

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



Διπλωματική εργασία

**Μοντελοποίηση συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με
χρήση ηλιακού συλλέκτη**

Μανουράς Γεώργιος

Εξεταστική επιτροπή:

Καθ. Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος (επιβλέπων)

Καθ. Σταυρακάκης Γεώργιος

Δρ. Κουτρούλης Ευτύχιος

Χανιά 2010

Πρόλογος

Ο σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η μοντελοποίηση μίας μονάδας αφαλάτωσης θαλασσινού νερού, με τη μέθοδο εξάτμισης πολλαπλών σταδίων. Η προσομοίωση της μεθόδου έγινε με τη βοήθεια του προγράμματος MATLAB 7.8.0(R2009a).

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Καθηγητή κ. Καλαϊτζάκη Κωνσταντίνο, για την ανάθεση και την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας, όπως και τον Καθηγητή κ. Σταυρακάκη Γεώργιο και το Δρ. κ. Κουτρούλη Ευτύχιο για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους μεταπτυχιακούς φοιτητές Μπακιρτζόγλου Βάιο και Βασιλομιχελάκη Αριάδνη για την πολύτιμη βοήθεια τους.

Περίληψη

Το νερό αποτελεί το κυριότερο αγαθό για την ύπαρξη ζωής. Τα τελευταία χρόνια, το πρόβλημα της λειψυδρίας ταλανίζει την ελληνική αλλά και γενικότερα την παγκόσμια κοινωνία. Είναι ένα πρόβλημα το οποίο απαιτεί λύσεις κι η αφαλάτωση αποτελεί μία σημαντική κι ελπιδοφόρα διαδικασία για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος. Ένα άλλο όμως σημαντικότερο ζήτημα είναι η εύρεση της ενέργειας για τη λειτουργία μονάδων αφαλάτωσης. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σε συνδυασμό με μεθόδους αφαλάτωσης αποτελούν τη βέλτιστη λύση στο πρόβλημα της έλλειψης νερού. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κατάλληλες για αφαλάτωση αλλά και μέθοδοι αφαλάτωσης αναλύονται στην παρούσα εργασία. Ο συνδυασμός ηλιακού παραβολικού συλλέκτη με τη μέθοδο εξάτμισης πολλαπλών σταδίων αποτελεί μία από τις καλύτερες και πολλά υποσχόμενες τεχνικές προς την επίλυση των παραπάνω προβλημάτων. Στην παρούσα εργασία, αναλύονται τα πλεονεκτήματα του ηλιακού παραβολικού συλλέκτη αλλά και της μεθόδου εξάτμισης πολλαπλών σταδίων. Το μαθηματικό μοντέλο της μεθόδου αυτής αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς μιας τέτοιας μονάδας. Προσομοιώνεται λοιπόν αυτή η διαδικασία με τη βοήθεια του προγράμματος MATLAB 7.8.0(R2009a) και παράγονται χρήσιμα αποτελέσματα. Οι θερμοκρασιακές διαφορές από στάδιο σε στάδιο, η παραγωγή ατμού ανά στάδιο, η μάζα του θαλασσινού νερού που δεν εξατμίζεται, οι συγκεντρώσεις άλατος, η λανθάνουσα θερμότητα του παραγόμενου ατμού, η 'ανύψωση του σημείου βρασμού' λόγω συγκέντρωσης άλατος ανά στάδιο και διάφορες άλλες σημαντικές παράμετροι παρουσιάζονται στην παρούσα διπλωματική και αποτελούν την απαραίτητη γνώση που πρέπει να έχει ένα εξειδικευμένο προσωπικό για την επίβλεψη μίας τέτοιας μονάδας, πριν την έναρξη λειτουργίας της.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	6
2. Το παγκόσμιο πρόβλημα της έλλειψης νερού	8
2.1 Εισαγωγή	8
2.2 Το πρόβλημα της λειψυδρίας είναι παγκόσμιο	9
2.3 Η κατάσταση στην Ελλάδα	11
2.4 Τα αίτια της έλλειψης φρέσκου νερού	12
2.5 Οι επιπτώσεις από την έλλειψη φρέσκου νερού	14
2.6 Προτάσεις και λύσεις αντιμετώπισης της λειψυδρίας	15
2.6.1 Μεταφορά νερού	16
2.6.2 Κατασκευή φραγμάτων	17
2.6.3 Αφαλάτωση	18
3. Αφαλάτωση	19
3.1 Εισαγωγή	19
3.2 Η χρήση της αφαλάτωσης σε παγκόσμιο επίπεδο	20
3.3 Μέθοδοι αφαλάτωσης	21
3.3.1 Απόσταξη πολλαπλής φάσης	21
3.3.2 Συμπύεση ατμού	22
3.3.3 Εξάτμιση πολλαπλών σταδίων	23
3.3.4 Αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση	23
3.3.5 Αντίστροφη όσμωση	24
3.3.6 Νανοφιλτράρισμα	25
3.3.7 Μέθοδος απόσταξης με μεμβράνη	25
3.3.8 Ανταλλαγή ιόντων	26
3.3.9 Λοιπές μέθοδοι	26
3.4 Συμμετοχή μεθόδων αφαλάτωσης	27
4. Ενέργεια για αφαλάτωση	29
4.1 Εισαγωγή	29
4.2 Μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για αφαλάτωση	30
4.2.1 Ηλιακή θερμική ενέργεια	30
4.2.2 Ηλιακή ενέργεια από φωτοβολταϊκά	30
4.2.3 Αιολική ενέργεια	31
4.2.4 Υβριδική παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά και άνεμο	32
4.2.5 Βιομάζα	32
4.2.6 Γεωθερμία	32
4.2.7 Ωκεανική ενέργεια	33
4.3 Πλεονεκτήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην αφαλάτωση	33
4.4 Λόγοι χαμηλής διείσδυσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην αφαλάτωση	35

4.5	Προσαρμογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην αφαλάτωση	36
4.6	Συμμετοχή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην αφαλάτωση	40
5.	Αφαλάτωση με χρήση ηλιακής ενέργειας	41
5.1	Εισαγωγή	41
5.2	Άμεσα συστήματα	41
5.3	Έμμεσα συστήματα	46
5.4	Συνδυασμός ηλιακού παραβολικού συλλέκτη με τη μέθοδο εξάτμισης πολλαπλών σταδίων	49
6.	Ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες	51
6.1	Εισαγωγή	51
6.2	Επίπεδοι συλλέκτες (Flat-plate collectors)	51
6.3	Συλλέκτες χαμηλής συγκέντρωσης (Compound parabolic concentrators CPCs)	52
6.4	Παραβολικοί συλλέκτες (Parabolic trough concentrators PTCs)	53
6.5	Επιλογή καταλληλότερου είδους συλλέκτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	54
7.	Η μέθοδος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με εξάτμιση πολλαπλών σταδίων	57
7.1	Ερευνητικό ενδιαφέρον για την εξάτμιση πολλών σταδίων	57
7.2	Περιγραφή λειτουργίας της μεθόδου	60
7.3	Εναλλάκτες θερμότητας	63
7.4	Διαχωριστές φάσης	66
7.5	Αναλυτική περιγραφή του μαθηματικού μοντέλου της μεθόδου εξάτμισης πολλαπλών σταδίων	67
8.	Αποτελέσματα.....	75
8.1	Δεδομένα προσομοίωσης	75
8.2	Διάγραμμα προσομοίωσης	75
8.3	Θερμοκρασιακή πτώση σε κάθε στάδιο	79
8.4	Ενέργεια προθέρμανσης	81
8.5	Θερμοκρασία θαλασσινού νερού στους προθερμαντές	82
8.6	Ροή μάζας παραγόμενου ατμού για προθέρμανση	83
8.7	Ροή μάζας θαλασσινού νερού που αφήνει κάθε στάδιο αφαλάτωσης	85
8.8	Συγκέντρωση άλατος της μάζας του θαλασσινού νερού που αφήνει κάθε στάδιο	85
8.9	Ανύψωση σημείου βρασμού (Boiling Point Elevation, BPE)	86
8.10	Ροή μάζας παραγόμενου ατμού	87
9.	Συμπεράσματα	90
10.	Μελλοντικές προεκτάσεις	92
11.	Βιβλιογραφία.....	93

1. Εισαγωγή

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) ή ήπιες μορφές ενέργειας, είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες (όπως ο ήλιος και ο άνεμος). Ο όρος 'ήπιες' αναφέρεται σε δύο βασικά χαρακτηριστικά τους. Πρώτον, γίνεται εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση και δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση (όπως καύση και εξόρυξη), όπως απαιτείται για τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Δεύτερον, πρόκειται για μορφές ενέργειας πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, οι οποίες δεν αποδεσμεύουν τοξικά ή ραδιενεργά απόβλητα, υδρογονάνθρακες ή διοξείδιο του άνθρακα. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία ήπιες μορφές ενέργειας είναι ανανεώσιμες, διότι δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ο ήλιος, δηλαδή για μερικά δισεκατομμύρια χρόνια ακόμη. Ο ηλιακός παραβολικός συλλέκτης αποτελεί μία σημαντικότερη εφαρμογή ΑΠΕ, η οποία μπορεί να συνδυαστεί με μεθόδους αφαλάτωσης.

Το πρόβλημα της έλλειψης νερού είναι ιδιαίτερα έντονο στη σημερινή εποχή κι απαιτεί άμεσες λύσεις. Προς αυτήν την κατεύθυνση συμβάλει η διαδικασία αφαλάτωσης με τη μέθοδο εξάτμισης πολλαπλών σταδίων και ο συνδυασμός της με ηλιακό παραβολικό συλλέκτη αποτελεί βέλτιστη λύση.

Η ανάλυση και προσομοίωση του μαθηματικού μοντέλου της μεθόδου εξάτμισης πολλαπλών σταδίων αποτέλεσε την κυριότερη προσέγγιση των παραπάνω προβλημάτων. Έχουν αναλυθεί επίσης, οι λόγοι για τους οποίους ο συνδυασμός ηλιακού παραβολικού συλλέκτη με τη μέθοδο εξάτμισης πολλαπλών σταδίων αποτελεί μία πολύ καλή λύση. Συνεπώς, η παρούσα διπλωματική συνέβαλε στην πρόβλεψη της μελλοντικής συμπεριφοράς μίας μονάδας εξάτμισης πολλαπλών σταδίων, η οποία βοηθάει στον καλύτερο έλεγχο της διαδικασίας. Είναι σημαντικό να μπορεί να ξέρει το εξειδικευμένο προσωπικό μίας τέτοιας εγκατάστασης την απόδοση της και συνεπώς την ποσότητα των προϊόντων της, από μία θεωρητική, αλλά όχι πολύ μακρινή από τα πραγματικά αποτελέσματα, σκοπιά.

Η προσέγγιση του Σωτήριου Καλογήρου στο άρθρο του «Use of parabolic trough solar collectors for sea-water desalination» [12] συνέβαλε σε μεγάλο βαθμό στην προσέγγιση της συγκεκριμένης μεθόδου, αναλύοντας και κατανοώντας τα

Μοντελοποίηση συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με χρήση ηλιακού συλλέκτη

πλεονεκτήματα του συνδυασμού αυτού αφαλάτωσης με ηλιακούς παραβολικούς συλλέκτες κι αποτέλεσε το κίνητρο για περαιτέρω μελέτη πάνω σ' αυτήν τη βάση.

Στο κεφάλαιο 2, παρουσιάστηκε το πρόβλημα της λειψυδρίας και οι διαστάσεις του, αλλά και προτάσεις και λύσεις για την αντιμετώπιση του. Στο κεφάλαιο 3, περιγράφηκε η διαδικασία της αφαλάτωσης και διάφορες γνωστές τεχνικές αφαλάτωσης που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας από τη σκοπιά της ενεργειακής συμμετοχής τους σε διαδικασίες αφαλάτωσης αναλύονται στο κεφάλαιο 4. Διάφορα ηλιακά συστήματα αφαλάτωσης παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 5 ανάμεσα τους κι αυτό της παρούσης διπλωματικής εργασίας, αναλύοντας τα πλεονεκτήματα του. Στο κεφάλαιο 6, παρουσιάζονται διάφορα είδη ηλιακών συλλεκτών αλλά και τα πλεονεκτήματα του ηλιακού παραβολικού συλλέκτη στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με την οποία θα τροφοδοτηθεί το σύστημα. Στο κεφάλαιο 7, αναλύεται η λειτουργία της μεθόδου αφαλάτωσης με εξάτμιση πολλαπλών σταδίων, οι διατάξεις της, το μαθηματικό μοντέλο της μεθόδου ενώ στο κεφάλαιο 8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της μεθόδου. Τέλος, στα κεφάλαια 9 και 10 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα αλλά και οι μελλοντικές επεκτάσεις της διπλωματικής εργασίας.

2. Το παγκόσμιο πρόβλημα της έλλειψης νερού

2.1 Εισαγωγή

Το νερό είναι βασικό στοιχείο για τη διατήρηση ζωής στον πλανήτη μας και κινητήρια δύναμη του ανθρώπινου πολιτισμού. Τόσο το υπόγειο όσο και το επιφανειακό νερό (λίμνες, ποτάμια) χρησιμοποιείται για ανθρώπινη κατανάλωση. Το χρησιμοποιούμενο για ανθρώπινη κατανάλωση πρέπει να είναι από κάθε άποψη αβλαβές για την υγεία των ανθρώπων, οργανοληπτικά άμεμπτο και απολύτως καθαρό, απαλλαγμένο από παθογόνους μικροοργανισμούς και οποιεσδήποτε ουσίες, σε αριθμούς και συγκεντρώσεις, που αποτελούν ενδεχόμενο κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία. Τα ποιοτικά του χαρακτηριστικά θα πρέπει να κυμαίνονται μεταξύ ορισμένων αποδεκτών ορίων, τα οποία αποτελούν τα πρότυπα ποιότητας και θεσπίζονται νομοθετικά. Το νερό αποτελεί το 60% περίπου της μάζας του σώματος και είναι βασικός παράγοντας της κυκλοφορίας και της ηλεκτρολυτικής ισορροπίας του ανθρώπινου οργανισμού.

Από τα παγκόσμια αποθέματα νερού, υπολογίζεται ότι το 97% περίπου αποτελεί το νερό των ωκεανών, το οποίο κυρίως λόγω της αλατότητάς του είναι σε πρώτη φάση ακατάλληλο προς χρήση από τους ανθρώπους. Το υπόλοιπο 3% είναι φρέσκο νερό, δυνητικά κατάλληλο για χρήση από τους ανθρώπους. Το μεγαλύτερο ποσοστό του φρέσκου νερού (68,7% περίπου) βρίσκεται με τη μορφή παγετώνων στους πόλους και στις κορυφές των οροσειρών. Ένα ποσοστό της τάξεως του 30,1% αποτελούν τα υπόγεια ύδατα, ενώ μόλις το 0,9% των παγκοσμίων αποθεμάτων φρέσκου νερού βρίσκεται σε λίμνες, ποτάμια, έλη κλπ. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η παγκόσμια κατανομή υδάτινων πόρων.



Σχήμα 1: Παγκόσμια κατανομή υδάτινων πόρων.

Παγκοσμίως, η χρήση του νερού έχει αυξηθεί κατά έξι φορές τα τελευταία 100 χρόνια, ενώ αναμένεται ότι ο αριθμός αυτός να διπλασιασθεί έως το 2050, κυρίως λόγω των συστημάτων άρδευσης και της ζήτησης εκ μέρους της γεωργίας. Η ανάγκη των ανθρώπων σε νερό, είναι πολύ μεγαλύτερη από την ποσότητα που απαιτείται μόνο για πόσιμο, για πλύσιμο και άλλες οικιακές ανάγκες. Υπολογίζεται ότι απαιτείται περίπου 70 φορές μεγαλύτερη ποσότητα νερού για την ανάπτυξη της τροφής ενός ατόμου, από εκείνη την ποσότητα η οποία απαιτείται για τις οικιακές ανάγκες.

2.2 Το πρόβλημα της λειψυδρίας είναι παγκόσμιο

Νερό. Όσο υπάρχει, θεωρείται η ύπαρξή του λίγο έως πολύ δεδομένη. Αλλά μία γρήγορη ματιά ανά τον κόσμο και κυρίως η ανάγνωση των στοιχείων που αφορούν τις μετρήσεις των αποθεμάτων φρέσκου νερού παγκοσμίως, αποδεικνύουν ότι τα τελευταία μειώνονται δραματικά. Και ο κίνδυνος δεν είναι μακροπρόθεσμος.

Στο Μέξικο Σίτυ, ο τοπικός πληθυσμός των 20 εκατομμυρίων κατοίκων αντιμετωπίζει οξύτατο πρόβλημα έλλειψης πόσιμου νερού, αφού αυτό καταναλώνεται με ρυθμούς κατά πολύ μεγαλύτερους από την αποκατάσταση του υδροφόρου στρώματος. Στην περιοχή της Μεσοποταμίας, η οποία υδροδοτείται κυρίως από τους ποταμούς Τίγρη και Ευφράτη, η απόφαση της Τουρκίας να κατασκευάσει φράγματα λόγω της λειψυδρίας, προκάλεσε την έντονη αντίδραση της Συρίας και του Ιράκ που έχουν σαν μοναδική πηγή φρέσκου νερού τους δύο αυτούς ποταμούς.

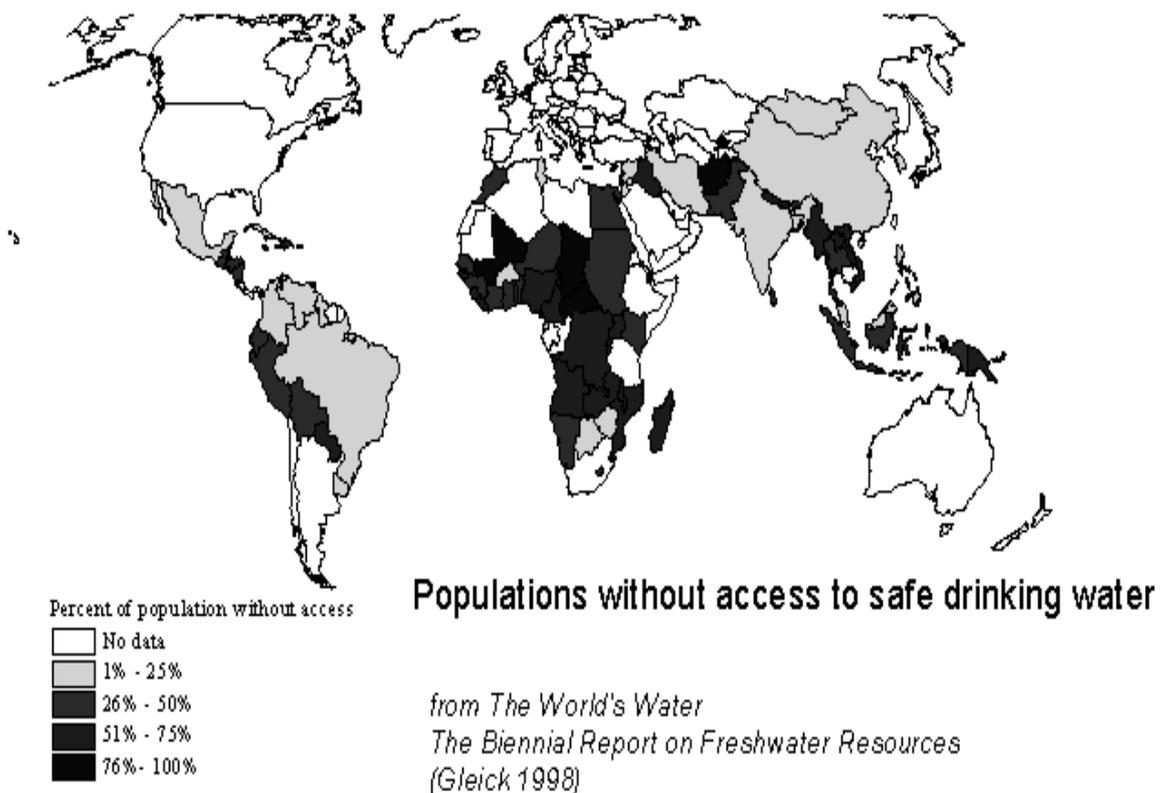
Στην ξηρή και άνυδρη βόρεια Κίνα περίπου 300 πόλεις αντιμετωπίζουν πρόβλημα με τα αποθέματα φρέσκου νερού. Το πρόβλημα δημιουργήθηκε λόγω της μείωσης των βροχοπτώσεων αλλά και της υπερκατανάλωσης στις αγροτικές καλλιέργειες. Τώρα οι τοπικές αρχές περιορίζουν την χρήση νερού στα χωράφια, με αποτέλεσμα πολλοί αγρότες να οδηγούνται στην οικονομική καταστροφή.

Στην Ινδία του ενός και πλέον δισεκατομμυρίου κατοίκων τα σημαντικότερα υδροφόρα στρώματα υπόκεινται σε υπερεκμετάλλευση, ενώ λόγω μόλυνσης του

φρέσκου νερού με το νερό άρδευσης, το χώμα πλέον εμφανίζει πολύ υψηλά ποσοστά αλατότητας και καθίσταται ακατάλληλο προς καλλιέργεια.

Στο Ισραήλ, αν και χρησιμοποιούνται πολλές επαναστατικές τεχνολογίες εξοικονόμησης νερού, η υπερεκμετάλλευση των υδροφόρων στρωμάτων στην ακτογραμμή έχει σαν αποτέλεσμα να μολύνεται το πόσιμο νερό με θαλάσσιο. Αντίστοιχα προβλήματα αντιμετωπίζει και η γειτονική Ιορδανία της οποίας κύρια πηγή φρέσκου νερού είναι ο Ιορδάνης ποταμός.

Στην Αίγυπτο της οποίας ο πληθυσμός αναμένεται να αγγίξει τα 100 εκατομμύρια μέχρι το 2025, οι βροχοπτώσεις είναι περιορισμένες. Η άρδευση στηρίζεται στις πλημμύρες του Νείλου και στο φράγμα του Ασουάν στα νότια. Οποιαδήποτε εμπλοκή στη ροή του νερού από το Σουδάν και την Αιθιοπία (όπου και βρίσκονται οι πηγές του ποταμού), θα οδηγήσουν την Αίγυπτο στη λιμοκτονία. Στην Εικόνα 1 παρουσιάζονται οι πληθυσμοί χωρίς πρόσβαση σε πόσιμο νερό ανά τον κόσμο.



Εικόνα 1: Πληθυσμοί χωρίς πρόσβαση σε πόσιμο νερό

Μοντελοποίηση συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με χρήση ηλιακού συλλέκτη

2.3 Η κατάσταση στην Ελλάδα

Η Ελλάδα, όπως εξάλλου και ολόκληρος ο πλανήτης, βρίσκεται τα τελευταία χρόνια αντιμέτωπη με το μείζον πρόβλημα της λειψυδρίας. Η κατάσταση αυτή οφείλεται σε μια σειρά από αίτια όπως η έλλειψη σχεδιασμού, η κακή διαχείριση των υδάτινων αποθεμάτων-πόρων, η καταστροφή των δασών, η περιφρόνηση των σχετικών νόμων και η μείωση των βροχοπτώσεων λόγω κλιματικών αλλαγών. Οι προβλέψεις είναι εφιαλτικές. Έως και το 2100 προβλέπεται αύξηση της μέσης θερμοκρασίας έως και 2 βαθμούς Κελσίου, οι βροχοπτώσεις θα μειωθούν σημαντικά ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ θα υπάρχει και αστάθεια στην ένταση και τη συχνότητα τους. Όλα αυτά συνεπάγονται μείωση της απορροής και υποβάθμιση της ποιότητας του νερού που σε συνδυασμό με την αυξημένη αστική και γεωργική κατανάλωση, θα οδηγήσει σε μείωση της γεωργικής παραγωγής, αποδυνάμωση του αγροτικού πληθυσμού και πιθανόν διαμάχες για τη χρήση νερού. Τα ποσοστά βροχοπτώσεων ανά τη χώρα ελαττώνονται σε περιοχές όπως η Κρήτη, τα νησιά του Αιγαίου αλλά και τμήματα της ηπειρωτικής Ελλάδας. Άμεση συνέπεια είναι οι περιοχές αυτές να αντιμετωπίζουν τον μεγαλύτερο κίνδυνο εξάντλησης των υδάτινων αποθεμάτων τους, στο εγγύς μέλλον.

