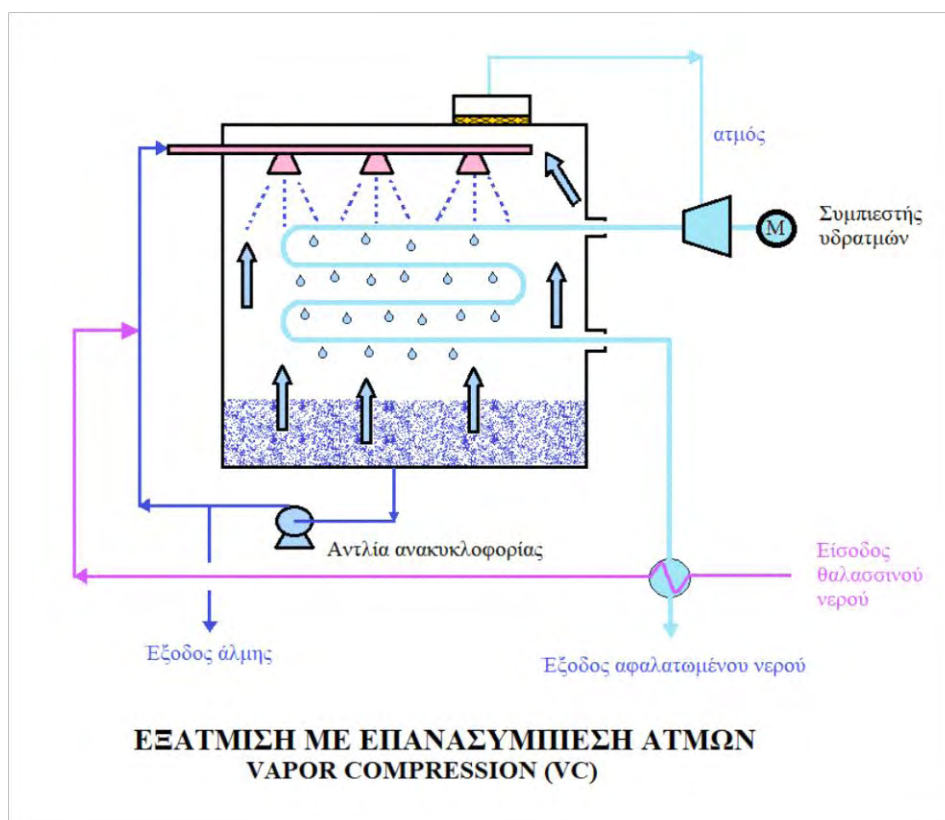


ΣΧΗΜΑ 1.2: ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑ ΣΤΙΓΜΙΑΙΑ ΕΞΑΤΜΙΣΗ

1.2.3. Εξάτμιση με επανασυμπίεση ατμών (Vapor Compression, VC)

Η διεργασία της εξάτμισης όπως αυτή περιγράφηκε, βασίζεται στην σταδιακή βάρθρωση της θερμικής ενέργειας από μια αρχικά υψωμένη θερμοκρασία σε μια τελική θερμοκρασία περίπου ίση με αυτής του νερού ψύξης.

Οι ατμοί αυτοί, οι οποίοι παράγονται κατά τη εξάτμιση της άλμης βρίσκονται, λόγω της ανύψωσης του σημείου βρασμού, σε κατάσταση υπερθέρμανσης και έχουν χαμηλότερη πίεση από αυτή που αντιστοιχεί στην πίεση κορεσμού καθαρού νερού. Συμπυκνώνονται επομένως, χάνοντας την θερμότητα υπερθέρμανσης, σε θερμοκρασία χαμηλότερη από αυτή του σημείου βρασμού του διαλύματος, π.χ. εάν οι ατμοί βρίσκονται σε ατμοσφαιρική πίεση, συμπυκνώνονται σε θερμοκρασία 100°C. Διάλυμα άλμης που έχει διπλάσια αλμυρότητα από το αρχικό θαλάσσιο νερό τροφοδότησης βράζει στους 101.05°C, σε ατμοσφαιρική πίεση, ενώ οι ατμοί συμπυκνώνονται στους 100°C. Για να συμπυκνωθούν οι ατμοί στους 101.05 °C, πρέπει να βρίσκονται σε ελάχιστη πίεση 104.36 kPa, η οποία είναι 1,3 φορές μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής.



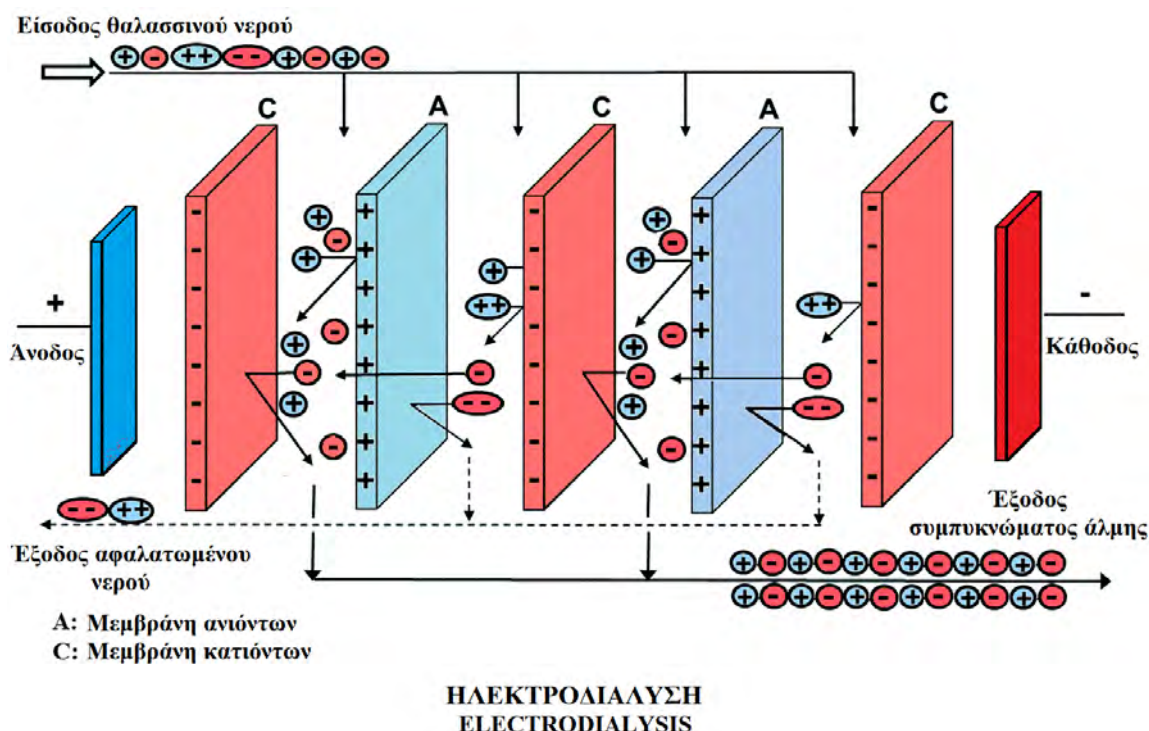
ΣΧΗΜΑ 1.3: ΕΞΑΤΜΙΣΤΗΣ ΕΠΑΝΑΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΑΤΜΩΝ

Η λανθάνουσα αυτή θερμότητα συμπύκνωσης που προσφέρεται από την πλευρά της εξάτμισης στον συμπυκνωτή είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί ως θερμότητα θέρμανσης, στην άλλη πλευρά του συμπυκνωτή, αυτήν της συμπύκνωσης. Αυτό επιτυγχάνεται με την συμπίεση των ατμών σε υψηλότερη πίεση, εφαρμόζοντας μηχανική ενέργεια στο σύστημα μέσω ενός συμπιεστή ο οποίος δρα ως αντλία θερμότητας ή με θερμοσυμπίεση χρησιμοποιώντας έναν εκτοξευτή ατμού. Με την επαναθέρμανση των ατμών σε κατάλληλη πίεση και θερμοκρασία η ενέργεια που προστίθεται στο σύστημα αντισταθμίζει τις απώλειες πίεσης και κρατά το διάλυμα σε βρασμό. Θερμότητα από εξωτερική πηγή παρέχεται στο σύστημα μόνο κατά την έναρξη της λειτουργίας της εγκατάστασης και χρονικό διάστημα τόσο όσο χρειάζεται για να φτάσει το διάλυμα τροφοδότησης στο σημείο βρασμού, οπότε διακόπτεται η εξωτερική παροχή ενέργειας και το σύστημα διατηρείται σε λειτουργία μόνο από την προσφερόμενη ενέργεια από τον συμπιεστή και από πιθανή συμπλήρωση των απωλειών θερμότητας από πρόσθετη ηλεκτρική ενέργεια. Η υπόλοιπη εξωτερική ενέργεια που απαιτείται είναι αυτή για την λειτουργία των αντλιών κυκλοφορίας των διαλυμάτων.

Στην μέθοδο επανασυμπίεσης των ατμών, χρησιμοποιούνται εξατμιστήρια πολυβάθμιας εξάτμισης ΜΕ, ιδίως δε αυτά με τους οριζόντιους σωλήνες συμπαγούς κατασκευής.

1.2.4. Ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis)

Είναι μια ηλεκτροχημική μέθοδος διαχωρισμού στην οποία τα ιόντα μεταφέρονται μέσα από μεμβράνες από την πλευρά όπου το διάλυμα έχει την μικρότερη συγκέντρωση ιόντων, σε αυτή με την μεγαλύτερη συγκέντρωση με την εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος. Σαφώς η διαδικασία της ηλεκτροδιάλυσης, όσο περνά η ώρα δημιουργεί ένα συμπύκνωμα ιόντων πάνω στην μεμβράνη με αποτέλεσμα να σταματά τελείως η αφαλάτωση και να παίρνουν μέρος άλλες χημικές διεργασίες. Το πρόβλημα αυτό μπόρεσε να λύσει η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση.



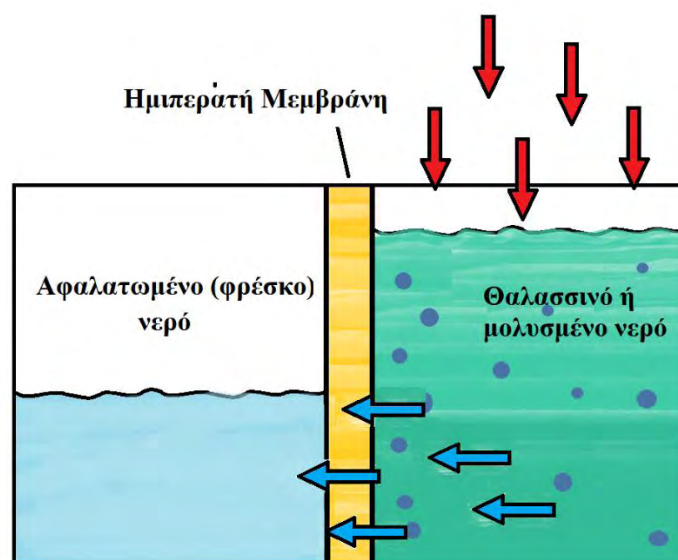
ΣΧΗΜΑ 1.4: ΜΕΘΟΔΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΑΛΥΣΗΣ

1.2.5. Αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (Reverse Electrodialysis)

Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιεί επίσης ηλεκτρικό ρεύμα. Η κύρια διαφορά με την κλασική ηλεκτροδιάλυση είναι πως το ρεύμα αναστρέφει την πολικότητα του 3-4 φορές την ώρα με αποτέλεσμα να « αυτοκαθαρίζεται » η μεμβράνη ιόντων και να αποφεύγεται η δημιουργία των επικαθίσεων που σταματούν την διαδικασία της αφαλάτωσης.

1.2.6. Αντίστροφη όσμωση (Reverse Osmosis)

Όταν δυο διαλύματα με διαφορετική συγκέντρωση βρίσκονται σε επαφή, χωρίς να υπάρχει ανατάραξη, παρατηρείται διάχυση ιόντων από το διάλυμα με την μεγαλύτερη συγκέντρωση προς το διάλυμα με την μικρότερη. Συγχρόνως υπάρχει και ροή διαλύτη από το διάλυμα με την μικρότερη συγκέντρωση (αραιότερο) προς το διάλυμα με την μεγαλύτερη συγκέντρωση (πυκνότερο). Αν όμως ανάμεσα στα δύο διαλύματα υπάρχει μεμβράνη, η οποία να μην επιτρέπει τη ροή του διαλύτη αλλά αποτρέπει την διάχυση των ιόντων, τότε η διαδικασία θα συνεχιστεί έως ότου εξισορροπηθεί το χημικό δυναμικό των δύο διαλυμάτων. Η πίεση στο σημείο ισορροπίας ονομάζεται οσμωτική.



ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΟΣΜΩΣΗ REVERSE OSMOSIS (RO)

ΣΧΗΜΑ 1.5: ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΟΣΜΩΣΗΣ

Στην Αντίστροφη Όσμωση η πίεση στο διάλυμα με την μεγαλύτερη συγκέντρωση, αυξάνεται τόσο ώστε να ξεπεράσει την οσμωτική. Το αποτέλεσμα είναι αναστροφή της διάχυσης, δηλαδή ροή του διαλύτη από το διάλυμα μεγαλύτερης συγκέντρωσης προς αυτό με την μικρότερη συγκέντρωση. Βέβαια για να συνεχίζεται η διαδικασία, εφόσον το διάλυμα γίνεται διαρκώς πυκνότερο θα πρέπει να ασκείται σταδιακά μεγαλύτερη πίεση ώστε κάθε φορά να ναι μεγαλύτερη της αντίστοιχης οσμωτικής.

1.2.7.Ιοντοανταλλαγή (Ion Exchange)

Η διαδικασία αυτή, χρησιμοποιεί τις χημικές αντιδράσεις των ιόντων για τον διαχωρισμό τους. Συγκεκριμένα χρησιμοποιεί ρητίνες ανιόντων και κατιόντων, οι οποίες προσροφούν τα ιόντα του διαλύματος, και τα ανταλλάζουν με τα κινητά ιόντα που βρίσκονται στο πλέγμα της ρητίνης.

1.2.8.Πάγωμα (Freezing)

Η διαδικασία αυτή βασίζεται στο γεγονός πως οι κρύσταλλοι πάγου αποτελούνται αναγκαστικά από καθαρό νερό, όταν η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού πέσει στο σημείο πήξης του διαλύματος. Οι κρύσταλλοι εκ φύσεως έχουν την ιδιότητα να αποβάλουν οποιαδήποτε «ακαθαρσία» απ' την κρυσταλλική τους δομή καθώς δημιουργούνται και αυξάνουν το μέγεθος τους. Η διαδικασία ξεκινά με την δημιουργία των κρυστάλλων. Ύστερα γίνεται ο διαχωρισμός της άλμης απ' τους κρυστάλλους και ξεπλένεται η εναπομένουσα προσκολλημένη άλμη. Τέλος οι κρύσταλλοι πάγου θερμαίνονται, ώστε να λιώσουν και παράγεται καθαρό νερό.

Η μέθοδος αυτή πλέον δεν συναντά μεγάλη εφαρμογή κυρίως λόγω του ενεργειακού κόστους για την απαιτούμενη ψύξη. Παρόλα αυτά θα μπορούσε να φανεί χρήσιμη σε πολύ κρύες περιοχές όπου η ψύξη είναι φθηνή ή ακόμα και δωρεάν, όπως αυτές κοντά στον Βόρειο Πόλο.

1.2.9.Υβριδικές μέθοδοι (Hybrid Desalination Methods)

Οι πρόσφατες υβριδικές εφαρμογές αφαλάτωσης αφορούν κυρίως υβριδικά συστήματα πολυβάθμιας εκρηκτικής αφαλάτωσης (MSF) και αντίστροφης ώσμωσης (RO). Βέβαια η μεγάλης κλίμακας βιομηχανική εφαρμογή μιας τέτοιας διάταξης, λόγω της εγγενούς πολυπλοκότητας σε ό,τι αφορά την λειτουργία και τον έλεγχο της. Ωστόσο υπάρχουν μεμονωμένα παραδείγματα όπου η χρήση ενός υβριδικού συστήματος αφαλάτωσης ήταν ιδανική επιλογή.

1.3.ΗΛΙΑΚΗ ΑΠΟΣΤΑΞΗ

Ηλιακή αφαλάτωση θεωρείται ένα σύστημα αφαλάτωσης το οποίο χρησιμοποιεί ως πηγή ενέργειας για την λειτουργία του την ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί είτε άμεσα είτε έμμεσα. Άμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας γίνεται στους ηλιακού αποστακτήρες, όπου μια ποσότητα νερού θερμαίνεται απευθείας από την ηλιακή ακτινοβολία, εξατμίζεται και οι σχηματιζόμενοι ατμοί συμπυκνώνονται σε αφαλατωμένο νερό, δηλαδή παθητικό σύστημα ηλιακής εφαρμογής. Η έμμεση χρησιμοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας προϋποθέτει την μετατροπή της σε μιας άλλης μορφής ενέργεια, θερμική ή ηλεκτρική, κατάλληλη να τροφοδοτήσει ένα συμβατικό σύστημα αφαλάτωσης. Η άμεση χρήση της ηλιακής ενέργειας γίνεται σε συσκευές οι οποίες ονομάζονται «ηλιακοί αποστακτήρες» (solar stills) και η μέθοδος αυτή ονομάζεται «ηλιακή απόσταξη» (solar distillation)

Τα συστήματα ηλιακής αφαλάτωσης που χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια έμμεσα, αφού μετατραπεί σε αφομοιώσιμη μορφή, ονομάζονται ηλιο-προωθούμενα (solar assisted) ή ηλιακά κινούμενα (solar driven).

Οποιοδήποτε σύστημα συμβατικής αφαλάτωσης μπορεί να συνδέεται με ένα σύστημα ηλιακής ενέργειας. Οι θερμικές μέθοδοι αφαλάτωσης, όπως: η εξάτμιση πολλαπλών βαθμίδων, η στιγμιαία εκτόνωση και η θερμική επανασυμπίεση ατμών, αξιοποιούν έμμεσα την ηλιακή ακτινοβολία καθώς μπορούν να συνδεθούν με συστήματα που χρησιμοποιούν ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή ατμού ή την θέρμανση νερού. Αντίστοιχα η μέθοδος της μηχανικής επανασυμπίεσης και οι μέθοδοι μεμβρανών όπως η αντίστροφη ώσμωση αξιοποιούν έμμεσα την ηλιακή ενέργεια εφόσον αυτή προηγουμένως μετατραπεί σε ηλεκτρική μέσω φωτοβολταϊκών διατάξεων.

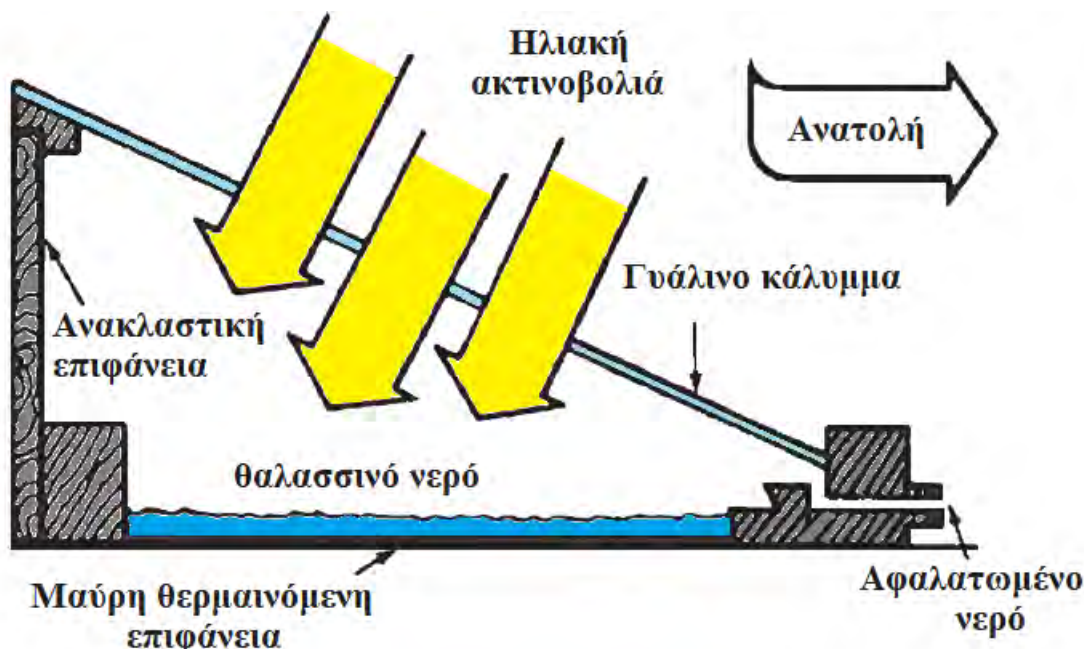
Τόσο η συμβατική απόσταξη όσο και τα συστήματα αφαλάτωσης με ηλιακή κίνηση, λειτουργούν σε μη σταθερές συνθήκες καθώς η ηλιακή ακτινοβολία δεν είναι σταθερή και μεταβάλλεται όχι μόνο με την ώρα αλλά και με την ημέρα του κάθε μήνα της κάθε εποχής. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται εποχικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας και οφείλεται στην κίνηση της Γης με τέτοιο τρόπο ώστε να αλλάζει η απόσταση της από το αστέρι του ηλιακού μας συστήματος, Ήλιο. Η κίνηση της Γης γύρω από τον Ήλιο επαναλαμβάνεται ως γνωστόν κάθε 365 μέρες.

Η μεταβολή της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και το ποσοστό αυτής που απορροφάται από τον εξατμιστή θα αναλυθούν σε ξεχωριστό κεφάλαιο.