Η Ελλάδα είναι μια από τις 7 χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης που αντιμετωπίζουν πρόβλημα λειψυδρίας μαζί με τη Μάλτα, την Ισπανία, την Κύπρο, το Βέλγιο, την Πορτογαλία και την Ιταλία. Όπως εύκολα διαπιστώνει κανείς, η κατάσταση είναι ιδιαίτερα κρίσιμη καθώς οι παραπάνω χώρες έχουν συνολικό πληθυσμό 130.000.000 κατοίκους, ποσοστό 27% επί του συνολικού πληθυσμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα νέα δε φαίνεται να είναι ελπιδοφόρα, καθώς η υπερθέρμανση του πλανήτη αναμένεται να χειροτερέψει την κατάσταση στο μέλλον.

Όσον αφορά τις χρήσεις του νερού στην Ελλάδα, η γεωργία καταναλώνει το 87%, τα νοικοκυριά (αστική χρήση) και ο τουρισμός το 10% και η βιομηχανία το 3%. Το πρόβλημα είναι πιο έντονο στις νησιωτικές περιοχές, λόγω της μορφολογίας του εδάφους και των ελάχιστων πηγών νερού που συνήθως δεν είναι πόσιμο αλλά υφάλμυρο. Η κατάσταση επιδεινώνεται ιδιαίτερα τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών και της ξηρασίας καθώς και εξαιτίας της

αυξημένης τουριστικής κίνησης στις περιοχές αυτές. Ο τουρισμός που συνεπάγεται και τη μεταφορά των υδατικών καταναλώσεων του παραθεριστή που έχει συνηθίσει στην πόλη του είναι ο κυριότερος παράγοντας. Επίσης, η κατασκευή των τουριστικών υποδομών όπως ξενοδοχεία κτλ, για την εξυπηρέτηση του εισερχόμενου πληθυσμού και οι ανάγκες αυτών των υποδομών για λειτουργίες όπως πότισμα, πισίνες, δυσχεραίνουν την κατάσταση.

Η κατάσταση δεν είναι ίδια σε κάθε νησί. Πιο έντονα είναι τα προβλήματα στα άνυδρα νησιά των Κυκλάδων όπως η Αμοργός, το Κουφονήσι, η Κίμωλος, η Ηρακλεία, η Σχοινούσα, η Φολέγανδρος, η Τήνος, η Σίκινος, η Θηρασία, η Δονούσα και η Μήλος. Είναι αναμενόμενο το γεγονός ότι η λειψυδρία είναι πιο έντονη σε μικρά νησιά, καθώς και σε νησιά που δεν έχουν γνωρίσει πολύ μεγάλη τουριστική ανάπτυξη καθώς αφενός δεν υπάρχουν οι αναγκαίοι πόροι για να χρηματοδοτηθούν κάποιες δαπανηρές λύσεις και αφετέρου υπάρχει έλλειψη πηγών πόσιμου νερού στα εδάφη αυτά, κάτι που δίκαια οδηγεί στην απόδοση του χαρακτηρισμού “ξερονήσια”.

2.4 Τα αίτια της έλλειψης φρέσκου νερού

Σύμφωνα με ορισμένους επιστήμονες, η κυριότερη αιτία για την έλλειψη φρέσκου νερού σε παγκόσμιο επίπεδο είναι το φαινόμενο της παγκόσμιας θέρμανσης ή αλλιώς φαινόμενο του θερμοκηπίου. Μία αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κυρίως στις ορεινές περιοχές μπορεί να αλλάξει την αναλογία πτώσης χιονοπτώσεων και βροχοπτώσεων, οδηγώντας σε περισσότερη βροχή και λιγότερο χιόνι. Αυτή η αλλαγή σημαίνει περισσότερες πλημμύρες και μεγαλύτερη απορροή κατά τη διάρκεια της περιόδου βροχών, ενώ λιγότερο νερό παραμένει με τη μορφή πάγου και χιονιού στα βουνά, προς χρήση κατά την περίοδο της ξηρασίας. Αυτοί λοιπόν οι παγετώνες των βουνών λιώνουν στο σύνολό τους. Για παράδειγμα, η μάζα πάγου και χιονιού στα Ιμαλάια (η τρίτη μεγαλύτερη στον κόσμο μετά από αυτές των πόλων), αρχίζει να ελαττώνεται με επιταχυνόμενο ρυθμό. Το ανησυχητικό είναι ότι όλα τα μεγάλα ποτάμια της Ασίας έχουν τις πηγές τους σε αυτήν την παγωμένη μάζα. Ήδη, σε αυτούς τους ποταμούς παρατηρείται μια πτώση της στάθμης των υδάτων κατά 12-20%.

Η πληθυσμιακή αύξηση αποτελεί επίσης μια σημαντική αιτία έλλειψης φρέσκου νερού παγκοσμίως. Η ζήτηση φρέσκου νερού είναι άμεσα εξαρτημένη και μεταβάλλεται ανάλογα με τη δημογραφική αύξηση σε παγκόσμια κλίμακα. Οι περισσότερες προβλέψεις υπολογίζουν ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός θα σταθεροποιηθεί στα 8,5 με 9 δισεκατομμύρια ανθρώπους έως το 2050 ενώ το μεγαλύτερο μέρος της πληθυσμιακής αύξησης θα αφορά τις αναπτυσσόμενες χώρες. Η αύξηση του πληθυσμού δεν πυροδοτεί μόνο την κατανάλωση φρέσκου νερού για οικιακή χρήση, αλλά επιπλέον αυξάνει και την κατανάλωση για τις γεωργικές καλλιέργειες, για βιομηχανική χρήση, για την παραγωγή ενέργειας κλπ. Άλλωστε δεν είναι τυχαίο ότι ο τριπλασιασμός του παγκόσμιου πληθυσμού τον τελευταίο αιώνα συνοδεύτηκε από εξαπλασιασμό της κατανάλωσης φρέσκου νερού.

Υψηλότερα εισοδήματα σημαίνουν μεγαλύτερη κατανάλωση αγαθών, η παραγωγή των οποίων απαιτεί νερό. Τα εισοδήματα αυξάνουν σε ορισμένες χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία, παράλληλα με την οικονομική ανάπτυξη και η αποσύνδεση τους από την κατανάλωση νερού αποτελεί μεγάλη πρόκληση για το μέλλον.

Η αστυφιλία είναι και αυτή μια δημογραφική παράμετρος που οδηγεί σε αλόγιστη χρήση νερού. Το ποσοστό του παγκόσμιου πληθυσμού που κατοικεί στις πόλεις, από 14% που ήταν το 1900 έφτασε στο 29% στα 1950 και αναμένεται να ξεπεράσει το 60% μέχρι το 2030. Η αστυφιλία είχε δύο πολύ σημαντικές επιπτώσεις στην χρήση φρέσκου νερού. Καταρχήν, πολλές πόλεις εκτρέπουν τους τεράστιους όγκους των επιφανειακών υδάτων ή υπερεκμεταλλεύονται τα υδροφόρα στρώματα, ενώ και τα μη επεξεργασμένα λύματα απ' αυτές αποτελούν πολύ σημαντική εστία ρύπανσης του υδροφόρου ορίζοντα.

Όπως είναι φυσιολογικό, ένας πληθυσμός συνεχώς αυξανόμενος καταναλώνει περισσότερη τροφή, για την παραγωγή της οποίας απαιτούνται όλο και μεγαλύτεροι όγκοι φρέσκου νερού. Άρα, η αλόγιστη χρήση του φρέσκου νερού στις αγροτικές καλλιέργειες, στην κτηνοτροφία, στο εμπόριο αποτελεί σημαντική αιτία της παρατηρούμενης μείωσης των αποθεμάτων. Η βασισμένη στην άρδευση γεωργία, έχει καλύψει το 80% της αύξησης στη ζήτηση τροφής παγκοσμίως από το 1960 μέχρι σήμερα. Στις περισσότερες περιοχές η εκτροπή της ροής των

ποταμών, οι γεωτρήσεις για την εξαγωγή υπόγειων υδάτων και η αυξημένη δυνατότητα αποθήκευσης του νερού καθιστούν την άρδευση εφικτή. Σε αρκετές περιπτώσεις όμως, η άρδευση πραγματοποιείται με εξαιρετικά αντισυμβατικό τρόπο. Για παράδειγμα στο Σενεγάλη ποταμό στην κεντρική Αφρική, ποσοστό μικρότερο του 50% του νερού χρησιμοποιείται αποδοτικά στις καλλιέργειες ρυζιού και καλαμποκιού. Οι περισσότεροι καλλιεργητές δεν κατανοούν το οικονομικό κόστος της σπατάλης νερού ή δε διαθέτουν τα απαραίτητα κεφάλαια για τη βελτίωση των τεχνολογιών άρδευσης. Όσον αφορά το εμπόριο, αυτό παρέχει και δυνατότητες αλλά και κινδύνους για τα παγκόσμια αποθέματα νερού. Από τη μία μπορεί να προωθήσει την πιο αποτελεσματική χρήση του νερού για την παραγωγή προϊόντων, από την άλλη όμως οι αυξανόμενες τιμές στις εξαγωγές αγροτικών προϊόντων και η απειλευθέρωση του παγκοσμίου εμπορίου μπορεί να οδηγήσουν στην εξάπλωση μεθόδων άρδευσης, που απαιτούν υψηλές ποσότητες φρέσκου νερού.

Επίσης, σχεδόν το 20% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρισμού, προέρχεται από υδροηλεκτρικά εργοστάσια, ενώ υπάρχει και προοπτική περαιτέρω αύξησης ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες. Παρά το γεγονός ότι η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί το επίκεντρο σε πολλά προγράμματα τοπικής και περιφερειακής ανάπτυξης, πολλές φορές δημιουργούνται πολύ υψηλά περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά κόστη. Στην ακτή της Σομαλίας για παράδειγμα, λιγότερο από το 50% της παραγόμενης ενέργειας αξιοποιείται κι όμως το αντίκτυπο στα αποθέματα φρέσκου νερού είναι ήδη ορατό. Ανάλογα προβλήματα αντιμετωπίζουν και χώρες όπως η Κίνα και η Καμπότζη, όπου νέα υδροηλεκτρικά εργοστάσια έχουν ήδη παραδοθεί ή πρόκειται να παραδοθούν τα αμέσως επόμενα χρόνια.

2.5 Οι επιπτώσεις από την έλλειψη φρέσκου νερού

Σήμερα υπολογίζεται ότι περίπου 1,1 δισεκατομμύρια άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε καθαρό πόσιμο νερό. Τα Ηνωμένα Έθνη βέβαια υπολογίζουν σε 2,6 δισεκατομμύρια τους ανθρώπους που δε διαθέτουν νερό κατάλληλο για απολύμανση. Τα δύο ζητήματα είναι αλληλένδετα μεταξύ τους, αφού έλλειψη νερού για απολύμανση επέρχεται μόλυνση και του πόσιμου νερού από τα απόβλητα. Άμεσο αποτέλεσμα είναι οι ασθένειες και οι θάνατοι ανθρώπων που

χρησιμοποιούν μολυσμένα αποθέματα νερού. Οι ασθένειες πλήττουν κυρίως τους πληθυσμούς του λεγόμενου τρίτου κόσμου, όπου υπολογίζεται ότι περίπου 3.900 παιδιά πεθαίνουν κάθε μέρα από διάρροια λόγω μη ύπαρξης πηγών φρέσκου πόσιμου νερού.

Επιπλέον, με δεδομένο ότι παγκοσμίως υπάρχουν περίπου 260 ποτάμια, συστήματα από τα οποία υδροδοτούνται με φρέσκο νερό πάρα πολλές χώρες, είναι φυσικό να αναπτύσσονται διαμάχες μεταξύ αυτών για τον έλεγχο των υδάτινων αποθεμάτων. Ήδη έχει αναφερθεί η περίπτωση των ποταμών Τίγρης και Ευφράτης οι οποίοι παρέχουν νερό σε Τουρκία, Συρία και Ιράκ. Το γεγονός ότι οι ανάγκες των τριών αυτών χωρών είναι πολύ μεγαλύτερες από τα αποθέματα των ποταμών αποτελεί αιτία έντασης και διαμάχης. Ανάλογα περιστατικά προέκυψαν μεταξύ Ουγγαρίας και Τσεχίας για τα νερά του Δούναβη, μεταξύ Βορείου και Νοτίου Κορέας, Ισραήλ και Παλαιστίνης, Αιγύπτου και Αιθιοπίας κλπ.

Σημαντική είναι και η έλλειψη φρέσκου νερού για τη χλωρίδα και την πανίδα, δηλαδή το οικοσύστημα. Λίμνες, ποτάμια, ρεύματα, βάλτοι είναι προφανώς άμεσα εξαρτημένα από την διαθεσιμότητα νερού, αλλά το ίδιο συμβαίνει και με τα δάση και άλλα πιο ορεινά οικοσυστήματα, τα οποία αντιμετωπίζουν σημαντικές μεταβολές στην παραγωγικότητα, όσο τα αποθέματα νερού ελαττώνονται. Στην Ευρώπη, η ραγδαία εξαφάνιση των υγροτόπων είχε σαν αποτέλεσμα ανάλογη μείωση στην βιοποικιλότητα. Για παράδειγμα στη Σκωτία, στην περιοχή του Αμπερντήν, η ξήρανση των βάλτων είχε σαν αποτέλεσμα την εξαφάνιση πολλών ειδών, μεταξύ των οποίων και ένα σπάνιο είδος χήνας.

Τέλος, φαινόμενα όπως η μετανάστευση, οι πλημμύρες λόγω διάβρωσης και η φτώχεια θα κλιμακωθούν τα επόμενα χρόνια ακριβώς λόγω της εξάντλησης των αποθεμάτων φρέσκου νερού σε παγκόσμιο επίπεδο.

2.6 Προτάσεις και λύσεις αντιμετώπισης της λειψυδρίας

Για να λυθεί το σημαντικό πρόβλημα της λειψυδρίας εμφανίζονται διάφορες λύσεις με κυριότερες τη μεταφορά νερού, την κατασκευή φραγμάτων και την αφαλάτωση.

2.6.1 Μεταφορά νερού

Η μεταφορά του νερού με πλοία-υδροφόρες είναι σωτήρια λύση για μεγάλο πλήθος νησιών, εδώ και πάρα πολλά χρόνια. Τα νησιά που υδροδοτούνται με πλωτά μέσα στην Ελλάδα είναι η Αμοργός, τα Κουφονήσια, η Κίμωλος, η Ηρακλεία, η Σχοινούσα, η Φολέγανδρος, η Τήνος, η Σίκινος, η Θηρασιά, η Δονούσα, η Μήλος, το Αγαθονήσι, οι Λειψοί, η Μεγίστη, η Νίσυρος, η Πάτμος, η Σύμη, η Χάλκη, η Παλιόνησος και η Ψέριμος. Χαρακτηριστικό των τελευταίων χρόνων είναι ότι εκτός από τα προαναφερθέντα νησιά, λόγω της όξυνσης του προβλήματος, αναγκάζονται να συμπληρώσουν τις ανάγκες τους με μεταφορά νερού και μεγάλα νησιά όπως η Ίος και η Μήλος, που παραδοσιακά δεν είχαν τέτοια προβλήματα.

Η λύση αυτή είναι σχετικά απλοϊκή καθώς δεν απαιτεί ιδιαίτερες υποδομές, το μόνο που χρειάζεται είναι μια δεξαμενή κατάλληλης χωρητικότητας, ώστε να μπορεί να δεχτεί το απαιτούμενο νερό για να καλύψει τις ανάγκες των κατοίκων.

Όσο απλή κι αν φαίνεται αυτή η λύση έχει ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα που δεν είναι άλλο από το κόστος ανά κυβικό μέτρο του παρεχόμενου νερού, το οποίο είναι ιδιαίτερα υψηλό. Το νερό για την μεταφορά προέρχεται από την ΕΥΔΑΠ, τα πλοία μισθώνονται από το Υπουργείο Εμπορικής Ναυτιλίας, ενώ το κόστος για τη μεταφορά κυμαίνεται, ανάλογα με την περιοχή, από 4 έως 10 ευρώ ανά κυβικό μέτρο. Συχνά, αυτή η κατάσταση μονοπωλίου και η ομηρία της τοπικής κοινωνίας από τους μεγαλοεπιχειρηματίες που εμπορεύονται το νερό δίνει τη δυνατότητα στους τελευταίους να εκβιάζουν καταστάσεις, με μόνο σκοπό την αύξηση των κερδών τους.

Επίσης, στα αρνητικά της παραπάνω λύσης θα πρέπει να υπολογίζεται και το περιβαλλοντικό κόστος από τη μεταφορά που έχει να κάνει με τα καυσαέρια των πλοίων και τη μόλυνση της θάλασσας, εξαιτίας των καυσίμων. Πολλές ενστάσεις για την καταλληλότητα αυτής της μεθόδου προέρχονται κι από τις αμφιβολίες σχετικά με την ποιότητα του νερού. Οι έρευνες λένε ότι δεν τηρούνται οι απαιτούμενες συνθήκες υγιεινής και αμφισβητείται η καταλληλότητα για χρήση αυτού του νερού, από τους κατοίκους των νησιών. Τέλος, δεν πρέπει να παραβλέπεται ότι το μεταφερόμενο νερό έχει προέλθει από κάποια ηπειρωτική

περιοχή, όπου ναι μεν το πρόβλημα δεν είναι τόσο έντονο αλλά δεν παύει και εκεί να είναι πολύτιμο και θα αναγκαστεί να το στερηθεί.

2.6.2 Κατασκευή φραγμάτων

Η λύση της κατασκευής των φραγμάτων χρησιμοποιείται για να εκμεταλλευτεί το ανάγλυφο του εδάφους των νησιών, με τις έντονες κλίσεις και υψομετρικές διαφορές που προκαλεί δυσκολία στην κατακράτηση του νερού. Το έντονο ανάγλυφο του εδάφους έχει ως αποτέλεσμα, ειδικά σε περιπτώσεις βροχοπτώσεων, σημαντικό ποσοστό του νερού να σχηματίζει χείμαρρους, οι οποίοι κατευθύνονται ανεξέλεγκτοι προς την θάλασσα και δεν αξιοποιούνται κατάλληλα.

Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Μυκόνου, η οποία είναι σχετικά ξερό νησί, όπου μετά την κατασκευή 2 φραγμάτων στην περιοχή Μαραθώ χωρητικότητας 3 εκατομμυρίων κυβικών μέτρων νερού και 1 εκατομμυρίου κυβικών μέτρων νερού, λύθηκε το πρόβλημα της ύδρευσης.

Φυσικά ούτε αυτή η λύση είναι απεγάδιαστη καθώς η κατασκευή ενός φράγματος, έστω και μικρού, έχει υψηλό κόστος, απαιτεί πληθώρα υποδομών ενώ προκαλεί και σημαντική αλλοίωση στο περιβάλλον καθώς είναι μια μόνιμη και βαριά κατασκευή, η οποία ενδεχομένως και να προκαλεί και αισθητική όχληση. Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται η εικόνα ενός φράγματος.



Εικόνα 2: Πανοραμική εικόνα φράγματος

Μοντελοποίηση συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με χρήση ηλιακού συλλέκτη

2.6.3 Αφαλάτωση

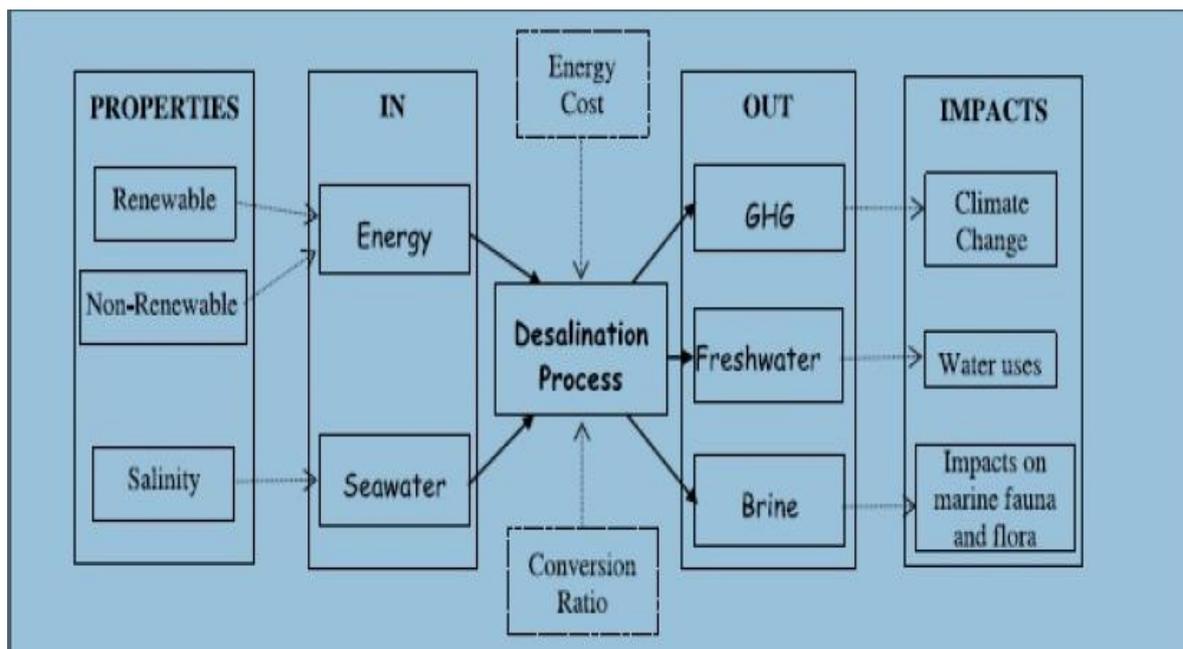
Η αφαλάτωση είναι η διεργασία αφαίρεσης των αλάτων από αλατούχα ύδατα, τα οποία μπορεί να είναι είτε το αλμυρό νερό της θάλασσας, είτε υφάλμυρο νερό από κάποια πηγή. Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργείται πόσιμο νερό ή νερό για άρδευση. Η συγκέντρωση του παραγόμενου νερού σε άλατα έχει να κάνει με την πηγή προέλευσης του νερού και τη μέθοδο αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται. Η διαδικασία της αφαλάτωσης μπορεί να γίνει με πολλές μεθόδους.

3. Αφαλάτωση

3.1 Εισαγωγή

Ο όρος αφαλάτωση αναφέρεται σε κάθε επιμέρους διαδικασία απομάκρυνσης του πλεονάζοντος αλατιού και άλλων μετάλλων από το νερό, με σκοπό να παράγουμε φρέσκο νερό κατάλληλο για κατανάλωση από ζώα και άρδευση. Επιπλέον στην περίπτωση που απομακρυνθεί το σύνολο του αλατιού, το παραγόμενο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για κατανάλωση από τους ανθρώπους. Το νερό το οποίο υφίσταται αφαλάτωση μπορεί να είναι θαλάσσιο, υφάλμυρο ή ακόμα και επεξεργασμένα λύματα. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η διαδικασία παράγει επιτραπέζιο αλάτι ως υποπροϊόν.

Η επιλογή της μεθόδου έχει να κάνει με πολλές παραμέτρους όπως η τοποθεσία, οι ειδικές καταστάσεις κάθε περιοχής, η διαθεσιμότητα της ενέργειας, η προέλευση του νερού (αλμυρό ή υφάλμυρο) κτλ. Γενικά, δε γίνεται να βγει ένα συμπέρασμα για το ποια μέθοδος αφαλάτωσης είναι η βέλτιστη. Η κάθε μέθοδος μπορεί να αξιολογηθεί μόνο με βάση τις δεδομένες απαιτήσεις του εκάστοτε προβλήματος. Η “βέλτιστη” μέθοδος είναι σε κάθε περίπτωση αυτή που παράγει αξιόπιστα τη ζητούμενη ποσότητα νερού, στην αναμενόμενη ποιότητα και με ένα αποδεκτό κόστος. Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι οι περισσότερες μέθοδοι απαιτούν μια προεργασία με χημικά στο νερό που θα χρησιμοποιηθεί, ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία αλάτων, η διάβρωση, η γήρανση και η γενικότερη δυσλειτουργία του εξοπλισμού. Σε κάποιες από τις διαδικασίες απαιτείται και η χημική επεξεργασία του νερού μετά το τέλος της αφαλάτωσης. Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται το σχηματικό διάγραμμα της διαδικασίας.