Η αφαλάτωση με ηλιακή ενέργεια, άμεση ή έμμεση, έχει βρει εφαρμογή με μονάδες μικρής παροχής, σε απόμακρες ή ερημικές άγονες ή ημιάγονες περιοχές, όπου οι εγκατεστημένες μικρές κοινότητες διαθέτουν άφθονο θαλάσσιο ή αλμυρό νερό ενώ αντίθετα δεν διαθέτουν καύσιμα ή ηλεκτρική ενέργεια. Οι περιοχές αυτές ανήκουν συνήθως στην λεγόμενη «ευήλιο ζώνη» δηλαδή κοντά στον Ισημερινό, όπου η ακτινοβολία είναι έντονη και το ύψος της ετήσιας βροχόπτωσης σχεδόν μηδαμινό. Σαφώς απόμακρες κοινότητες υπάρχουν ακόμα και σε ηπειρωτικές περιοχές και αντιμετωπίζουν το πρόβλημα των ακριβών ως προς την μεταφορά, καυσίμων αλλά και το μη πόσιμο συνήθως υφάλμυρο νερό.

1.3.1. Αρχές λειτουργίας των ηλιακών αποστακτήρων

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 (θαλάσσιο ή υφάλμυρο) και από ένα διάφανο κάλυμμα το οποίο επιτρέπει την διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας. Διαφανές κάλυμμα κι λεκάνη σχηματίζουν έναν αεροστεγή χώρο όπου επιτελείται η διεργασία της εξάτμισης και της συμπύκνωσης.



ΣΧΗΜΑ 1.6: ΗΛΙΑΚΟΣ ΑΠΟΣΤΑΚΤΗΡΑΣ ΤΥΠΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Στο Σχήμα 1.6 δίνεται η μορφή ενός ηλιακού αποστακτήρα, τύπου θερμοκηπίου, δηλαδή με το διαφανές κάλυμμα σε ισόπλευρη διάταξη.

Η ηλιακή ακτινοβολία διέρχεται μέσα από το διαφανές κάλυμμα και απορροφάται από την μάζα του νερού στην λεκάνη. Η βάση της λεκάνης καλύπτεται από ένα λεπτό υλικό, συνήθως μαύρο για να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή απορροφητικότητα ηλιακής ακτινοβολίας.

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 είναι μεταλλική. Συχνά, σαν φθηνό 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 εξ' ίσου γρήγορα αφήνοντας μια λεπτότατη στοιβάδα η οποία ψύχεται πολύ γρήγορα κατά την δύση του ηλίου, σταματώντας την

πραιτέρω εξάτμιση. Αντίθετα όταν το πάχος της στοιβάδας είναι σημαντικό, εξατμίζεται μόνο μικρό ποσοστό της ολικής μάζας του, το μεγαλύτερο ποσοστό της οποίας συγκρατεί την αισθητή θερμότητα που έχει συλλεχθεί κατά την διάρκεια της ημέρας, επιτρέποντας την συνέχιση της εξάτμισης, με σταδιακά ελατούμενη ταχύτητα 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 αυτή του διαφανούς καλύμματος. Συνήθως η θερμοκρασία του νερού κυμαίνεται από 50°C έως 70°C, ενώ τις ώρες της εντατικής ακτινοβολίας και εφ' όσον το υδάτινο στρώμα είναι λεπτό, φτάνει έως και τους 80°C.

Στον ελεύθερο χώρο κάτω από το κάλυμμα, σχηματίζονται, λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας νερού-καλύμματος, ρεύματα από μίγμα ατμών και αέρα. Το μίγμα ακριβώς κάτω από το κάλυμμα έχει μικρότερη θερμοκρασία και είναι ακόρεστο σε υδρατμούς ενώ στην επιφάνεια του νερού η θερμοκρασία 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 αναστρέφει την πορεία του και κινείται προς την επιφάνεια του νερού.

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

Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ καλύμματος και επιφάνειας του νερού τόσο εντονότερος είναι ο σχηματισμός των 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 ή από πλαστικό υλικό το οποίο κατεργάζεται κατάλληλα ως προς την εσωτερική του επιφάνεια, ώστε να διαβρέχεται από το συμπύκνωμα. Πλαστικά υλικά τα οποία δεν διαβρέχονται από το συμπύκνωμα, σχηματίζουν στην επιφάνεια τους σταγόνες αφαλατωμένου νερού οι οποίες μεγαλώνουν σε μέγεθος καθώς το συμπύκνωμα συσσωρεύεται και επαναφέρονται, πέφτοντας με την βαρύτητα, στην λεκάνη.

1.4.ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η Ελλάδα έχει την μεγαλύτερη ακτογραμμή στην Ευρώπη, μήκους περίπου 14,000 χιλιομέτρων. Επίσης διαθέτει 2500 νησιά συνολικού εμβαδού 21,580 τετραγωνικά χιλιόμετρα (στρέμματα) στα οποία κατοικούν πάνω από ενάμιση εκατομμύριο άνθρωποι. (Arampatzis, 2017)

Το κλίμα των εν λόγω νησιών δεν είναι άλλο παρά Μεσογειακό, καθώς αποτελείται από υγρούς χειμώνες, με σχετικά χαμηλές βροχοπτώσεις και ξηρά καλοκαίρια. Η αποθήκευση ή η χρήση επιφανειακού νερού (λίμνες, ποτάμια) ή υπόγειου στην απαιτούμενη ποσότητα και ποιότητα είναι

αδύνατη στην πλειοψηφία των νησιών λόγω των χαμηλών βροχοπτώσεων αλλά και των γεωλογικών σχηματισμών. Ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες το πρόβλημα είναι πολύ πιο έντονο καθώς μειώνονται οι βροχοπτώσεις ενώ συγχρόνως αυξάνεται και η ζήτηση σε νερό τόσο σε μη αλμυρό για άρδευση αλλά και σε πόσιμο εξαιτίας του αυξημένου καλοκαιρινού τουρισμού. Το πρόβλημα διογκώνεται περαιτέρω λόγω διαρροών στο παλαιό και συχνά ασυντήρητο σύστημα ύδρευσης και την εξαντλητική υπεράντληση.

Οι τρόποι αντιμετώπισης του προβλήματος αποτελούνται από τις γεωτρήσεις κυρίως για την παροχή νερού άρδευσης, τη δημιουργία φραγμάτων, μέθοδος χρονοβόρα και υψηλού κόστους, την μεταφορά νερού με καράβια από την ηπειρωτική χώρα και τέλος την αφαλάτωση θαλασσινού νερού ή νερού γεωτρήσεων.

Η μεταφορά νερού απ' την ηπειρωτική χώρα με δεξαμενόπλοια αποτελεί την έσχατη αλλά πολλές φορές μόνη λύση για αρκετά ελληνικά νησιά. Το κόστος αυτής της διαδικασίας είναι πολύ υψηλό και ανέρχεται περίπου στα 10 ευρώ/m³ ή 0,01 ευρώ/L όταν στο νομό της Λάρισας για παράδειγμα είναι περίπου 1-1,5 ευρώ/m³. Επίσης η ύδρευση μέσω αυτής της μεθόδου εξαρτάται και απ' την διαθεσιμότητα των δεξαμενόπλοιων είτε λόγω καιρικών περιορισμών είτε απεργιών στα λιμάνια (φαινόμενο δυστυχώς συχνό στην Ελλάδα).

Η αφαλάτωση θαλασσινού ή νερού γεωτρήσεων αποτελεί την βέλτιστη και την πιο βιώσιμη ίσως λύση του προβλήματος. Συγκεκριμένα η μέθοδος της αντίστροφης ώσμωσης συναντάται σε αρκετά νησιά. Η μέθοδος αυτή δίνει μεγάλες ποσότητες πόσιμου νερού ανά ημέρα και έχει βέβαια αντίστοιχα μεγάλη ενεργειακή κατανάλωση. Η αντιμετώπιση του υψηλού κόστους απαιτεί την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών ή ανεμογεννητριών. Αν επιτευχθεί μια τέτοια εγκατάσταση το κόστος φτάνει περίπου στο 1,12-1,52 ευρώ/m³ (για 1750 kW εγκατεστημένων ανεμογεννητριών και 200 kW εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών αντίστοιχα) (Agrampatzis, 2017).

Διαβάζοντας κάποιος συνοπτικά την ιστορία της αφαλάτωσης στην Ελλάδα θα καταλάβει πως οι λόγοι που δεν άνθισε είναι κυρίως η έλλειψη συντήρησης των διάφορων συστημάτων που είχαν εγκατασταθεί σε συνδυασμό με την πολυπλοκότητα αυτών αλλά και η ταυτόχρονη έλλειψη σε φθηνή ενέργεια για την λειτουργία των συστημάτων αφαλάτωσης κυρίως στα νησιά τα οποία δεν συνδέονται με το δίκτυο παροχής της χώρας. Την κατάσταση επιβαρύνουν τα αντικρουόμενα συμφέροντα των ιδιοκτητών των δεξαμενόπλοιων που θα χάσουν σημαντικά οικονομικά κέρδη.

Η συνολική εγκατεστημένη χωρητικότητα στην Ελλάδα εκτιμάται περίπου στα 60,000 m³/ημέρα και εκτείνεται σε 39 νησιά. Το νερό που χρησιμοποιείται για αφαλάτωση είναι κατά 95% θαλασσινό και το υπόλοιπο 15% νερό γεωτρήσεων. Παρόλα αυτά η συντριπτική πλειοψηφία των ελληνικών νησιών συνεχίζει να αντιμετωπίζει πρόβλημα λειψυδρίας.

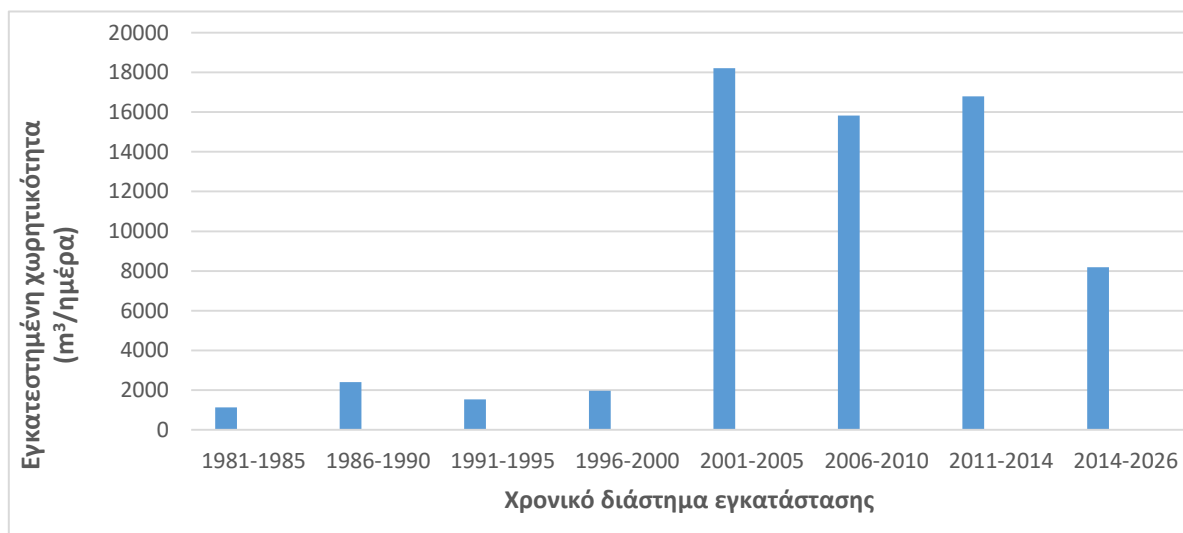
Σύμπλεγμα νησιών	Αριθμός νησιών	Πληθυσμός	Ισοζύγιο ζήτησης νερού
Δωδεκάνησα	24	191,084	αρνητικό

Ιόνιο	17	211,954	θετικό
Κυκλάδες	28	118,000	αρνητικό
Βόρειο Αιγαίο	14	202,360	αρνητικό
Σποράδες	7	16,792	αρνητικό
Σαρωνικός	7	63,467	αρνητικό

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1 : HELLENIC STATISTICAL AUTHORITY. ANNOUNCEMENT OF THE RESULTS OF THE 2011 POPULATION CENSUS FOR THE RESIDENT POPULATION [INTERNET]. 2012

Σαφώς η τοποθέτηση ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών σε κάθε νησί έως ότου αυτό γίνει αυτόνομο ενεργειακά, αλλά και ένα αρχικό κεφάλαιο για την εγκατάσταση μεγάλων μονάδων αφαλάτωσης (ίσως και μερικής αποζημίωσης των ιδιοκτητών δεξαμενόπλοιων) θα έλυνε οριστικά το πρόβλημα της λειψυδρίας στη χώρα. Η οικονομική κρίση όμως, η οποία δυστυχώς πέρα απ' την έλλειψη αρχικού κεφαλαίου, «παγώνει» πολλές φορές και τις ελάχιστες παραγγελίες μιας επιχείρησης αλλά και η εξαντλητική γραφειοκρατία δεν επιτρέπουν την ραγδαία αύξηση τέτοιων εγκαταστάσεων.

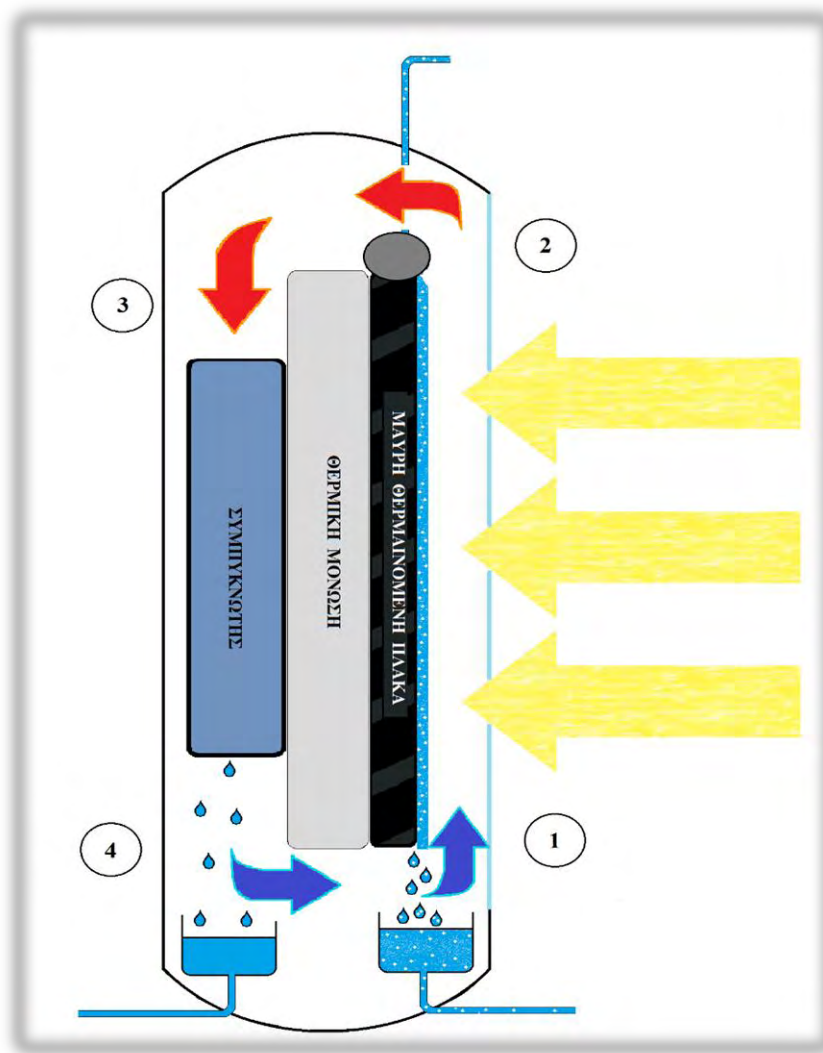
Η περίοδος των Ολυμπιακών Αγώνων υπήρξε αυτή με την μεγαλύτερη εγκατάσταση μονάδων αφαλάτωσης ,καθώς εκείνη την περίοδο έγιναν γενικότερα πολυάριθμα έργα στην Ελλάδα. Από τότε αυξάνεται σημαντικά αλλά όχι ικανοποιητικά, ο αριθμός εγκατεστημένων μονάδων.



ΣΧΗΜΑ 1.7: ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΑΝΑ ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ (RESPONDING TO WATER CHALLENGES THROUGH DESALINATION: ENERGY CONSIDERATIONS BY GEORGE ARAMPATZIS, AVRAAM KARTALIDIS AND DIONYSIS ASSIMACOPOULOS)

2. ΑΝΑΛΥΣΗ- ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ ΜΕ ΗΛΙΑΚΟ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗΡΑ ΠΙΠΤΟΝΤΟΣ ΥΓΡΟΥ ΥΜΕΝΑ

2.1.ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ



ΣΧΗΜΑ 2.1 : ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΑΕΡΑ ΕΝΤΟΣ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

Το συγκεκριμένο σύστημα ηλιακής αφαλάτωσης βασίζεται στην ροή και την εξάτμιση υγρού υμένα . Αναλυτικά, η συσκευή αποτελείται από μια δεξαμενή η οποία γεμίζει με θαλασσινό νερό . Καθώς η ροή του θαλασσινού νερού είναι συνεχής ,η δεξαμενή υπερχειλίζει (ξεχειλίζει) και το

νερό ρέει πάνω σε μία κεκλιμένη μαύρη πλάκα. Η πλάκα αυτή δέχεται διαρκώς ηλιακή ακτινοβολία, καθώς καλύπτεται από γυάλινη επιφάνεια, με αποτέλεσμα να θερμαίνεται. Εφόσον λοιπόν, φτάσει σε μια συγκεκριμένη μέση θερμοκρασία, η θερμότητα που δέχεται εκπέμπεται προς το θαλασσινό νερό που ρέει πάνω της. Η θέρμανση του ρέοντος υμένα οδηγεί στην εξάτμιση μέρους του θαλασσινού νερού και τον σχηματισμό υδρατμών, οι οποίοι υγραίνουν και θερμαίνουν το ρεύμα αέρα που εισέρχεται στον εξατμιστή (θέση 1 στο Σχήμα 2.1) και περνά πάνω απ' την πλάκα. Παράλληλα το θαλασσινό νερό που δεν κατάφερε να εξατμιστεί, προτού φτάσει στο τέλος της πλάκας, συλλέγεται όντας όπως αναμένεται πιο αλμυρό εφόσον έχασε μέρος της υγρασίας του κατά την εξάτμιση. Στην συνέχεια το ρεύμα αέρα που υγράνθηκε και θερμάνθηκε κατευθύνεται αντιορολογιακά, λόγω φυσικής ανακυκλοφορίας, στο αριστερό μέρος της συσκευής, πίσω από την μόνωση της θερμαινόμενης πλάκας (θέση 2). Εκεί βρίσκεται ο συμπυκνωτής, ο οποίος ψύχει και συμπυκνώνει μέρος του υγρού-θερμού αέριου ρεύματος το οποίο εισέρχεται (θέση 3). Το συμπύκνωμα που δημιουργείται αποτελεί το πολυπόθητο αφαλατωμένο νερό και συλλέγεται σε μια δεξαμενή τοποθετημένη κάτω απ' τον συμπυκνωτή. Συγχρόνως με το αφαλατωμένο νερό εξέρχεται, στην έξοδο του συμπυκνωτή, το ψυγμένο και κορεσμένο ρεύμα αέρα το οποίο είναι έτοιμο να επαναθερμανθεί και να υγροποιηθεί επαναλαμβάνοντας την όλη διαδικασία (θέση 4).

2.1.1.Μέρη Συσκευής

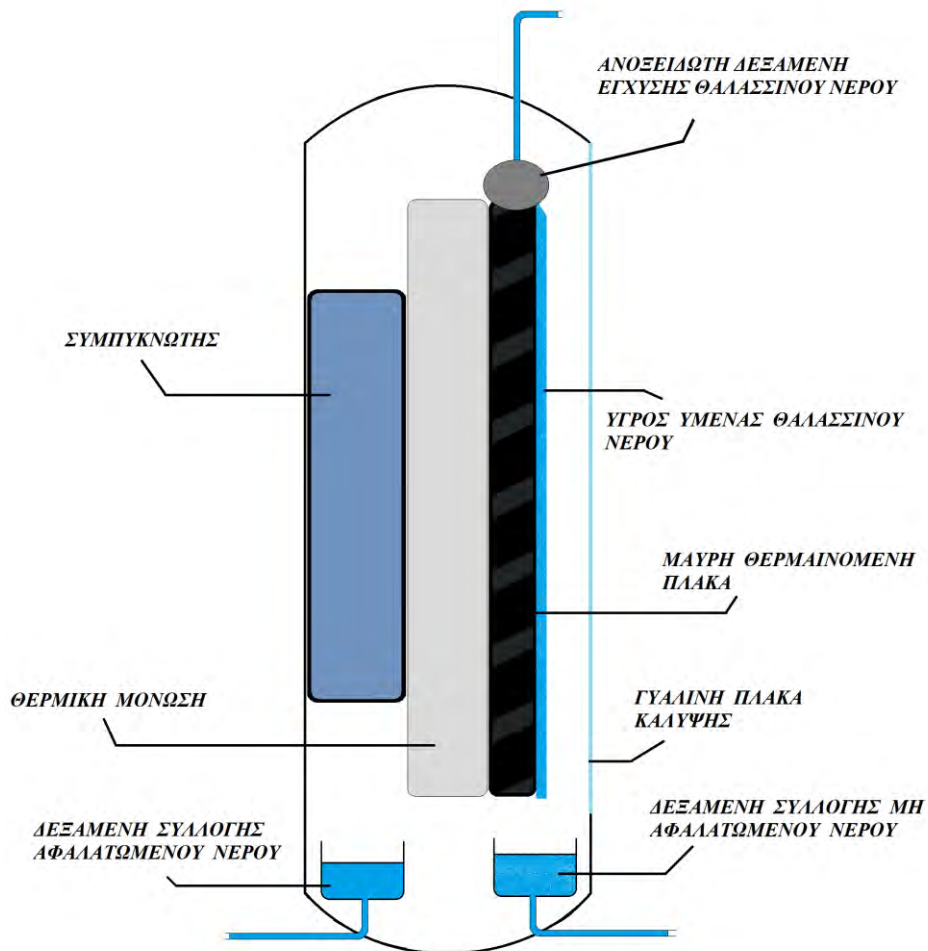
Η συσκευή αφαλάτωσης με ηλιακό εξατμιστήρα πίπτοντος υγρού υμένα είναι μία απλής σχετικά διάταξης συσκευή. Ο σχεδιασμός καθώς και η λειτουργία (όπως θα φανεί στο επόμενο κεφάλαιο) της οποίας, βασίζονται σε αυτά της ηλιακής καμίνου με την ειδοποιό διαφορά πως εδώ έχουμε επιπλέον τη ροή λεπτού πίπτοντος υμένα θαλασσινού νερού.