Σχήμα 2: Σχηματικό διάγραμμα των εισόδων και των παραμέτρων ενός συστήματος αφαλάτωσης. Εισόδους αποτελούν η ενέργεια (ανανεώσιμη ή μη) και το αλμυρό νερό, και εξόδους το φρέσκο νερό, η άλμη και τα αέρια του θερμοκηπίου.

3.2 Η χρήση της αφαλάτωσης σε παγκόσμιο επίπεδο

Η αφαλάτωση θαλάσσιου νερού είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στη Μέση Ανατολή (εξαιτίας της εκτεταμένης ερημοποίησης) και στην Καραϊβική. Επιπλέον, τα τελευταία χρόνια βρίσκει εφαρμογή και σε περιοχές όπως οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Βόρεια Αφρική, η Σιγκαπούρη, η Ισπανία, η Αυστραλία και η Κίνα. Η αφαλάτωση υφάλμυρου νερού πραγματοποιείται κυρίως στις Ηνωμένες Πολιτείες, λόγω συμφωνιών που έχουν υπογραφεί με την κυβέρνηση του Μεξικό σχετικά με την ποιότητα του νερού των ποταμών που εισέρχονται σ' αυτό. Τέλος, ορισμένες χώρες της Μέσης Ανατολής, με τεράστια ενεργειακά αποθέματα, παράγουν αφαλατωμένο νερό και για άρδευση. Ενδεικτικό είναι ότι οι μονάδες αφαλάτωσης της Σαουδικής Αραβίας καλύπτουν το 24% της παγκόσμιας παραγωγής. Η μεγαλύτερη μονάδα βρίσκεται στα Ηνωμένα Αραβικά Εμιράτα, χρησιμοποιεί τη μέθοδο απόσταξης πολλαπλής φάσης (Multi stage flash distillation ,MSF) και παράγει 300 εκατομμύρια κυβικά μέτρα αφαλατωμένου νερού, ετησίως.

3.3 Μέθοδοι αφαλάτωσης

Κάνοντας μια γενική κατηγοριοποίηση των μεθόδων αφαλάτωσης, οι σημαντικότερες ανήκουν στις παρακάτω κατηγορίες:

Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από τις μεθόδους αφαλάτωσης που βασίζονται στην απόσταξη και στις οποίες το νερό αλλάζει τουλάχιστον δύο φορές φάση, καθώς περνάει από την υγρή στην αέρια φάση και αντίστροφα, μέχρις ότου να συμπυκνωθεί και πάλι σε υγρή μορφή.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τις μεθόδους, όπου εφαρμόζονται διεργασίες που χρησιμοποιούν μεμβράνες για το διαχωρισμού του νερού από τα άλατα και τις προσμίξεις που έχει.

Ενδεικτικά, στις μεθόδους αφαλάτωσης με βάση την απόσταξη οι κυριότερες μέθοδοι είναι η απόσταξη πολλαπλής φάσης (Multi stage flash distillation,MSF), η εξάτμιση πολλαπλών σταδίων (Multiple Effect Evaporator,MED/MEB/MEE) και η συμπίεση του ατμού (Vapor Compression ,VC).

Οι κυριότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούν διεργασίες μεμβράνης είναι η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (Electrodialysis Reversal,ER), η αντίστροφη όσμωση (Reverse Osmosis RO), η μέθοδος νανοφιλτραρίσματος (Nanofiltration,NF) και η απόσταξη μέσω μεμβράνης (Membrane Distillation,MD).

3.3.1 Απόσταξη πολλαπλής φάσης

Η απόσταξη πολλαπλής φάσης είναι μια μέθοδος αφαλάτωσης που αποστάζει θαλασσινό νερό, ατμοποιώντας αστραπιαία ένα μέρος του νερού σε πολλές βαθμίδες, οι οποίες θα μπορούσαν να θεωρηθούν αναγεννητικοί εναλλάκτες θερμότητας. Αρχικά, το θαλασσινό νερό θερμαίνεται σε ένα δοχείο που ονομάζεται βραστήρας άλμης. Αυτό επιτυγχάνεται, συμπυκνώνοντας ατμό σε μια σειρά σωλήνων που μεταφέρουν θαλασσινό νερό διαμέσου του βραστήρα άλμης. Στη συνέχεια, το θερμό νερό μεταφέρεται σε ένα άλλο δοχείο, που ονομάζεται βαθμίδα, στο οποία η περιβάλλουσα πίεση είναι χαμηλότερη από το βραστήρα άλμης. Αυτή η απότομη μετάβαση του θερμού νερού σε χαμηλότερη πίεση προκαλεί το ταχύτατο βρασμό του και την απότομη μετατροπή του σε ατμό. Κατά κανόνα, μόνο ένα μικρό ποσοστό του νερού μετατρέπεται σε ατμό, οπότε το

Μοντελοποίηση συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με χρήση ηλιακού συλλέκτη

υπόλοιπο νερό περνάει από μια σειρά πρόσθετων βαθμίδων, κάθε μια εκ των οποίων έχει χαμηλότερη περιβάλλουσα πίεση από την προηγούμενη. Ο ατμός που παράγεται συμπυκνώνεται σε κατάλληλους σωλήνες που υπάρχουν σε κάθε βαθμίδα. Επειδή το κρύο θαλασσινό νερό εισερχόμενο στη διαδικασία ρέει κοντά στο αποσταγμένο νερό με αντίθετη φορά, σχετικά μικρό ποσοστό θερμότητας χάνεται στο περιβάλλον. Το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας προσλαμβάνεται από το θαλασσινό νερό και μ' αυτόν τον τρόπο η ενέργεια ανακυκλώνεται και αυξάνεται ο βαθμός απόδοσης της διάταξης.

Ένας τρόπος για τη θέρμανση του θαλασσινού νερού κατά τη διαδικασία της MSF είναι με τη χρήση συμπαραγωγής. Η αποβαλλόμενη ενέργεια από ένα εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιείται για να παράσχει την απαιτούμενη θερμότητα που χρειάζεται η διαδικασία της αφαλάτωσης, ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνεται και η ψύξη του εργοστασίου παραγωγής ενέργειας χωρίς αυτή η θερμότητα να αποβάλλεται στο περιβάλλον με ζημιολόγο πιθανώς τρόπο. Επίσης, κάτι τέτοιο βελτιώνει τα οικονομικά δεδομένα της εγκατάστασης, καθώς το κόστος για την ενέργεια είναι το πιο σημαντικό απ' όλα και η συμπαραγωγή μειώνει την απαιτούμενη ενέργεια κατά 50%-66%.

3.3.2 Συμπύεση ατμού

Η μέθοδος της συμπύεσης του ατμού αναφέρεται στη διαδικασία απόσταξης, κατά την οποία ο ατμός που εξατμίζεται από το θαλασσινό ή το υφάλμυρο νερό λαμβάνεται από μια διάταξη θερμότητας που τον συμπιέζει. Καθώς η συμπύεση του ατμού αυξάνει τόσο την πίεση όσο και την θερμοκρασία του, είναι εφικτό να χρησιμοποιήσουμε την αποβαλλόμενη θερμότητα που προκύπτει από τη συμπύεση για να δημιουργήσουμε επιπλέον ατμό. Η συμπύεση του ατμού που περιγράφεται παραπάνω μπορεί να γίνει με 2 τρόπους. Ο πρώτος είναι με την χρήση ενός συστήματος εκβολής που λειτουργεί με ατμό σε μανομετρική πίεση από εξωτερική πηγή, ώστε να ανακυκλώνει τον ατμό κατά τη διαδικασία της αφαλάτωσης. Ο δεύτερος τρόπος είναι με τη συμπύεση του ατμού μέσω μιας μηχανικής διάταξης, η οποία της περισσότερες φορές λειτουργεί με ηλεκτρισμό. Αυτή η διαδικασία έχει ονομαστεί μηχανική συμπύεση ατμού (Mechanical Vapor Compression, MVC).

Υπάρχουν 2 εκδοχές της μηχανικής συμπίεσης ατμού. Η μια είναι η συμπίεση ατμού (VC), η οποία λαμβάνει χώρα σε μανομετρικές πιέσεις και η άλλη είναι η συμπίεση ατμού υπό κενό (Vacuum Vapor Compression VVC), η οποία πραγματοποιείται σε πολύ χαμηλές ατμοσφαιρικές πιέσεις. Η συμπίεση τροφοδοτείται μηχανικά από διατάξεις που λειτουργούν ως μηχανικές τουρμπίνες. Όπως παράγεται ο ατμός, μεταφέρεται σε ένα συμπυκνωτή όπου εναλλάσσεται θερμότητα και ο ατμός μετατρέπεται και πάλι σε νερό. Το πόσιμο νερό που προκύπτει μεταφέρεται στις δεξαμενές αποθήκευσης ενώ η θερμότητα χρησιμοποιείται και πάλι σε προηγούμενα στάδια της διαδικασίας. Η διαδικασία της συμπίεσης ατμού υπό κενό είναι η πιο αποδοτική διαδικασία απόσταξης όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας και τους ρυθμούς παραγωγής πόσιμου νερού. Επίσης είναι ιδιαίτερα αξιόπιστη και εύκολη στη διαχείριση και στη λειτουργία και είναι πολύ ανθεκτική, οπότε μπορεί να λειτουργήσει ακόμα και υπό αντίξοες συνθήκες.

3.3.3 Εξάτμιση πολλαπλών σταδίων

Στη μέθοδο της εξάτμισης πολλαπλών σταδίων το νερό βράζει σε μια ακολουθία εναλλακτών θερμότητας, κάθε ένας εκ των οποίων κρατιέται σε χαμηλότερη πίεση από το προηγούμενο. Επειδή το σημείο βρασμού του νερού μειώνεται όσο μειώνεται και η πίεση, ο ατμός που έχει προέλθει από το βρασμό σε κάθε εναλλάκτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση του επόμενου. Μόνο για τη θέρμανση του πρώτου 'δοχείου' απαιτείται εξωτερική πηγή θερμότητας. Με τη συγκεκριμένη μέθοδο θα ασχοληθεί αναλυτικά η παρούσα εργασία, στη συνέχεια.

3.3.4 Αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση

Η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση (Reverse Electrodialysis RED) είναι μία μέθοδος που εκμεταλλεύεται την οσμωτική ενέργεια, που είναι η ενέργεια που ανακτάται εξαιτίας της διαφοράς στην συγκέντρωση αλατιού, μεταξύ του θαλασσινού νερού και του πόσιμου νερού. Για την πραγματοποίηση της μεθόδου, ένα διάλυμα που περιέχει άλατα καθώς και μια ποσότητα φρέσκου νερού διοχετεύεται σε μια δέσμη από εναλλασσόμενες μεμβράνες ανόδου και καθόδου. Η διαφορά χημικού δυναμικού μεταξύ του αλατούχου και του πόσιμου νερού δημιουργεί μια διαφορά

ηλεκτρικού δυναμικού μεταξύ κάθε μεμβράνης ενώ η συνολική τάση που δημιουργείται είναι το άθροισμα όλων των επιμέρους τάσεων που δημιουργούνται. Η μέθοδος αυτή επηρεάζεται μόνο από τη συγκέντρωση των ιόντων και όχι από το ηλεκτρικό πεδίο, γι' αυτό χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην κατάλληλη επιλογή μεμβρανών.

3.3.5 Αντίστροφη όσμωση

Η αντίστροφη όσμωση είναι μια διαδικασία διαχωρισμού η οποία χρησιμοποιεί πίεση για να ωθήσει ένα διάλυμα μέσω μιας μεμβράνης, η οποία κρατάει την διαλυμένη ουσία στη μια της πλευρά και επιτρέπει στον καθαρό, πλέον, διαλύτη να περάσει από την άλλη μεριά. Με άλλα λόγια, είναι μια διαδικασία που εξαναγκάζει τον διαλύτη που βρίσκεται σε μια περιοχή υψηλής συγκέντρωσης της διαλυμένης ουσίας να περάσει, μέσα από μια μεμβράνη, σε μια περιοχή όπου η συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας είναι πολύ πιο χαμηλή, ασκώντας μια πίεση η οποία είναι πιο μεγάλη από την οσμωτική πίεση.

Η μεμβράνη είναι ημιδιαπερατή και είναι έτσι σχεδιασμένη, ώστε να επιτρέπει την διέλευση του διαλύτη, αλλά όχι και της διαλυμένης ουσίας και των όποιων προσμίξεων. Οι μεμβράνες που χρησιμοποιούνται για την αντίστροφη όσμωση έχουν πυκνό πλέγμα στο πολυμερές υλικό περίβλημά τους, όπου και γίνεται κυρίως ο διαχωρισμός.

Για να γίνει ο διαχωρισμός σημαίνει ότι πρέπει να ασκηθεί υψηλή πίεση στη μεριά της υψηλής συγκέντρωσης της διαλυμένης ουσίας, η οποία είναι της τάξης των 2-17 bar για υφάλμυρο νερό και 40-70 bar για θαλασσινό νερό, το οποίο έχει οσμωτική πίεση 24 bar, η οποία και πρέπει να υπερκεραστεί. Στη διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης, οι δυνάμεις που επηρεάζουν την κίνηση του νερού είναι δύο. Η πρώτη είναι η δύναμη λόγω της οσμωτικής πίεσης που αναγκάζει το διαλύτη να κινηθεί από την περιοχή με χαμηλή συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας στην περιοχή με την υψηλή συγκέντρωση αυτής. Η δεύτερη είναι αντίθετη στην πρώτη, προκαλεί αντίθετη κίνηση του νερού και οφείλεται στην πίεση που επιβάλλεται εξωτερικά. Ο σκοπός είναι να υπερισχύσει η δεύτερη δύναμη ώστε να προκύψει διαλύτης, δηλαδή νερό, απαλλαγμένος από τη διαλυμένη ουσία, δηλαδή άλατα και προσμίξεις, και να επιτευχθεί η διαδικασία της αφαλάτωσης. Αυτός είναι

Μοντελοποίηση συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με χρήση ηλιακού συλλέκτη

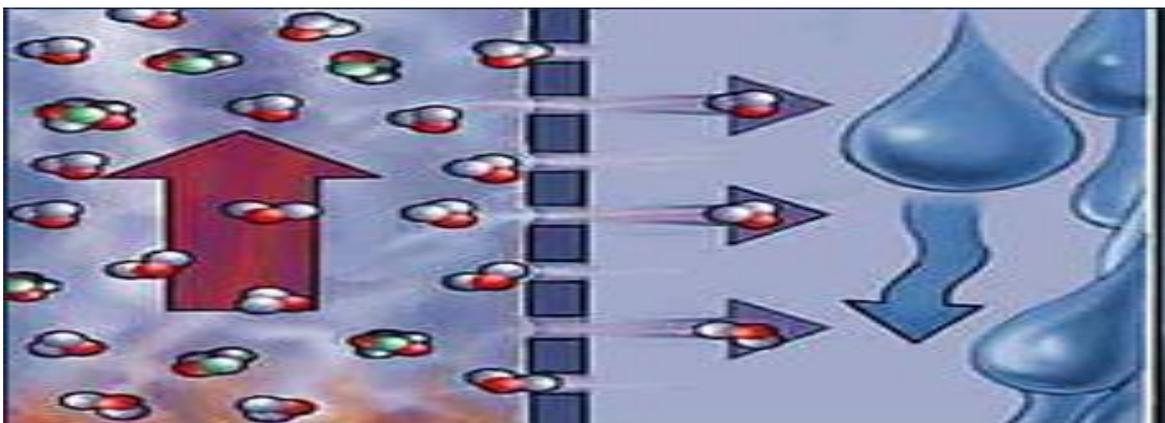
άλλωστε και ο λόγος, για τον οποίο η πίεση που επιβάλλεται εξωτερικά, πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την οσμωτική πίεση του διαλύματος.

3.3.6 Νανοφιλτράρισμα

Μια άλλη διεργασία μεμβράνης για την παραγωγή πόσιμου νερού από αλμυρό ή υφάλμυρο νερό είναι η διεργασία του νανοφιλτραρίσματος (Nanofiltration, NF). Είναι μια σχετικά καινούργια μέθοδος η οποία και εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου υπάρχει νερό με μικρό ποσοστό διαλυμένων ουσιών όπως σε επιφανειακά ύδατα ή σε κινούμενο υπόγειο νερό. Αυτό επιτυγχάνεται με την αφαίρεση των φυσικών και των συνθετικών οργανικών στοιχείων που έχουν μολύνει το νερό. Αυτή η μέθοδος συχνά εφαρμόζεται σε συνδυασμό με την αντίστροφη όσμωση. Σε πειράματα όμως που έγιναν, αποδείχθηκε ότι η αφαλάτωση που γινόταν με αυτό τον τρόπο αφαιρούσε μεν τις διαλυμένες ουσίες που έπρεπε ώστε να μειωθεί η συγκέντρωση των αλάτων και να γίνει το νερό πόσιμο, όμως ταυτόχρονα χανόταν και πλήθος θρεπτικών συστατικών, όπως ασβέστιο και ιόντα μαγνησίου, με αποτέλεσμα η συγκέντρωσή τους να έπεφτε κάτω από τα επιτρεπτά όρια που θέτει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας. Έτσι έπρεπε στη συνέχεια να προστεθούν ξανά όλα τα θρεπτικά στοιχεία του νερού που χάθηκαν. Παρόλα αυτά, το μεγάλο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν έχει ιδιαίτερες οικονομικές απαιτήσεις, οπότε καθίσταται συμφέρουσα για αναπτυσσόμενες χώρες που έχουν αυξημένες ανάγκες για φθινό νερό σε μεγάλες ποσότητες. Βέβαια, υπάρχουν ενδοιασμοί για το κατά πόσο θα μπορέσουν αυτές οι χώρες να παράγουν και να διαχειριστούν την απαιτούμενη τεχνολογία.

3.3.7 Μέθοδος απόσταξης με μεμβράνη

Επίσης υπάρχει και η μέθοδος της απόσταξης με μεμβράνη (Membrane Distillation MD). Στην εικόνα 3, παρουσιάζεται η συγκεκριμένη μέθοδος, στην οποία ατμός διαπερνά τη μεμβράνη και υγροποιείται στην απέναντι πλευρά.



Εικόνα 3: Απόσταξη με μεμβράνη

3.3.8 Ανταλλαγή ιόντων

Μια άλλη μέθοδος που βρίσκει εφαρμογή και στο πεδίο της αφαλάτωσης είναι η ανταλλαγή ιόντων (ion exchange). Αυτή περιλαμβάνει την ανταλλαγή ιόντων μεταξύ δυο ηλεκτρολυτών ή μεταξύ ενός διαλύματος ηλεκτρολυτών και ενός σύνθετου διαλύματος. Η διαδικασία αυτή συνήθως χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διαδικασία καθαρισμού και διαχωρισμού υγρών, και όχι μόνο διαλυμάτων, που περιέχουν ιόντα. Οι ανταλλαγείς ιόντων χωρίζονται σε ανταλλαγείς ανιόντων όπου ανταλλάσσονται αρνητικά φορτισμένα ιόντα (ανιόντα) και σε ανταλλαγείς κατιόντων όπου ανταλλάσσονται θετικά φορτισμένα ιόντα (κατιόντα). Επίσης, υπάρχουν και οι αμφοτερικοί ανταλλαγείς, όπου είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί ανταλλαγή ανιόντων και κατιόντων ταυτόχρονα.

3.3.9 Λοιπές μέθοδοι

Η αφαλάτωση μπορεί να επιτευχθεί και με τη μέθοδο της στερεοποίησης ή αλλιώς του παγώματος (freezing) των διαφόρων μιγμάτων νερού. Αυτή η μέθοδος έχει αρκετά μειονεκτήματα και τεχνικά προβλήματα, τα οποία έχουν εμποδίσει ως τώρα την περαιτέρω ανάπτυξη της.

Μια πρωτοπόρα και υπό διερεύνηση μέθοδος αφαλάτωσης είναι η γεωθερμική αφαλάτωση (geothermal desalination). Αυτή εκμεταλλεύεται την θερμότητα που προέρχεται από την γη για την παραγωγή ποσίου νερού. Τα διαβεβαιωμένα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ότι είναι πιο εύκολη στη χρήση και στη διαχείριση από την αντίστροφη όσμωση και ότι η ενέργεια που προέρχεται από

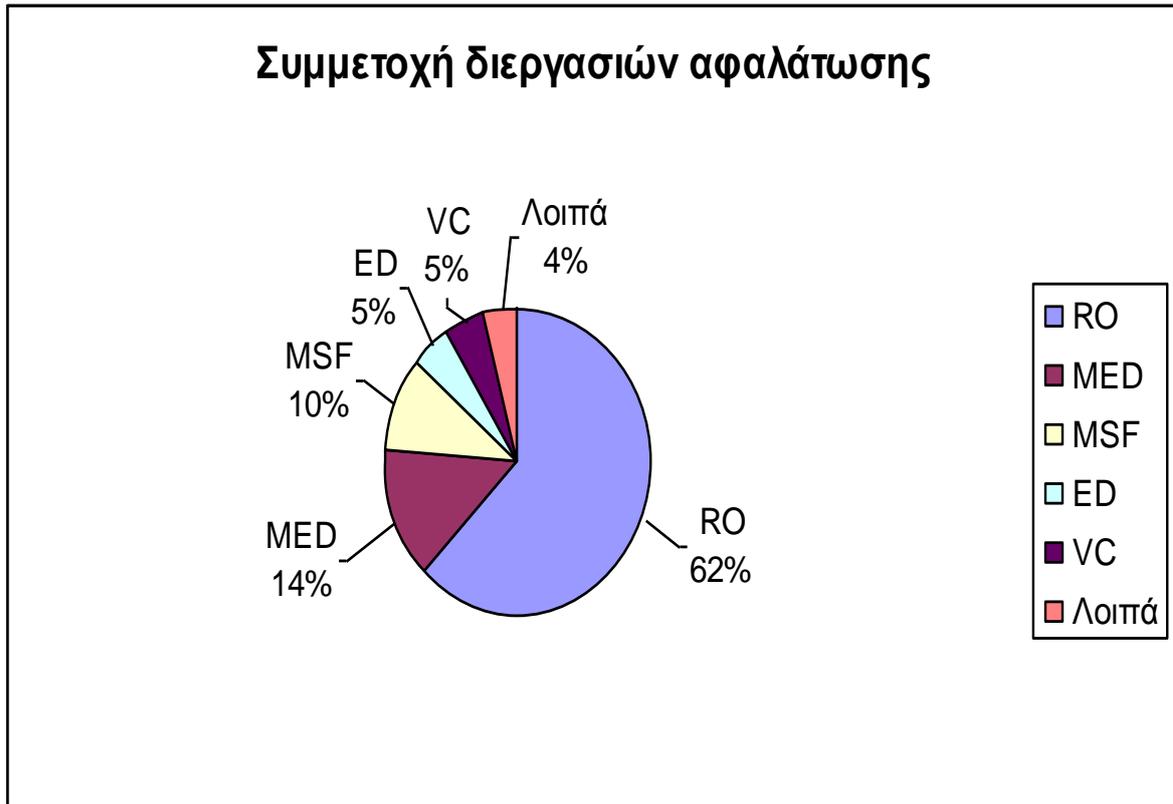
Μοντελοποίηση συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με χρήση ηλιακού συλλέκτη

την γεωθερμική θερμότητα είναι από τις πιο φιλικές προς το περιβάλλον μορφές ενέργειας. Οι σχετικές έρευνες είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο, αλλά έχουν δείξει ότι με νερό θερμοκρασίας περίπου 100 βαθμών Κελσίου και μια πηγή ψύξης η μελετώμενη διαδικασία εξάτμισης και συμπύκνωσης μπορεί να λειτουργήσει αρκούντως ικανοποιητικά.

Μια ακόμα μέθοδος αφαλάτωσης είναι η μέθοδος ηλιακής υγραποίησης αφυγραποίησης (solar humidification dehumidification, SHD). Αυτή είναι μια θερμική μέθοδος που βασίζεται στην εξάτμιση του θαλασσινού ή του υφάλμυρου νερού και τη συνεχή συμπύκνωση του παραγόμενου ατμού, κυρίως σε ατμοσφαιρική πίεση. Η διαδικασία αυτή μιμείται το φυσικό κύκλο του νερού αλλά σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα. Η πιο απλή μέθοδος εφαρμόζεται σε ένα ηλιακό κάτοπτρο όπου εξατμίζεται το θαλασσινό νερό σε ένα δοχείο καλυμμένο με γυαλί και στη συνέχεια συμπυκνώνεται ο υδρατμός στην κάτω πλευρά του γυάλινου καλύμματος. Άλλες πιο εξελιγμένες μέθοδοι διαχωρίζουν την περιοχή όπου ανακτάται η ηλιακή θερμότητα με την περιοχή όπου γίνεται η εξάτμιση και η συμπύκνωση. Η βέλτιστη σχεδίαση της διάταξης χρησιμοποιεί χωριστό τμήμα για την εξάτμιση και τη συμπύκνωση. Ένα μεγάλο ποσοστό της θερμότητας που χάνεται κατά τη διάρκεια της εξάτμισης μπορεί να ανακτηθεί κατά τη διαδικασία της συμπύκνωσης. Ένα παράδειγμα μεθόδου που κάνει χρήση της ηλιακής υγραποίησης αφυγραποίησης καθώς και της βέλτιστης σχεδίασης που προαναφέρθηκε είναι η υγραποίηση πολλαπλής επίδρασης (Multiple Effect Humidification, MEH). Τα πλεονεκτήματα της υγραποίησης- αφυγραποίησης είναι ότι με πηγές ενέργειας χαμηλής θερμότητας, δεν απαιτείται τεχνολογία υψηλού επιπέδου, χαρακτηρίζεται από απλότητα στον σχεδιασμό και έχει υψηλή απόδοση.

3.4 Συμμετοχή μεθόδων αφαλάτωσης

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3) παρουσιάζεται η συμμετοχή διεργασιών αφαλάτωσης στο σύνολο των διεργασιών που πραγματοποιούνται.



Σχήμα 3: Συμμετοχή διεργασιών αφαλάτωσης στο σύνολο των διεργασιών αφαλάτωσης που πραγματοποιούνται.

Η μέθοδος MED, με την οποία θα ασχοληθεί η παρούσα εργασία, αποτελεί το 14% των διεργασιών αφαλάτωσης σύμφωνα με το παραπάνω διάγραμμα.

4. Ενέργεια για αφαλάτωση

4.1 Εισαγωγή

Η χρήση αφαλάτωσης είναι μια από τις πιο ελπιδοφόρες μεθόδους για την αντιμετώπιση της λειψυδρίας σε πολλές περιοχές του πλανήτη. Οι περιοχές αυτές, όμως, συνήθως είναι απομονωμένες και δεν είναι εύκολη η πρόσβαση. Έτσι, συχνά στα μέρη αυτά δεν είναι εύκολη και η παροχή της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι περιοχές αυτές συνήθως δεν είναι συνδεδεμένες σε κάποιο ισχυρό δίκτυο παροχής ενέργειας, όπως παραδείγματος χάριν τα ελληνικά νησιά που δεν είναι διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό δίκτυο παροχής ενέργειας της Ελλάδας, ή είναι συνδεδεμένες με ανίσχυρα και μικρής δυναμικής τοπικά δίκτυα τα οποία συνήθως τροφοδοτούνται από ντιζελογεννήτριες.

Συνεπώς, η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των μεθόδων αφαλάτωσης με συμβατικές πηγές ενέργειας είναι συχνά ανέφικτη, καθώς τα τοπικά δίκτυα παροχής ενέργειας είναι μικρής ισχύος και καταπονούνται υπερβολικά, μη μπορώντας να ανταποκριθούν στα υπόλοιπα φορτία. Ακόμα και όταν υπάρχει η δυνατότητα να γίνει η παροχή ενέργειας, η λύση αυτή δεν είναι οικονομικά συμφέρουσα καθώς οι πηγές ενέργειας που είναι διαθέσιμες είναι ακριβές, όπως το ντίζελ, σε αντίθεση με το φθινό πλην εξίσου ρυπογόνο λιγνίτη.

Άρα, για να εφαρμοστεί η αφαλάτωση πρέπει να λυθεί το πρόβλημα της παροχής ενέργειας.

Η λύση στο παραπάνω πρόβλημα δεν είναι άλλη από τη χρησιμοποίηση των ΑΠΕ. Η λύση αυτή όμως δεν αποτελεί πανάκεια. Απαιτείται μελέτη της κάθε περίπτωσης αναλυτικά, καθώς πρέπει να διερευνηθεί το δυναμικό της κάθε μορφής ΑΠΕ στην περιοχή ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη. Πρέπει να γίνει τεχνικοοικονομική μελέτη ώστε να διαπιστωθεί η διαθεσιμότητα της κάθε τεχνολογίας και η εμπορική της ωριμότητα, η δυνατότητα εφαρμογής της στην κάθε περίπτωση, οι υπάρχουσες υποδομές καθώς και αυτές που απαιτείται να γίνουν, το κόστος της επένδυσης και της εγκατάστασης.

4.2 Μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για αφαλάτωση

Οι μορφές των ΑΠΕ, οι οποίες έχουν διερευνηθεί επιστημονικά και έχουν γίνει κάποια βήματα για την εκμετάλλευσή τους, είναι πάρα πολλές. Όμως, για διάφορους λόγους, δεν είναι όλες κατάλληλες για χρήση σε διαδικασίες αφαλάτωσης. Οι κυριότερες μορφές, που έχει διαπιστωθεί ότι, μπορεί να αποτελέσουν μια βιώσιμη λύση φαίνονται παρακάτω.

4.2.1 Ηλιακή θερμική ενέργεια

Η ηλιακή θερμική ενέργεια είναι από τις πολλά υποσχόμενες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ποικιλοτρόπως.

Ένας τρόπος είναι με τη χρήση της θερμικής ενέργειας όπου μπορούμε να έχουμε ένα σύστημα απόσταξης που θα αποτελείται από τον ηλιακό συλλέκτη και τον 'αποστάκτη' ή από ένα ολοκληρωμένο σύστημα που τα περιλαμβάνει και τα δυο. Η πρώτη περίπτωση χαρακτηρίζεται έμμεση ηλιακή αφαλάτωση ενώ η δεύτερη ονομάζεται άμεση ηλιακή αφαλάτωση. Η έμμεση ηλιακή αφαλάτωση συνήθως γίνεται μέσω ενός εμπορικά διαθέσιμου ηλιακού συλλέκτη και μιας επίσης εμπορικά διαθέσιμης διάταξης αφαλάτωσης.

Επίσης η ηλιακή θερμική ενέργεια μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική ή μηχανική ενέργεια και να εξυπηρετήσει τις αντίστοιχες εφαρμογές.

4.2.2 Ηλιακή ενέργεια από φωτοβολταϊκά

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να συλλεχθεί από μια διάταξη φωτοβολταϊκών πάνελ και να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι κυψέλες των φωτοβολταϊκών είναι συνήθως από σιλικόνη, αν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα ημιαγωγικά υλικά. Στις εφαρμογές που κυκλοφορούν στην αγορά, μπορούν να επιτευχθούν αποδόσεις της τάξης του 15% για μονοκρυσταλλικές κυψέλες σιλικόνης και 10-11% για πολυκρυσταλλικές κυψέλες σιλικόνης. Η ηλεκτρική παραγωγή μπορεί να αυξηθεί συγκεντρώνοντας την ηλιακή ακτινοβολία σε ορισμένα σημεία με τη χρήση κατάλληλων ανακλαστικών καθρεφτών καθώς και με τη χρήση κατάλληλων συσκευών που εντοπίζουν την θέση του ήλιου και στρέφουν ανάλογα τις κυψέλες στην σωστή κατεύθυνση. Η κυριότερη κατεύθυνση στην έρευνα στον χώρο των

φωτοβολταϊκών είναι η αύξηση της απόδοσης των κυψελών, η μείωση του κόστους κατασκευής τους και η έρευνα για άλλα ημιαγωγικά υλικά.

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών είναι από τις πιο ώριμες και προχωρημένες στο χώρο των ΑΠΕ. Ειδικότερα, για την αφαλάτωση, οι προσπάθειες που έχουν γίνει για τον συνδυασμό ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά με τη διαδικασία της αντίστροφης όσμωσης ήταν επιτυχείς και συνιστούν οικονομικά βιώσιμη και εμπορικά εκμεταλλεύσιμη λύση. Το κατά πόσο αυτή η τεχνολογία είναι ανταγωνιστική με την παραγωγή ενέργειας από συμβατικές πηγές έχει να κάνει με την χωρητικότητα της μονάδας, με την απόσταση από το ηλεκτρικό δίκτυο καθώς και με την συγκέντρωση άλατος στο νερό τροφοδοσίας.

4.2.3 Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια μπορεί να αποτελέσει λύση, ειδικά για τις παράκτιες περιοχές, στις οποίες συνήθως το αιολικό δυναμικό είναι αυξημένο. Το αιολικό δυναμικό θεωρείται κατάλληλο, αν η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου είναι πάνω από 5m/s. Στις περιοχές αυτές, η αιολική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για την αφαλάτωση όσο και για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των κατοίκων. Οι νέες τεχνολογίες για ανεμογεννήτριες μικρού και μεσαίου μεγέθους προσφέρουν υψηλή αξιοπιστία και χαμηλό κόστος επένδυσης. Η κατηγοριοποίηση των ανεμογεννητριών με βάση την ονομαστική τους ισχύ μπορεί να γίνει ως εξής:

α)Ανεμογεννήτριες πολύ μικρού μεγέθους :ονομαστική ισχύς μικρότερη από 10KW.

β)Ανεμογεννήτριες μικρού μεγέθους :ονομαστική ισχύς μικρότερη από 100KW.

γ)Ανεμογεννήτριες μεσαίου μεγέθους :ονομαστική ισχύς μικρότερη από 0,5MW.

δ)Ανεμογεννήτριες μεγάλου μεγέθους :ονομαστική ισχύς μεγαλύτερη από 0,5MW.

Οι τεχνολογίες είναι ώριμες με εξαίρεση ίσως τις πολύ μεγάλες ανεμογεννήτριες οι οποίες όμως έτσι κι αλλιώς δεν είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για τη χρήση στην αφαλάτωση. Οι νέες στρατηγικές ελέγχου και οι νέοι τρόποι αποθήκευσης ενέργειας βελτιώνουν τις δυνατότητες παραγωγής των ανεμογεννητριών.

Σε σύγκριση με τη λύση των φωτοβολταϊκών, η αιολική ενέργεια είναι πιο συμφέρουσα από οικονομικής άποψης, ενώ απαιτείται και πολύ μικρότερη έκταση για την εγκατάσταση του εξοπλισμού.

Με δεδομένο ότι η αντίστροφη όσμωση έχει την μικρότερη κατανάλωση ενέργειας από όλες τις διαδικασίες αφαλάτωσης, ο συνδυασμός της με την αιολική ενέργεια σε παράκτιες περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού καθίσταται ιδιαίτερα δελεαστικός. Το κόστος παραγωγής του νερού επηρεάζεται από τις κλιματικές συνθήκες, από τη χωρητικότητα της μονάδας καθώς και από τις αλλαγές στην ισχύ του ανέμου και στην τεχνολογία της αντίστροφης όσμωσης. Πάντως, σε απομονωμένες περιοχές για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού, και όχι αλμυρού, είναι προτιμότερη η αντίστροφη ηλεκτροδιάλυση από την αντίστροφη όσμωση καθώς είναι λιγότερο ευαίσθητη στη λειτουργία με τη μεταβλητή εισερχόμενη ενέργεια που προέρχεται από τις ανεμογεννήτριες.

4.2.4 Υβριδική παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά και άνεμο

Ο συνδυασμός των πλεονεκτημάτων των δυο παραπάνω μορφών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να αποτελέσει πολύ καλή λύση.

4.2.5 Βιομάζα

Η χρήση της βιομάζας για αφαλάτωση δεν είναι ιδιαίτερα αποδοτική καθώς τα οργανικά υπολείμματα δεν είναι συνήθως διαθέσιμα σε άλυδες περιοχές, ενώ η παραγωγή τους απαιτεί πιο πολύ νερό απ' ό τι η αφαλάτωση που θα προκύψει με τη χρήση τους. Επίσης, η οικονομική απόδοση των εγκαταστάσεων που χρησιμοποιούν την βιομάζα ως μέσο για παραγωγή ενέργειας επηρεάζεται και από την απόσταση του τόπου παραγωγής της βιομάζας από τον τόπο κατανάλωσης της. Γενικά, η οικονομικά αποδεκτή αξιοποίηση της βιομάζας είναι μια δύσκολη υπόθεση καθώς τα προβλήματα που εγείρονται είναι πάρα πολλά.

4.2.6 Γεωθερμία

Η γεωθερμία μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην αφαλάτωση με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα και αποτελεί πολύ καλή λύση και για την Ελλάδα καθώς στα εδάφη

της βρίσκονται πάρα πολλές πηγές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα στον ελληνικό χώρο είναι η Μήλος, στα εδάφη της οποίας έχουν γίνει αρκετές προσπάθειες εκμετάλλευσης της γεωθερμίας, είτε σε πειραματικό επίπεδο είτε πιο προχωρημένες.

Οι πηγές γεωθερμικής ενέργειας μπορούν να ταξινομηθούν με βάση την μετρούμενη θερμοκρασία τους ως χαμηλής θερμοκρασίας (<100°C), μεσαίας θερμοκρασίας (100-150°C) και υψηλής θερμοκρασίας (>150°C). Το θερμικό δυναμικό ποικίλει από 15 ως 75°C ανά χιλιόμετρο βάθους αλλά η ροή θερμότητας είναι ανώμαλη σε διάφορες ηπειρωτικές περιοχές. Χαμηλής θερμοότητας πηγές γεωθερμίας στα ανώτερα 100 μέτρα μπορούν να αποτελέσουν μια φθηνή λύση για αφαλάτωση. Οι πηγές γεωθερμίας υψηλής πίεσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μετατροπή της θερμικής ενέργειας σε μηχανική. Αυτή η δυνατότητα σε συνδυασμό και με τη δυνατότητα μετατροπής της θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική, επιτρέπουν τη χρήση διάφορων μεθόδων αφαλάτωσης που να ταιριάζουν στη μορφή της ενέργειας.

4.2.7 Ωκεανική ενέργεια

Αυτή ορίζεται ως η ενέργεια των κυμάτων, των παλιρροιών καθώς και το θερμικό δυναμικό της θάλασσας. Σήμερα, υπάρχουν πολύ λίγες εφαρμογές για την εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας και της ενέργειας της παλίρροιας ενώ η εκμετάλλευση του θερμικού δυναμικού είναι πολύ ακριβή, γεγονός που αποτρέπει την εμπορική της εκμετάλλευση. Αυτή η τεχνολογία περιλαμβάνει την εφαρμογή ενός κύκλου μετατροπής ισχύος λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ των επιφανειακών υδάτων και των υδάτων σε βάθος 1000 μέτρων ή και περισσότερο. Τα θερμά ύδατα βράζουν σε ένα θάλαμο υπό κενό και στη συνέχεια συμπυκνώνονται εξαιτίας των κρύων υδάτων.

4.3 Πλεονεκτήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην αφαλάτωση

Καταρχάς, είναι σύνηθες φαινόμενο, στις απομονωμένες περιοχές όπου παρουσιάζεται η έλλειψη νερού και υπάρχει δυσκολία στην παροχή ενέργειας από συμβατικές πηγές, να υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα στοιχείων της φύσης, σε

τέτοια μεγέθη, ώστε να επιτρέπεται η εκμετάλλευσή τους. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η επιλογή των ΑΠΕ αποτελεί μονόδρομο για τη λειτουργία αυτόνομων συστημάτων αφαλάτωσης.

Κλιματικοί λόγοι επηρεάζουν την διαθεσιμότητα των ΑΠΕ σε εποχική βάση. Παρόλα αυτά, τις εποχές που η ζήτηση νερού είναι αυξημένη, όπως το καλοκαίρι όπου η τουριστική περίοδος είναι στο ζενίθ της, είναι μεγάλη και η διαθεσιμότητα των ΑΠΕ, όπως της ηλιακής ακτινοβολίας και της αιολικής ενέργειας, οπότε η ζήτηση μπορεί να καλυφθεί από την παραγωγή.

Η λειτουργία και η τεχνολογία τόσο των ΑΠΕ, όσο και της μονάδας αφαλάτωσης πρέπει να ελέγχεται και να διαχειρίζεται τοπικά, καθώς η παροχή εξωτερικής βοήθειας και εξειδικευμένου τεχνικού προσωπικού είναι κατά κανόνα δύσκολη στα μέρη αυτά. Οι ΑΠΕ, όμως, είναι πιο εύκολες στη λειτουργία και τη συντήρηση από τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Επίσης, με αυτό τον τρόπο στηρίζεται η τοπική κοινωνία και η οικονομία της, μιας και γίνεται χρήση τοπικού ανθρώπινου δυναμικού αλλά και φυσικών πόρων της περιοχής.

Επίσης, με τη χρήση των ΑΠΕ, επιτυγχάνεται διαφοροποίηση στην προμήθεια της ηλεκτρικής ενέργειας. Δεν υπάρχει πλέον η εξάρτηση από τους μεγάλους παραγωγούς και προμηθευτές, το μονοπώλιο καταρρέει και οι οικονομικές διακυμάνσεις είναι πιο δύσκολο να πλήξουν την κοινωνία. Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη σημασία σε αυτό το στοιχείο, καθώς οι περιοχές όπου απαιτείται να εφαρμοστεί η λύση της αφαλάτωσης αντιμετωπίζουν προβλήματα ανάπτυξης, τα οποία είναι εύκολο να επιδεινωθούν, καθώς η διαδικασία της αφαλάτωσης είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρα και απαιτεί σημαντικό κεφάλαιο.

Δεν πρέπει να παραληφθεί το γεγονός ότι στην εποχή μας, όπου η μόλυνση του περιβάλλοντος απειλεί ολοένα και περισσότερο και η εκπομπή των ρύπων περιορίζεται αυστηρά από το πρωτόκολλο του Κιότο, η παράβαση του οποίου επισύρει αυστηρές ποινές, η κατανάλωση ενέργειας που προέρχεται από συμβατικά καύσιμα πρέπει, στο βαθμό που είναι δυνατό, να αποφευχθεί. Έτσι, οι ΑΠΕ φαντάζουν ως ιδανική λύση για την αφαλάτωση, μιας και η κατανάλωση ενέργειας είναι ιδιαίτερα υψηλή.

4.4 Λόγοι χαμηλής διείσδυσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην αφαλάτωση

Παρόλα αυτά, η διείσδυση των ΑΠΕ στις εφαρμογές αφαλάτωσης που υπάρχουν ανά τον κόσμο είναι πολύ μικρή ακόμα αν και τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια τάση για ανατροπή αυτής της κατάστασης. Οι αιτίες για αυτή τη μικρή συμμετοχή είναι ποικίλες και συχνά συνδέονται μεταξύ τους.

Ο πρώτος λόγος έχει να κάνει με τεχνολογικά ζητήματα, που αφορούν τόσο τις ΑΠΕ όσο και τις διάφορες διαδικασίες αφαλάτωσης. Αν και αυτές οι τεχνολογίες είναι ώριμες μέχρι ενός βαθμού υπάρχουν ακόμα περιθώρια για περαιτέρω βελτίωση. Επίσης, υπάρχει η πρόκληση για την επίτευξη του βέλτιστου τεχνολογικού σχεδιασμού του συστήματος που θα αφορά τόσο την εκμετάλλευση των ΑΠΕ, όσο και την διαδικασία της αφαλάτωσης.

Ανασταλτικός παράγοντας είναι και το κόστος της επένδυσης, ειδικά όσον αφορά την παραγωγή της ενέργειας. Αν και οι τιμές είναι σε διαρκή καθοδική πορεία, το κόστος της τεχνολογίας των ΑΠΕ και άλλων συνοδευτικών εξαρτημάτων είναι απαγορευτικό και κάνει τις επενδύσεις μη βιώσιμες. Αν και η αξία του πόσιμου νερού σε περιοχές που δεν έχουν την δυνατότητα να το απολαύσουν με άλλο τρόπο δεν πρέπει να εκτιμάται βάσει χρημάτων και οικονομικών μεγεθών.

Αν και οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως δηλώνει και το όνομα τους, είναι απεριόριστες και δεν εξαντλούνται, εν τούτοις ο εφήμερος χαρακτήρας τους θέτει περιορισμούς στην μέγιστη αξιοποίηση τους. Η γεωγραφική τους διασπορά προκαλεί ένα ακόμα πρόβλημα, καθώς η θέση στην οποία συμφέρει να γίνει η εκμετάλλευση τους, μπορεί να μη συμπίπτει με τον τόπο όπου υπάρχει το πρόβλημα της λειψυδρίας.

Οι ελλείψεις σε εξοπλισμό, τεχνογνωσία και υποδομές των απομονωμένων περιοχών αποτελεί ένα ακόμα πρόβλημα. Έτσι, καθίσταται δύσκολη η εφαρμογή μεθόδων υψηλής τεχνολογίας σε τέτοια μέρη, καθώς υπάρχει ο κίνδυνος της αποτυχίας λόγω της αδυναμίας παροχής αξιόπιστης τεχνικής υποστήριξης.

Συμπερασματικά, η χρήση των ΑΠΕ αυξάνει κατά πολύ το κόστος της επένδυσης, και ιδιαίτερα, όσο πιο πολύπλοκος είναι ο συνδυασμός των ΑΠΕ, π.χ. ένα

υβριδικό σύστημα, τόσο πιο ακριβή γίνεται η επένδυση. Το κόστος αυτό όμως αντισταθμίζεται από τα πολλαπλά οφέλη που έχουμε, ακριβώς λόγω της χρήσης των ΑΠΕ και της μείωσης της ενέργειας που αντλείται από το δίκτυο, που ειδικά σε περιόδους αιχμής είναι πολύ σημαντική. Αυξάνεται η ενέργεια που παράγεται από ΑΠΕ και το πιθανό περίσσευμα μπορεί να δοθεί προς χρήση στο δίκτυο. Μειώνεται η κατανάλωση ορυκτών καυσίμων και το κόστος για την αγορά αυτών, ιδιαίτερα στις μέρες μας, που οι τιμές τους είναι σε διαρκή άνοδο. Έτσι, επιτυγχάνεται και μείωση των αερίων που είναι υπαίτια για το φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς και των χρημάτων που απαιτούνται για τον περιορισμό τους. Η γενική άποψη είναι ότι μπροστά σε όλα αυτά τα οφέλη, μια μικρή αύξηση του ισοσταθμισμένου κόστους νερού είναι ασήμαντη.

4.5 Προσαρμογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην αφαλάτωση

Πολύ σημαντική είναι και η προσαρμογή της μορφής ΑΠΕ που θα επιλεγεί με την κατάλληλη για αυτή μέθοδο αφαλάτωσης. Με τη λέξη προσαρμογή εννοείται το ταίριασμα των χαρακτηριστικών της ενέργειας που παράγεται με τις ανάγκες και τις ιδιαιτερότητες της μεθόδου αφαλάτωσης. Σε περίπτωση που η προσαρμογή δεν επιτυγχάνεται το αποτέλεσμα είναι χαμηλότερη απόδοση του συστήματος, υπολειτουργία, εμφάνιση προβλημάτων και σφαλμάτων ακόμα και καταστροφή κάποιων τμημάτων της μονάδας. Ένα παράδειγμα μη προσαρμογής είναι η χρήση κάποιας μεθόδου που απαιτεί συνεχή και σταθερή παροχή ενέργειας με κάποια μορφή ΑΠΕ που η κυματομορφή της παρεχόμενης ενέργειας δεν είναι ευθεία γραμμή αλλά περιλαμβάνει πολλές διακυμάνσεις, γρήγορες μεταβάσεις στα ακρότατα της και γενικά η μορφή της είναι στοχαστική και τυχαία. Σε μια τέτοια περίπτωση εκτός από τις μεγάλες απώλειες ενέργειας, καθώς δεν είναι δυνατή η πλήρης εκμετάλλευση της, και τα προβλήματα που αυτή προκαλεί, όπως η απόρριψη της πλεονάζουσας ενέργειας, παρουσιάζεται και προβληματική λειτουργία της διαδικασίας της αφαλάτωσης, καθώς μειώνεται η παραγωγή του πόσιμου νερού και επιβαρύνεται η λειτουργία κάποιων τμημάτων της εγκατάστασης.