Η συγκεκριμένη συσκευή αφαλάτωσης δεν υπάρχει στο εμπόριο και η παρούσα διπλωματική αποτελεί τον πρώτο σχεδιασμό και μελέτη της λειτουργίας της. Το γεγονός αυτό δεν επιτρέπει τον αναλυτικό και ακριβή σχεδιασμό της διάταξης της, καθώς πολλά καίρια ερωτήματα που επηρεάζουν την όλη διάταξη απαντώνται κυρίως με την διεξαγωγή πειράματος.

Γίνεται λοιπόν μια θεμελιώδης και όσο το δυνατόν ακριβέστερη περιγραφή των μερών που αποτελούν την συσκευή αφαλάτωσης και των χαρακτηριστικών που οφείλουν να έχουν για την σωστή λειτουργία της.

Αρχικά μία μαύρη πλάκα μικρού πάχους της οποίας η σύσταση θα ναι πιθανόν κάποιο κράμα πίσσας και καουτσούκ. Όπως και το χρώμα της επιφάνειας το οποίο πρέπει να ναι αυστηρά μαύρο, για την μέγιστη δυνατή απορρόφηση ακτινοβολίας, έτσι και η τραχύτητα και η μορφολογία της επιφάνειας πρέπει να ναι συγκεκριμένη. Είναι επιθυμητή μια επιφάνεια τραχύτητας τέτοιας ώστε να επιτυγχάνεται η πλήρης διαβροχή της για όσο το δυνατόν μικρότερη παροχή θαλασσινού νερού που θα ρέει πάνω της σε μορφή πίπτοντος υμένα.

Δεύτερον, μια διάφανη γυάλινη πλάκα (τζάμι) η οποία να έχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διαπερατότητα στην ηλιακή ακτινοβολία. Η τραχύτητα της γυάλινης πλάκας θα πρέπει να είναι λεία.



ΣΧΗΜΑ 2.2 : ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΜΕΡΩΝ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

Τρίτον, μια θερμομονωτική πλάκα η οποία θα τοποθετηθεί κάτω από την μαύρη πλάκα. Το πάχος της πλάκας αυτής θα πρέπει να ναι τέτοιο ώστε να ελαχιστοποιεί τις θερμικές απώλειες της μαύρης πλάκας, η οποία θα θερμαίνεται μέσω ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά και να μην αυξάνει σημαντικά τον όγκο της συσκευής.

Τέταρτον, ένα κυλινδρικό ανοξείδωτο δοχείο μικρής διαμέτρου τάξης 10-15 cm το οποίο θα τοποθετηθεί στο επάνω μέρος της μαύρης πλάκας. Το δοχείο θα διαθέτει μια διαμήκη εγκοπή ειδικής μορφολογίας. Έτσι καθώς θα εισέρχεται θαλασσινό νερό το δοχείο θα υπερχειλίζει και διανέμει ομοιόμορφα το θαλασσινό νερό στην μαύρη πλάκα. Ο σχεδιασμός του δοχείου θα πρέπει να ναι

τέτοιος ώστε στο εσωτερικό του, να δημιουργούνται οι ελάχιστες επικαθίσεις αλάτων που περιέχονται στο θαλασσινό νερό. Επίσης θα πρέπει να ευνοεί την βέλτιστη ομοιομορφία στη διανομή του θαλασσινού νερού.

Ένα ακόμα σημαντικό μέρος της συσκευής είναι ο συμπυκνωτής. Ο συμπυκνωτής θα είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας, ο οποίος θα διαρρέεται εσωτερικά από θαλασσινό νερό και θα ψύχει θερμό αέριο ρεύμα που θα τον διαρρέει εξωτερικά. Οι διαστάσεις του θα πρέπει να είναι τέτοιες που να μην ξεπερνούν σε μήκος την μαύρη πλάκα και ο συνολικός του όγκος ο ελάχιστος δυνατός για την συμπύκνωση της παροχής του θερμού αέριου ρεύματος. Επίσης η διάταξη του θα πρέπει να ναι τέτοια ώστε να προκαλείται η ελάχιστη δυνατή πτώση πίεσης, ώστε να διατηρείται η φυσική ανακυκλοφορία εντός της συσκευής.

Οι λειτουργίες του κάθε επιμέρους τμήματος της συσκευής που αναφέρθηκε θα εξεταστούν και θα περιγραφούν αναλυτικά παρακάτω.

Επιπροσθέτως, δύο ακόμα μέρη της συσκευής είναι οι δεξαμενές συλλογής. Οι δεξαμενές αυτές δε θα κάνουν κάτι άλλο πέρα απ' το να συλλέγουν γλυκό και θαλασσινό νερό αντιστοίχως. Συνεπώς θα πρέπει να ναι ανοξείδωτες και οι διαστάσεις τους αμελητέες εφόσον δεν αυξάνουν σημαντικά τον όγκο και το συνολικό βάρος της συσκευής.

Τέλος απαραίτητα μέρη της συσκευής αποτελούν το πλαίσιο αλλά και η αντλία. Το πλαίσιο θα ενώνει και θα περικλείει όλα τα τμήματα της συσκευής αφαλάτωσης πλην βέβαια της αντλίας, η οποία θα ναι εξωτερική, και του τζαμιού το οποίο θα αποτελεί το «καπάκι» της συσκευής. Σε ότι αφορά την αντλία θα διαρρέεται από θαλασσινό νερό και η απαιτούμενη ισχύς εκτιμάται μικρή.

2.2.ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ

Πίνακας Συμβόλων			
T_{AIRin}	θερμοκρασία αέρα στην είσοδο του εξατμιστή	$\Delta\rho$	διαφορά πυκνότητας
$RH(\%)$	σχετική υγρασία αέριου ρεύματος	ρ_{AIR}	μέση πυκνότητα αέρα στον εξατμιστή
T_{AIRout}	θερμοκρασία αέρα στην έξοδο του εξατμιστή	ρ_{out}	πυκνότητα αέρα στην έξοδο του εξατμιστή
θ	αδιάστατη θερμοκρασιακή απόκλιση από την κρίσιμη θερμοκρασία	u_a	ταχύτητα αέρα εντός της συσκευής
T		f	συντελεστής τριβής

T_c	κρίσιμη θερμοκρασία νερού	L	μήκος εξατμιστή
P_{ws}	μερική πίεση υδρατμών	D_H	υδραυλική διάμετρος εξατμιστή
P_c	κρίσιμη πίεση νερού	w	απόλυτη υγρασία αέρα (kgA/kgB)
$C1, C2,$...	σταθερές	kin	συντελεστής τρυβής στην είσοδο του εξατμιστή
w_{in}	απόλυτη υγρασία αέρα στην είσοδο του εξατμιστή	$kout$	συντελεστής τρυβής στην είσοδο του εξατμιστή
M_A	μοριακό βάρος νερού	H_{ch}	κατακόρυφο ύψος εξατμιστή
M_B	μοριακό βάρος ξηρού αέρα	s	κλίση εξατμιστή
P_{atm}	ατμοσφαιρική πίεση	g	επιτάχυνση βαρύτητας
d	πάχος εξατμιστή (απόσταση μάρης πλάκας- τζαμιού)	V_a	ογκομετρική παροχή αέρα
kc	συντελεστής μεταφοράς μάζας με συναγωγή	G_B	ογκομετρική παροχή αέρα επί ξηρού
C_{AS}	συγκέντρωση υδρατμών στην διεπιφάνεια νερού-αέρα	kgA	κιλά νερού (ή υδρατμού)
$C_{A\infty}$	συγκέντρωση υδρατμών μακριά από την διεπιφάνεια νερού-αέρα	kgB	κιλά ξηρού αέρα
n_A	γραμμομοριακή ροή μάζας λόγω συναγωγής	Δm	μαζική διαφορά υγρασίας αέρα (ή συμπύκνωμα)
h	συντελεστής μετάδοσης θερμότητας με συναγωγή	T_P	θερμοκρασία υγρού ρεύματος στην έξοδο του εξατμιστή
T_{SF}	θερμοκρασία αέρα στην διεπιφάνεια νερού-αέρα	F	εισερχόμενο ρεύμα θαλασσινού νερού
T_{AIR}	μέση θερμοκρασία αέρα στον εξατμιστή	H_F	ενθαλπία θαλασσινού νερού στην είσοδο του εξατμιστή
q	θερμοροή μεταξύ νερού και αέρα στον εξατμιστή	S	μαζική ροή εξάτμισης νερού
T_{AS}	θερμοκρασία αέρα στην διεπιφάνεια νερού-αέρα	H_S	ενθαλπία εξατμιζόμενου νερού (υδρατμών)
T_∞	θερμοκρασία αέρα μακριά από την διεπιφάνεια νερού-αέρα	P	ρεύμα θαλασσινού νερού στην έξοδο του εξατμιστή
y_{AS}	γραμμομοριακό κλάσμα υδρατμών κοντά στην διεπιφάνεια	H_P	ενθαλπία θαλασσινού νερού στην έξοδο του εξατμιστή
$y_{A\infty}$	γραμμομοριακό κλάσμα υδρατμών στην κύρια αέρια μάζα	H_{AIRout}	ενθαλπία αέρα στην έξοδο του εξατμιστή
H_{AIRin}	ενθαλπία αέρα στην είσοδο του εξατμιστή	$Q_{πλάκας}$	θερμότητα που εκπέμπεται από την μαύρη πλάκα
w_{out}	απόλυτη υγρασία αέρα στην έξοδο του εξατμιστή		

w_{AIR}	μέση απόλυτη υγρασία αέρα εντός του εξατμιστή	cp	συντελεστής θερμοχωρητικότητας
V_m	ειδικός όγκος του αέρα εντός του εξατμιστή	G_{sc}	σταθερά ηλιακής ακτινοβολίας
n'_{AIR}	μέση γραμμομοριακή συγκέντρωση του αέρα εντός του εξατμιστή	τ_a	συντελεστής διαπερατότητας του γυάλινου καλύμματος του εξατμιστή
R	καταστατική σταθερά ιδανικών αερίων	α	συντελεστής απορροφητικότητας της μαύρης πλάκας
c_{pp}	συντελεστής θερμοχωρητικότητας του υγρού ρεύματος εξόδου	$A_{πλάκας}$	εμβαδόν μαύρης πλάκας εξατμιστή
H_o	ημερήσια εξωγήινη ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο	x_{NaCl}	η περιεκτικότητα του υγρού ρεύματος σε άλας
H	ημερήσια ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο	a, b	σταθερές της εξίσωσης (3.12)
H_{dir}	άμεση ημερήσια ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο	I	η ωριαία ολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο
H_{dif}	διάχυτη από την ατμόσφαιρα ημερήσια ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο	I_{dif}	η διάχυτη από την ατμόσφαιρα ωριαία ολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο το κλάσμα της διάχυτης ωριαίας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο, προς την διάχυτη ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία
δ	είναι η κλίση του ήλιου σε σχέση με τον εξατμιστή στο ηλιακό μεσημέρι	π	μαθηματική σταθερά
ω_s	η γωνιακή ώρα δύσης του ηλίου (η κλίση μεταξύ του σημείου τοποθέτησης της συσκευής και του ήλιου, την ώρα της δύσης	I_{dir}	η άμεση ωριαία ολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο
ω	γωνιακή ώρα (δλδ. η κλίση του ήλιου μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή	I_T	συνολική προσπίπτουσα ωριαία ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο κλίσης s
n	η εκάστοτε ημέρα του έτους (από 1 έως 365)	R_b	το κλάσμα της άμεσης ωριαίας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο κλίσης s προς την I_{dir}

k_T	μέσος μηνιαίος συντελεστής καθαρότητας της ατμόσφαιρας	s	κλίση του εξατμιστή
r_t	το κλάσμα της ωριαίας ολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο προς την ημερήσια	r_g	ανακλαστικότητα του περιβάλλοντα χώρου σε ακτινοβολία
φ	γωνιακή απόσταση του σημείου τοποθέτησης της συσκευής από τον Ισημερινό	$I_{TotalAVG}$	συνολική προσπίπτουσα ωριαία ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο κλίσης s μιας μέσης ημέρας

2.2.1. Ανάλυση λειτουργίας εξατμιστή

Αρχικά θα μελετηθεί η λειτουργία του εξατμιστή της συσκευής αφαλάτωσης, απ' την σκοπιά του αέριου ρευστού. Έτσι λοιπόν θεωρείται ως είσοδος του αέρα, το κάτω μέρος του εξατμιστή και ως έξοδος το άνω. Όπως ειπώθηκε στην Θεωρητική Περιγραφή της συσκευής, ο αέρας εισέρχεται στον εξατμιστή όπου θερμαίνεται και υγραίνεται.

Στην είσοδο ο αέρας είναι ψυχρός και κορεσμένος και βρίσκεται σε συνθήκες T_{AIRin} (15° C) και w_{in} (σχετική υγρασία RH(%)=100).

Είναι οι συνθήκες με τις οποίες εξέρχεται του συμπυκνωτή, εξού και κορεσμένος. Στην έξοδο αντίστοιχα, θεωρούμε πως ο αέρας υγραίνεται αδιαβατικά με αποτέλεσμα να παραμένει κορεσμένος και να γίνεται θερμότερος απ' ό,τι εισήλθε. Η θερμοκρασία εξόδου του αέριου ρεύματος στον εξατμιστή, T_{AIRout} είναι ένα απ' τα κύρια ζητούμενα και σημείο κλειδί της παρούσας μελέτης. Αρχικά λοιπόν επιλέγεται αυθαίρετα η θερμοκρασία T_{AIRout} .

Γνωρίζοντας τις συνθήκες εισόδου του ρεύματος αέρα, χρησιμοποιούνται οι εξής ψυχομετρικοί τύποι (Vaisala, 2013):

$$\theta = 1 - \frac{T}{T_c} \quad (2.1)$$

$$\ln\left(\frac{P_{ws}}{P_c}\right) = \frac{T_c}{T} (C_1\theta + C_2\theta^{1.5} + C_3\theta^3 + C_4\theta^{3.5} + C_5\theta^4 + C_6\theta^{7.5}) \quad (2.2)$$

Η κρίσιμη πίεση του νερού είναι γνωστή και ίση περίπου με $P_c = 22.06$ MPa και αντίστοιχα η κρίσιμη θερμοκρασία $T_c = 647.096$ K. Λύνοντας τις παραπάνω σχέσεις (2.1 & 2.2), έχοντας ως θερμοκρασία T , αυτή με την οποία εισέρχεται το ρεύμα αέρα στον εξατμιστή, T_{AIRin} , είναι εφικτή η εύρεση της μερικής πίεσης υδρατμών P_{ws} (W. Wagner και A. Prub, 2002). Η P_{ws} δεν είναι άλλη από την πίεση κορεσμού του αέριου ρεύματος στην θερμοκρασία εισόδου.

Όπου: $C_1 = -7.85951783$, $C_2 = 1.84408259$, $C_3 = -11.7866497$, $C_4 = 22.6807411$, $C_5 = -15.9618719$, $C_6 = 1.80122502$

Τώρα μπορεί να υπολογιστεί η απόλυτη υγρασία του αέριου ρεύματος εισόδου w_{in} , ως εξής (Vaisala, 2013):

$$w_{in} = \frac{M_A}{M_B} * \frac{P_A}{P_{atm} - P_A} \quad (2.3)$$

Το P_A είναι η μερική πίεση των υδρατμών στον αέρα, η οποία εφόσον είναι κορεσμένος δεν είναι άλλη από την μερική πίεση υδρατμών P_{ws} . Έτσι ο παραπάνω τύπος παίρνει την μορφή:

$$w_{in} = \frac{M_A}{M_B} * \frac{P_{ws}}{P_{atm} - P_{ws}} \left[\frac{kgH_2O}{kgξ. αέρα} \right] \quad (2.4)$$

Αν στην παραπάνω διαδικασία υπολογισμού της απόλυτης υγρασίας του αέριου ρεύματος στην είσοδο του εξατμιστή, η θερμοκρασία εισόδου T_{AIRin} αντικατασταθεί με την θερμοκρασία εξόδου του αέριου ρεύματος T_{AIRout} , η οποία επιλέγεται αυθαίρετα, τότε με τον παραπάνω τύπο (σχέση 2.4) υπολογίζεται η απόλυτη υγρασία του αέριου ρεύματος στην έξοδο του εξατμιστή, w_{out} .

Σαφώς αυτό προϋποθέτει πως και το αέριο ρεύμα εξόδου θα 'ναι κορεσμένο όπως και αυτό στην είσοδο του εξατμιστή. Η παραδοχή αυτή γίνεται στην παρούσα μελέτη απλοποιώντας τους υπολογισμούς εύρεσης της T_{AIRout} και ευσταθεί εφόσον η αέρια μάζα στον εξατμιστή δεν είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του υγρού υμένα. Αυτό συνεπάγεται πως η εν λόγω παραδοχή ισχύει για μικρή απόσταση μεταξύ γυάλινου καλύμματος και μαύρης θερμαινόμενης πλάκας, $d(m)$.

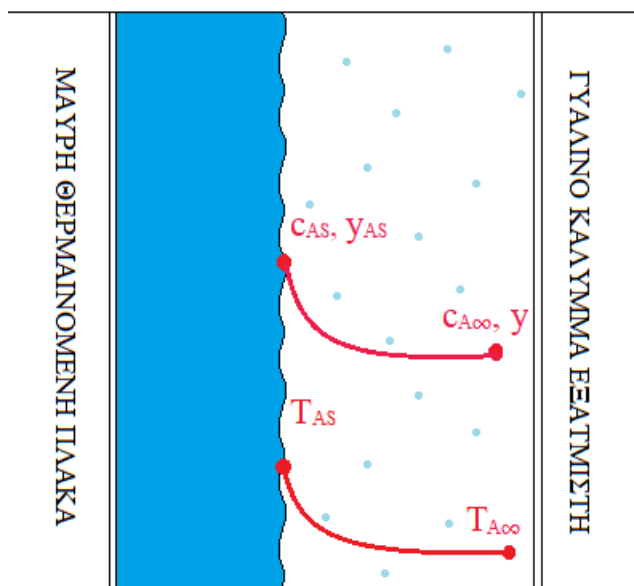
Στην περίπτωση που η απόσταση $d(m)$ είναι μεγαλύτερη από μια συγκεκριμένη τιμή, η παραδοχή σταδιακά παύει να ισχύει. Οι εξισώσεις που θα ισχύουν όταν πάψει αυτή η παραδοχή είναι αυτές των δύο φαινομένων που λαμβάνουν χώρα συγχρόνως και θα αναφερθούν για λόγους πληρότητας. Συγκεκριμένα εντός του εξατμιστή, στην διεπιφάνεια υγρού υμένα θαλασσινού νερού και αέριου ρεύματος, λαμβάνει χώρα μεταφορά μάζας μέσω συναγωγής, με ρυθμό τον συντελεστή μεταφοράς μάζας με συναγωγή του αέριου ρεύματος, k_c . Η ωθούσα δύναμη για την μεταφορά αυτή είναι η διαφορά συγκέντρωσης, σε κιλά νερού(υδρατμού) προς κιλά μίγματος, μεταξύ του αέρα στην διεπιφάνεια που είναι κορεσμένος, c_{As} και της κύριας μάζας αέρα η οποία δεν είναι κορεσμένη και έχει συγκέντρωση $c_{A\infty}$. Επειδή αφορά αέριο ρεύμα προτιμάται η χρήση των όρων k ως του αντίστοιχου συντελεστή μεταφοράς μάζας, y_{AS} ως το γραμμομοριακό κλάσμα υγρασίας στον αέρα κοντά στην διεπιφάνεια και το $y_{A\infty}$ αντίστοιχα για την κύρια μάζα αέρα μακριά απ' την διεπιφάνεια (Σχήμα 2.3). Συνεπώς η μεταφορά μάζας με διάχυση μπορεί να απεικονιστεί μαθηματικά ως εξής:

$$n_A = k_c(c_{AS} - c_{A\infty}) = k(y_{AS} - y_{A\infty}) \quad (2.5)$$

Αντίστοιχα εκτιμάται και η μετάδοση θερμότητας με διάχυση μεταξύ του υγρού και του αέριου, με ρυθμό τον συντελεστή μετάδοσης θερμότητας με διάχυση h . Η ωθούσα δύναμη σε αυτή την περίπτωση δεν είναι άλλη από την θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ του αέρα κοντά στην διεπιφάνεια, T_{SF} και της κύριας μάζας του αέρα που βρίσκεται σε θερμοκρασία T_{AIR} , (Σχήμα 2.3). Η θερμορροή επομένως θα βρίσκεται απ' την παρακάτω σχέση :

$$q = h(T_{SF} - T_{AIR}) \quad (2.6)$$

Όπου T_{AIR} όπως αναφέρεται παρακάτω η μέση θερμοκρασία του αέριου ρεύματος στον εξατμιστή. Τα δύο φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα συγχρόνως απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα.



ΣΧΗΜΑ 2.3: ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΙΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΚΟΝΤΑ ΚΑΙ ΜΑΚΡΥΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑ

Παρακάτω συνεχίζεται η ανάλυση του θερμοδυναμικού φαινομένου στον εξατμιστή της συσκευής, με την παραδοχή πως το αέριο ρεύμα εξέρχεται κορεσμένο διότι η αέρια μάζα που διέρχεται, δεν είναι πολύ μεγαλύτερη από την υγρή.

Με γνωστή την απόλυτη υγρασία w_{in} , μπορεί να υπολογιστεί η ενθαλπία του ρεύματος αέρα εισόδου H_{AIRin} μέσω του παρακάτω τύπου (Vaisala, 2013) :

$$H_{AIRin} = T_{AIRin} * (1.01 + 0.00189 * w_{in}) + 2.5 * w_{in} \quad [\text{kJ/kg}] \quad (2.7)$$

Αντικαθιστώντας το T_{AIRin} με T_{AIRout} και το w_{in} με w_{out} , ο παραπάνω τύπος δίνει την ενθαλπία του αέριου ρεύματος στην έξοδο του εξατμιστή, H_{AIRout} .