Εδώ, πρέπει να σημειωθεί ότι ανάλογα με την πηγή ενέργειας, η ενέργεια που θα παράγεται μπορεί να είναι και σε διαφορετική μορφή. Οι πιθανές μορφές είναι η θερμική, η ηλεκτρική και η μηχανική ενέργεια. Επίσης πολλές φορές, για λόγους αξιοπιστίας και συνεχόμενης λειτουργίας, επιλέγουμε συνδυασμό δύο πηγών ενέργειας, όπως ηλιακή και αιολική.

Όσον αφορά την προσαρμογή της μορφής ΑΠΕ με τη μέθοδο αφαλάτωσης, με εξαίρεση κάποιους βασικούς κανόνες, δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο γενικό συμπέρασμα. Οι τελικές επιλογές πρέπει να γίνουν με βάση κάποια τοπικά στοιχεία και παραμέτρους.

Αυτά τα τοπικά στοιχεία είναι οι γεωγραφικές συνθήκες, η τοπογραφία της περιοχής, η χωρητικότητα της διάταξης και η ενέργεια που είναι διαθέσιμη σε χαμηλό κόστος, η ύπαρξη των τοπικών υποδομών, η περιεκτικότητα σε αλάτι του νερού. Κάποια πιο γενικά κριτήρια είναι η ανθεκτικότητα του συστήματος, η απλότητα της λειτουργίας, το χαμηλό κόστος συντήρησης, το μέγεθος της κατασκευής, η εύκολη μεταφορά του εξοπλισμού στην τοποθεσία, η διασφάλιση της ομαλής λειτουργίας και η αντοχή σε αντίξοες συνθήκες που ενδεχομένως να επικρατούν στις απομονωμένες περιοχές.

Ο γενικός κανόνας πάντως είναι να συνδυάζονται τεχνολογίες θερμικής ενέργειας με θερμικές διαδικασίες αφαλάτωσης και ηλεκτρομηχανικές τεχνολογίες ενέργειας με διαδικασίες αφαλάτωσης που απαιτούν ηλεκτρική ή μηχανική ισχύ. Οι πιο συνήθεις εφαρμογές είναι η χρήση της αντίστροφης όσμωσης με αιολική ενέργεια ή ενέργεια από φωτοβολταϊκά και ηλιακή θερμική ή γεωθερμική ενέργεια με διαδικασίες απόσταξης.

Επίσης πρέπει να ληφθεί υπόψη ο τυχαίος και παροδικός χαρακτήρας που έχουν οι περισσότερες από τις ΑΠΕ, καθώς προκαλεί αδυναμία πρόβλεψης για το μέλλον και δυσκολίες στον προγραμματισμό. Αυτή η συμπεριφορά πάντως, δεν πρέπει να εκπλήσσει καθώς οι περισσότερες μορφές ΑΠΕ εξαρτώνται από στοιχεία της φύσης όπως η ταχύτητα του ανέμου και η ηλιακή ακτινοβολία, των οποίων οι ακριβείς τιμές είναι δύσκολο να προβλεφθούν. Για παράδειγμα, η έντονη μεταβολή της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου σε κάποια περιοχή δημιουργεί προβλήματα σε οποιαδήποτε πρόβλεψη.

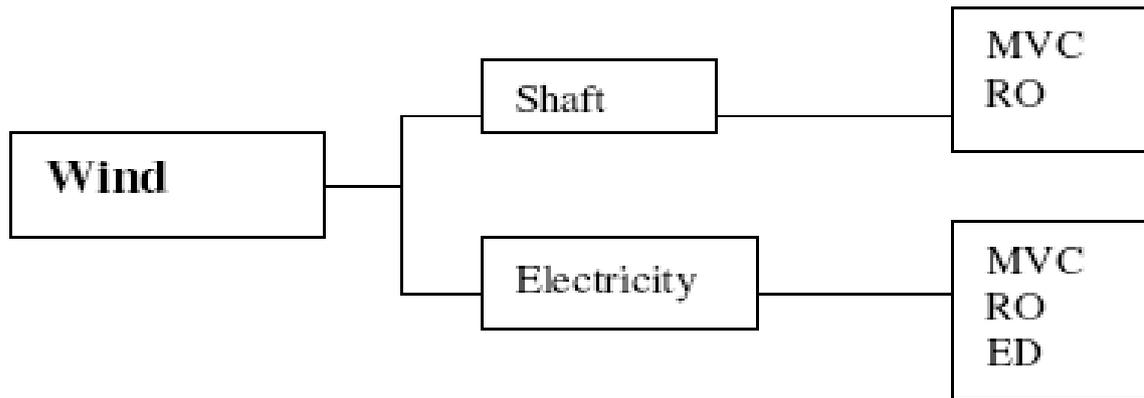
Υπάρχουν 3 γενικές στρατηγικές με τις οποίες μπορεί να επιτευχθεί η προσαρμογή.

Η πρώτη έχει να κάνει με τη διαχείριση ισχύος και στόχος είναι η παροχή στη μονάδα αφαλάτωσης της απαιτούμενης ισχύος, άσχετα με τις συνθήκες που επικρατούν εκείνη την στιγμή. Αυτό απαιτεί ένα υβριδικό σύστημα το οποίο θα διαθέτει ένα πλήθος επιλογών για την κατάλληλη πηγή ενέργειας. Μπορεί να συνδυάζει ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (πχ αιολική και φωτοβολταϊκά), να χρησιμοποιεί μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (πχ το δίκτυο ή ντιζελογεννήτριες) ή να χρησιμοποιεί κάποιο σύστημα αποθήκευσης ενέργειας(πχ μπαταρίες). Απαιτείται η παρουσία φορτίου απόρριψης (dump load) για τη διοχέτευση της πλεονάζουσας ενέργειας.

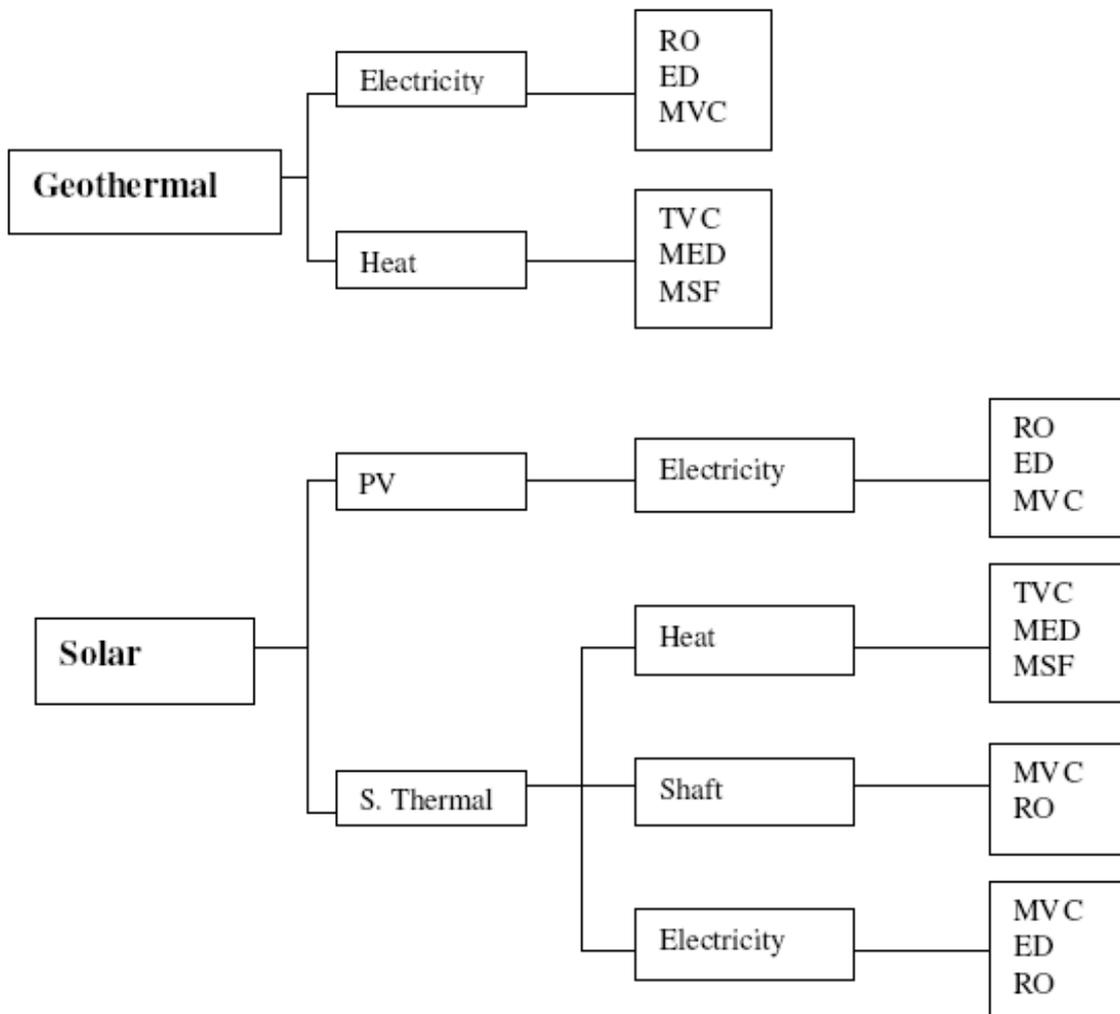
Η δεύτερη στρατηγική μπορεί να χαρακτηριστεί ως παρόντος φορτίου. Διέπεται από την λογική της προσαρμογής του φορτίου στη μεταβλητή εισερχόμενη ισχύ ώστε να απορροφάται όλη η παραγόμενη ισχύς και βασίζεται μόνο στις ΑΠΕ. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με δυο τρόπους, είτε με εκκίνηση και σταμάτημα της διαδικασίας της αφαλάτωσης διαρκώς, είτε μετακινώντας το σημείο λειτουργίας της μονάδας.

Τέλος, η τρίτη στρατηγική συνδυάζει κάπως τα παραπάνω. Όσον αφορά τη διαχείριση φορτίου, ένας στόχος είναι η ελαχιστοποίηση της εξάρτησης από μη ανανεώσιμες πηγές. Σε ότι έχει να κάνει με την διαχείριση ισχύος όμως, ο έλεγχος δεν εφαρμόζεται μόνο στην πλευρά της μονάδας αφαλάτωσης αλλά και σε αυτή της πηγής ανανεώσιμης ενέργειας. Για παράδειγμα, για ανεμογεννήτρια τότε μπορεί να ελεγχθεί η γωνία πτερυγίων και ο αριθμός στροφών.

Η διαχείριση ισχύος επιβάλλει περιορισμούς στην πηγή ενέργειας, ενώ η διαχείριση φορτίου επιβάλλει περιορισμούς στη μονάδα αφαλάτωσης. Το σχετικό κόστος κάθε υποσυστήματος (παροχή ισχύος και απαίτηση της μονάδας) καθορίζει πόσο κατάλληλος είναι κάθε συνδυασμός ενέργειας. Στα παρακάτω σχήματα, φαίνονται οι πιθανοί συνδυασμοί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τεχνολογιών αφαλάτωσης.



Σχήμα 4: Εφαρμογές αιολικής ενέργειας.

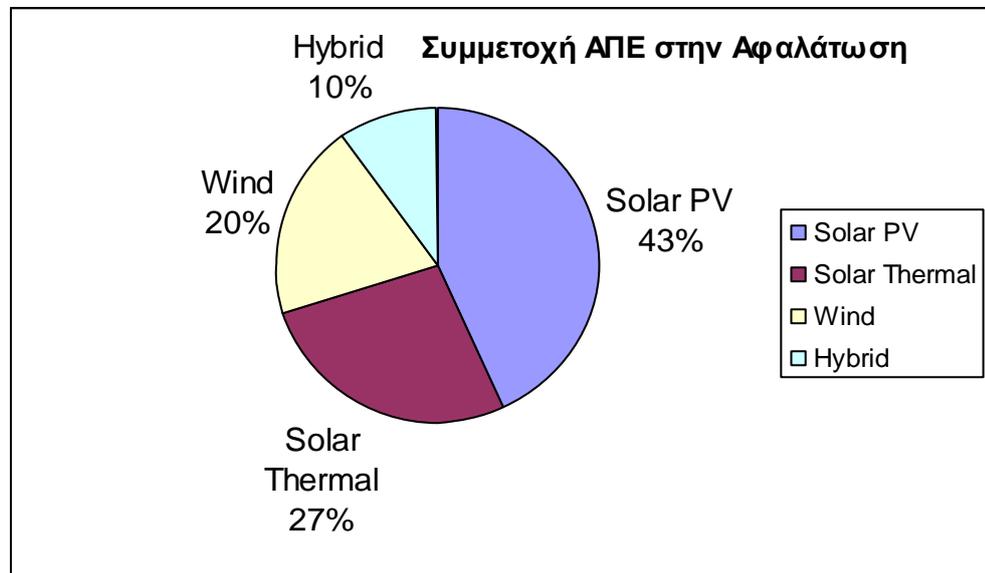


Σχήμα 5: Εφαρμογές γεωθερμικής και ηλιακής ενέργειας.

Μοντελοποίηση συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με χρήση ηλιακού συλλέκτη

4.6 Συμμετοχή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην αφαλάτωση

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα ποσοστά που καταλαμβάνει κάθε μορφή ΑΠΕ στην συνολική “πίτα” των εφαρμογών αφαλάτωσης. Απεικονίζεται πλήρως η κατάσταση στον χώρο της αφαλάτωσης, με χρήση ΑΠΕ. Το μεγαλύτερο μερίδιο της ‘πίτας’ καταλαμβάνουν οι εφαρμογές που αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια οι οποίες χρησιμοποιούνται εδώ και πολλά χρόνια. Φαίνεται όμως και η δυναμική που αρχίζουν να αποκτούν τα συστήματα με χρήση της αιολικής ενέργειας καθώς και τα υβριδικά, τα οποία για διάφορους τεχνικούς και οικονομικούς, κυρίως, λόγους, οι οποίοι πλέον δεν αποτελούν τροχοπέδη, δεν είχαν μεγάλο μερίδιο στην αγορά.



Σχήμα 6: Συμμετοχή ΑΠΕ στην αφαλάτωση.

5. Αφαλάτωση με χρήση ηλιακής ενέργειας

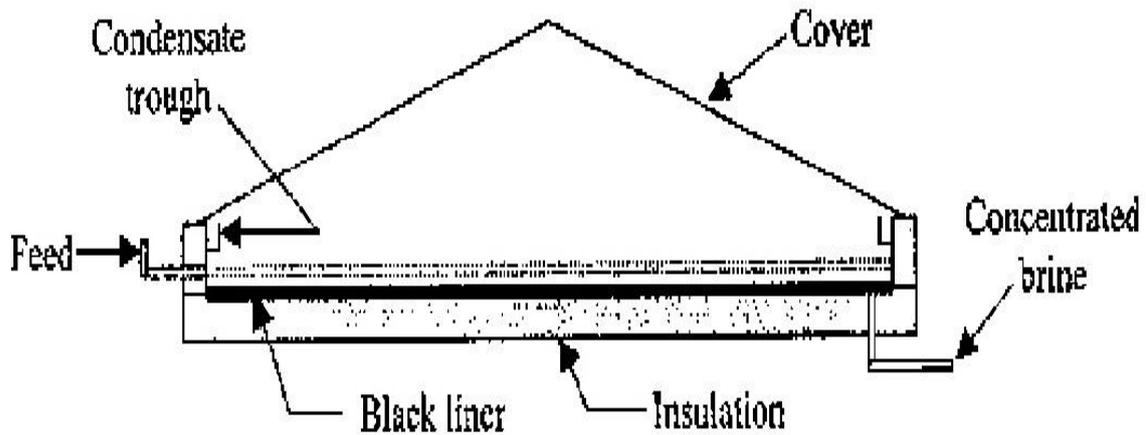
5.1 Εισαγωγή

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή της απαιτούμενης ενέργειας σε μια διεργασία αφαλάτωσης, είτε με τη μορφή θερμικής ενέργειας είτε με τη μορφή ηλεκτρισμού. Σε κάθε περίπτωση, το κόστος του φρέσκου νερού αυξάνει δραματικά όταν η εγκατάσταση αφαλάτωσης δεν καταναλώνει το σύνολο της ενέργειας που παρέχεται από τους ηλιακούς συλλέκτες. Γι' αυτόν το λόγο, για συγκεκριμένες απαιτήσεις παραγωγής φρέσκου νερού, η μονάδα αφαλάτωσης θα πρέπει να είναι σχεδιασμένη να καταναλώνει το σύνολο της παρεχόμενης από το ηλιακό πεδίο, ενέργειας. Η αφαλάτωση με ηλιακή ενέργεια μπορεί να διακριθεί σε δύο κατηγορίες: τα άμεσα συστήματα και τα έμμεσα.

5.2 Άμεσα συστήματα

Τα άμεσα συστήματα είναι εκείνα στα οποία η συλλογή θερμότητας και η διαδικασία της αφαλάτωσης λαμβάνουν χώρα στην ίδια εγκατάσταση.

Η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται για να παράγει το αφαλατωμένο νερό απευθείας στον ηλιακό αποστακτήρα (solar still). Ο αποστακτήρας λειτουργεί ως μία παγίδα για την ηλιακή ακτινοβολία (φαινόμενο θερμοκηπίου). Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία περνά μέσα από το διάφανο κάλυμμα απορροφάται από τον απορροφητή και κατά ένα μέρος από το αλμυρό νερό. Σαν αποτέλεσμα η θερμοκρασία του νερού, και ως εκ τούτου και η πίεση ατμών, αυξάνεται και γίνεται υψηλότερη από αυτή του καλύμματος. Το νερό εξατμίζεται στον περιβάλλοντα αέρα και ο ατμός ανεβαίνει στο κάλυμμα με φυσική συναγωγή, όπου και συμπυκνώνεται στο εσωτερικό τμήμα του καλύμματος. Το συμπύκνωμα ρέει υπό την επίδραση της βαρύτητας στην δεξαμενή συλλογής. Ο πλέον κοινός ηλιακός αποστακτήρας είναι ο τύπου θερμοκηπίου (Σχήμα 7). Αυτός διακρίνεται σε δύο επιμέρους κατηγορίες: στον συμμετρικού και στον ασύμμετρου τύπου.



Σχήμα 7: Ηλιακός αποστακτήρας.

Οι ηλιακοί αποστακτήρες τύπου θερμοκηπίου είναι πολύ απλοί στην κατασκευή και τη λειτουργία. Τα κυριότερα τμήματα είναι τα εξής:

Η βάση: είναι το τμήμα όπου κρατείται το αλμυρό νερό. Η βάση πρέπει να είναι μονωμένη στο κάτω μέρος, ούτως ώστε να ελαττώνεται η απώλεια θερμότητας προς το έδαφος. Πρέπει να είναι βαμμένη μαύρη ή καλυμμένη με μαύρο ύφασμα ώστε να αυξάνεται η απορροφητικότητά της. Τα βάθος της ξεκινά από τα 10-20 mm και μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 100 mm. Πρέπει να είναι ελαφρώς κεκλιμένη, για να εξασφαλίζει την εύκολη απομάκρυνση της συγκεντρωμένης άλμης. Τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του αποστακτήρα πρέπει να είναι ανθεκτικά στη διάβρωση λόγω της παρουσίας του αλμυρού νερού. Προτιμάται μάλιστα τα υλικά αυτά να είναι φθηνά, με μεγάλη διάρκεια ζωής και διαθέσιμα σε τοπικό επίπεδο.

Το διάφανο κάλυμμα: Το κάλυμμα εμποδίζει τις απώλειες και κρατάει τον αέρα μακριά από το να ψύχει το θερμό νερό. Η εσωτερική του επιφάνεια λειτουργεί επιπλέον και ως συμπυκνωτής, όπου ο ατμός συμπυκνώνεται και συλλέγεται ως προϊόν. Η κλίση του καλύμματος πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η τάση επιφανείας του νερού να το αναγκάζει να ρέει όλη την απόσταση μέχρι τις κοιλότητες συλλογής, χωρίς να ξαναπέφτει μέσα στη βάση. Η βέλτιστη γωνία κλίσης του καλύμματος είναι 10-50°. Το υλικό κατασκευής είναι γυαλί ή πλαστικό. Το γυαλί

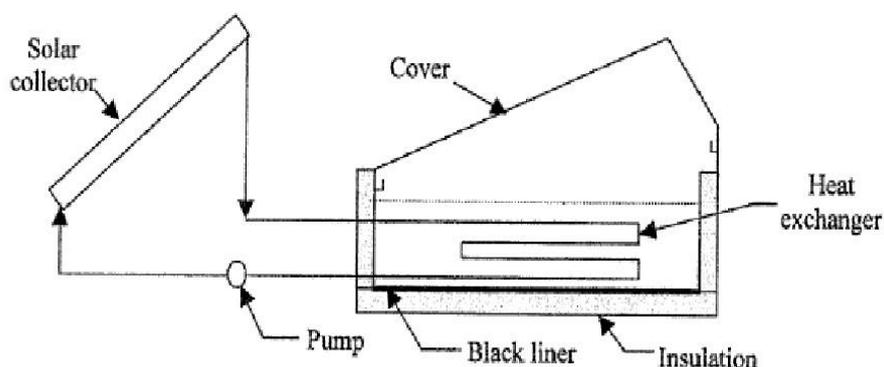
προτιμάται κυρίως λόγω της πολύ υψηλής διαπερατότητας που εμφανίζει, αλλά φυσικά έχει και το μειονέκτημα ότι θραύεται εύκολα. Όσον αφορά το πλαστικό εμφανίζει μικρό βάρος, χαμηλό κόστος, δεν θραύεται και είναι εύκολο στο χειρισμό. Σημαντικό μειονέκτημα είναι η περιορισμένη διάρκεια ζωής, λόγω ευαισθησίας στην υπεριώδη ακτινοβολία.

Οι κοιλότητες συλλογής είναι τοποθετημένες στις χαμηλότερες άκρες του καλύμματος, προκειμένου να συλλέγουν το αφαλατωμένο νερό. Οι κοιλότητες θα πρέπει να είναι κατασκευασμένες με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτρέπουν στο αφαλατωμένο νερό να ρέει στα κατώτερα τμήματα του αποστακτήρα και να συλλέγεται ως προϊόν.

Η σχεδίαση ενός ηλιακού αποστακτήρα απαιτεί βελτιστοποίηση πολλών παραγόντων: το βάθος της άλμης, την αποφυγή διαρροής του ατμού, τη θερμική μόνωση, τη μορφή και το υλικό του αποστακτήρα.

Ένας καλοσχεδιασμένος αποστακτήρας πρέπει να έχει επιπρόσθετη πρόβλεψη για τη συλλογή της βροχής που πέφτει σε αυτόν, έτσι ώστε το γύρω έδαφος να μην πλημμυρίζει και να μη διαβρώνεται. Τα τμήματα του αποστακτήρα πρέπει να κατασκευάζονται, έτσι ώστε να συνδυάζονται εύκολα. Επιπλέον ένας μεγάλος αριθμός σχεδίων για βάσεις έχουν χρησιμοποιηθεί. Διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τα υλικά κατασκευής, τη γεωμετρία, τον τρόπο υποστήριξης του καλύμματος και τις προβλέψεις για παροχή ή αποβολή νερού. Ένας αποστακτήρας απαιτεί συχνή απόπλυση του αλμυρού νερού, προκειμένου να αποφευχθεί η μείωση της απορροφητικότητας και ως εκ τούτου η μείωση της απόδοσης. Η απόδοση του αποστακτήρα, η οποία και ορίζεται ως ο λόγος της ενέργειας που χρησιμοποιείται για την εξάτμιση προς την ηλιακή ενέργεια που συλλέγεται, είναι συνήθως χαμηλή και δεν ξεπερνά το 50%. Συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 30-40 %. Η ημερήσια παραγωγή του ηλιακού αποστακτήρα είναι 3-4 l/m².

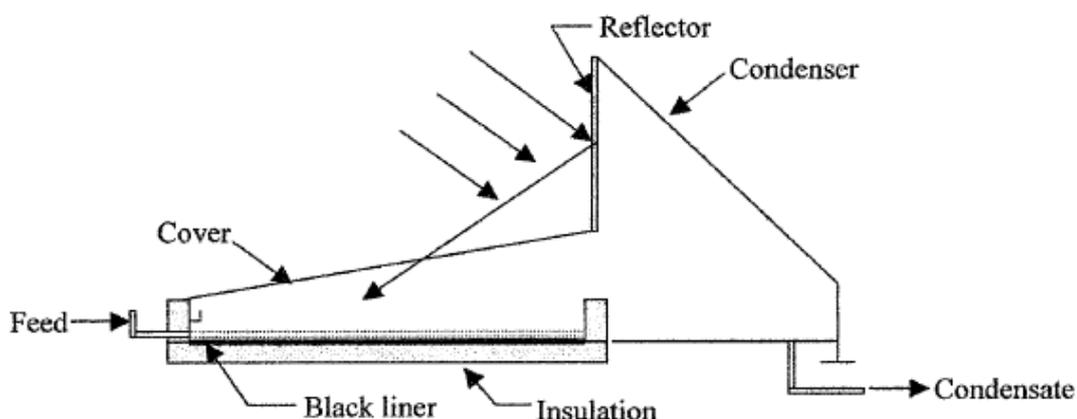
Σύμφωνα με μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί από ερευνητές, η μεταφορά μάζας μέσα στον αποστακτήρα εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας του νερού και του γυάλινου καλύμματος. Προκειμένου να αυξήσουν αυτή τη διαφορά θερμοκρασίας, ορισμένοι προτείνουν τον συνδυασμό του ηλιακού αποστακτήρα με έναν ηλιακό συλλέκτη, επίπεδο, όπως φαίνεται και στην εικόνα 8.



Εικόνα 8: Συνδυασμός ηλιακού αποστακτήρα με επίπεδο συλλέκτη.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η απόδοση του αποστακτήρα μπορεί να αυξηθεί σημαντικά, αλλά παράλληλα θα αυξηθεί και το κόστος της όλης κατασκευής. Σε ορισμένες μάλιστα περιπτώσεις η παραγωγή του αποστακτήρα αυξήθηκε από περίπου 4 l/m^2 σε 8 l/m^2 .

Ένας άλλος τρόπος για να αυξηθεί η απόδοση του αποστακτήρα, είναι να μειωθεί η θερμοκρασία του γυάλινου καλύμματος. Η αύξηση της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ της επιφάνειας του αλμυρού νερού και του καλύμματος, μπορεί να πραγματοποιηθεί και με την προσθήκη ενός συμπυκνωτή στον αποστακτήρα (Εικόνα 9), αυξάνοντας με αυτόν τον τρόπο τη θερμοχωρητικότητα και κατ' επέκταση και την απόδοση.



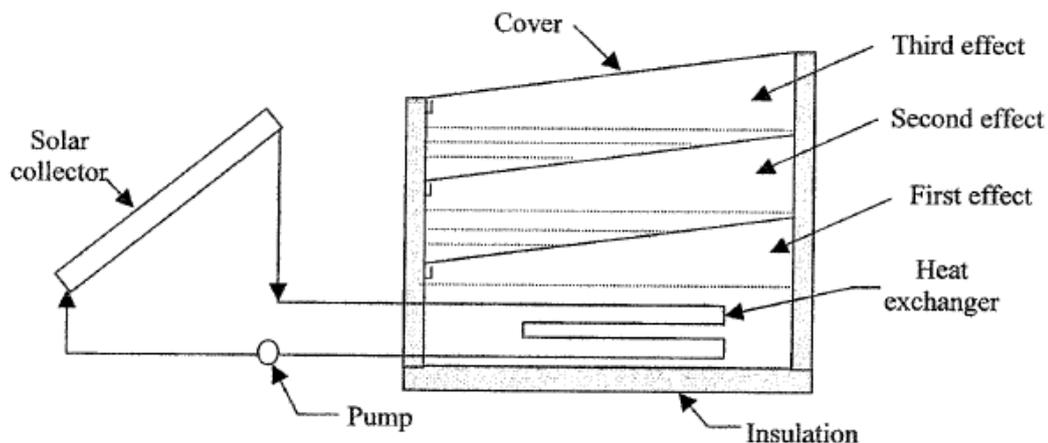
Εικόνα 9: Συνδυασμός ηλιακού αποστακτήρα με συμπυκνωτή.

Μοντελοποίηση συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με χρήση ηλιακού συλλέκτη

Η εξάτμιση σε χαμηλή θερμοκρασία, με τη χρήση συνθηκών κενού αέρος, οδηγεί σε μια σημαντική βελτίωση της απόδοσης του συστήματος καθώς ο ρυθμός εξάτμισης αυξάνεται με τη μείωση της πίεσης. Παραγωγικότητα συστήματος υψηλότερη σε σχέση με παρόμοια συστήματα αφαλάτωσης με χρήση ηλιακής ενέργειας που λειτουργούν σε ατμοσφαιρική πίεση, έχει αναφερθεί από πολλούς ερευνητές.

Όπως είναι προφανές, σε όλες τις διαμορφώσεις προηγουμένως, η λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης, απλώς διοχετευόταν στο περιβάλλον. Παρ' όλα αυτά η λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού, κάτι που θα οδηγήσει σε βελτίωση της απόδοσης του συστήματος.

Η λανθάνουσα θερμότητα της συμπύκνωσης, θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί για την εξάτμιση ενός μέρους του αλμυρού νερού, σε έναν αποστακτήρα multi effect (Εικόνα 10) .



Εικόνα 10:Multi-effect αποστακτήρας.

Σε έναν τέτοιο αποστακτήρα, η θερμότητα αποδίδεται στο πρώτο effect από έναν ηλιακό συλλέκτη, ο ατμός που παράγεται σε αυτό κινείται προς τα πάνω, μέσω φυσικής συναγωγής και συμπυκνώνεται όταν έρχεται σε επαφή με το κάτω μέρος του δεύτερου effect, αποδίδοντας τη λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης σε αυτό το στάδιο, εξατμίζοντας με αυτόν τον τρόπο ένα τμήμα του νερού από αυτό και η διαδικασία συνεχίζεται έως το τελευταίο effect, το οποίο πιθανώς να

καλύπτεται από διάφανο κάλυμμα, κερδίζοντας με αυτόν τον τρόπο επιπλέον ποσά θερμότητας απευθείας από τον ήλιο. Αυτή η μέθοδος οδηγεί σε σημαντική βελτίωση της απόδοσης του συστήματος.

Η νυκτερινή λειτουργία ενός ηλιακού αποστακτήρα τροφοδοτούμενου από αποβαλλόμενη θερμότητα, είναι επίσης ένα θέμα υπό έρευνα.

Φρέσκο νερό μπορεί επίσης να παραχθεί από αλμυρό μέσω ενός κύκλου ύγρανσης-αφύγρανσης (humidification-dehumidification cycle). Σε αυτήν την διαδικασία, ο αέρας ανακυκλώνεται με φυσική ή εξαναγκασμένη συναγωγή πάνω από θερμό νερό που τροφοδοτείται από τον ηλιακό συλλέκτη. Ο αέρας γίνεται υγρός και στη συνέχεια περνάει μέσα από τον συμπυκνωτή για αφύγρανση. Πιο συγκεκριμένα, όταν ο αέρας που κυκλοφορεί έρχεται σε επαφή με το θερμό αλμυρό νερό στον εξατμιστή, μια συγκεκριμένη ποσότητα ατμού εξάγεται στον αέρα. Μέρος του ατμού, του αναμιγμένου με αέρα, μπορεί να ανακτηθεί ως συμπύκνωμα φέρνοντας τον υγρό αέρα σε επαφή με μία ψυχρή επιφάνεια σε άλλον εναλλάκτη, όπου το τροφοδοτικό νερό παράλληλα προθερμαίνεται με τη λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης.

5.3 Έμμεσα συστήματα

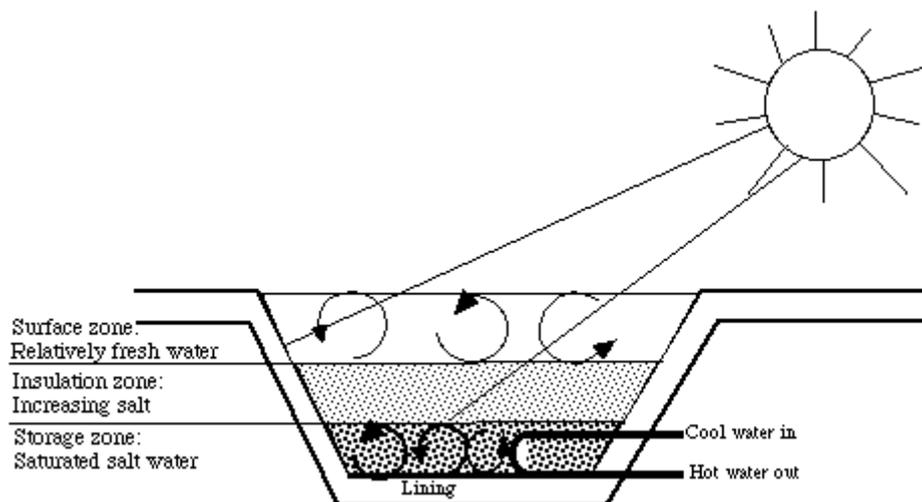
Η αρχή λειτουργίας των εν λόγω συστημάτων συνίσταται στη χρήση δύο ξεχωριστών υποσυστημάτων: έναν ηλιακό συλλέκτη για συλλογή της ηλιακής ενέργειας και μία μονάδα που χρησιμοποιεί αυτήν την ενέργεια, για την παραγωγή φρέσκου νερού.

Υπάρχουν πολλοί παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή του κατάλληλου ηλιακού συλλέκτη για τη διαδικασία της αφαλάτωσης. Οι επίπεδοι συλλέκτες είναι ιδανικοί για διεργασίες όπου επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες. Τέτοιες διεργασίες συνήθως περιλαμβάνουν την δημιουργία συνθηκών κενού αέρος, που επιτυγχάνονται είτε με αντλίες δημιουργίας κενού, είτε με εκτοξευτές ατμού, είτε τέλος με εκτοξευτές νερού. Οι συλλέκτες τύπου 'evacuated tube' εξασφαλίζουν ενέργεια ακόμα και τις μέρες που επικρατεί νέφωση, ενώ η απόδοσή τους σε υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας ή σε χαμηλή ηλιοφάνεια είναι αισθητά καλύτερη από τους συλλέκτες τύπου flat plate. Οι συλλέκτες τύπου 'cylindrical tracking'

μπορεί να είναι πιο αποδοτικοί από τους 'evacuated tube, αλλά έχουν σχεδόν μηδενική παραγωγή τις συννεφιασμένες ημέρες, εκτός του ότι συλλέγουν ένα πολύ μικρό τμήμα της διάχυτης ακτινοβολίας. Οι συλλέκτες τύπου 'parabolic concentrating' απαιτούν έναν εξαιρετικά ακριβή μηχανισμό ιχνηλάτισης δύο αξόνων και αποδίδουν θερμοκρασίες της τάξης των 120°C που είναι φυσικά πολύ υψηλότερες από αυτές που απαιτούνται για την αφαλάτωση. Γενικά για το σχεδιασμό μίας βέλτιστης μονάδας αφαλάτωσης με χρήση ηλιακής ενέργειας, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη παράμετροι όπως: η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας του συστήματος, ο τύπος του ηλιακού συλλέκτη, τα μέσα μεταφοράς της θερμότητας στη διεργασία και το είδος της μονάδας που θα χρησιμοποιηθεί.

Καθώς ορισμένες διεργασίες αφαλάτωσης μπορούν να λειτουργήσουν με πηγές θερμότητας χαμηλής βαθμίδας (low grade), συμβατικοί ηλιακοί συλλέκτες μέσης θερμοκρασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Εξαιτίας όμως των τεράστιων ποσοτήτων θερμότητας χαμηλής βαθμίδας που απαιτούνται για να συντηρηθεί η διαδικασία, η επιφάνεια που θα πρέπει να καλυφθεί με ηλιακούς συλλέκτες είναι μεγάλη. Η κατασκευή τέτοιων ηλιακών πάρκων δεν είναι ιδιαίτερα πρακτική αν αναλογιστούν οι ανάγκες υδραυλικής ένωσης, σταθερότητας της ροής, συντήρησης, αποθήκευσης θερμότητας και άντλησης. Ένα ηλιακό σύστημα που θα ήταν ιδανικό για τέτοιες εφαρμογές είναι ένα 'solar pond' (SP), μια ηλιακή λίμνη (Εικόνα 11) που συνδυάζει αποθήκευση θερμότητας, παθητική συλλογή θερμότητας και μεταφορά θερμότητας με χαμηλά κόστη άντλησης. Επιπλέον το σύστημα αυτό παρουσιάζει και χαμηλό λειτουργικό κόστος. Η θερμοκρασία λειτουργίας ενός SP μπορεί να κυμανθεί μεταξύ 30-95 °C. Γενικότερα ένα σύστημα SP αποτελείται από ένα λεπτό ανώτερο στρώμα μεταφοράς, ένα στρώμα στο κάτω μέρος για την αποθήκευση της ενέργειας που συλλέχθηκε και ένα στρώμα μόνωσης μεταξύ του ανώτερου και του κατώτερου στρώματος, που εμποδίζει την μεταφορά μέσω μιας επιλεγμένης βαθμίδας πυκνότητας. Αυτό κάνει το σύστημα SP να λειτουργεί ως παγίδα θερμότητας. Οι μονάδες αφαλάτωσης που μπορούν να ενσωματώσουν μια ηλιακή λίμνη περιλαμβάνουν τις μεθόδους 'multi-effect distillation system', 'multistage flash distillation system', 'vapor compression distillation', και 'reverse osmosis'. Από τη στιγμή βέβαια που τα συστήματα RO και VC απαιτούν και μηχανικό έργο, η λειτουργία τους με μία ηλιακή λίμνη απαιτεί ένα

μέρος της ηλιακής ενέργειας να μετασχηματίζεται σε έργο κάτι που είναι ιδιαίτερα ακριβό. Μια ηλιακή λίμνη είναι επίσης αρκετά αποδοτική στο να τροφοδοτήσει ένα πολυσταδιακό σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας για τους ακόλουθους λόγους: η θερμοκρασία της πηγής θερμότητας που παρέχεται από την ηλιακή λίμνη (60-75 °C), ταιριάζει με την απαιτούμενη για συστήματα αφαλάτωσης ΜΕΕ θερμοκρασία που κυμαίνεται στους 50-60 °C, ενώ ένα σύστημα ΜΕΕ είναι εξαιρετικά ευέλικτο σε αλλαγές στην παροχή ενέργειας και είναι εξαιρετικά σταθερό υπό συνθήκες μεταβαλλόμενης παροχής θερμότητας. Ο συνδυασμός της ηλιακής λίμνης με συστήματα αφαλάτωσης αποδείχθηκε εξαιρετικά βιώσιμος για την αφαλάτωση του θαλασσινού νερού σε ξηρές και άνυδρες περιοχές.



Εικόνα 11: Ηλιακή λίμνη

Ορισμένοι μελετητές έχουν προτείνει τον συνδυασμό μεθόδων αφαλάτωσης και παραβολικών συλλεκτών. Πιο συγκεκριμένα προτείνεται οι παραβολικοί συλλέκτες, οι οποίοι θα έχουν σαν εργαζόμενο μέσο φρέσκο νερό, να λειτουργούν ως μονάδα απευθείας ατμοπαραγωγής για την λειτουργία ενός συστήματος MED ή τροφοδοτώντας με ηλεκτρική ενέργεια ένα βραστήρα (boiler). Συγκρίνοντας μάλιστα τα κόστη εγκαταστάσεων MED που χρησιμοποιούσαν παραβολικούς συλλέκτες, συνδυασμό ηλιακής ενέργειας και ορυκτών καυσίμων καθώς και συμβατικών μονάδων, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η ηλιακή τεχνολογία είναι άκρως ανταγωνιστική με την αντίστοιχη συμβατική.

Άλλοι μελετητές ασχολήθηκαν με συλλέκτες τύπου evacuated tube σε συνδυασμό με εγκαταστάσεις τύπου MED/MEE. Η μονάδα αποτελείται από μία κεραία με συλλέκτες τύπου evacuated tube, αποθήκευση θερμότητας και έναν εξατμιστή θαλασσινού νερού. Ο σχεδιασμός προβλέπει απόλυτα αυτόματη λειτουργία, καθώς η διαδικασία συλλογής θερμότητας ξεκινάει αυτόματα μέσω ενός αισθητήρα, ο οποίος μετρά την ηλιακή ακτινοβολία. Επιπλέον η λειτουργία του εξατμιστή ελέγχεται από αισθητήρες που ελέγχουν τη θερμοκρασία καθώς και το θερμικό φορτίο που παραμένει στη δεξαμενή αποθήκευσης.

Οικονομικές μελέτες έδειξαν ότι τα ηλιακά συστήματα αφαλάτωσης μπορούν να είναι ανταγωνιστικά κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, ειδικότερα σε απομακρυσμένες περιοχές, καθώς και ότι είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται ηλιακή ενέργεια για μερική κάλυψη των αναγκών, παρά σε απόλυτο ποσοστό 100%.

5.4 Συνδυασμός ηλιακού παραβολικού συλλέκτη με τη μέθοδο εξάτμισης πολλαπλών σταδίων

Τα συστήματα εξάτμισης πολλαπλών σταδίων είναι από τα φθηνότερα συστήματα αφαλάτωσης νερού κι επίσης απαιτούν την απλούστερη κατεργασία θαλασσινού νερού σε αντίθεση με τα συστήματα αντίστροφης ώσμωσης, που αν και απαιτούν μικρότερα ποσά ενέργειας, είναι ακριβά και απαιτούν μία σύνθετη κατεργασία θαλασσινού νερού.

Σύμφωνα με το Zarza και τους συνεργάτες του, που έκαναν τη σύγκριση συστημάτων αντίστροφης ώσμωσης τροφοδοτούμενα από φωτοβολταϊκά, και συστημάτων εξάτμισης πολλαπλών σταδίων τροφοδοτούμενα από ηλιακούς παραβολικούς συλλέκτες κατέληξαν στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Το συνολικό κόστος φρέσκου νερού παραγόμενο από το δεύτερο σύστημα είναι λιγότερο εξαιτίας του υψηλού κόστους του ηλεκτρισμού από φωτοβολταϊκά.
- Η υψηλή αξιοπιστία του δεύτερου συστήματος κάνει την εγκατάσταση του προσιτή σε διάφορες χώρες με υψηλά επίπεδα ηλιακής ενέργειας κι έλλειψη εξειδικευμένου προσωπικού. Τα συστήματα αντίστροφης ώσμωσης,

αντιθέτως, μπορούν να καταστρέψουν τις μεμβράνες τους αν δεν υπάρχει εξειδικευμένο προσωπικό να τα επιβλέπει.

Η μέθοδος όμως εξάτμισης πολλαπλών σταδίων παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα όταν συγκριθεί με άλλες μεθόδους αφαλάτωσης. Σύμφωνα με τον Porteous, αυτά είναι:

- Το θαλασσινό νερό δε θερμαίνεται πάνω από το σημείο βρασμού του όπως συμβαίνει στην MSF μέθοδο, το οποίο σημαίνει ενεργειακή οικονομία.
- Οι άλλες διαδικασίες έχουν υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις εξαιτίας της αντλίας ανακύκλωσης στην MSF μέθοδο και του συμπιεστή ατμού στα συστήματα VC .
- Λιγότερα στάδια αφαλάτωσης απαιτούνται για να δώσει το σύστημα μία σίγουρη απόδοση.
- Ο ατμός που παράγεται στο ένα στάδιο χρησιμοποιείται στο επόμενο, οπότε δε δημιουργούνται προβλήματα ισορροπίας.
- Η υψηλότερη συγκέντρωση άλατος στο σύστημα παρατηρείται μόνο στο τελευταίο στάδιο κι έτσι αποφεύγονται προβλήματα στη διάρκεια λειτουργίας του συστήματος, εξαιτίας υψηλής αλατότητας.

Οι παραπάνω λόγοι καθιστούν τη μέθοδο εξάτμισης πολλαπλών σταδίων, τη καταλληλότερη μέθοδο για συνδυασμό με ηλιακή ενέργεια, αλλά και συγκεκριμένα με ηλιακό παραβολικό συλλέκτη για τους λόγους που θα αναλυθούν παρακάτω.

6. Ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες

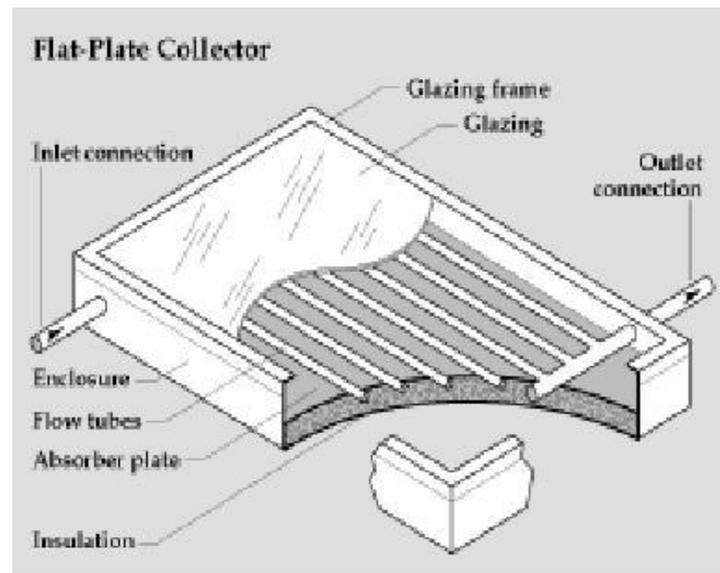
6.1 Εισαγωγή

Ένας ηλιακός θερμικός συλλέκτης είναι ένα είδος εναλλάκτη θερμότητας που μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε θερμότητα. Διαφέρει όμως σε πολλά σημεία με τους περισσότερους εναλλάκτες θερμότητας. Στους ηλιακούς θερμικούς συλλέκτες η θερμότητα μεταφέρεται από μία μακρινή πηγή ακτινοβολούμενης ενέργειας σε ένα ρευστό. Αντίθετα στους εναλλάκτες θερμότητας, η μεταφορά της γίνεται από ρευστό σε ρευστό, με υψηλούς ρυθμούς μεταφοράς και η ακτινοβολία αποτελεί έναν ασήμαντο παράγοντα.

6.2 Επίπεδοι συλλέκτες (Flat-plate collectors)

Οι επίπεδοι συλλέκτες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούν μεταφερόμενη ενέργεια, η οποία προκαλεί μέτρια μεταβολή θερμοκρασίας (συνήθως 100 °C πάνω από την θερμοκρασία περιβάλλοντος). Αξιοποιούν, τόσο την απευθείας ακτινοβολία, όσο και τη διάχυτη. Δεν χρησιμοποιούν συστήματα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου και δεν απαιτούν ιδιαίτερη συντήρηση, καθώς επίσης τοποθετούνται σε στατική θέση με προσανατολισμό τέτοιο, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση για τη χρονική περίοδο που χρησιμοποιείται. Από μηχανικής άποψης, είναι απλούστεροι σε σχέση με τους συγκεντρωτικούς συλλέκτες. Οι συλλέκτες αυτοί βρίσκουν εφαρμογή σε ηλιακή θέρμανση νερού ή θέρμανση κτιρίων, σε κλιματιστικά μηχανήματα και σε βιομηχανικές διεργασίες προθέρμανσης. Τα σημαντικότερα μέλη που απαρτίζουν έναν επίπεδο συλλέκτη είναι η απορροφητική επιφάνεια της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία χρησιμοποιείται για να μεταφέρεται η απορροφώμενη ενέργεια στο ρευστό, ένα περίβλημα του απορροφητή, το οποίο είναι διαφανές στην ηλιακή ακτινοβολία, έτσι ώστε να μειώνονται οι απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον, και μόνωση από το πίσω μέρος του για να μειώνονται οι απώλειες θερμότητας λόγω επαφής.