Για τους θερμοδυναμικούς υπολογισμούς στο εσωτερικό του εξατμιστή μπορεί αρχικά να γίνει η παραδοχή μιας μέσης ομοιόμορφης κατάστασης, σταθερής θερμοκρασίας και απόλυτης υγρασίας του αέριου ρεύματος, T_{AIR} και w_{AIR} αντίστοιχα. Όπου :

$$T_{AIR} = \frac{T_{AIRin} + T_{AIRout}}{2} \quad (2.8)$$

και η w_{AIR} βρίσκεται αντίστοιχα με τα w_{in} και w_{out} (από τους τύπους Vaisala, 2013), αν όπου T_{AIRin} ή T_{AIRout} , χρησιμοποιηθεί η μέση θερμοκρασία T_{AIR} .

Όπως ειπώθηκε νωρίτερα, η παρούσα μελέτη αφορά τις μόνιμες συνθήκες λειτουργίας της συγκεκριμένης συσκευής αφαλάτωσης. Σε μόνιμες λοιπόν συνθήκες και με την παραδοχή πως το αέριο ρεύμα ξηρού αέρα και υδρατμών αποτελεί ιδανικό αέριο, ισχύει η καταστατική εξίσωση ως εξής :

$$P * V_m = n' * R * T \quad (2.9)$$

Για το εσωτερικό του εξατμιστή ως P χρησιμοποιείται η ατμοσφαιρική πίεση που επικρατεί, ως V_m (m^3/kgB) ο ειδικός όγκος του αέριου ρεύματος, ως n' τα moles/kg του αέριου ρεύματος n'_{air} , ως T την μέση θερμοκρασία του αέριου ρεύματος εντός του εξατμιστή T_{AIR} και ως R την καταστατική σταθερά ίση με 8.314 (J/mol/K). Έτσι η καταστατική εξίσωση παίρνει την μορφή :

$$P * V_m = n'_{air} * R * T_{AIR} \quad (2.10)$$

Το αέριο ρεύμα στο εσωτερικό του εξατμιστή δεν αποτελείται από κάτι άλλο, παρά από ξηρό αέρα και υδρατμούς. Ο υγρός ειδικός όγκος V_m ορίζεται ως ο όγκος μίγματος που περιέχει 1kg ξηρού αέρα (1kgB) και w kg υδρατμού (w kgA). Κατά συνέπεια το πλήθος των moles ανά κιλό αέρα δηλαδή το n'_{air} (moles/kg), θα 'ναι το άθροισμα των moles ξηρού αέρα ανά κιλό ξηρού αέρα B και των moles των υδρατμών ανά κιλό υδρατμών A, επομένως :

$$n'_{air} = \frac{1}{M_B} + \frac{w_{AIR}}{M_A} \quad (2.11)$$

Λύνοντας λοιπόν ως προς τον υγρό ειδικό όγκο V_m , προκύπτει :

$$V_m = \left(\frac{1}{M_B} + \frac{w_{AIR}}{M_A} \right) * R * \frac{T_{AIR}}{P} \quad (2.12)$$

Ο υγρός ειδικός όγκος V_m αποτελεί τα m^3 που καταβάλλει ένα kg αέριου μίγματος, απλώς εκφράζει αυτό το μέγεθος ανά κιλό ξηρού αέρα, δηλαδή ανά kgB. Αντιστρέφοντας τον υγρό ειδικό όγκο, δηλαδή πηγαίνοντας από m^3/kgB σε kgB/m^3 , εμφανίζεται η μέση πυκνότητα του αέριου ρεύματος εντός του εξατμιστή, ρ_{air} .

Η διαφορά πυκνότητας μεταξύ του ρεύματος που βρίσκεται εντός του εξατμιστή και αυτού που βρίσκεται πριν την είσοδο του εξατμιστή είναι, $\Delta\rho = \rho_{air} - \rho_{OUT}$. Αυτή η διαφορά $\Delta\rho$, είναι η όπως έχει αναφερθεί η ωθούσα δύναμη για την φυσική ανακυκλοφορία του ρεύματος αέρα στην συσκευή αφαλάτωσης.

Βέβαια παρατηρείται πως το, ρ_{air} είναι σε κιλά ξηρού αέρα kgB και όχι σε κιλά αέρα όπως η πυκνότητα, ρ_{OUT} . Πρέπει λοιπόν να μετατραπεί στις σωστές μονάδες με τον εξής τρόπο. Ξεκινώντας από την πυκνότητα σε (kgB/m^3) θέλουμε να συμπεριλάβουμε και την πυκνότητα λόγω υδρατμών δηλαδή τα kgA/m^3 . Για ένα κιλό ξηρού αέρα kgB στον αέρα υπάρχουν w κιλά υδρατμών. Παρατηρώντας πως οι μονάδες kgB/m^3 είναι αντίστροφες του υγρού ειδικού όγκου V_m , προκύπτει η παρακάτω σχέση για την πυκνότητα του αέρα εντός του εξατμιστή σε (kg/m^3):

$$\rho_{AIR} = \frac{1}{V_m} + w_{AIR} \frac{1}{V_m} \quad (2.13)$$

Επομένως το $\Delta\rho$ είναι αναμενόμενο να καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την ταχύτητα με την οποία κυκλοφορεί ο αέρας εντός της συσκευής u_a . Όπως αναφέρεται διαρκώς, η παρούσα μελέτη αφορά την συσκευή αφαλάτωσης αφότου επέλθουν συνθήκες ισορροπίας σε αυτή και κατά συνέπεια στο εσωτερικό του εξατμιστή της. Η ταχύτητα u_a λοιπόν είναι σταθερή και ομοιόμορφη κατά μήκος του εξατμιστή πράγμα που σημαίνει πως η πίεση στο εσωτερικό του, θα εξισορροπεί την πτώση πίεσης που δημιουργείται εξαιτίας τριβών τόσο απ'τα τοιχώματα του εξατμιστή όσο και απ' την διάταξη της εισόδου και εξόδου αυτού. Η πτώση πίεσης λόγω τριβών στα τοιχώματα είναι :

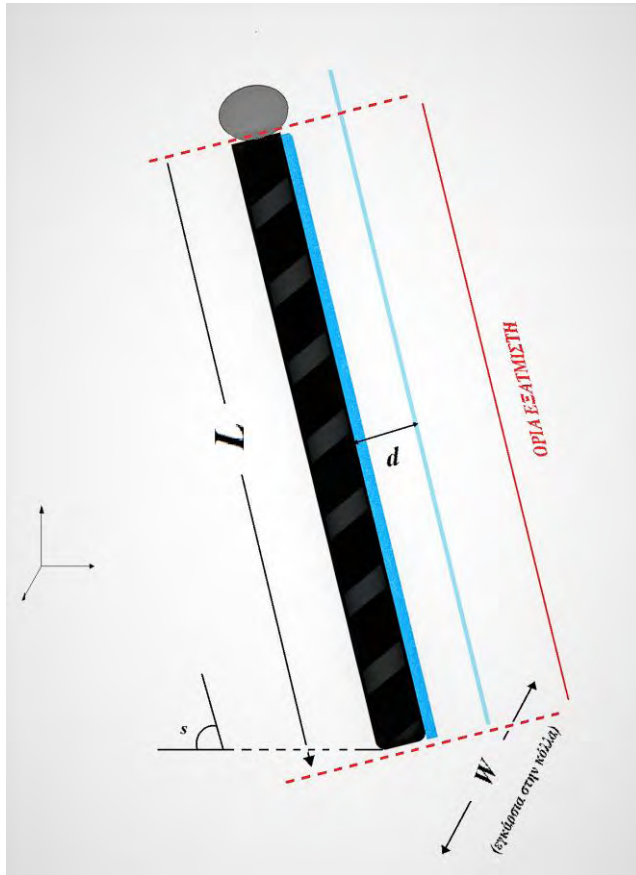
$$f * \frac{L}{D_H} * \frac{\rho_{air} * u_a^2}{2} \quad (2.14)$$

Η υδραυλική διάμετρος εφόσον πρόκειται για ορθογώνιας διατομής εξατμιστή, υπολογίζεται ως εξής :

$$D_H = \frac{2 * w * d}{w + d} \quad (2.15)$$

Ενώ η πτώση πίεσης λόγω των διατάξεων εισόδου και εξόδου , είναι αντίστοιχα :

$$k_{in} * \frac{\rho_{air} * u_a^2}{2} , k_{out} \quad (2.16)$$



Τα f, k_{in}, k_{out} αποτελούν σταθερές τριβής και στην παρούσα μελέτη περιγράφονται από τις τιμές

$$f = 0.056, k_{in} = 1.5, k_{out} = 1. \quad (2.17)$$

Όσον αφορά την πίεση εντός του εξατμιστή ,οφείλεται στην υψομετρική διαφορά και εφόσον η συσκευή βρίσκεται υπό συγκεκριμένη γωνία κλίσης , s , η υψομετρική διαφορά θα ναι

$$H_{ch} = L * \sin s \quad (2.18)$$

Η πίεση λοιπόν υπολογίζεται :

$$L * \sin s * g * (\rho_o - \rho_{air}) \quad (2.19)$$

ΣΧΗΜΑ 2.4: ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ

Έτσι η ισορροπία πιέσεων εντός του εξατμιστή εκφράζεται μέσω του παρακάτω ισοζυγίου :

$$f * \frac{L}{D_H} * \frac{\rho_{air} * u_a^2}{2} + k_{in} * \frac{\rho_{air} * u_a^2}{2} + k_{out} * \frac{\rho_{air} * u_a^2}{2} = L * g * \sin s * (\rho_o - \rho_{air}) \quad (2.20)$$

Λύνοντας το παραπάνω ισοζύγιο ως προς την ταχύτητα u_a ,είναι εφικτή η εύρεση της :

$$u_a = \sqrt{\frac{2 * L * g * \sin(s) * (\rho_o - \rho_{air})}{\left(f * \frac{L}{D_h} + k_{in} + k_{out}\right) * \rho_{air}}} \quad (2.21)$$

Εφόσον είναι γνωστή η ταχύτητα του αέριου ρεύματος καθώς και η διατομή του εξατμιστή , υπολογίζεται η ογκομετρική παροχή αέρα

$$V_a = u_a * d * w \quad \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (2.22)$$

Γνωρίζοντας και την μέση ογκομετρική παροχή επί ξηρού αλλά και τον υγρό ειδικό όγκο του αέριου ρεύματος εντός του εξατμιστή V_m , υπολογίζεται η μαζική παροχή επί ξηρού, G_B .

$$G_B = \frac{V_a}{V_m} \quad (2.23)$$

Το αέριο ρεύμα βγαίνοντας από τον εξατμιστή έχει αυξήσει την απόλυτη υγρασία του σε w_{out} , δηλαδή τα κιλά H_2O ανά κιλό ξηρού αέρα που εξατμίστηκαν. Εφόσον η παροχή του ξηρού αέρα είναι πλέον γνωστή, μπορεί να υπολογιστεί η ποσότητα νερού η οποία εξατμίστηκε και απορροφήθηκε από το αέριο ρεύμα και θα εξέλθει απ' τον εξατμιστή.

$$\Delta m = G_B * (w_{out} - w_{in}) \quad \left[\frac{kgA}{s} \right] \quad (2.24)$$

Βέβαια ο ρυθμός του νερού που εξατμίζεται Δm , υπολογίστηκε με την αρχική αυθαίρετη επιλογή της θερμοκρασίας εξόδου του αέριου ρεύματος απ' τον εξατμιστή T_{airOUT} η οποία ταυτίζεται, μέσω παραδοχής, με την θερμοκρασία του υγρού ρεύματος εξόδου απ' τον εξατμιστή T_p . Συγκεκριμένα εφόσον οι δύο διαφορετικές φάσεις, αυτή του υγρού ρεύματος θαλασσινού νερού και αυτή του αέριου ρεύματος, ρέουν σε αντιρροή, μπορεί σε αρχικό στάδιο να γίνει η παραδοχή πως θα εξέρχονται με την ίδια θερμοκρασία.

Η επαλήθευση της ακρίβειας της αρχικής αυτής υποθέσεως μπορεί να γίνει μέσω ενεργειακού ισοζυγίου στον εξατμιστή. Αναλυτικότερα το ενεργειακό ισοζύγιο του εξατμιστή, εφόσον υπάρχουν μόνιμες συνθήκες, θα πρέπει να μηδενίζεται και η ενεργειακή είσοδος να ισούται της ενεργειακής εξόδου.

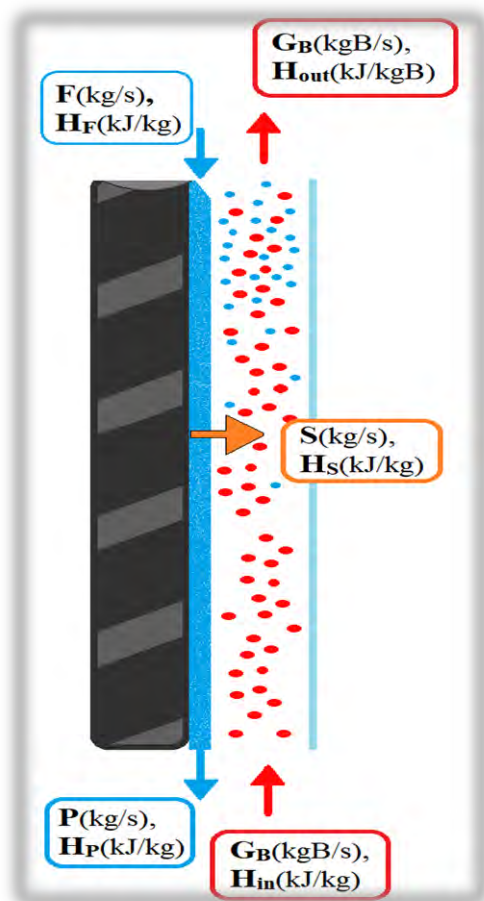
Η ενεργειακή είσοδος στον εξατμιστή, αποτελείται απ' την θερμότητα που προσφέρει η θερμαινόμενη πλάκα, την θερμότητα που έχει το θαλασσινό νερό κατά την είσοδο του και αντίστοιχα το εισερχόμενο αέριο ρεύμα.

Οι συνθήκες του νερού στην είσοδο είναι (από πίνακες θαλασσινού νερού):

$$T_F = 15 \text{ }^\circ\text{C} \text{ και } c_F = 4,005 \text{ kJ/kg/K}, H_F = 1153,44 \text{ kJ/kg} \quad (2.25)$$

Το ενεργειακό ισοζύγιο στον εξατμιστή, λαμβάνοντας υπόψιν την εισερχόμενη θερμότητα απ' την πλάκα, την είσοδο και την έξοδο του υγρού ρεύματος καθώς και την είσοδο και έξοδο του ξηρού αέριου ρεύματος ανακυκλοφορίας είναι το εξής:

$$Q_{\text{πλάκας}} + F * H_F + G_B * H_{AIRin} = P * H_P + G_B * H_{AIRout} \quad (2.26)$$



Σε ό,τι αφορά το αέριο ρεύμα χρησιμοποιείται η ογκομετρική παροχή επί ξηρού G_B και όχι η μαζική ροή του αέρα διότι οι ενθαλπίες του αέρα εισόδου κα εξόδου έχουν υπολογιστεί ανά κιλό ξηρού αέρα (δηλαδή ανά kgB). Επίσης το υγρό ρεύμα εξόδου, P δεν είναι άλλο παρά το υγρό ρεύμα εισόδου μείον το νερό που εξατμίστηκε.

$$Q_{\text{πλάκας}} + FH_F = (F - \Delta m)H_P + G_B(H_{AIRout} - H_{AIRin}) \quad (2.27)$$

Βέβαια η ενθαλπία του υγρού ρεύματος εξόδου H_P θα ναι το γινόμενο του συντελεστή θερμοχωρητικότητας C_{Pp} και της θερμοκρασίας στην οποία βρίσκεται το υγρό T_p . Το C_{Pp} όμως εξαρτάται από την θερμοκρασία T_p . Γι' αυτόν τον λόγο δημιουργήθηκε πολυωνυμική συνάρτηση του συντελεστή θερμοχωρητικότητας $C_{Pp}(T_p)$, ώστε να υπολογίζεται για κάθε θερμοκρασία. Το ενεργειακό ισοζύγιο του εξατμιστή θα πάρει την εξής μορφή :

2.5: ΡΟΗ ΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΥΓΡΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ

$$Q_{\text{πλάκας}} + FH_F = (F - \Delta m) * C_{Pp}T_p + G_B(H_{AIRout} - H_{AIRin}) \quad (2.28)$$

Με αυτό τον τρόπο είναι εφικτή η επαναληπτική διαδικασία δοκιμής και σφάλματος, ωστόσο βρεθεί η σωστή θερμοκρασία εξόδου του υγρού ρεύματος T_p ίση με την θερμοκρασία του αέριου ρεύματος εξόδου T_{AIRout} , εφόσον έχει γίνει η παραδοχή της ισότητας αυτών των δύο. Προηγουμένως, θα πρέπει οι υπόλοιποι όροι του ισοζυγίου να ναι υπολογισμένοι με ακρίβεια.

Η θερμότητα που εκπέμπεται από την θερμαινόμενη πλάκα προς τον κατερχόμενο υγρό υμένα θαλασσινού νερού δεν είναι άλλη από την θερμότητα που έχει απορροφήσει η μαύρη πλάκα μέσω ακτινοβολίας απ' τον ήλιο. Ο αναλυτικός και ακριβής υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας είναι πολυπαραγοντικός και λαμβάνει υπόψιν του την γεωγραφική θέση τοποθέτησης της συσκευής, την γωνία τοποθέτησης, τον καιρό, την ώρα κτλ.. Γι' αυτόν το λόγο, αρχικά χρησιμοποιείται μια απλουστευμένη και χοντρική τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας ενώ ο αναλυτικός υπολογισμός της γίνεται σε ξεχωριστό κομμάτι της παρούσας μελέτης, στο τρίτο κεφάλαιο «Ακριβής Υπολογισμός Προσπίπτουσας Ηλιακής Ακτινοβολίας στον Εξατμιστή» .

Για τον απλουστευμένο υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας λαμβάνεται η μέση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία G_{sc} . Η ακτινοβολία αυτή συναντά το γυαλί που καλύπτει τον εξατμιστή και ποσοστό αυτής δεν καταφέρνει να διαπεράσει το γυαλί είτε λόγω διάχυσης είτε λόγω ανάκλασης. Το υπόλοιπο της ακτινοβολίας που διαπερνά το γυαλί, θεωρείται «χονδρικά» πως απορροφάται από τη μαύρη πλάκα. Γνωρίζοντας λοιπόν το συντελεστή διαπερατότητας του γυαλιού, τ , αλλά και τον συντελεστή απορροφητικότητας της μαύρης πλάκας, α , είναι δυνατός ο υπολογισμός της θερμότητας που απορροφά η μαύρη πλάκα. Σε αυτό το σημείο γίνεται η παραδοχή μηδενικών απωλειών της μαύρης πλάκας, προς τη μεριά του συμπυκνωτή. Επομένως όλη η θερμική ενέργεια που απορροφά η μαύρη πλάκα μέσω ακτινοβολίας, προσδίδεται στην συνέχεια στον κατερχόμενο υγρό υμένα, μέσω συναγωγής. Βάσει των παραπάνω η θερμότητα που προσφέρει η μαύρη πλάκα στο υγρό, $Q_{πλάκας}$, θα ναι το γινόμενο της μέσης προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας που «φτάνει» στην μαύρη πλάκα, επί το εμβαδόν της επιφάνειας της μαύρης πλάκας (αφού η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια είναι πάντα ανά μονάδα εμβαδού) και υπολογίζεται ως εξής :

$$Q_{πλάκας} = \alpha * \tau * G_{sc} * A_{πλάκας} \quad (2.29)$$

όπου, $A_{πλάκας}$: το εμβαδόν της μαύρης πλάκας (m^2)

Απ' τους υπόλοιπους όρους του ενεργειακού ισοζυγίου η εισερχόμενη μαζική παροχή θαλασσινού νερού, F , καθώς και η ενθαλία του ρεύματος αυτού, H_F είναι γνωστά. Σε ό,τι αφορά όμως τον συντελεστή θερμοχωρητικότητας του υγρού ρεύματος εξόδου, $c_{p\rho}$, χρειάζεται περαιτέρω ανάλυση. Το υγρό ρεύμα εξόδου, P , δεν είναι άλλο παρά το θαλασσινό νερό που μπήκε στην είσοδο του εξατμιστή, έχοντας όμως χάσει μέρος του καθαρού νερού του, λόγω εξάτμισης, με αποτέλεσμα να έχει μεγαλύτερη αλατότητα απ' ότι όταν εισήλθε στον εξατμιστή. Αυτή η αύξηση της αλατότητας του υγρού μίγματος, X_{NaCl} , δεν μπορεί παρά να επηρεάζει τις θερμικές του ιδιότητες και συγκεκριμένα τον συντελεστή θερμοχωρητικότητας, $c_{p\rho}$. Εξαιτίας αυτής της εξάρτησης, δημιουργήθηκε μια εξίσωση του συντελεστή θερμοχωρητικότητας συναρτήσει της περιεκτικότητας του σε NaCl, η $c_{p\rho}(X_{NaCl})$. Βέβαια το ποσό νερού που εξατμίζεται και κατά συνέπεια η περιεκτικότητα του υγρού ρεύματος εξόδου, X_{NaCl} εξαρτάται άμεσα από την θερμοκρασία του υγρού ρεύματος εξόδου, την T_P .

Δεν πρέπει να αμεληθεί η παραδοχή που έγινε και προηγουμένως, η οποία θέλει την θερμοκρασία του υγρού ρεύματος εξόδου T_P , να ισούται με την θερμοκρασία του αέριου ρεύματος εξόδου .

$$T_P = T_{AirOut} \quad (2.30)$$

Έτσι λοιπόν μπορεί για κάθε συγκεκριμένη τιμή της θερμοκρασίας του αέριου ρεύματος εξόδου T_{AirOut} να υπολογίζεται το αντίστοιχο $c_{p\rho}(X_{NaCl})$. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να λειτουργήσει η διαδικασία δοκιμής και σφάλματος, ωστόσο επαληθευτεί το ενεργειακό ισοζύγιο και αποκτήσουμε τις επιθυμητές τιμές των X_{NaCl} , $C_{p\rho}$, T_{AirOut} .

3. ΑΚΡΙΒΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΥΣΑΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟΝ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ

Στο παρόν μέρος της διπλωματικής θα γίνει αναλυτική περιγραφή και υπολογισμός της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στον εξατμιστή σύμφωνα με την μεθοδολογία των Duffie & Beckman (1991).

Αρχικά πρέπει να υπολογιστεί η συνολική ημερήσια ακτινοβολία σε ένα οριζόντιο επίπεδο, H . Η ακτινοβολία αυτή αποτελείται από δύο μέρη, την άμεση και την διάχυτη από την ατμόσφαιρα :

$$H = H_{air} + H_{dif} \quad (3.1)$$

Για την εύρεση της H χρειάζεται αρχικά να υπολογιστεί η ημερήσια εξωγήινη ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, H_o :

$$H_o = \frac{24 * 3600}{\pi} G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \left(\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \varphi \sin \delta \right) \quad (3.2)$$

Όπου : G_{sc} είναι η ηλιακή σταθερά (1367 W/m^2), n είναι η εκάστοτε ημέρα του χρόνου (1 έως 365), φ είναι το γεωγραφικό πλάτος του σημείου τοποθέτησης της συσκευής αφαλάτωσης (γωνιακή απόσταση από τον Ισημερινό, για τον Βόλο $\varphi = 39^\circ$), δ είναι η κλίση του ήλιου στο ηλιακό μεσημέρι και ω_s είναι η γωνιακή ώρα δύσης του ηλίου (η κλίση μεταξύ του σημείου τοποθέτησης της συσκευής και του ήλιου, την ώρα της δύσης).

Οι δύο τελευταίοι παράγοντες υπολογίζονται ως εξής (Cooper, 1969):

$$\delta = 23.45 * \sin \left(360 * \frac{284 + n}{365} \right) \quad (3.3)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \varphi * \tan \delta) \quad (3.4)$$

Αντικαθιστώντας στην εξίσωση (3.2) υπολογίζεται η ημερήσια εξωγήινη ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, H_o .

Ο υπολογισμός της ακτινοβολίας που περνά την γήινη ατμόσφαιρα και φτάνει ως την επιφάνεια της, απαιτεί την γνώση των καιρικών συνθηκών που επικρατούν στο σημείο τοποθέτησης της συσκευής αφαλάτωσης. Από διεθνή δεδομένα μπορεί να βρεθεί για την εκάστοτε πόλη τοποθέτησης της συσκευής αφαλάτωσης, ένας μέσος μηνιαίος συντελεστής καθαρότητας της ατμόσφαιρας,

k_T . Ο συντελεστής αυτός αντιπροσωπεύει την μέση μηνιαία συχνότητα αλλά και πυκνότητα συννεφιάς μιας τοποθεσίας. Έτσι μπορεί να υπολογιστεί η συνολική ημερήσια ακτινοβολία, H , λύνοντας κατάλληλα την παρακάτω σχέση :

$$k_T = \frac{H}{H_0} \quad (3.5)$$

Τώρα είναι δυνατός και ο υπολογισμός της διάχυτης ημερήσιας ακτινοβολίας, H_{dif} .

Για γωνιακές ώρες δύσεως του ήλιου, $\omega_s \leq 81.4^\circ$ (για τον Βόλο αυτό αντιστοιχεί περίπου απ' τα μέσα Οκτωβρίου έως και τέλη Φεβρουαρίου)

$$\frac{H_{dif}}{H} = \begin{cases} 1.0 - 0.2727k_T + 2.4495k_T^2 - 11.9514k_T^3 + 9.3879k_T^4, & k_T < 0.715 \\ 0.143, & k_T \geq 0.715 \end{cases} \quad (3.6)$$

Ενώ για $\omega_s \geq 81.4^\circ$ (για τον Βόλο αυτό αντιστοιχεί περίπου από τέλη Φεβρουαρίου έως τα μέσα Οκτωβρίου)

$$\frac{H_{dif}}{H} = \begin{cases} 1.0 + 0.2832k_T - 2.5557k_T^2 + 0.8448k_T^3, & k_T < 0.722 \\ 0.143, & k_T \geq 0.722 \end{cases} \quad (3.7)$$

Εφόσον τα H και H_{dif} υπολογίστηκαν, τώρα μπορεί να βρεθεί εύκολα η ημερήσια άμεση ηλιακή ακτινοβολία μέσω της σχέσης (3.1).

Παρόλα αυτά η συσκευή αφαλάτωσης δεν δέχεται ηλιακή ακτινοβολία όλο το εικοσιτετράωρο αλλά μόνο συγκεκριμένες ώρες της ημέρας. Γι' αυτόν το λόγο υπολογίζεται η ένταση της ακτινοβολίας για κάθε ώρα της ημέρας. Σαφέστατα αυτό συνεπάγεται τον υπολογισμό για κάθε ώρα κάθε μέρας του έτους πράγμα άσκοπο στην παρούσα φάση της μελέτης. Επομένως γίνεται η παραδοχή μιας ομοιομορφίας των ημερών κάθε μήνα και δημιουργείται μια Μέση Μηνιαία Ημέρα για κάθε μήνα του έτους.

Τώρα λοιπόν είναι εφικτός ο υπολογισμός της ωριαίας προσπίπτουσα ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο, I , για ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό μέρος ένα συγκεκριμένο μήνα του χρόνου. (Sapanidou, 2008).

Το κλάσμα της ωριαίας ολικής προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο, I , προς την ημερήσια προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, H , συμβολίζεται ως r_t και ισούται με:

$$r_t = \frac{I}{H} \quad (3.8)$$

Για την εύρεση του παραπάνω κλάσματος πρέπει αρχικά να υπολογιστούν η γωνιακή ώρα, ω (η κλίση του ήλιου την αντίστοιχη ώρα), και οι σταθερές a και b :

$$\omega = (\acute{\omega}\rho\alpha - 12) * \frac{360}{24} \quad (3.9)$$

$$a = 0.409 + 0.5016 * \sin(\omega_s - 60) \quad (3.10)$$

$$b = 0.6609 + 0.4767 * \sin(\omega_s - 60) \quad (3.11)$$

Ως ώρα, εννοείται η εκάστοτε ώρα της ημέρας στο διάστημα της οποίας ζητείται η ωριαία ολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, I .

Πρέπει να τονιστεί πως η τιμή της μεταβλητής «ώρα» αφορά αυστηρά το διάστημα στο οποίο υπάρχει ακτινοβολία, ανάλογα με τη γεωγραφική θέση αλλά και την εποχή. Επομένως η ορθή χρήση των σχέσεων απαιτεί την παράλληλη γνώση και αξιοποίηση δεδομένων της ώρας ανατολής και δύσης του ήλιου για κάθε ημέρα του έτους για το αντίστοιχο γεωγραφικό σημείο τοποθέτησης της συσκευής αφαλάτωσης.

Συνεχίζοντας τον υπολογισμό, είναι εφικτή πλέον η εύρεση του κλάσματος r_t μέσω της σχέσης:

$$r_t = \frac{\pi}{24} * (a + b \cos \omega) * \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \omega_s}{180} * \cos \omega_s} \quad (3.12)$$

Επιστρέφοντας στην σχέση (3.8) μπορεί να βρεθεί η ολική ωριαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, I .

Με ανάλογο τρόπο εκτιμάται και η διάχυτη ωριαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, I_{dif} . Αρχικά εκτιμάται το κλάσμα, r_{dif} , της διάχυτης ωριαίας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο, I_{dif} προς την διάχυτη ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία, H_{dif} .

$$r_{dif} = \frac{\pi}{24} * \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_s - \frac{\pi \omega_s}{180} * \cos \omega_s} \quad (3.13)$$

Επομένως γνωρίζοντας και το H_{dif} , μπορεί να βρεθεί η διάχυτη ωριαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία I_{dif} , μέσω της παρακάτω σχέσης :

$$r_{dif} = \frac{I_{dif}}{H_{dif}} \quad (3.14)$$

Εφόσον έχουν υπολογιστεί τα I και I_{dif} , απομένει το δεύτερο μέρος της ολικής ωριαίας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο, I , δηλαδή η άμεση (direct) ωριαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, I_{dir} . Η οποία εκτιμάται ως εξής :

$$I_{dir} = I - I_{dif} \quad (3.15)$$

Τώρα λοιπόν είναι εφικτό να υπολογιστεί η συνολική ωριαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο, I_T . Το συγκεκριμένο μέγεθος πρέπει να εκτιμηθεί αφού η συσκευή αφαλάτωσης και κατά συνέπεια και ο εξατμιστής δεν τοποθετούνται παράλληλα στο έδαφος (οριζόντιο επίπεδο) αλλά υπό συγκεκριμένη κλίση, s .

Όπως και στους υπολογισμούς του οριζοντίου επιπέδου έτσι και εδώ η I_T αποτελείται από την άμεση και την διάχυτη ακτινοβολία και επιπλέον την ανακλώμενη ακτινοβολία απ' τον περιβάλλοντα χώρο. Η παραδοχή αυτή βασίζεται στο δισδιάστατο μοντέλο Liu-Jordan και εκφράζεται από την παρακάτω σχέση (Liu και Jordan, 1963) :

$$I_T = I_{dir}R_b + I_{dif}\left(\frac{1 + \cos s}{2}\right) + I_{rg}\left(\frac{1 - \cos s}{2}\right) \quad (3.16)$$

Στην παραπάνω σχέση στο δεξί μέλος, ο πρώτος όρος αποτελεί την άμεση ωριαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο κλίσης s . Το R_b είναι το κλάσμα της άμεσης ωριαίας προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο κλίσης s προς την I_{dir} και για το βόρειο ημισφαίριο εκτιμάται ως εξής (Sukhatme ,1984).

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - s) \cos \delta \cos \omega + \sin(\varphi - s) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta} \quad (3.17)$$

Αν λοιπόν το R_b πολλαπλασιαστεί με το I_{dir} μας δίνει την άμεση ωριαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο κλίσης s .

Ο δεύτερος όρος είναι η διάχυτη ωριαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο κλίσης s . Τέλος ο τρίτος όρος αποτελεί την ανακλώμενη από τον περιβάλλοντα χώρο ωριαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο κλίσης s με το r_g , ως την ανακλαστικότητα σε ακτινοβολία του περιβάλλοντα χώρου του εξατμιστή (συνήθως παίρνει την τιμή 0.25).

Έτσι λοιπόν μπορεί να υπολογιστεί η συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στον εξατμιστή της συσκευής αφαλάτωσης για κάθε ώρα οποιασδήποτε ημέρας του έτους. Σαφώς ο αναλυτικός υπολογισμός τόσο μεγάλου αριθμού δεδομένων δεν είναι απαραίτητος στην παρούσα φάση .

Επιπλέον τα δεδομένα της καθαρότητας της ατμόσφαιρας του ελλαδικού χώρου δεν είναι καθημερινά αλλά μηνιαία . Στην περίπτωση λοιπόν που κανείς θα ήθελε τα ακριβή στοιχεία για την ακτινοβολία που δέχεται ο εξατμιστής κάθε ώρα κάθε μέρας του χρόνου θα έπρεπε να διαθέτει και τον αντίστοιχο συντελεστή καθαρότητας της ατμόσφαιρας k_T .

Σε ότι αφορά την παρούσα μελέτη το πρόβλημα του τεράστιου όγκου δεδομένων αντιμετωπίστηκε ως εξής. Από τους δώδεκα μήνες του έτους επιλέχθηκαν ο Ιανουάριος και ο Ιούλιος, όπου η ακτινοβολία παίρνει την ελάχιστη και την μέγιστη τιμή της αντίστοιχα. Συγκεκριμένα για τον κάθε μήνα από τα ημερήσια δεδομένα άμεσης και διάχυτης ακτινοβολίας H_{dir} και H_{dif} υπολογίζεται μία μέση ημέρα του μήνα Ιανουαρίου και Ιουλίου αντίστοιχα.

Ύστερα ακολουθείται για κάθε μέση ημέρα η παραπάνω διαδικασία και υπολογίζεται τελικά η μέση ωριαία ολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία για μία μέση ημέρα, $I_{TotalAVG}(kW/m^2/hour)$ του μήνα Ιανουαρίου και Ιουλίου αντίστοιχα. Τα παραπάνω υλοποιήθηκαν αναλυτικά μέσω του φύλλου εργασίας «*ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ*» το οποίο επισυνάπτεται και παρακάτω παρατίθενται τα σχετικά αποτελέσματα.



ΣΧΗΜΑ 3.1: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΩΡΙΑΙΑΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΜΙΑΣ ΗΜΕΡΑΣ ΤΟΥ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΙΟΥΛΙΟΥ

Απ' το παραπάνω διάγραμμα παρατηρείται ,όπως αναμενόταν, πως τον Ιούλιο η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι σημαντικά υψηλότερη από αυτή του Ιανουαρίου και ορισμένες ώρες ακόμα και τριπλάσια. Πέραν της αυξημένης έντασης της ακτινοβολίας παρατηρείται αύξηση και στο χρονικό εύρος στο οποίο ο εξατμιστήρας δέχεται ηλιακή ακτινοβολία. Συγκεκριμένα για μια

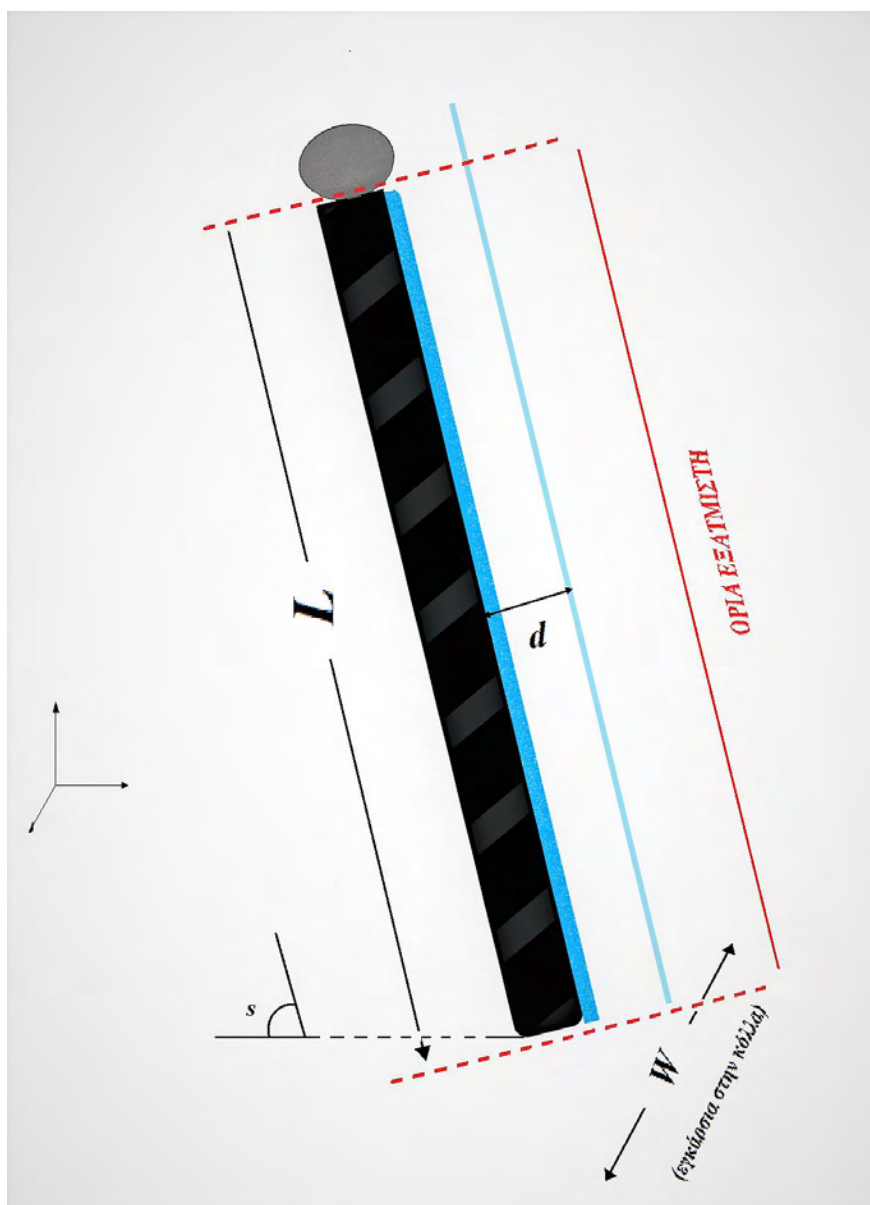
μέση ημέρα του Ιανουαρίου ο εξατμιστήρας δέχεται ηλιακή ακτινοβολία για διάστημα εννέα ωρών (απ' τις 8:00-16:00) ενώ τον Ιούλιο για διάστημα δεκατριών ωρών (απ' τις 6:00-18:00).

Τέλος είναι προφανές πως αυτή η τεράστια διαφορά στην συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία μεταξύ μιας μέσης ημέρας του Ιανουαρίου και μιας του Ιουλίου θα σημαίνει και μια αντίστοιχη διαφορά στο συνολικό ημερήσιο ποσό αφαλατωμένου νερού που μπορεί να παρέχει η συσκευή αφαλάτωσης. Η διαφορά αυτή θα παρουσιαστεί σε επόμενο κεφάλαιο εφόσον έχει επιλεγεί ο μέγιστης απόδοσης εξατμιστής.

4.ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Στο παρόν κεφάλαιο θα διερευνηθεί η επιρροή που έχουν ορισμένοι παράγοντες στην λειτουργία της συσκευής και κατά συνέπεια στην τελική παροχή γλυκού νερού. Οι παράγοντες αυτοί αφορούν κυρίως την γεωμετρία της συσκευής αλλά και την παροχή θαλασσινού νερού που επιλέγεται να ρέει με την μορφή υγρού υμένα επί της θερμαινόμενης μαύρης πλάκας.

Οι εν λόγω παράγοντες είναι συνολικά τρεις και παρακάτω θα αναλυθεί ξεχωριστά η επίδραση που επιφέρει στο σύστημα, η μεταβολή του καθενός, όταν οι υπόλοιποι δύο μένουν σταθεροί.



ΣΧΗΜΑ 4.1(2.4) : ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ

4.1.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Όπως περιεγράφηκε στο δεύτερο κεφάλαιο, το θαλασσινό νερό έρχεται απευθείας από την θάλασσα, εισέρχεται στο ανοξείδωτο κυλινδρικό δοχείο και πέφτει στην μαύρη θερμαινόμενη πλάκα σε μορφή πίπτοντος υμένα. Η επιλογή της παροχής του θαλασσινού νερού επηρεάζει όχι μόνο την ταχύτητα με την οποία θα ρέει ο υγρός υμένας αλλά πολύ σημαντικότερα επηρεάζει την θερμοκρασία εξόδου του αέριου ρεύματος $T_{AIRout}(K)$, την ταχύτητα ανακυκλοφορίας του αέριου ρεύματος $u_a(m/s)$ και σαφέστατα το ποσό γλυκού νερού που εξατμίζεται και επομένως την τελική παροχή γλυκού νερού $\Delta m(kgA/h)$.

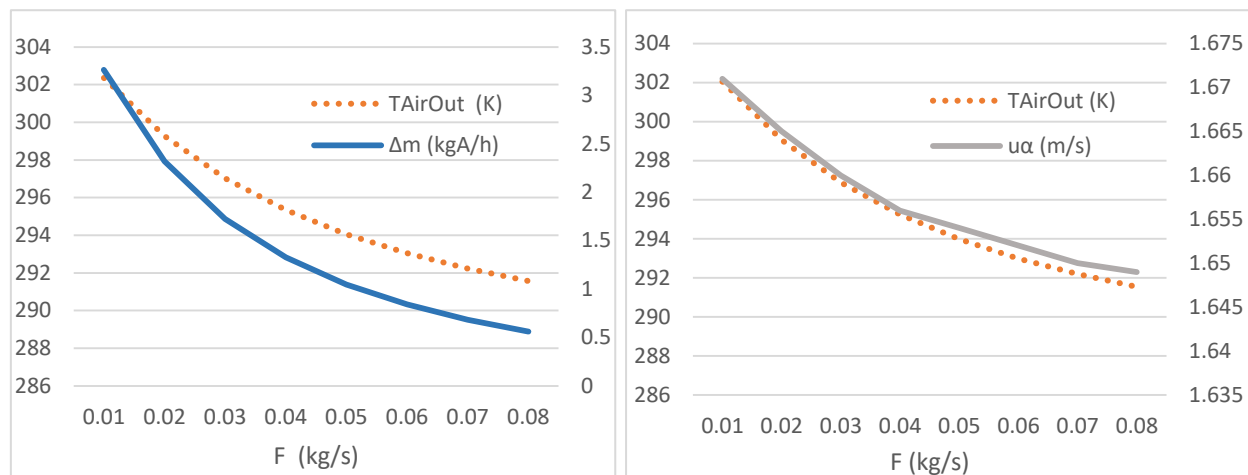
Ο τρόπος με τον οποίο η παροχή θαλασσινού νερού $F(kg/s)$, επηρεάζει τα παραπάνω μπορεί να γίνει αντιληπτός ως εξής. Στο δεύτερο κεφάλαιο τονίστηκε πως απαιτείται η αυθαίρετη επιλογή της θερμοκρασίας του αέριου ρεύματος εξόδου $T_{AIRout}(K)$ και πως επιλέγεται τέλος η κατάλληλη, επαληθεύοντας μέσω του *Ενεργειακού Ισοζυγίου στον Εξατμιστή* όταν επιτευχθεί η επιθυμητή *Ακρίβεια (%)*. Ένας από τους όρους του ισοζυγίου είναι ο $F*H_F$ που δηλώνει την θερμότητα που έχει το θαλασσινό ρεύμα κατά την είσοδο του στον εξατμιστή. Γίνεται λοιπόν εμφανής η επιρροή της μεταβολής της παροχής θαλασσινού νερού $F(kg/s)$, μέσω του *Ενεργειακού Ισοζυγίου στον Εξατμιστή*, στην $T_{AIRout}(K)$, την $u_a(m/s)$ και κατά συνέπεια την $\Delta m(kgA/h)$.