Στο Σχήμα 12 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική ενός επίπεδου συλλέκτη.



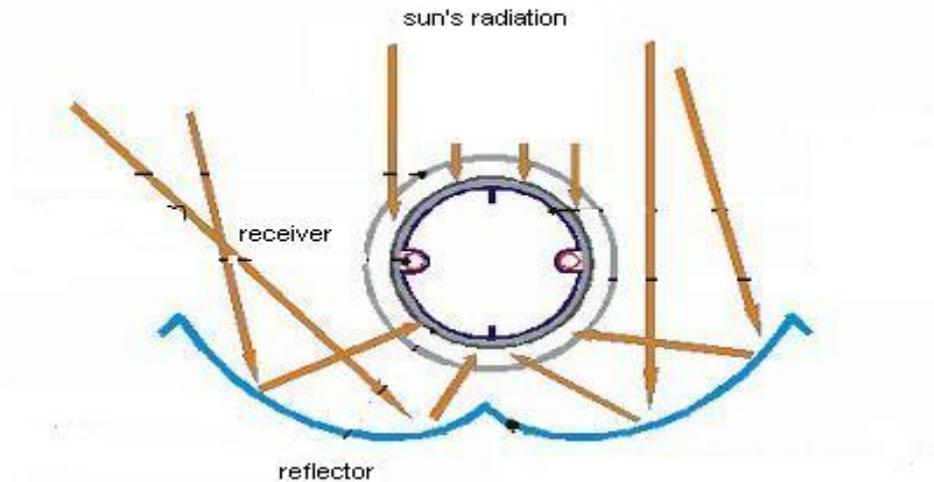
Σχήμα 12: Επίπεδος συλλέκτης.

6.3 Συλλέκτες χαμηλής συγκέντρωσης (Compound parabolic concentrators CPCs)

Οι συλλέκτες χαμηλής συγκέντρωσης έχουν την ικανότητα να ανακλούν στον αποδέκτη (receiver) την ακτινοβολία που προσπίπτει, μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος γωνιών, στο άνοιγμα (aperture) της παραβολής του κατόπτρου τους. Το εύρος αυτό καθορίζεται από τη 'γωνία αποδοχής' (acceptance angle) και εφόσον μέσα σε αυτό το εύρος ανακλώνται όλες οι ακτινοβολίες, εκμεταλλεύονται και την διάχυτη ακτινοβολία. Κύριο πλεονέκτημά τους είναι ότι δεν χρειάζονται συνεχές σύστημα ιχνηλάτησης της τροχιάς του ήλιου, αρκεί να είναι σωστά προσανατολισμένοι ώστε να μεγιστοποιούν την απορροφώμενη ακτινοβολία. Η μέγιστη μεταβολή θερμοκρασίας που μπορούν να προκαλέσουν είναι γύρω στους 250 °C πάνω από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Οι συλλέκτες αυτοί βρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε διατάξεις παραγωγής ατμού. Στην πιο συνήθης μορφή τους αποτελούνται από δύο ημιπαραβολικά κάτοπτρα, στην ένωση των οποίων τοποθετείται ο απορροφητής (κυλινδρικός ή επίπεδος), και περιβάλλονται από γυάλινο κάλυμμα, ώστε να προστατεύονται οι ανακλαστικές επιφάνειες από την σκόνη και έτσι να μη μειώνεται η οπτική τους απόδοση.

Στο Σχήμα 13 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική ενός συλλέκτη χαμηλής συγκέντρωσης.

Μοντελοποίηση συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με χρήση ηλιακού συλλέκτη



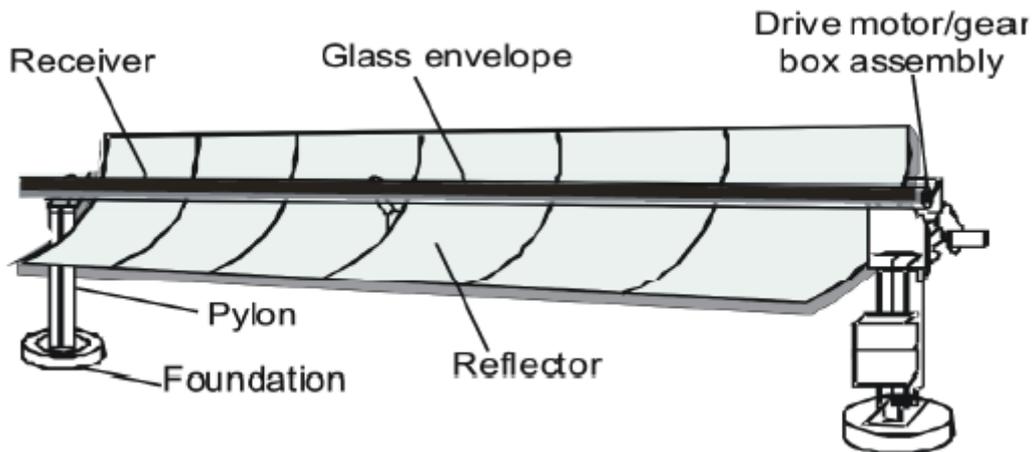
Σχήμα 13: Συλλέκτης χαμηλής συγκέντρωσης.

6.4 Παραβολικοί συλλέκτες (Parabolic trough concentrators PTCs)

Οι παραβολικοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας, όπως σε διατάξεις για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, διότι λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας που επιτυγχάνουν, προκαλούν μεταβολές θερμοκρασίας από 50°C μέχρι και πάνω από 400 °C. Συνδυάζουν μεγάλη θερμική απόδοση και χαμηλό κόστος. Απαιτούν όμως σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου, οπότε και τοποθετούνται πάνω σε οριζόντιο άξονα προσαρμοσμένο είτε σε κατεύθυνση βορρά-νότου ακολουθώντας την τροχιά του ήλιου από την ανατολή προς την δύση, είτε σε κατεύθυνση ανατολής-δύσης ακολουθώντας αντίστοιχα τον ήλιο από το νότο προς το βορρά, έτσι ώστε να ο συλλέκτης να μετακινείται διαρκώς στην βέλτιστη γωνία προς την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει επάνω του. Ένας παραβολικός συλλέκτης αποτελείται από ένα παραβολικό κάτοπτρο, καθώς και από έναν κυλινδρικό αποδέκτη, ο οποίος αποτελείται από περίβλημα, ώστε να μειώνονται οι απώλειες θερμότητας με ακτινοβολία, το οποίο περικλείει έναν επίσης κυλινδρικό απορροφητή. Ανάμεσα στο περίβλημα και τον απορροφητή μεσολαβεί κενό αέρος, ώστε να μην έχουμε απώλειες λόγω συναγωγής. Η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στο ανακλαστικό κάτοπτρο και εν συνεχεία ανακλάται προς το σημείο εστίασης (focal Fiqi), στο οποίο συγκεντρώνεται πολλαπλάσιες φορές (έως 80

φορές περισσότερο), όπου εκεί είναι τοποθετημένος ο αποδέκτης. Με αυτήν τη διαδικασία θερμαίνεται, επομένως, το ψυκτικό υγρό που ρέει στο εσωτερικό του απορροφητή. Με χρήση εναλλακτών θερμότητας, η ενέργεια αυτή μεταφέρεται στο νερό και το μετατρέπει σε ατμό. Από τον ατμό παράγεται ηλεκτρική ενέργεια μέσω ενός στροβίλου και μίας ηλεκτρογεννήτριας.

Στο Σχήμα 14 παρουσιάζεται η αρχιτεκτονική ενός παραβολικού συλλέκτη.



Σχήμα 14: Παραβολικός συλλέκτης.

6.5 Επιλογή καταλληλότερου είδους συλλέκτη για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες εμφανίζουν περισσότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με τους επίπεδους συλλέκτες. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι τα ακόλουθα:

- Το ψυκτικό υγρό μπορεί να επιτύχει υψηλότερες θερμοκρασίες σε έναν συγκεντρωτικό συλλέκτη, σε σχέση με έναν επίπεδο με την ίδια επιφάνεια συλλογής της ηλιακής ενέργειας. Οι υψηλές θερμοκρασίες είναι απαραίτητες, ώστε να παραχθεί υπέρθερμος ατμός. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να επιτευχθεί μεγαλύτερη θερμοδυναμική απόδοση, ακόμη και για μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας, όπως απεικονίζεται στο Διάγραμμα 5.1.
- Η θερμική απόδοση ενός συγκεντρωτικού συλλέκτη είναι μεγαλύτερη, εξαιτίας των μειωμένων απωλειών θερμότητας λόγω της συγκριτικά μικρότερης επιφάνειας του αποδέκτη του.

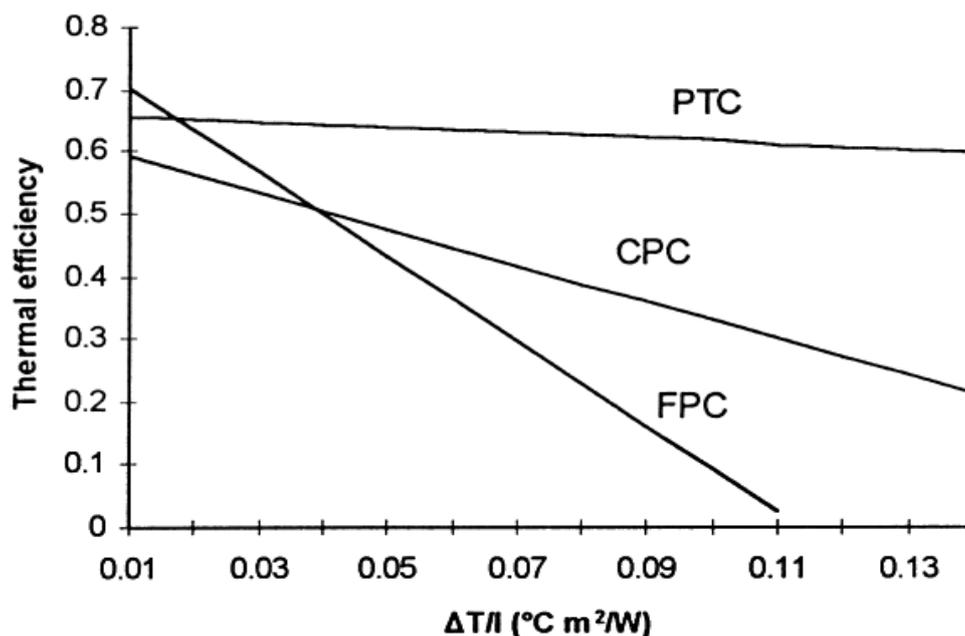
Εμφανίζουν, όμως, και τα ακόλουθα μειονεκτήματα:

- Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες χρησιμοποιούν μόνο την απευθείας ακτινοβολία του ήλιου.

Μοντελοποίηση συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με χρήση ηλιακού συλλέκτη

- Οι ανακλαστικές επιφάνειες με το πέρασμα του χρόνου χάνουν κάποιο ποσοστό της ανακλαστικής τους ικανότητας και περιοδικά χρειάζονται καθαρισμό και συντήρηση.
- Απαιτούν την τοποθέτηση συστήματος ιχνηλάτησης της τροχιάς του ήλιου, γεγονός που συνεπάγεται αυξημένο κόστος αγοράς και συντήρησης, καθώς και επιπλέον σφάλματα λόγω της ακρίβειας σε περιπτώσεις αστοχίας των συστημάτων ιχνηλάτησης.

Στο διάγραμμα 1 απεικονίζονται οι χαρακτηριστικές καμπύλες θερμικής απόδοσης των τριών παραπάνω συλλεκτών ως συνάρτηση των διαφορών θερμοκρασίας λειτουργίας τους. Όπως διαφαίνεται, ο παραβολικός συλλέκτης διατηρεί την απόδοσή του υψηλή ακόμη και σε μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας και αυτό οφείλεται στο ότι οι θερμικές του απώλειες είναι αντιστρόφως ανάλογες με τον βαθμό συγκέντρωσής (concentration ratio) του. Επομένως, ο καταλληλότερος ηλιακός θερμικός συλλέκτης για να την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος είναι ο παραβολικός συλλέκτης.



Διάγραμμα 1: Θερμική απόδοση των ηλιακών συλλεκτών PTC, CPC και FPC

Συνεπώς, ο συνδυασμός του ηλιακού παραβολικού συλλέκτη με τη μέθοδο εξάτμισης πολλαπλών σταδίων αποτελεί μία σίγουρη λύση για υψηλή απόδοση και ενεργειακή οικονομία. Η σταθερή θερμική απόδοση του ηλιακού παραβολικού

συλλέκτη σε μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας αποτελεί ένα βασικό πλεονέκτημα του για εφαρμογές αφαλάτωσης, διότι δε δημιουργούνται έντονα προβλήματα ενεργειακής ισορροπίας στο σύστημα αφαλάτωσης που δημιουργούν κακές συνθήκες αλλά και διακοπή λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης.

7. Η μέθοδος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με εξάτμιση πολλαπλών σταδίων

7.1 Ερευνητικό ενδιαφέρον για την εξάτμιση πολλών σταδίων

Η μέθοδος εξάτμισης πολλαπλών σταδίων είναι ευρέως γνωστή στη χημική βιομηχανία, για να συμπυκνώνει διαλύματα και να ανακτά διαλύτες. Στην αφαλάτωση θαλασσινού νερού, η MSF θεωρείται η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη διαδικασία, αν και υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον στη μέθοδο MEE λόγω της βελτίωσης που έχει επιτευχθεί στη σχεδίαση των εναλλακτών θερμότητας, έχοντας ως αποτέλεσμα τη μείωση του προβλήματος του "ξελεπίσματος"(scaling problem), αλλά και τη βελτίωση στο επίπεδο μεταφοράς θερμότητας. Το πρόβλημα "scaling" δημιουργείται από την υπερβολική συγκέντρωση αλάτων σε μία μεμβράνη, δημιουργώντας έτσι πρόβλημα λειτουργίας σε μία μονάδα αφαλάτωσης.

Η διαμόρφωση και η προσομοίωση της διαδικασίας αφαλάτωσης επιτρέπουν καλύτερο σχέδιο, λειτουργία, και διορατικότητα στη λειτουργία της διαδικασίας, από την οποία μία βέλτιστη διαδικασία λειτουργίας και ένας προηγμένος έλεγχος στρατηγικής επιτυγχάνεται. Τα δυναμικά μοντέλα χρησιμοποιούνται για να λύσουν τα προβλήματα σχετικά με την παροδική συμπεριφορά όπως το ξεκίνημα, κλείσιμο, και την παροδική λειτουργία.

Διάφορες έρευνες που ασχολήθηκαν με τη σταθερή κατάσταση και τη δυναμική συμπεριφορά των εξατμιστήρων πολλών σταδίων, αναλύονται παρακάτω. Ο Lambert ανέπτυξε ένα σύστημα μη γραμμικών εξισώσεων που διέπουν το MEE σύστημα και παρουσίασε μια διαδικασία υπολογισμού, μετατρέποντας το σύστημα σε γραμμική μορφή και λύνοντας το από την τεχνική απαλοιφής Gauss. Η αύξηση στο σημείο βρασμού και οι σχέσεις μη γραμμικής ενθαλπίας σε θερμοκρασία και συγκέντρωση συμπεριλήφθησαν. Τα αποτελέσματα γραμμικών και μη γραμμικών τεχνικών συγκρίθηκαν.

Ο El-Nashar και ο Qamhiyeh ανέπτυξαν ένα μοντέλο προσομοίωσης προβλέποντας την παροδική συμπεριφορά των MEE (stack-type) εγκαταστάσεων απόσταξης. Οι παροδικές εξισώσεις ενεργειακής ισορροπίας γράφτηκαν για κάθε εγκατάσταση σε σχέση με τις άγνωστες θερμοκρασίες κάθε σταδίου. Οι εξισώσεις

λύθηκαν προσομοιώνοντας για να υπολογίσουν το χρονικά εξαρτώμενο στάδιο θερμοκρασίας, απόδοσης και παραγωγής αποστάγματος. Τα αποτελέσματα του προγράμματος προσομοίωσης συγκρίθηκαν με τα πραγματικά δεδομένα λειτουργίας κατά τη διάρκεια της εκκίνησης και η συμφωνία ήταν λογική.

Ο Hanbury παρουσίασε μια σταθερής κατάστασης λύση στις εξισώσεις απόδοσης, σε μία εγκατάσταση MEE. Η προσομοίωση βασίστηκε σε μία γραμμική μείωση στο συντελεστή μεταφοράς θερμότητας, στην άνιση επίδραση θερμοκρασιακών διαφορών και στα ίσα θερμικά φορτία για κάθε στάδιο από το δεύτερο στάδιο και μετά.

Ο Rosso και οι συνεργάτες του περιέγραψαν ένα μαθηματικό μοντέλο σταθερής κατάστασης, που αναπτύχθηκε για να αναλύσει τις MSF εγκαταστάσεις, αναλύοντας τις μεταβλητές λειτουργίας και σχεδιασμού, για να προσδιορίσει τη συμπεριφορά εγκαταστάσεων και κυρίως για να υποστηρίξει ένα δυναμικό μοντέλο. Το μοντέλο μπορεί να προβλέπει το επίπεδο παραγωγής, το επίπεδο ροής άλμης σ' όλα τα στάδια και τις θερμοκρασίες. Η μελέτη επίσης παρουσιάζει την επίδραση της μέγιστης θερμοκρασίας θαλασσινού νερού (TBT) στην απόδοση της εγκατάστασης.

Ο Tonelli και οι συνεργάτες του παρουσίασαν ένα μοντέλο για την προσομοίωση μίας δυναμικής απόκρισης της MEE, σε συγκέντρωση από υγρά τρόφιμα. Είναι βασισμένο σε ένα μη γραμμικό μαθηματικό πρότυπο. Μια επεξηγηματική περιπτώσιολογική μελέτη για έναν εξαμιστήριο τριπλού-σταδίου για συγκεντρώσεις χυμού μήλου παρουσιάζεται. Η απόκριση της μονάδας σε μεγάλες διαταραχές στην πίεση ατμού και το ποσοστό ροής τροφοδοσίας, βασισμένα στη λύση του μαθηματικού προτύπου ήταν σε άριστη συμφωνία με την πειραματικά καθορισμένη απάντηση.

Ο Husain και οι συνεργάτες του περιέγραψαν τη μοντελοποίηση και προσομοίωση ενός πολλαπλής φάσης συστήματος αφαλάτωσης με 15 στάδια περισυλλογής και 3 στάδια απόρριψης. Η μελέτη βασίστηκε σε σταθερής κατάστασης προσομοίωση αλλά και σε δυναμική, η μελέτη πραγματοποιήθηκε με χρήση ενός FORTRAN προγράμματος για τη σταθερής κατάστασης προσομοίωση.

Ο Hamed διερεύνησε τη θερμική συμπεριφορά ενός MEE συστήματος. Μία αναλυτική λύση αναπτύχθηκε για να αναλύσει την επίδραση διαφόρων μεταβλητών της διαδικασίας στην απόδοση του συστήματος όπως ο αριθμός των σταδίων, η μέγιστη θερμοκρασία θαλασσινού νερού, η είσοδος θαλασσινού νερού και το ποσό παραγωγής. Η εξάρτηση παραγωγής νερού και απόδοσης μελετάται επίσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η απόδοση εξαρτάται από τον αριθμό του σταδίου και από τη θερμοκρασία εισόδου του θαλασσινού νερού, ενώ η TBT επίσης επιδρά στην απόδοση του συστήματος.

Ο Darwish ανέπτυξε τη θερμική ανάλυση των MSF συστημάτων αφαλάτωσης. Στη βάση του μαθηματικού μοντέλου, η επίδραση του αριθμού του σταδίου στην απόδοση του συστήματος συζητήθηκε.

Ο Elkamel και οι συνεργάτες του περιέγραψαν την ανάπτυξη και την εφαρμογή τεχνητών νευρωνικών δικτύων ως μία τεχνική μοντελοποίησης για προσομοίωση, ανάλυση και βελτιστοποίηση MSF διαδικασιών. Τα πραγματικά δεδομένα λειτουργίας εξήχθησαν από μία πραγματική εγκατάσταση MSF κατά τη διάρκεια δύο περιόδων λειτουργίας (καλοκαίρι και χειμώνα). Τα δίκτυα μπορούν να προβλέπουν διάφορες μεταβλητές, συμπεριλαμβανομένου το αποσταγμένο νερό και τη TBT.

Ο Minnich και οι συνεργάτες του αναφέρθηκαν στο θέμα, με οικονομική σύγκριση της MSF και της χαμηλής θερμοκρασίας MEE μεθόδου αφαλάτωσης. Η επίδραση των δύο κοινών συστημάτων, από τη σκοπιά των απαιτήσεων μεταφοράς θερμότητας, ήταν το θέμα της μελέτης. Ένα μοντέλο χρησιμοποιήθηκε για να συγκρίνει τον υπολογισμό της περιοχής μεταφοράς θερμότητας και για τα δύο είδη συστημάτων. Η μεταφορά θερμότητας υπολογίστηκε σαν συνάρτηση της TBT και του κόστους. Το μοντέλο έδειξε ότι το σύστημα MEE με TBT στους 110 °C, απαιτούσε περισσότερη επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας από ένα σύστημα MSF, σε υψηλότερο κέρδος πάνω από 6. Η μελέτη επίσης διευκρινίζει ότι η πλήρης δυνατότητα ενός συστήματος MEE μπορεί να πραγματοποιηθεί με λειτουργία σε υψηλότερη TBT.

Οι εγκαταστάσεις MEE δημιουργούνται συνήθως σε μονάδες 2.000 έως 10.000 m³. Μερικές από τις πιο πρόσφατες εγκαταστάσεις έχουν δημιουργηθεί για να

λειτουργήσουν με ένα TBT περίπου 70 °C, που μειώνει την ανάγκη για “ξελέπισμα”(scaling problem) του νερού της θάλασσας μέσα στις εγκαταστάσεις. Επίσης, αυτό αυξάνει την ανάγκη για επιπλέον περιοχή μεταφοράς θερμότητας από τους σωλήνες.

Πολλά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί για να βρουν τη σχέση μεταξύ των MSF, MEE σχεδίων και την επίδραση των παραμέτρων λειτουργίας αυτών στην απόδοση του συστήματος. Όλα αυτά τα μοντέλα αναπτύχθηκαν από ισοζύγια μάζας, ενέργειας και εξισώσεις μεταφοράς θερμότητας. Πολλά απ’ αυτά τα μοντέλα παίρνουν υπόψη διάφορες υποθέσεις όπως σταθερή πτώση θερμοκρασίας ανά στάδιο, αμελητέες απώλειες θερμότητας, καθόλου απώλειες μέσα στη δεξαμενή αποθήκευσης, σταθερούς συντελεστές μεταφοράς θερμότητας σ’ όλα τα τμήματα της εγκατάστασης και σταθερή περιοχή μεταφοράς θερμότητας.

Αυτές οι υποθέσεις προκαλούν μία απόκλιση ανάμεσα στα αποτελέσματα του μοντέλου και στα πραγματικά στοιχεία λειτουργίας, αλλά είναι αποδεκτά για να ερευνηθούν τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος σε ορισμένες περιπτώσεις.

7.2 Περιγραφή λειτουργίας της μεθόδου

Η διαδικασία της εξάτμισης πολλαπλών σταδίων (MED) προσφέρει ευελιξία στις μονάδες να λειτουργήσουν υπό χαμηλό φορτίο. Είναι λιγότερο ευαίσθητη στον σχηματισμό ακαθαρσιών και αλάτων γεγονός που αυξάνει την διάρκεια ζωής της μονάδας. Επίσης, είναι πιο φθηνή και συμφέρει σε σχέση με την απόσταση πολλαπλής φάσης για τη λειτουργία μονάδων μικρής ικανότητας παραγωγής νερού.