Για την καλύτερη κατανόηση των επιδράσεων των διάφορων παραγόντων, επιλέγεται εξατμιστής με μαύρη θερμαινόμενη πλάκα ύψους $L=2(m)$, πλάτους $w=1(m)$, απόστασης μεταξύ μαύρης πλάκας και τζαμιού $d=0.02(m)$. Ο εξατμιστής θα τοποθετηθεί σε κλίση $s=60^\circ$ και η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία θα είναι σταθερή και ίση με την ηλιακή σταθερά $G_{sc}=1367 (W/m^2)$. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4.1) παρουσιάζονται οι τιμές που προκύπτουν στα κύρια μεγέθη $T_{AIRout}(K)$, $u_a(m/s)$, $\Delta m(kgA/h)$ για τις διάφορες τιμές της παροχής θαλασσινού νερού $F(kg/s)$.

Για εξατμιστή (L=2m, w=1m, d=0,02m)					
F (kg/s)	T _{AIROut} (K)	u _a (m/s)	u _a (km/h)	Δm (kgA/h)	Ακρίβεια (%)
0.01	302.355	1.611	5.7996	3.264	99.9994
0.02	299.27	1.605	5.778	2.319	99.9987
0.03	297.02	1.6	5.76	1.725	99.9994
0.04	295.34	1.596	5.7456	1.328	99.9996
0.05	294.05	1.593	5.7348	1.047	99.9983
0.06	293.05	1.59	5.724	0.842	99.9976
0.07	292.23	1.588	5.7168	0.683	99.998
0.08	291.57	1.587	5.7132	0.561	99.9992

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΑΡΟΧΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

Βάσει του παραπάνω πίνακα, παρατηρείται πως αυξάνοντας την παροχή θαλασσινού νερού $F(kg/s)$ υπάρχει μια μικρή μείωση τόσο στην θερμοκρασία εξόδου του αέριου ρεύματος $T_{AirOut}(K)$ όσο και στην ταχύτητα ανακυκλοφορίας του αέρα $u_a(m/s)$ (Πίνακας 4.1), αλλά μία έντονη μείωση στην τελική παροχή γλυκού νερού $\Delta m(kgA/h)$.



ΣΧΗΜΑ 4.2(Α)&(Β): ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΕΙΣΟΔΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ

4.2.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΨΟΥΣ ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΗΣ ΠΛΑΚΑΣ

Έχει γίνει σαφές ως τώρα πως η μαύρη πλάκα επιτελεί τον, υψίστης σημαντικότητας, σκοπό της θέρμανσης του θαλασσινού νερού που ρέει πάνω της, έτσι ώστε μέρος αυτού να εξατμιστεί και να καταλήξει στη δεξαμενή γλυκού νερού. Τονίστηκε επίσης πως η θέρμανση αυτή, γίνεται λόγω της ακτινοβολίας που μπορεί και απορροφά η μαύρη πλάκα και εν συνεχεία προσφέρει στον υγρό υμένα που ρέει πάνω της. Συνεπώς η μεταβολή του ύψους της θερμαινόμενης μαύρης πλάκας $L(m)$, επηρεάζει την θερμότητα που δέχεται το θαλασσινό νερό και συνεπώς το ποσό γλυκού νερού που καταφέρνει να εξατμιστεί.

Η παραπάνω εξάρτηση οφείλεται στο γεγονός ότι εφόσον έχει επιλεγεί ένας συγκεκριμένος εξατμιστής, συγκεκριμένων διαστάσεων, μεταβάλλοντας μονάχα το ύψος $L(m)$, μεταβάλλεται η συνολική επιφάνεια της μαύρης πλάκας $A(m^2)$.

$$A = L * w \quad (4.1)$$

Η μεταβολή της επιφάνειας $A(m)$ επηρεάζει με την σειρά της, την συνολική ακτινοβολία που καταφέρνει να απορροφήσει η θερμαινόμενη πλάκα και αυτομάτως την συνολική θερμότητα που προσφέρεται από την πλάκα στον υμένα θαλασσινού νερού που ρέει πάνω της, $Q_{πλάκας}$ (kW).

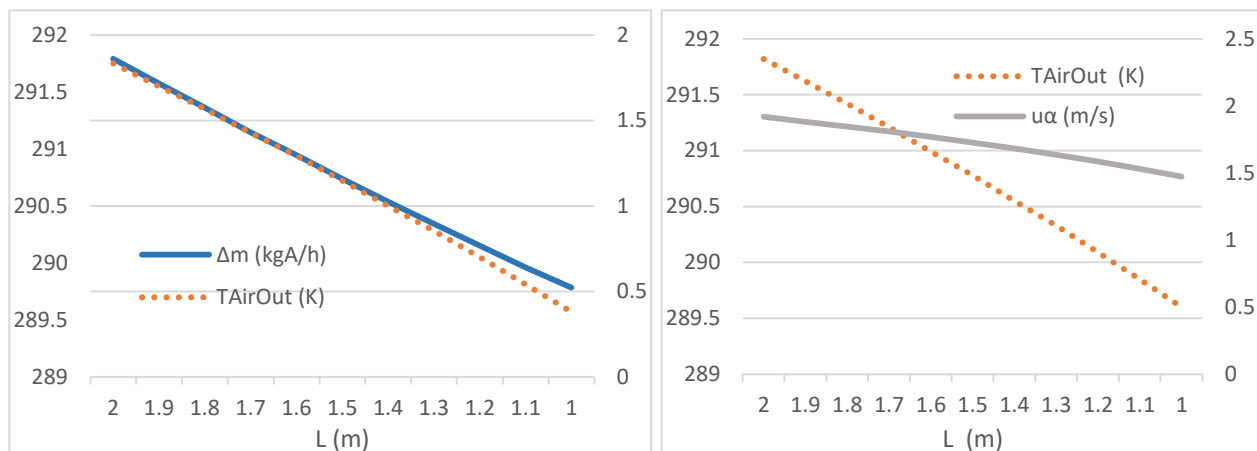
$$Q_{πλάκας} = \tau * \alpha * I_{TOTALAVG} * A \quad (4.2)$$

Επομένως αναμένεται, με βάση τα παραπάνω, πως μειώνοντας το ύψος της θερμαινόμενης μαύρης πλάκας $L(m)$, όπως και προηγουμένως με την επίδραση της παροχής θαλασσινού νερού έτσι και τώρα επηρεάζεται το *Ενεργειακό Ισοζύγιο στον Εξατμιστή* με αποτέλεσμα να μειώνεται η τελική παροχή γλυκού νερού $\Delta m(kgA/h)$.

Για εξατμιστή (d=0.05m, w=1m, F=0,05kg/s)					
L (m)	T _{AirOut} (K)	u _α (m/s)	u _α (km/h)	Δm (kgA/h)	Ακρίβεια (%)
2	291.82	1.92	6.912	1.83	99.99893
1.9	291.62	1.882	6.7752	1.689	99.9996
1.8	291.42	1.918	6.9048	1.574	99.998137
1.7	291.21	1.809	6.5124	1.413	99.9982
1.6	290.99	1.769	6.3684	1.274	99.9971
1.5	290.78	1.727	6.2172	1.143	99.9978
1.4	290.55	1.683	6.0588	1.009	99.9975
1.3	290.33	1.636	5.8896	0.883	99.9968
1.2	290.09	1.585	5.706	0.755	99.9998
1.1	289.85	1.531	5.5116	0.633	99.9981
1	289.6	1.473	5.3028	0.514	99.9974

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΨΟΥΣ ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΗΣ ΠΛΑΚΑΣ

Παρατηρώντας κανείς τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 4.2), διαπιστώνει πως επαληθεύεται η αρχική εκτίμηση, μείωσης της παροχής $\Delta m(kgA/h)$ όταν μειώνεται το ύψος $L(m)$ (ή αλλιώς και μήκος της πλάκας). Παράλληλα μείωση σημειώνουν τόσο η θερμοκρασία εξόδου του αέριου ρεύματος $T_{AIRout}(K)$ όσο και η ταχύτητα ανακυκλοφορίας του αέριου ρεύματος $u_{\alpha}(m/s)$. Η μείωση βέβαια που υφίσταται η παροχή γλυκού νερού είναι πολύ πιο έντονη συγκριτικά με τα άλλα δύο μεγέθη $T_{AIRout}(K)$ και $u_{\alpha}(m/s)$. Στην καλύτερη κατανόηση των παραπάνω βοηθούν τα διαγράμματα (Εικόνες 4.3(α), (β)).



ΣΧΗΜΑ 4.3(Α)&(Β): ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΥΦΟΥΣ ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΗΣ ΠΛΑΚΑΣ

4.3.ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΜΕΤΑΞΥ ΘΕΡΜΑΙΝΟΜΕΝΗΣ ΜΑΥΡΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΚΑΙ ΤΖΑΜΙΟΥ

Η απόσταση μεταξύ της θερμαινόμενης μαύρης πλάκας επηρεάζει άμεσα την διατομή διαθέσιμη για να κινείται το αέριο ρεύμα της συσκευής αφαλάτωσης. Η διατομή αυτή λαμβάνεται υπόψιν ως η υδραυλική διάμετρος του καναλιού D_h . Η οποία όπως υπολογίστηκε και στο κεφάλαιο *Ανάλυση-Σχεδιασμός Συσκευής Αφαλάτωσης με Ηλιακό Εξατμιστήρα Πίπτοντος Υγρού Υμένα* υπενθυμίζεται

$$D_h = 2 * w * d / (w + d) \quad (4.3)$$

Αυξάνοντας επομένως την απόσταση d , αυξάνεται και η διάμετρος D_h . Η αύξηση αυτή επηρεάζει και συγκεκριμένα αυξάνει σημαντικά την ταχύτητα ανακυκλοφορίας του αέρα $u_a(m/s)$ και αυτό γίνεται αντιληπτό από την σχέση (4.4)

$$u_a = \sqrt{\frac{2 * L * g * \sin(s) * (\rho_o - \rho_{air})}{\left(f * \frac{L}{D_h} + k_{in} + k_{out}\right) * \rho_{air}}} \quad (4.4)$$

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται το ακριβές μέγεθος της εξάρτησης αυτής

Για εξατμιστή (L=2m, w=1m, F=0,05kg/s)					
d (m)	T _{AirOut} (K)	u _α (m/s)	u _α (km/h)	Δm (kgA/h)	Ακρίβεια (%)
0.01	295.4	1.293	1.343	0.543	99.9982
0.02	294.05	1.593	5.7348	1.047	99.9983
0.03	293.08	1.75	6.3	1.4	99.9975
0.04	292.36	1.849	6.6564	1.648	99.9995
0.05	291.82	1.92	6.912	1.83	99.9989
0.06	291.4	1.966	7.0776	1.969	99.9984
0.07	291.07	1.003	3.6108	2.081	99.9976
0.08	290.795	2.033	7.3188	2.166	99.999
0.09	290.57	2.057	7.4052	2.239	99.9969
0.1	290.375	2.077	7.4772	2.293	99.9997

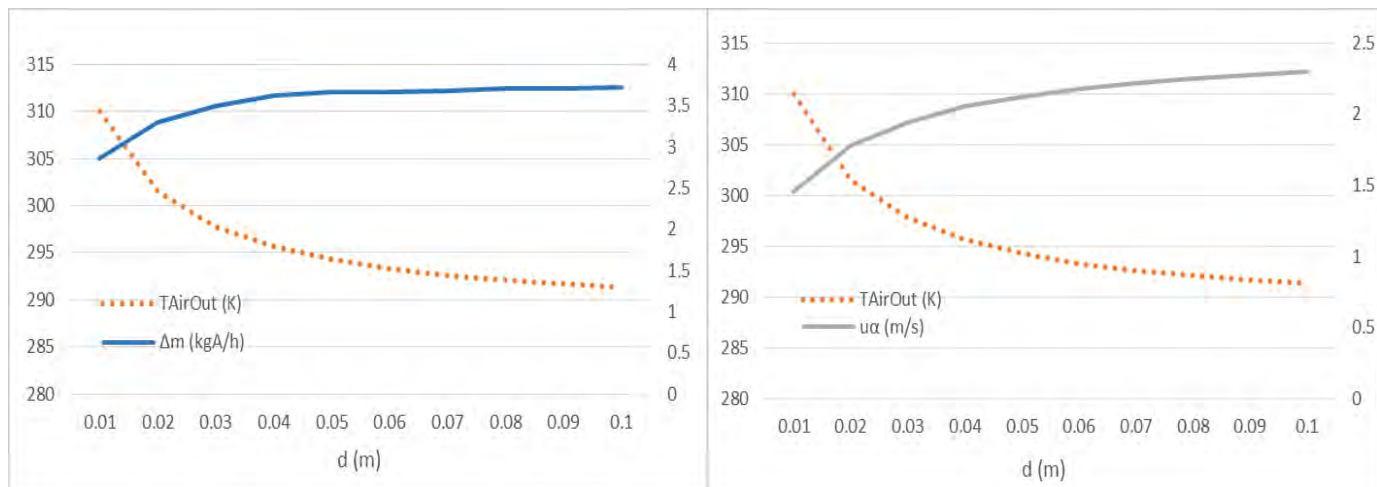
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΠΑΧΟΥΣ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ

Πέραν όμως της αύξησης της ταχύτητας u_a , μέσω του παραπάνω πίνακα διακρίνεται μια πολύ σημαντική αύξηση της παροχής αφαλατωμένου νερού, $\Delta m(\text{kgA/h})$. Συγκεκριμένα αυξάνοντας την απόσταση μεταξύ πλάκας και τζαμιού, $d(m)$ από 0.01 σε 0.03 η παροχή $\Delta m(\text{kgA/h})$ αυξήθηκε από 2.86 σε 3.5. Μια τέτοια αύξηση θα αποτελούσε εξαιρετικά θετικό αποτέλεσμα για την συσκευή αφαλάτωσης, δυστυχώς όμως είναι αμφίβολο αν είναι αληθής.

Υπενθυμίζεται πως στο κεφάλαιο «Ανάλυση-Σχεδιασμός Συσκευής Αφαλάτωσης με Ηλιακό Εξατμιστήρα Πίπτοντος Υγρού Υμένα» και συγκεκριμένα στο υποκεφάλαιο «Λειτουργία Συσκευής» έγινε η παραδοχή πως το αέριο ρεύμα κατά την έξοδο του απ' τον εξατμιστή έχει θερμανθεί και υγρανθεί έως και τον κορεσμό. Επίσης τονίστηκε πως από μια τιμή και πάνω, του πάχους $d(m)$ (απόσταση μαύρης πλάκας-γυάλινου καλύμματος), αυτή η παραδοχή παύει να ισχύει και το αέριο ρεύμα δεν μπορεί να ναι κορεσμένο κατά την έξοδο του απ' τον εξατμιστή.

Επομένως η ραγδαία αύξηση της παροχής $\Delta m(\text{kgA/h})$ είναι πιθανόν να οφείλεται στην παραπάνω παραδοχή, η οποία ίσως να μην ισχύει για τη συγκεκριμένη τιμή $d(m)$ όπου και θα πρέπει να ακολουθηθεί η διαδικασία υπολογισμού που αναφέρεται στο υποκεφάλαιο «Λειτουργία Συσκευής».

Παρόλα αυτά παρατίθενται με κάποια επιφύλαξη τα παρακάτω διαγράμματα :



ΣΧΗΜΑ 4.4(A)&(B) : ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΠΑΧΟΥΣ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ

Όλοι οι παραπάνω πίνακες και τα διαγράμματα προέρχονται από το φύλλο εργασίας *ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ.xlsx* το οποίο δημιουργήθηκε για την παρούσα διπλωματική.

Το πρόγραμμα αξιοποιεί το κύριο πρόγραμμα *Εξατμιστής.xlsx*. Στο πρόγραμμα συλλέχθηκαν και εμπεριέχονται οι διάφορες τιμές που προκύπτουν, για κάθε παράμετρο της συσκευής που μεταβάλλεται. Ανάμεσα στις οποίες η τελική παροχή γλυκού νερού, Δm (kgA/h), η θερμοκρασία εξόδου T_{AIRout} (K), η ταχύτητα του αέριου ρεύματος στον εξατμιστή (και κατά συνέπεια εντός όλης της συσκευής) u_α (km/h) κ.α.. Το φύλλο εργασίας αυτό, μαζί με τα υπόλοιπα προγράμματα που δημιουργήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία, επισυνάπτεται ως *Παράρτημα*.

4.4.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΤΙΚΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ


Με βάση το παραπάνω υποκεφάλαιο μπορούν να σκιαγραφηθούν, έως τον βαθμό που επιτρέπει η μελέτη της παρούσας διπλωματικής, τα χαρακτηριστικά του ιδανικού εξατμιστή με σκοπό την μέγιστη δυνατή παροχή αφαλατωμένου νερού.

Αρχικά θα πρέπει να λειτουργεί με την ελάχιστη δυνατή παροχή θαλασσινού νερού F (kg/s), η οποία βέβαια έχει μια ελάχιστη δυνατή τιμή που μπορεί να πάρει ώστε οριακά η θερμαινόμενη πλάκα να διαβρέχεται πλήρως. Η ελάχιστη επιτρεπόμενη τιμή έχει υπολογιστεί στο υποκεφάλαιο 2.3. *Διαβροχή Θερμαινόμενης Πλάκας* και αφορά την περίπτωση όπου η πλάκα είναι λεία και τοποθετημένη κατακόρυφα δλδ σε κλίση 90° . Στην πραγματικότητα η πλάκα τοποθετείται σε κλίση s μικρότερη των 90° (παρακάτω θα επιλεγθεί $s=60^\circ$) και το υλικό της είναι επιφανειακά

τραχύ, με αποτέλεσμα η οριακή τιμή για την οποία διατηρείται η πλήρης διαβροχή της πλάκας να 'ναι μικρότερη ακόμα και υποδιπλάσια αυτής που έχει υπολογιστεί.

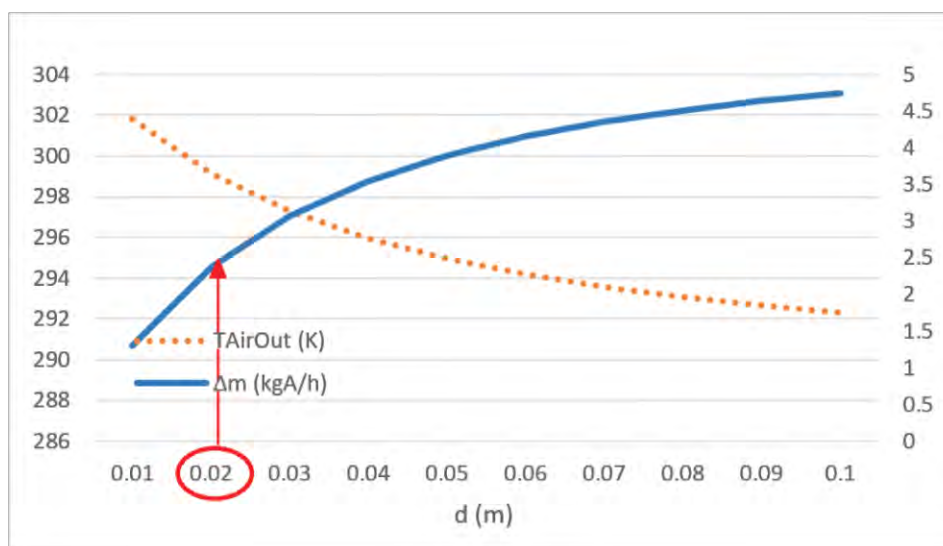
Σε ότι αφορά το ύψος του εξατμιστή έγινε αντιληπτό πως όσο μεγαλύτερο είναι τόσο αυξάνεται η θερμοκρασία που αποκτά ο υγρός υμένας, όχι γραμμικά αλλά με ακόμα μεγαλύτερο ρυθμό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εξατμίζεται και συνεπώς να συμπυκνώνεται τελικά περισσότερο αφυδατωμένο νερό. Το ύψος δύο μέτρων είναι ιδανικό καθώς μεγαλύτερο θα δυσχέραινε την μεταφορά, την συντήρηση-καθαρισμό της συσκευής αλλά και την πιθανή οικιακή χρήση της.

Τέλος έγινε σαφές πως αυξάνοντας την διάσταση $d(m)$, δηλαδή την απόσταση μεταξύ θερμαινόμενης πλάκας και γυάλινου καλύμματος του εξατμιστή, αυξάνεται κατά πολύ η παροχή αφυδατωμένου νερού. Τονίστηκε επίσης ο περιορισμός της παραδοχής πλήρους κορεσμού του αέριου ρεύματος εξόδου. Για τον λόγο αυτό υπογραμμίζεται για ακόμα μια φορά η ανάγκη απάντησης αυτού ερωτήματος που γεννήθηκε με την παρούσα μελέτη, σε οποιαδήποτε μετέπειτα μελέτη της συσκευής αυτής.

Για εξατμιστή (L=2m, w=1m, F=0,05kg/s)					
d (m)	T _{AirOut} (K)	u _α (m/s)	u _α (km/h)	Δm (kgA/h)	Ακρίβεια (%)
0.01	301.8	1.353	4.8708	1.295	99.99481
 0.02	299.14	1.665	5.994	2.369	99.99768
0.03	297.28	1.827	6.5772	3.067	99.99974
0.04	295.95	1.929	6.9444	3.545	99.99934
0.05	294.96	1.999	7.1964	3.893	99.99759
0.06	294.19	2.049	7.3764	4.153	99.99721
0.07	293.57	2.088	7.5168	4.349	99.99746
0.08	293.07	2.119	7.6284	4.509	99.99799
0.09	292.66	2.143	7.7148	4.646	99.99567
0.1	292.3	2.163	7.7868	4.743	99.99508

ΣΧΗΜΑ 4.5(Α): ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΑΧΟΥΣ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ

Σε ό,τι αφορά την παρούσα μελέτη παρατηρείται πως από μια τιμή του $d(m)$ και πάνω δεν αλλάζει σημαντικά η τελική παροχή αφυδατωμένου νερού παρά μόνο αυξάνεται η απόκλιση από την προαναφερθείσα παραδοχή. Συνεπώς επιλέγεται σχεδόν αυθαίρετα μια τιμή στο εύρος [0.01-0.1] η οποία θα αποτρέψει όσο το δυνατόν, την απόκλιση από την παραδοχή του κορεσμένου αέριου ρεύματος εξόδου από τον εξατμιστή. Επιλέγεται επομένως η σχεδόν μικρότερη τιμή του $d(m)=0.02(m)$. Για την καλύτερη κατανόηση η επιλογής της παραμέτρου $d(m)$ απεικονίζεται και στα Σχήματα (4.5(α) & 4.5(β)).



ΣΧΗΜΑ 4.5(β): ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΑΧΟΥΣ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ

Με βάση τα παραπάνω μπορεί να δημιουργηθεί ο βέλτιστος εξατμιστής ο οποίος θα υπακούει στους παραπάνω περιορισμούς και θα έχει την μέγιστη δυνατή απόδοση αφαιραμένου νερού. Για την εύρεση αυτού δοκιμάστηκαν διάφορες τιμές, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.4 :

$I_{total_{AVG}}$ (W/m ²)	w (m)	F (kg/s)	d (m)	L (m)	T_{AirOut} (K)	u_a (m/s)	u_a (km/h)	Δm (kgA/h)	Ακρίβεια (%)
1367	1	0.05	0.05	2	291.82	1.92	6.912	1.83	99.999
1367	1	0.05	0.04	2	292.36	1.849	6.6564	1.648	99.999
1367	1	0.05	0.02	2	294.05	1.593	5.7348	1.047	99.998
1367	1	0.025	0.02	2	298.06	1.602	5.7672	1.991	99.999
2172	1	0.05	0.05	2	294.48	1.924	6.9264	3.434	99.998
2172	1	0.05	0.04	2	295.39	1.857	6.6852	3.116	99.998
2172	1	0.05	0.02	2	298.29	1.602	5.7672	2.052	99.999
2172	1	0.025	0.02	2	303.58	1.614	5.8104	3.685	99.998

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4 : ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΔΥΝΑΤΟΥ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ

Κάθε γραμμή αποτελεί έναν διαφορετικό εξατμιστή και κάθε στήλη υποδηλώνει κάποιο χαρακτηριστικό του. Τα κελιά του παραπάνω πίνακα που έχουν κόκκινο χρώμα σημαίνει πως το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό του εξατμιστή καταπατά τον αντίστοιχο περιορισμό που έχει τεθεί. Αντίθετα τα πράσινα κελιά υποδηλώνουν πως το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό υπόκειται στους κατάλληλους περιορισμούς. Κατά συνέπεια ο ιδανικός εξατμιστής θα είναι αυτός με την μέγιστη

παροχή αφαλατωμένου νερού $\Delta m(kgA/h)$, ο οποίος παράλληλα δεν θα καταπατά κανέναν περιορισμό, δεν θα έχει επομένως κανένα κόκκινο κελί στον παραπάνω πίνακα.

Βάσει αυτών φαίνεται πως ο ιδανικός εξατμιστής είναι αυτός με ύψος $L=2(m)$, πλάτος $w=1(m)$, παροχή θαλασσινού νερού στην είσοδο $F=0,05(kg/s)$ και πάχος $d=0,02(m)$. Όπως αναφέρθηκε στην αρχή του υποκεφαλαίου η τιμή $F=0,05(kg/s)$ επιλέγεται ως η ελάχιστη δυνατή για την πλήρη διαβροχή της θερμαινόμενης πλάκας υπό κλίση s , ενδέχεται βέβαια να είναι είτε αρκετά μικρή με αποτέλεσμα να αποτυγχάνει η πλήρης κάλυψη της πλάκας είτε να μπορεί να μειωθεί περαιτέρω έτσι ώστε να αυξηθεί η απόδοση της συσκευής σε αφαλατωμένο νερό.

Για να αποφευχθεί ο αποπροσανατολισμός της παρούσας μελέτης από τον ουσιαστικό σκοπό της τα σημεία στα οποία έγιναν σημαντικές παραδοχές αλλά και αυτά τα οποία χρήζουν περαιτέρω διερεύνησης δεν θα αναλυθούν στο παρόν υποκεφάλαιο. Θα απαριθμηθούν ξεχωριστά στο υποκεφάλαιο « 6. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ » .

Μ.Μ. Ημέρα	Ιανουαρίου		Ιουλίου	
	$I_{TotalAVG}$	$\Delta m(kgA/h)$	$I_{TotalAVG}$	$\Delta m(kgA/h)$
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	425.49799	0.071
7	0	0	975.90349	0.616
8	220.15714	0	1580.2121	1.2978
9	608.36429	0.244	2169.5427	2.048
10	970.93403	0.611	2665.8615	2.7455
11	1227.5184	0.889	2997.4678	3.245
12	1320.0924	0.99	3114.0344	3.427
13	1227.5184	0.889	2997.4678	3.245
14	970.93403	0.611	2665.8615	2.7455
15	608.36429	0.244	2169.5427	2.048
16	220.15714	0	1580.2121	1.2978
17	0	0	975.90349	0.616
18	0	0	425.49799	0.071
19	0	0	0	0
20	0	0	0	0
21	0	0	0	0
22	0	0	0	0
23	0	0	0	0
24	0	0	0	0
ΣΔm(kgA/day)	4.478		23.4736	

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΠΑΡΟΧΗ ΑΦΑΛΑΤΩΜΕΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΥ ΚΑΙ ΙΟΥΛΙΟΥ

Σε ό,τι αφορά τον ιδανικό εξατμιστή στον Πίνακα (4.4) φαίνεται πως απεικονίζεται δύο φορές. Την πρώτη για προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ίση με την ηλιακή σταθερά $G_{sc}=1367(kW/m^2)$ και την δεύτερη ίση με $I_{totalAVG}=2172(kW/m^2/hour)$ (η διαφορά μονάδων των δύο ακτινοβολιών καθώς η δεύτερη είναι ανά ώρα έχει κυρίως επεξηγηματικό σκοπό και όχι φυσική υπόσταση). Ο λόγος για τον οποίο δοκιμάστηκαν δυο διαφορετικές ακτινοβολίες είναι για να διαπιστωθεί πως ο ιδανικός εξατμιστής είναι ανεξάρτητος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Έχοντας επομένως επιλέξει τον ιδανικό εξατμιστή σε συνδυασμό με τα δεδομένα του Σχήματος 3.1 μπορεί να εκτιμηθεί η ημερήσια παροχή αφαλατωμένου νερού μια μέση ημέρα του Ιανουαρίου και μια μέση ημέρα του Ιουλίου, όπως φαίνεται στον Πίνακα (4.5). Επίσης όπως αναμενόταν γίνεται φανερό πως το καλοκαίρι όπου η ακτινοβολία δεν είναι μόνο «εντονότερη» αλλά διαρκεί και περισσότερες ώρες το εικοσιτετράωρο, η συσκευή προσφέρει πολλαπλάσιο όγκο αφαλατωμένου νερού απ' ότι τον χειμώνα. Συγκεκριμένα μια ημέρα του Ιανουαρίου όπου η ηλιακή ακτινοβολία είναι ελάχιστη, η συσκευή προσφέρει με τα βίας 4,5 λίτρα αφαλατωμένου νερού ημερησίως. Αντίθετα μια μέση ημέρα του Ιουλίου η συσκευή είναι ικανή να προσφέρει έως και 24 λίτρα. Η τεράστια αυτή διαφορά μεταξύ της ελάχιστης και της μέγιστης δυνατής παροχής θα μπορούσε να καταστήσει την συσκευή μη λειτουργική αρκεί όμως κανείς να συνειδητοποιήσει πως η μικρές παροχές αφαλατωμένου νερού αντιστοιχούν σε χειμερινούς μήνες όπου οι βροχές δεν είναι σπάνιες και οι λίμνες και τα ποτάμια καλύπτουν εύκολα την ζήτηση σε γλυκό νερό. Αντίστοιχα όσο το κλίμα γίνεται θερμότερο με αποκορύφωμα τα μέσα του Ιουλίου εμφανίζονται ξηρασίες και καύσωνες με αποτέλεσμα να αυξάνεται δραστικά η ζήτηση σε γλυκό νερό, τότε είναι που αυξάνεται έως και έξι φορές η απόδοση της συσκευής.

Η παραπάνω τιμές αφορούν βέβαια την τοποθέτηση της συσκευής στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στην περιοχή του Βόλου. Σε διαφορετικές περιοχές με διαφορετικό κλίμα όπως η Κρήτη και ιδιαίτερα σε άλλες χώρες που βρίσκονται πιο κοντά στον Ισημερινό με υψηλότερη ηλιακή ακτινοβολία αλλά και καθαρότητα ατμόσφαιρας (λιγότερο συννεφιασμένος καιρός), κυρίως κατά τους χειμερινούς μήνες η απόδοση της συσκευής αναμένεται σημαντικά μεγαλύτερη.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συγκεκριμένη μελέτη του νέου αυτού τρόπου αφαλάτωσης στον εξατμιστήρα της συσκευής, φανερώνει πως η ηλιακή αφαλάτωση δεν είναι απλώς μια παλαιά μέθοδος η οποία απλώς προκαλεί αίσθημα θαυμασμού για την εφευρετικότητα της ανθρωπότητας τα παλιότερα έως και τα αρχαία χρόνια. Η ηλιακή αφαλάτωση μπορεί, ακόμα και σήμερα, να λειτουργήσει καταλυτικά στην αντιμετώπιση της λειψυδρίας κυρίως σε περιπτώσεις έλλειψης κεντρικού ηλεκτρικού δικτύου αλλά και δύσκολων οικονομικών συνθηκών.

Απ' την κοστολογική σκοπιά του θέματος, με τεράστια επιφύλαξη καθώς η μελέτη αποτελεί το παρθενικό ερευνητικό στάδιο της εν λόγω μεθόδου, μπορούν να γίνουν κάποιες εκτιμήσεις. Σε ό,τι αφορά τα υλικά κατασκευής, δηλαδή το αρχικό-πάγιο κόστος της συσκευής, είναι καθημερινά φθηνά υλικά του εμπορίου. Το λειτουργικό κόστος εκτιμάται να ναι και αυτό ελάχιστο καθώς η συσκευή αξιοποιεί το θαλασσινό νερό αλλά και την ηλιακή ακτινοβολία, δύο άφθονα στη φύση «υλικά». Εξοικονομείται έως και η χρήση ανεμιστήρα κυκλοφορίας του αέριου ρεύματος, καθώς δημιουργείται φυσική ανακυκλοφορία εντός της συσκευής. Συνεπώς το μόνο λειτουργικό κόστος είναι αυτό της λειτουργίας μιας αντλίας παροχής θαλασσινού νερού σε χαμηλή πίεση. Τα έξοδα συντήρησης αναμένονται και αυτά χαμηλά καθώς πέραν της αντλίας δεν υπάρχουν άλλα κινητά μέρη στη συσκευή, ούτε μέρη που να απαιτούν συχνή αντικατάσταση (όπως συμβαίνει με τις μεμβράνες της μεθόδου αντίστροφης ώσμωσης).

Μεγάλο ενδιαφέρον εμφάνισε η αναλογική σχέση της απόδοσης της συσκευής με την ετήσια κλιματική μεταβολή. Συγκεκριμένα οι αποδόσεις είναι σχετικά μικρές για κρύους και «υγρούς» μήνες ενώ όταν αυξάνεται η θερμοκρασία αλλά και η ξηρότητα του κλίματος (άνοιξη και καλοκαίρι) η συσκευή πολλαπλασιάζει την ικανότητα παροχής αφαλατωμένου νερού. Υπολογίστηκε πως μια μέση μέρα του Ιανουαρίου μπορούν να παραχθούν 4,5 λίτρα αφαλατωμένο νερό, τον Ιούλιο μπορούν να παραχθούν έως και 24 λίτρα.

Τέλος επισημαίνεται πως η συσκευή και κατά συνέπεια όλη η παρούσα μελέτη και οι υπολογισμοί αφορούν εξατμιστήρα πλάτους $w=1m$. Με αυτόν τον τρόπο τα αποτελέσματα είναι ανά ένα μέτρο πλάτους, επιτρέποντας έτσι την εύκολη αρχική εκτίμηση της παροχής αφαλατωμένου νερού μιας συστοιχίας χ τέτοιων συσκευών.

6.ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

6.1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ-ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Στην παρούσα μελέτη έγιναν πολλές παραδοχές οι οποίες μελλοντικά, θα πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω. Αρχικά η παραδοχή πως το αέριο ρεύμα εξόδου θα έχει την ίδια θερμοκρασία με το υγρό ρεύμα εξόδου $T_{AIRout}=T_P$, δεν ευσταθεί πλήρως και θα πρέπει να γίνει ακριβής ανάλυση συναρτήσεως του μήκους του εξατμιστή.

Επίσης θα πρέπει να γίνει διαφορική ανάλυση στον εξατμιστή, ώστε να βρεθεί μια κατανομή θερμοκρασίας τόσο του υγρού ρεύματος θαλασσινού νερού όσο και του αέριου. Αντίθετα στην παρούσα μελέτη θεωρήθηκε ομοιόμορφη θερμοκρασία T_{AIR} στο εσωτερικό του εξατμιστή και κατά συνέπεια σταθερές ιδιότητες αλλά και ταχύτητες.

Οι παραπάνω περιπτώσεις παρόλο που απαιτούν περαιτέρω διερεύνηση αναμένεται να μην επηρεάσουν δραματικά τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Δε συμβαίνει όμως το ίδιο και με την παραδοχή που έγινε, η οποία θεωρούσε το αέριο ρεύμα στην έξοδο του εξατμιστή πλήρως κορεσμένο. Για την συγκεκριμένη έγινε λόγος στο δεύτερο κεφάλαιο και παρατέθηκαν τα φαινόμενα και οι αρχικές εξισώσεις που περιγράφουν την περίπτωση στην οποία παύει να ισχύει η παραδοχή. Η βαθύτερη διερεύνηση της περίπτωσης όπου το αέριο ρεύμα δεν εξέρχεται κορεσμένο του εξατμιστή ενδέχεται όχι μόνο να αλλάξει τον προσανατολισμό της παραμετρικής διερεύνησης του εξατμιστή αλλά και να ανατρέψει σημαντικά τα έως τώρα αποτελέσματα.

6.2. ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ

Πέραν των πλήρως θεωρητικών προβλημάτων που προκύπτουν μέσω ορισμένων παραδοχών υπάρχουν και πιο πρακτικά προβλήματα που επηρεάζουν εξίσου την απόδοση και την λειτουργία της συσκευής αφαλάτωσης. Τέτοιο θα μπορούσε να είναι ο παρασυρμός αλάτων στο αέριο ρεύμα με αποτέλεσμα οι συμπτυκνωμένοι υδρατμοί να περιέχουν μικρή ποσότητα αλάτων και όχι πλήρως αφαλατωμένο νερό. Το πρόβλημα αυτό, εφόσον ο υγρός υμένας και το αέριο ρεύμα βρίσκονται σε επαφή και σε αντιρροή, μπορεί να εμφανιστεί εάν η σχετική ταχύτητα του αέριου ρεύματος αυξηθεί σε βαθμό ικανό να παρασύρει μόρια άλατος από την διεπιφάνεια.

Ένα άλλο πρόβλημα που είναι πιθανό να προκύψει κατά τη λειτουργία της συσκευής είναι η συμπτύκνωση των υδρατμών σε περιοχές εκτός του συμπτυκνωτή. Σαφώς οι περιοχές αυτές θα είναι χαμηλότερης θερμοκρασίας απ' αυτή του αέριου ρεύματος που τις διαρρέει. Επομένως τμήματα της συσκευής όπως το γυάλινο κάλυμμα του εξατμιστή, η ανοξεϊδωτη δεξαμενή θαλασσινού νε-

ρού αλλά και τα εσωτερικά τοιχώματα της συσκευής, είναι σημεία στα οποία πιθανόν να δημιουργείται συμπύκνωμα. Απλές μετατροπές στην διάταξη θα επέτρεπαν την συλλογή του πολύτιμου αυτού συμπυκνώματος και την μεταφορά του στο δοχείο συλλογής αφαλατωμένου νερού.

Εκτός των προβλημάτων που αναφέρθηκαν υπάρχουν και ορισμένες βελτιωτικές προτάσεις με σκοπό την αύξηση της απόδοσης της συσκευής . Τέτοια είναι η προθέρμανση του θαλασσινού ρεύματος στην είσοδο του εξατμιστή. Κάτι τέτοιο θα αύξανε την μέση θερμοκρασία του υγρού υμένα με αποτέλεσμα να εξατμίζεται περισσότερο νερό και επομένως να συμπυκνώνεται περισσότερο αφαλατωμένο νερό στο αντίστοιχο δοχείο. Η προθέρμανση αυτή θα πρέπει να μην επιβαρύνει το ενεργειακό κόστος λειτουργίας της συσκευής. Η βελτίωση που θα μπορούσε να γίνει στο συγκεκριμένο θέμα είναι το νερό που εξέρχεται του εξατμιστή προτού εγκαταλείψει την συσκευή αφαλάτωσης, να θερμαίνει το νερό στην είσοδο του εξατμιστή.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Δεληγιάννη Ε., Μπελεσιώτης Β., *Μέθοδοι και Συστήματα Αφαλάτωσης : Αρχές Διεργασιών Αφαλάτωσης*, Αθήνα, (1995)
- Μποντόζογλου, Β., *Εισαγωγή στις Φυσικές Διεργασίες : Θεωρητικό Υπόβαθρο και Βασικές Εφαρμογές*, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Συγγράμματα και Βοηθήματα, (2015)
- Ali M. El-Nasher, Samad M., “A Solar-Assisted Sea Water Multiple Effect Distillation Plant 10 Years of Operating Performance”, *Mediterranean Conference on Renewable Energy Sources for Water Production, Proceedings of the International Conference 10-12 June 1996*, Santorini, Greece, ,CRES, (1996), p. 62-72
- Arampatzis George, Kartalidis Avraam, Assimacopoulos Dionysis, “Responding to Water Challenges Through Desalination: Energy Considerations”, *Desalination*, Dr. Taner Yonar (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/intechopen.69956, (2017)
<https://www.intechopen.com/books/desalination/responding-to-water-challenges-through-desalination-energy-considerations>
- Bandi C.S., Uppaluri R., Kumar A., “Global optimality of hybrid MSF-RO seawater desalination processes”, *Desalination*, 400 (2016), p. 47-59
- Cengel Yunus A., Ghajar Afshin J., *Μεταφορά Μάζας και Θερμότητας*, Τζιόλα, 4^η έκδοση, (2014), (επ.μτφρ, Τσιακάρας Παναγιώτης)
- Delyannis, E., “Historic background of desalination and renewable energies”, *Solar Energy* 75(2003)5, p. 357-366,
- Duffie JA, Beckman WA, *Solar Engineering of Thermal Processes*, Wiley, New York, 2nd edition, (1991)
- Kalogirou Soteris, “Solar Energy for Sea-Water Desalination Selection of the Best System Based on Technoeconomic Factors”, *Mediterranean Conference on Renewable Energy Sources for Water Production, Proceedings of the International Conference 10-12 June 1996*, Santorini, Greece, ,CRES, (1996), p. 197-201
- Lu Yan, Stehmann Friederike, Yuan Sijia, Scholl Stephan, “Falling film on a vertical flat plate – Influence of liquid distribution and fluid properties on wetting behavior”, *Braunschweig : Applied Thermal Engineering*, 23(2017), p. 1386-1395
- McCabe Warren L., Smith Julian C., Harriot Peter, *Βασικές Διεργασίες Χημικής Μηχανικής*, Τζιόλα, 6^η έκδοση, (2015), (μτφρ. Πολυματίδου Σοφία)
- Ong K.S., “A mathematical model of a solar chimney”, *Renewable Energy*, 28 (2003), p. 1047-1060
- Sakonidou E.P., Karapantsios T.D., Balouktsis A.I., Chassapis D., “Modeling of the Optimum Tilt of a Solar Chimney for Maximum Air Flow”, *Solar Energy*, 82 (2008), p. 80-94
- Vaisala, “Humidity Conversion Formulas” Helsinki: Vaisala, (2013)
- https://www.homerenergy.com/support/docs/3.11/published_solar_data.html
- <https://www.dcode.fr/lagrange-interpolating-polynomial>

- <https://www.timeanddate.com/sun/greece/volos>
- https://www.engineeringtoolbox.com/sea-water-properties-d_840.html
- http://www.kayelaby.npl.co.uk/general_physics/2_7/2_7_9.html

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στο παρόν περιέχονται φωτογραφίες των φύλλων εργασίας που δημιουργήθηκαν για τους διάφορους υπολογισμούς της διπλωματικής εργασίας.

Το πρώτο φύλλο εργασίας με τίτλο «ΕΞΑΤΜΙΣΤΗΣ.xlsx» υπολογίζει όλα όσα αναφέρθηκαν στο 2^ο κεφάλαιο και αποτελεί το βασικό φύλλο εργασίας στο οποίο βασίζεται όλος ο σχεδιασμός της συσκευής αφαλάτωσης. Το φύλλο αυτό δέχεται ως εισόδους από τον χρήστη το πάχος $d(m)$, το μήκος $L(m)$ και το πλάτος $W(m)$ του εξατμιστή, την παροχή εισόδου θαλασσινού νερού $F(kg/s)$ καθώς και την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία $G_{sun}(W/m^2)$. Ύστερα ο χρήστης επιλέγει αυθαίρετα μια θερμοκρασία εξόδου $T_{AIRout}(K)$ του αέριου ρεύματος και μέσω δοκιμής και σφάλματος καταλήγει στην επιλογή με την μέγιστη **Ακρίβεια(%)** η οποία κάθε φορά υπολογίζεται αυτόματα και εμφανίζεται μαζί με την ταχύτητα του αέριου ρεύματος $U_a(m/s)$ αλλά και την τελική παροχή αφαλατωμένου νερού ανά ώρα $\Delta m(kgA/h)$.

Όλα τα παραπάνω μπορούν φανούν στα Σχήματα 1&2. Σαφώς υπολογίζονται και κάποιες άλλες τιμές οι οποίες είναι απαραίτητες για τους υπολογισμούς αλλά λαμβάνονται και ως είσοδοι και άλλα στοιχεία όπως η απορροφητικότητα της πλάκας α , η διαπερατότητα του γυάλινου καλύμματος σε ηλιακή ακτινοβολία τ αλλά και η κλίση του εξατμιστή s κτλ.

Όπως φάνηκε η ηλιακή ακτινοβολία παίζει καθοριστικό ρόλο στην λειτουργία της συσκευής και για τον λόγο αυτό υπήρξε ξεχωριστό κεφάλαιο για τον ακριβή υπολογισμό της ανάλογα με την γεωγραφική θέση τοποθέτησης της συσκευής, την κλίση της, σε ωριαία βάση για κάθε μήνα του έτους. Ο αναλυτικός υπολογισμός της ακτινοβολίας αυτής έγινε στο δεύτερο φύλλο εργασίας με τίτλο «ΗΛΙΑΚΗ_ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.xlsx». Στα Σχήματα 3&4 παρατηρείται ο ακριβής υπολογισμός που υπαγορεύει η μεθοδολογία του 3^{ου} κεφαλαίου, η δημιουργία ύστερα μιας μέσης ημέρας για τον εκάστοτε μήνα και οι μετέπειτα υπολογισμοί ώστε να βρεθεί η ωριαία ολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο κλίσης s , $I_{TOTALAVG}$. Τα στιγμιότυπα είναι από το φύλλο εργασίας

Στο Σχήμα 4 παρουσιάζεται ο σύντομος υπολογισμός της ελάχιστης δυνατής παροχής θαλασσινού νερού για την οποία επιτυγχάνεται πλήρης διαβροχή της θερμαινόμενης πλάκας σε κατακόρυφη κλίση. Το στιγμιότυπο προήλθε από το φύλλο εργασίας «»

Τέλος το Σχήμα 5 απεικονίζει μέρος του φύλλου εργασίας «ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ_ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ.xlsx» στο οποίο έγινε η παραμετρική διερεύνηση του εξατμιστή με σκοπό την επιλογή της βέλτιστης διάταξης.

2	Διαστάσεις πλάκας :														
3	$d = 0.02$	m	απόσταση υμένα-κελύφους	$g = 9.81$	m/s^2	$\rho_{water} = 1025$	kg/m^3								
4	$W = 1$	m	εγκάρσιο πλάτος πλάκας	$\beta = 0.00339$	1K	$\nu_{water} = 0.00000658$	m^2/s							ιδιώδες νερού	
5	$L = 2$	m	κατακόρυφο μήκος πλάκας	$\Delta T = 45$	K ή °C	$R = 8.314$	J/mol·K								
6	$A = 2$	m^2	επιφάνεια πλάκας												
7	Από ψυχομετρικό διάγραμμα :														
8	$T_{airIN} = 288$	K	$V_{min} = 0.83$	m^3/kgB	$H_{in} = 84.042847$	kJ/kgB	$W_{in} = 0.02725$	kgA/kgB							
9	$T_{airOUT} = 333$	K	$V_{mout} = 1.175$	m^3/kgB											
10															
11	$F = 0.05$	kg/s	Παροχή εισόδου θαλ. νερού	$\alpha = 0.95$	συντ.σπορ.										
12	$Tf = 288$	K	Θερμοκρασία θαλ.νερ.εισόδου	$G_{sunt} = 3114.03$	W/m^2	προσπίπτ.ηλ.ακτ.								←-----Η ακτινοβολία θα υπολογιστεί καλύτερα σε δεύτερο στάδιο	
13	$cf = 4.005$	kJ/kg/K	at Tf = 288 K	$T = 0.84$	συντ.περατορ.γυαλιου										
14	$Hf = 1153$	kJ/kg													
15															
16	<u>Επιλέγω</u> $T_{airOUT} = T_p = 302.84$	K	T_{airOUT} : θερμ.αέρα εξόδου, T_p : θερμ.νερού εξόδου												
17	Ακρίβεια : 99.999536 %		$U_a = 1.61273156$	$\Delta m = 3.427002$											
18	$\theta = 0.5320014$														
19	$ln(P_{ws}/P_{cr}) = -8.5733257$	με	$P_{cr} = 22.06$ Mpa	κρίσιμη πίεση νερού											
20	$P_{ws} = 4,120.65$	Pa	μερική πίεση υδρατμών												
21	$M_A = 28.966$	kg/kmol	μοριακό βάρος ξηρού αέι												
22	$M_B = 18.02$	kg/kmol	μοριακό βάρος υδρατμών												
23															
24	<u>Αρα βρισκω πη ανίστοιχη απόλυτη υγρασία σε πίεση</u>		$P = 101325$ Pa (ή 1atm)	$M_{NaCl} = 58.44$ kg / kmol											

Σχήμα 1: Στιγμιότυπο Φύλλου Εργασίας Υπολογισμοί Εξατμιστή 1

C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	V		
Αρα βρίσκω την αντίστοιχη απόλυτη υγρασία σε πίεση																						
wout =		0.0681419	kgA/kgB																			
Hout =		204.33613	kJ/kgB																			
Βρίσκω μέση θερμοκρασία αέρα εντός εξατμιστή																						
Tair =		295.42	K	και	wair =	0.04831	kgA/kgB															
ή		22.42	°C																			
Vm =		1.3855987	m³/kgB																			
pair =		0.7217097	kgB/m³	πυκνότητα αέρα εντός εξατμιστή(αναγράφει Tair, Wair)																		
pair =		0.7565725	kg/m³																			
ρo =		1.22	kg/m³	πυκνότητα αέρα περιβάλλοντος																		
Υπολογίζεται η ταχύτητα ανακυκλοφορίας αέρα Ua																						
kin =	1.5	g =	9.81	ms²	επιτάχυνση βαρύτητας																	
kout =	1	s =	50	μιορες	κλίση πλάκας																	
fu =	0.056	sin(s) =	0.766044	ημίτονο κλίσης πλάκας																		
Ua =	1.61273	mls	D _H = 0.039216 m υδραυλική διάμετρος																			
	5.80583	km/h	ταχύτητα ανακυκλοφορίας ΑΕΡΑ																			
Υπολογίζεται η μαζική παροχή επί ξηρού																						
Va =	0.03225	m³/s	ογκομετρική παροχή αέρα																			
G _B =	0.02328	kgB/s	μαζική παροχή ξηρού																			
Τώρα βρίσκω και το νερό που εξατμίζεται Δm = S																						
Δm = S =	0.0009519	kgA/s	ή	3.42700188	kgA/h																	
Επαληθευση της θερμοκρασιακής μου υπόθεσης μέσω του θερμικού ισοζυγίου στον εξατμιστή																						
													Q _{πλάκας} =	4.97	kW							
													Ενεργειακή είσοδος =	64.598	kW	Ακριβή	100	%				
													Ενεργειακή έξοδος =	64.598	kW							

Σχήμα 2 : Στιγμιότυπο Φύλλου Εργασίας Υπολογισμού Εξατμιστή 2

Α	Β	Γ	Δ	Ε	Ζ	Η	Θ	Ι	Ή	Κ	Λ	Μ	Ν	Ξ	Ο	Π	Ρ	Σ
3																		
4																		
5																		
6	μήνας	η(day)	δ(μιοίρες)	δ(rad)	φ(μιοίρες)	φ(rad)	ωσ(rad)	ωσ(μιοίρες)	Gsc(W/m ²)	H ₀ (kW/day)	k _r	H(kJ/m ² /day)	H _{diff} (kW/day)	H _{diff} (kJ/day)	AvgDayJAN	δ _{avg} (rad)	φ _{avg} (rad)	ωσ _{avg} (rad)
7		1	-23.01	-0.402	39	0.680678408	1.2197	69.8836876	1367	14438.91897	0.4	5775.567587	4379.501086	1396.066501		-0.36	0.6806784	1.25692126
8		2	-22.93	-0.4	39	0.680678408	1.22114	69.9661654	1367	14493.26678	0.4	5797.306712	4395.995444	1401.321268		-0.36	0.6806784	1.25692126
9		3	-22.84	-0.399	39	0.680678408	1.2227	70.0553938	1367	14552.07454	0.4	5820.829814	4413.822557	1407.007257		-0.36	0.6806784	1.25692126
10		4	-22.75	-0.397	39	0.680678408	1.22437	70.1513091	1367	14615.32927	0.4	5846.131707	4433.008492	1413.123215		-0.36	0.6806784	1.25692126
11		5	-22.65	-0.395	39	0.680678408	1.22616	70.2538434	1367	14683.01678	0.4	5873.206712	4453.538944	1419.667767		-0.36	0.6806784	1.25692126
12		6	-22.54	-0.393	39	0.680678408	1.22806	70.3629246	1367	14755.12161	0.4	5902.048644	4475.409223	1426.639421		-0.36	0.6806784	1.25692126
13		7	-22.42	-0.391	39	0.680678408	1.23008	70.478477	1367	14831.62701	0.4	5932.650803	4498.614248	1434.036555		-0.36	0.6806784	1.25692126
14		8	-22.30	-0.389	39	0.680678408	1.23221	70.6004209	1367	14912.5149	0.4	5965.00596	4523.148337	1441.857423		-0.36	0.6806784	1.25692126
15		9	-22.17	-0.387	39	0.680678408	1.23445	70.7286732	1367	14997.76586	0.4	5999.106343	4549.006197	1450.100146		-0.36	0.6806784	1.25692126
16		10	-22.04	-0.385	39	0.680678408	1.2368	70.8631477	1367	15087.35907	0.4	6034.943628	4576.180916	1458.762711		-0.36	0.6806784	1.25692126
17		11	-21.90	-0.382	39	0.680678408	1.23925	71.0037549	1367	15181.27231	0.4	6072.508923	4604.665953	1467.842971		-0.36	0.6806784	1.25692126
18		12	-21.75	-0.38	39	0.680678408	1.24181	71.1504022	1367	15279.4819	0.4	6111.792758	4634.454124	1477.338634		-0.36	0.6806784	1.25692126
19		13	-21.60	-0.377	39	0.680678408	1.24474	71.3029946	1367	15381.96267	0.4	6152.785069	4665.5378	1487.247269		-0.36	0.6806784	1.25692126
20		14	-21.44	-0.374	39	0.680678408	1.24724	71.4614344	1367	15488.68797	0.4	6195.475189	4697.908992	1497.566298		-0.36	0.6806784	1.25692126
21		15	-21.27	-0.371	39	0.680678408	1.2501	71.6256217	1367	15599.62958	0.4	6239.851833	4731.558841	1508.292992		-0.36	0.6806784	1.25692126
22		16	-21.10	-0.368	39	0.680678408	1.25307	71.7954542	1367	15714.75772	0.4	6285.903086	4766.478615	1519.424471		-0.36	0.6806784	1.25692126
23		17	-20.92	-0.365	39	0.680678408	1.25613	71.9708281	1367	15834.04098	0.4	6333.616394	4802.658692	1530.957701		-0.36	0.6806784	1.25692126
24		18	-20.73	-0.362	39	0.680678408	1.25928	72.1516375	1367	15957.44637	0.4	6392.978548	4840.089058	1542.889489		-0.36	0.6806784	1.25692126
25		19	-20.54	-0.358	39	0.680678408	1.26253	72.3377752	1367	16084.9392	0.4	6433.975678	4878.759195	1555.216483		-0.36	0.6806784	1.25692126
26		20	-20.34	-0.355	39	0.680678408	1.26587	72.5291326	1367	16216.4831	0.4	6486.593241	4918.658074	1567.935167		-0.36	0.6806784	1.25692126
27		21	-20.14	-0.351	39	0.680678408	1.2693	72.7256001	1367	16352.04002	0.4	6540.81601	4959.77415	1581.04186		-0.36	0.6806784	1.25692126
28		22	-19.93	-0.348	39	0.680678408	1.27282	72.9270669	1367	16491.57016	0.4	6596.628065	5002.095351	1594.532714		-0.36	0.6806784	1.25692126
29		23	-19.71	-0.344	39	0.680678408	1.27642	73.1334216	1367	16635.03197	0.4	6654.01279	5045.609077	1608.403713		-0.36	0.6806784	1.25692126
30		24	-19.49	-0.34	39	0.680678408	1.2801	73.3445523	1367	16782.38214	0.4	6712.952857	5090.302189	1622.650668		-0.36	0.6806784	1.25692126
31		25	-19.26	-0.336	39	0.680678408	1.28387	73.5603464	1367	16933.57557	0.4	6773.43023	5136.161009	1637.26922		-0.36	0.6806784	1.25692126
32		26	-19.03	-0.332	39	0.680678408	1.28772	73.7806915	1367	17088.56537	0.4	6835.426149	5183.171315	1652.254834		-0.36	0.6806784	1.25692126
33		27	-18.79	-0.328	39	0.680678408	1.29164	74.0054746	1367	17247.30284	0.4	6898.921135	5231.318334	1667.602801		-0.36	0.6806784	1.25692126
34		28	-18.55	-0.324	39	0.680678408	1.29564	74.2345832	1367	17409.73745	0.4	6963.89498	5280.586743	1683.308238		-0.36	0.6806784	1.25692126
35		29	-18.30	-0.319	39	0.680678408	1.29971	74.4679047	1367	17575.81687	0.4	7030.326749	5330.960667	1699.366082		-0.36	0.6806784	1.25692126
36		30	-18.04	-0.315	39	0.680678408	1.30385	74.7053272	1367	17745.48694	0.4	7098.194776	5382.423678	1715.771098		-0.36	0.6806784	1.25692126
37		31	-17.78	-0.31	39	0.680678408	1.30807	74.9467389	1367	17918.69166	0.4	7167.476665	5434.958792	1732.517872		-0.36	0.6806784	1.25692126

Σχήμα 3 : Στιγμιότυπο Φύλλου Εργασίας Υπολογισμών Ηλιακής Ακτινοβολίας

▲	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	
6	$\omega_{s,avg}$ (deg)	π	H_0,avg (kWh/day)	k_T	H_{avg} (kWh/day)	$H_{avg,diff}$ (kWh/day)	$H_{avg,air}$ (kWh/day)	α	β	ώρα	Ημέρα	ω (deg)	ω (rad)	r_t	I_{avg} (kWh/hour)	r_{diff}	$I_{diff,avg}$ (kWh/hour)	$I_{diff,avg}$ (kWh/hour)	R_b	$I_{TOTAL,AVG}$		
3																						
4																						
5																						
6	72.016283	3.1415927	0.866025	15880.19024	0.4	6352.0761	4816.656329	1535.419769	0.5164259	0.561656	1	-155	-2.6797953	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
7	72.016283	3.1415927	0.866025	14657.00352		6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	2	-150	-2.6179939	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
8	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	3	-135	-2.3561945	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
9	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	4	-120	-2.0943951	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
10	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	5	-105	-1.8325957	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
11	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	6	-90	-1.5707963	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
12	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	7	-75	-1.3089969	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
13	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	8	-60	-1.0471976	0.0351568	223.318836	0.0444613	214.1547723	9.164063878	3.69690889	220.16		
14	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	9	-45	-0.7853982	0.0842152	534.9413	0.0926081	446.0613797	88.87991984	2.44480717	608.36		
15	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	10	-30	-0.5235988	0.1296055	823.264131	0.1295524	624.0095782	199.2545523	2.11064653	970.83		
16	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	11	-15	-0.2617994	0.1615825	1026.36402	0.1527766	735.8724922	230.5115289	1.98282061	1,227.52		
17	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	12	0	0	0.1730971	1099.52618	0.160698	774.026849	325.4993353	1.94762377	1,320.09		
18	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	13	15	0.26179939	0.1615825	1026.36402	0.1527766	735.8724922	230.5115289	1.98282061	1,227.52		
19	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	14	30	0.52359878	0.1296055	823.264131	0.1295524	624.0095782	199.2545523	2.11064653	970.83		
20	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	15	45	0.78539816	0.0842152	534.9413	0.0926081	446.0613797	88.87991984	2.44480717	608.36		
21	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	16	60	1.04719755	0.0351568	223.318836	0.0444613	214.1547723	9.164063878	3.69690889	220.16		
22	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	17	75	1.30899694	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
23	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	18	90	1.57079633	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
24	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	19	105	1.83259571	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
25	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	20	120	2.0943951	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
26	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	21	135	2.35619449	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
27	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	22	150	2.61799388	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
28	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	23	165	2.87979327	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
29	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	24	180	3.14159265	0	0	0	0	0	0	0	0.00	
30	72.016283	3.1415927	0.866025			6352.0761	4816.656329		0.50429937	0.5726569	24										0.00	

Οι τύποι δουλεύουν μόνο για τις ώρες ηλιοφάνειας

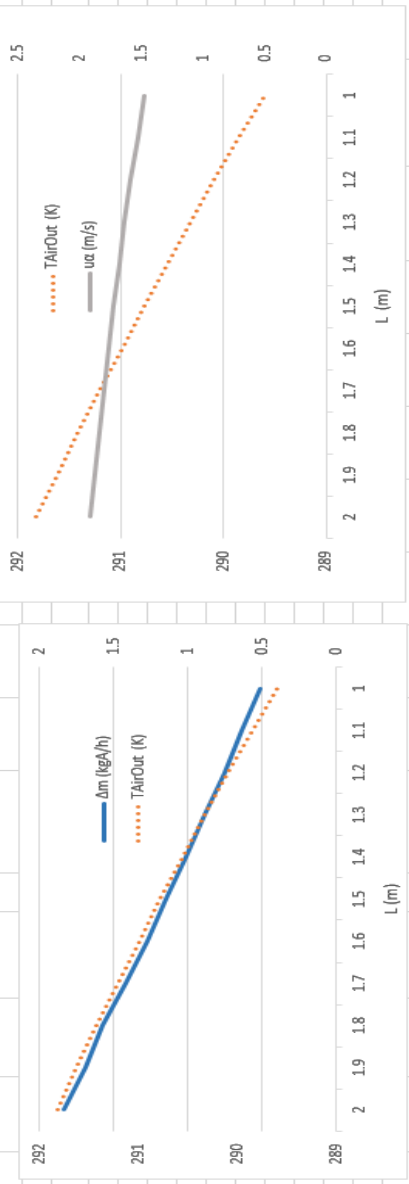
Σχήμα 4 : Στιμιότυπο Φύλλου Ερνασίας Υπολογισμών Ηλιακής Ακτινοβολίας 2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	g =	9.81	m/s ²	επιτάχυνση βαρύτητας								
2	η =	0.0011	Pa*s	δυναμικό ιξώδες ρευστού								
3	ρ =	1025	kg/m ³	πυκνότητα ρευστού								
4	γ _w =	0.0735	N/m	επιφανειακή τάση καθαρού νερού								
5	S =	35	gNaCl/kgδτος	αλμυρότητα δ/τος								
6	t =	15	°C	θερμοκρασία								
7	Lf=W=	1	m	μήκος επιφάνειας κάθετα στην διεύθυνση της ροής								
8												
9				<u>Υπολογισμός επιφανειακής τάσης θαλασσινού νερού</u>								
10	σ _{sw} =	0.074559368	N/m	επιφανειακή τάση θαλασσινού νερού σε θερμοκρασία t								
11												
12	Ka =	3.38072E-11	αριθμός Karitsa									
13												
14	Γ _{min} =	0.109725201	kg/m/s	ελάχιστη δυνατή παροχή για πλήρη κάλυψη, ανά μήκος επιφάνειας κάθετης στην διεύθυνση ροής								
15												
16												
17												
18	M_{min} =	0.109725201	kg/s	Η ελάχιστη δυνατή παροχή για πλήρη διαβροχή της μαύρης πλάκας σε κάθετη κλίση 90ο								
19												
20												
21												

Σχήμα 5 : Στιγμιότυπο Φύλλου Εργασίας Υπολογισμοί Πλήρους Διαβροχής

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
27	0.08	290.795	2.033	7.3188	2.166	99.999																	
28	0.09	290.57	2.057	7.4052	2.239	99.997																	0
29	0.1	290.375	2.077	7.4772	2.293	100																	0.1
30																							

Όσο αυξάνεται το πάχος του εξεταστού (απόσταση πλάκας - τζαμιού), αυξάνεται(μην αναλογικά) και το πόσιμο νερό εξόδου.
ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ: Αυξάνεται παράλληλα και η ταχύτητα του ρευστού αέρα. Άρα 1. Μη κορεσμένο πια αέριο ρεύμα 2. Κίνδυνος τυρβώδους ροής 3. Παρασυρικός άλατος στον συμπτυκτωτή και στο πόσιμο νερό



Για εξεταστού (d=0.05m, w=1m, F=0.05kg/s)									
L (m)	T _{airOut} (K)	u _a (m/s)	u _a (km/h)	Δm (kg/h)	Ακρίβεια (%)				
2	291.82	1.92	6.912	1.83	99.999				
1.9	291.62	1.882	6.7752	1.689	100				
1.8	291.42	1.8466	6.64776	1.574	99.998				
1.7	291.21	1.809	6.5124	1.413	99.998				
1.6	290.99	1.769	6.3684	1.274	99.997				
1.5	290.78	1.727	6.2172	1.143	99.998				
1.4	290.55	1.683	6.0588	1.009	99.998				
1.3	290.33	1.636	5.8896	0.883	99.997				
1.2	290.09	1.585	5.706	0.755	100				
1.1	289.85	1.531	5.5116	0.633	99.998				
1	289.6	1.473	5.3028	0.514	99.997				

Όσο μικρότερο το μήκος της πλάκας, τόσο(όχι αναλογικά) μικραίνει η ταχύτητα του αέριου ρευστού, μειώνεται το απότομα το πόσιμο νερό εξόδου !

2η βελτιστοποίηση Εξαεμιστή

L (m)	T _{airOut} (K)	u _a (m/s)	u _a (km/h)	Δm (kg/h)	Ακρίβεια (%)
2	291.82	1.92	6.912	1.83	99.999
1.9	291.62	1.849	6.6564	1.648	99.999
1.8	291.42	1.793	6.4548	1.487	99.998
1.7	291.21	1.736	6.2504	1.348	99.999
1.6	290.99	1.677	6.0432	1.221	99.998
1.5	290.78	1.617	5.8332	1.105	99.998
1.4	290.55	1.556	5.6204	0.999	99.998
1.3	290.33	1.493	5.4048	0.903	99.998
1.2	290.09	1.429	5.1864	0.817	99.999
1.1	289.85	1.363	4.9656	0.741	99.999
1	289.6	1.296	4.7424	0.675	99.998

Σχήμα 6 : Στιγμιότυπο Φύλλου Εργασίας Παραμετρική Διερεύνηση