Στη μέθοδο της εξάτμισης πολλαπλών σταδίων, το θαλασσινό νερό βράζει σε μια ακολουθία εναλλακτών θερμότητας. Ο ατμός που έχει προέλθει από το βρασμό σε κάθε εναλλάκτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση του νερού στον επόμενο. Μόνο για τη θέρμανση στον πρώτο εναλλάκτη θερμότητας απαιτείται εξωτερική πηγή θερμότητας. Παρόλο που θεωρητικά τέτοιες διατάξεις μπορούν να έχουν αυθαίρετα μεγάλο αριθμό βαθμίδων, στην πράξη η τοποθέτηση πάρα πολλών βαθμίδων δεν προσφέρει κάτι επιπλέον λόγω της αύξησης του κόστους.

Η καινοτομία της μεθόδου στηρίζεται στο γεγονός ότι όσο η πίεση μειώνεται μέσα στον εναλλάκτη θερμότητας, τόσο μειώνεται και το σημείο βρασμού του νερού οπότε οι θερμοκρασίες λειτουργίας δεν είναι ιδιαίτερα υψηλές, με αποτέλεσμα χαμηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις. Η μείωση της πίεσης μπορεί να επιτευχθεί με δημιουργία συνθηκών κενού, δηλαδή με εξαγωγή ατμοσφαιρικού αέρα από το σύστημα, με τη χρήση κάποιας βαλβίδας εξαγωγής αέρα.

Στο συγκεκριμένο σύστημα 5 σταδίων που υλοποιήθηκε σ' αυτήν την εργασία, το θαλασσινό νερό συγκεντρώνεται σε μία δεξαμενή αποθήκευσης και στη συνέχεια διέρχεται μέσα από πέντε προθερμαντές, οι οποίοι βρίσκονται σε σειρά για την απαραίτητη προθέρμανση, πριν εισέλθει στον πρώτο εναλλάκτη θερμότητας. Η προθέρμανση αυτή είναι απαραίτητη διότι το νερό αυξάνει θερμοκρασία κι έτσι θα χρειαστεί λιγότερη εξωτερική παροχή ατμού για το βρασμό του στο πρώτο στάδιο. Στο πρώτο στάδιο ο ατμός που θα παραχθεί, εάν αφαιρεθεί ο ατμός εισόδου στον προθερμαντή του σταδίου, θα αποτελέσει την είσοδο στο δεύτερο εναλλάκτη θερμότητας. Είσοδος στο δεύτερο στάδιο θα αποτελέσει επίσης και το θαλασσινό νερό που δε θα εξατμιστεί.

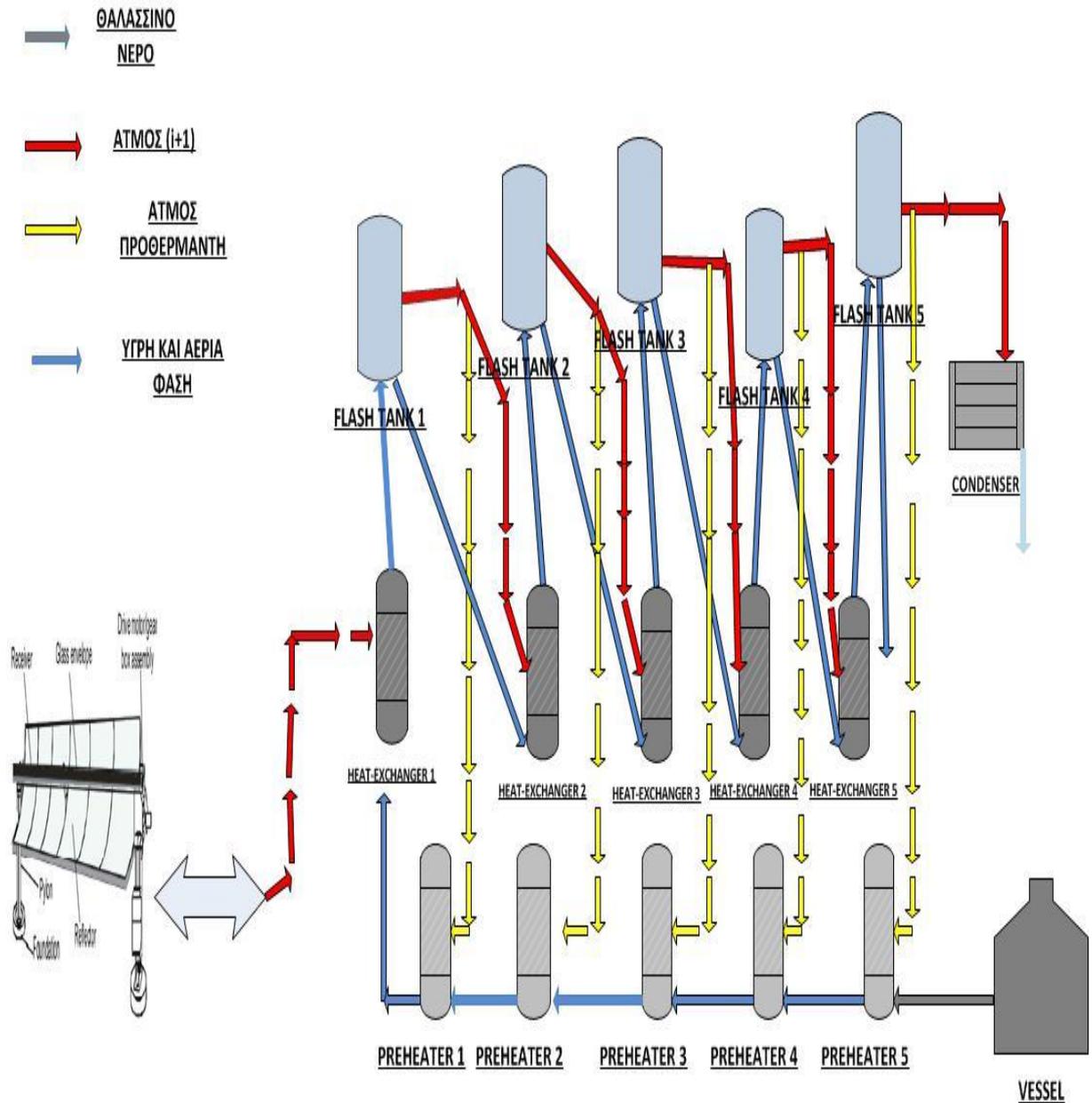
Ο ατμός που θα παραχθεί στο δεύτερο στάδιο εάν αφαιρεθεί ο ατμός εισόδου στον προθερμαντή του σταδίου, αλλά και το θαλασσινό νερό που δε θα εξατμιστεί στο δεύτερο στάδιο θα αποτελέσει την είσοδο του τρίτου εναλλάκτη θερμότητας. Το ίδιο ακριβώς συμβαίνει και στα επόμενα στάδια. Συμπερασματικά, γίνεται φανερό ότι το σύστημα γίνεται αυτόνομο εάν εξαιρεθεί η παροχή ατμού στον πρώτο εναλλάκτη θερμότητας, αφού ακόμα και στους προθερμαντές χρησιμοποιείται ατμός παραγόμενος από το σύστημα. Σε παραλλαγές της συγκεκριμένης μεθόδου, ο προθερμαντής του πρώτου σταδίου τροφοδοτείται από εξωτερική παροχή ατμού.

Ο ατμός που θα παραχθεί στο πέμπτο στάδιο, εάν αφαιρεθεί ο ατμός που τροφοδοτεί τον πέμπτο προθερμαντή θα υγροποιηθεί διερχόμενος μέσα από ένα συμπυκνωτή και θα αποτελέσει το τελικό προϊόν του συστήματος. Επίσης, μία υπολογίσιμη ποσότητα θαλασσινού νερού υψηλής περιεκτικότητας σε άλατα θα αφήσει το πέμπτο στάδιο, διότι δεν εξατμίστηκε μέσα στο σύστημα.

Η εξωτερική παροχή ατμού στον πρώτο εναλλάκτη θερμότητας προέρχεται είτε από ηλιακό παραβολικό συλλέκτη χρησιμοποιούμενο ως απευθείας μονάδα ατμοπαραγωγής είτε από βραστήρα (boiler) ο οποίος μετατρέπει νερό σε ατμό, η ηλεκτρική ενέργεια του οποίου προέρχεται από ηλιακό παραβολικό συλλέκτη για τους λόγους που περιγράφηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια.

Για να διαχωριστεί όμως ο παραγόμενος ατμός κάθε σταδίου από το θαλασσινό νερό που δεν εξατμίζεται, χρειάζονται κάποιοι διαχωριστές φάσης, οι οποίοι επιτελούν αυτή τη λειτουργία. Με αυτόν τον τρόπο, το θαλασσινό νερό εξάγεται από το σύστημα σε κάθε στάδιο ενώ ο ατμός εισάγεται στον επόμενο εναλλάκτη θερμότητας. Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιούνται πέντε διαχωριστές φάσης, όσα είναι δηλαδή και τα στάδια της αφαλάτωσης.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο σχεδιασμός του συστήματος(κυκλοφορία ατμού και νερού στο σύστημα) που υλοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.



Σχήμα 15: Σύστημα εξατμίσης πολλαπλών σταδίων με 5 στάδια.

7.3 Εναλλάκτες θερμότητας

Η λειτουργία της μεθόδου στηρίζεται κυρίως στη λειτουργία εναλλακτών θερμότητας και διαχωριστών φάσεων. Οι προθερμαντές και ο συμπιεστής που χρησιμοποιούνται είναι κι αυτοί εναλλάκτες θερμότητας.

Εναλλάκτης θερμότητας ονομάζεται η συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά της θερμικής ενέργειας μεταξύ δύο ρευστών διαφορετικής

Μοντελοποίηση συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με χρήση ηλιακού συλλέκτη

θερμοκρασίας. Οι εναλλάκτες, ανάλογα με τη διαδικασία μεταφοράς της θερμότητας, μπορούν να διακριθούν σε άμεσης και έμμεσης επαφής. Στους άμεσης επαφής εναλλάκτες, δύο διαφορετικής φάσης ρευστά έρχονται σε άμεση επαφή, ανταλλάσσουν θερμότητα και διαχωρίζονται πάλι. Στους έμμεσης επαφής, τα δύο ρευστά παραμένουν χωρισμένα και η θερμότητα μεταφέρεται μέσω μιας διαχωριστικής επιφάνειας (όπως στην περίπτωση αυτής της εργασίας). Στην περίπτωση που η επιφάνεια θερμοεναλλαγής έχει αρκετά μεγάλη θερμοχωρητικότητα ώστε να παίζει σημαντικό ρόλο στο φαινόμενο της μεταφοράς, οι έμμεσης επαφής εναλλάκτες ονομάζονται και «αναγεννητές» (regenerators).

Οι διατάξεις αυτές διακρίνονται επίσης σε κατηγορίες ανάλογα με τον τύπο της ροής και την κατασκευαστική τους διάταξη. Έτσι έχουμε τους ομορροής, αντιρροής, πτερυγιοφόρων ή μη σωλήνων (ροές μιγνυόμενες ή μη μιγνυόμενες) και τους δέσμης σωλήνων κελύφους. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται εναλλάκτες κελύφους σωλήνων.

Ένας εναλλάκτης θερμότητας κελύφους σωλήνων είναι μια κατηγορία εναλλάκτη θερμότητας ο οποίος χρησιμοποιείται ευρέως στις εγκαταστάσεις καθαρισμού πετρελαίου και άλλες μεγάλες χημικές διαδικασίες, ενώ ταιριάζει απόλυτα με τις εφαρμογές υψηλής-πίεσης. Όπως το όνομά του υπονοεί, αυτός ο τύπος εναλλάκτη θερμότητας αποτελείται από ένα κέλυφος (ένα μεγάλο σκάφος πίεσης) με μια δέσμη σωλήνων μέσα σ' αυτό. Τα ρευστά ρέει μέσα από τους σωλήνες, και ένα άλλο ρευστό ρέει πέρα από τους σωλήνες (μέσω του κελύφους). Το σύνολο των σωλήνων καλείται δέσμη σωλήνων, και μπορεί να συντεθεί από διάφορους τύπους σωλήνων.

Δύο ρευστά, διαφορετικών αρχικών θερμοκρασιών, ανταλλάσσουν θερμότητα μέσω του εναλλάκτη θερμότητας. Η μία ροή διαπερνά τους σωλήνες (πλευρά σωλήνων) και η άλλη ροή έξω από τους σωλήνες αλλά μέσα στο κέλυφος. Η θερμότητα μεταφέρεται από ένα ρευστό σε άλλο μέσω των τοίχων των σωλήνων, είτε από την πλευρά των σωλήνων στην πλευρά του κελύφους, είτε αντίστροφα. Τα ρευστά μπορούν να είναι είτε υγρά είτε αέρια, είτε στο κέλυφος είτε στην πλευρά των σωλήνων. Προκειμένου να μεταφερθεί η θερμότητα αποτελεσματικά,

μια μεγάλη περιοχή μεταφοράς θερμότητας πρέπει να χρησιμοποιηθεί, οδηγώντας στη χρήση πολλών σωλήνων.

Οι εναλλάκτες θερμότητας με μόνο μια φάση (υγρό ή αέριο) σε κάθε πλευρά μπορούν να ονομαστούν μιας φάσης ή μονοφασικοί εναλλάκτες θερμότητας. Οι διφασικοί εναλλάκτες θερμότητας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να θερμάνουν ένα υγρό για να το βράσουν σε ένα αέριο (ατμός), αποκαλούμενοι μερικές φορές λέβητες, ή για να συμπυκνώσουν ένα ατμό σ' ένα υγρό (αποκαλούμενοι συμπυκνωτές). Η αλλαγή φάσης εμφανίζεται συνήθως από την πλευρά του κελύφους.

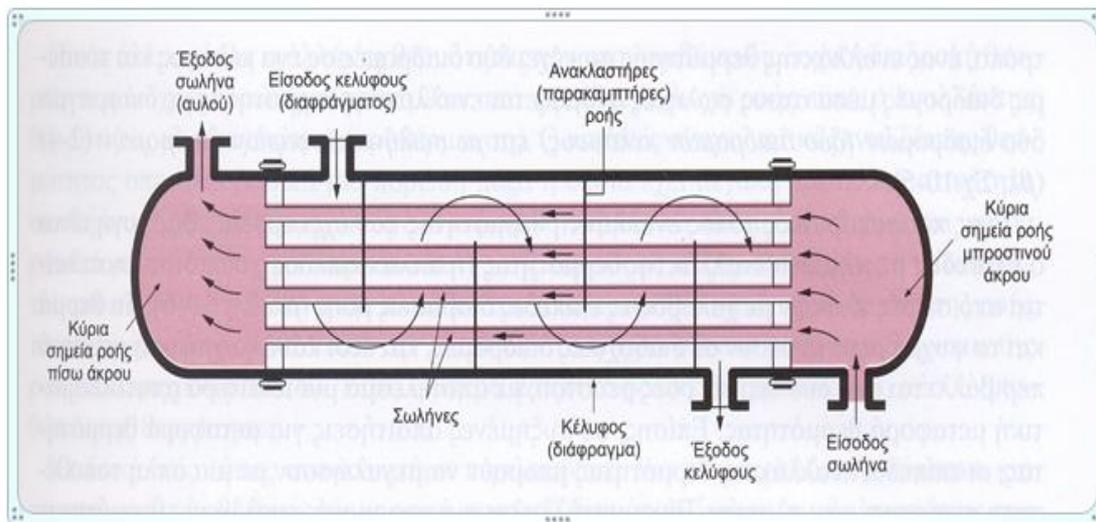
Για να είναι σε θέση να μεταφέρει τη θερμότητα καλά, το υλικό των σωλήνων πρέπει να έχει καλή θερμική αγωγιμότητα. Επειδή η θερμότητα μεταφέρεται από μια καυτή σε μια κρύα πλευρά μέσω των σωλήνων, υπάρχει μια διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα τοιχώματα τους. Θερμικές πιέσεις εμφανίζονται κατά τη διάρκεια λειτουργίας. Το υλικό των σωλήνων θα πρέπει να ελαχιστοποιεί την πιθανότητα διάβρωσης. Όλες αυτές οι απαιτήσεις απαιτούν την προσεκτική επιλογή ισχυρών, θερμικά-αγώγιμων, αντιδιαβρωτικών, υψηλής ποιότητας υλικών των σωλήνων, χαρακτηριστικά των μετάλλων, όπως του κράματος χαλκού, του ανοξείδωτου χάλυβα, του χάλυβα άνθρακα, του μη σιδηρούχου κράματος χαλκού, του νικελίου. Η κακή επιλογή του υλικού των σωλήνων θα μπορούσε να οδηγήσει σε μια διαρροή προκαλώντας ανάμειξη και ενδεχομένως απώλεια πίεσης.

Ο εναλλάκτης τύπου κελύφους σωλήνων παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

- Έχει μεγάλη επιφάνεια και σχετικά μικρό όγκο.
- Έχει καλή μηχανολογική διάταξη και σχήμα που επιτρέπει τη λειτουργία του υπό υψηλή πίεση.
- Έχουν αναπτυχθεί αξιόπιστες μέθοδοι κατασκευής του.
- Μπορεί να κατασκευαστεί από μεγάλη ποικιλία υλικών ανάλογα με τις απαιτήσεις των ρευστών που θα χρησιμοποιούνται για την εναλλαγή θερμότητας.

- Παρουσιάζει ευκολία καθαρισμού του, οπότε μπορεί να εξαχθεί εύκολα τυχόν συγκέντρωση άλατος απ' τα τοιχώματα του.
- Έχουν αναπτυχθεί καθιερωμένες διαδικασίες σχεδιασμού του.
- Μπορεί να λειτουργήσει από πολύ χαμηλές έως πολύ υψηλές θερμοκρασίες.

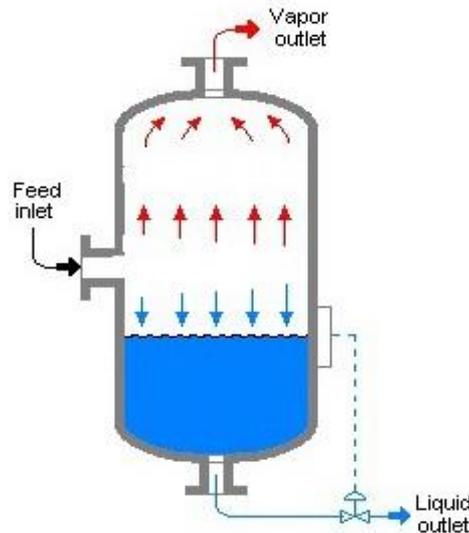
Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένας εναλλάκτης τύπου κελύφους σωλήνων:



Σχήμα 16: Εναλλάκτης τύπου σωλήνων κελύφους

7.4 Διαχωριστές φάσης

Ο διαχωριστής φάσης είναι ένα κατακόρυφο δοχείο όπου ένα μίγμα υγρής και αέριας φάσης εισάγεται στην είσοδο του, ενώ έχει δύο εξόδους όπου από τη μία εξέρχεται το υγρό κι από την άλλη ο ατμός. Η υγρή φάση με την είσοδο της στο διαχωριστή λόγω βαρύτητας εξέρχεται από το κάτω μέρος του δοχείου, ενώ ο ατμός “ταξιδεύει” προς τα πάνω κι εξέρχεται από εκεί. Μία βαλβίδα ελέγχου του επιπέδου του υγρού στο δοχείο λειτουργεί ώστε να εξαχθεί όλο το υγρό από το διαχωριστή. Στο παρακάτω σχήμα γίνεται φανερό η λειτουργία της διάταξης αυτής.



Σχήμα 17: Διαχωριστής φάσης

7.5 Αναλυτική περιγραφή του μαθηματικού μοντέλου της μεθόδου εξάτμισης πολλαπλών σταδίων

Για το σύστημα αφαλάτωσης με εξάτμιση πολλών σταδίων, το μαθηματικό μοντέλο αναπτύχθηκε για να προσομοιώσει και να αναλύσει τη συμπεριφορά της μονάδας. Το μοντέλο, το οποίο θα μελετηθεί στην παρούσα εργασία, θα χρησιμοποιηθεί για να μελετήσει διάφορες παραμέτρους όπως τη διαδικασία βρασμού μέσα στον εξατμιστήρα, τη θερμοκρασία άλμης και αποστάγματος, την αλατότητα σ' όλα τα στάδια αλλά και άλλα ενδιαφέροντα στοιχεία τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω. Θα πρέπει να αναφερθεί ότι το μοντέλο είναι σταθερής κατάστασης (steady-state). Οι υποθέσεις οι οποίες λήφθηκαν υπόψη για την ανάπτυξη του μοντέλου αφαλάτωσης της διαδικασίας MEE στην παρούσα εργασία, είναι:

- Το προϊόν αποστάγματος, δηλαδή ο ατμός που παράγεται, δεν περιέχει αλάτι.

Μοντελοποίηση συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με χρήση ηλιακού συλλέκτη

- Οι απώλειες μάζας και θερμότητας στο θερμομονωτικό σύστημα είναι αμελητέες, επειδή όλα τα μέρη των σταδίων είναι καλά μονωμένα και λειτουργούν σε σχετικά χαμηλή θερμοκρασία.
- Η θερμοκρασία υγρής και αέριας φάσης μέσα στον εξατμιστή συνδέονται με τη σχέση 'ανύψωσης σημείου βρασμού' (Boiling point elevation, BPE).
- Η ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση, δηλαδή το ποσό της θερμότητας που απαιτείται για να αυξηθεί 1 kg ουσίας κατά 1 °C είναι $c_p=3.94 \text{ kJ/Kg}^{\circ}\text{C}$ για όλα τα υγρά που ρέουν στο σύστημα, διότι η εξάρτηση της από την αλατότητα και τη θερμοκρασία είναι αμελητέα.
- Οι φυσικές ιδιότητες για την άλμη και τον ατμό εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και την αλατότητα.
- Στο σύστημα, παρουσιάζεται σταθερή θερμοκρασιακή πτώση ανά στάδιο.
- Οι προθερμαντές του συστήματος που προσομοιώθηκε, δεν έχουν καθόλου έξοδο ατμού.
- Η ταχύτητα του υγρού, στους σωλήνες των προθερμαντών και των εναλλακτών θερμότητας (εξατμιστών) είναι η ίδια .
- Η εσωτερική διάμετρος των σωλήνων των προθερμαντών και των εναλλακτών θερμότητας είναι η ίδια.
- Η εξωτερική διάμετρος των σωλήνων των προθερμαντών και των εναλλακτών θερμότητας είναι η ίδια.
- Η θερμοκρασιακή πτώση για κάθε στάδιο είναι ίση με τη θερμοκρασιακή διαφορά του θαλασσινού νερού (εισόδου –εξόδου) στον προθερμαντή του σταδίου.

Το μαθηματικό μοντέλο το οποίο αναπτύσσεται παρακάτω, στηρίζεται κυρίως σε ισοζύγια μάζας και κατ' επέκταση ροής(της κίνησης των σωματιδίων των ρευστών επειδή ακριβώς αυτά ρέουν), ισοζύγια ενέργειας, αλατότητας, αλλά και σε εξισώσεις μεταφοράς θερμότητας .

Η αρχή διατήρησης της μάζας προτάσσει ότι η συνολική μάζα ενός συστήματος σωμάτων διατηρείται σταθερή, ανεξαρτήτως των εσωτερικών αλληλεπιδράσεων. Περίπου ισοδύναμη πρόταση είναι ότι η ύλη μπορεί να αλλάζει μορφές, αλλά η ποσότητά της παραμένει σταθερή. Η αρχή είναι σημαντικότερη, πολύ ισχυρή και εύχρηστη στις χημικές αλληλεπιδράσεις. Βεβαιώνει ότι η μάζα των αντιδρώντων ισούται με την μάζα των προϊόντων. Η ιδέα απέκτησε με καθαρότητα και σαφήνεια την σύγχρονή της μορφή από τον Αντουάν Λαβουαζιέ, πατέρα της σύγχρονης χημείας. Ως ιδέα όμως υπάρχει σαφώς από παλιότερα, ακόμα και από την αρχαιότητα.

Η αρχή διατήρησης της ενέργειας συνοψίζεται στην πρόταση: Το αλγεβρικό άθροισμα όλων των μορφών ενέργειας που εμφανίζονται σε ένα σύστημα διατηρείται σταθερό με την πάροδο του χρόνου. Σε αυτό το άθροισμα μπορεί να ληφθεί υπόψη η ενέργεια που οφείλεται σε τυχόν έλλειμμα μάζας. Η αρχή διατήρησης της ενέργειας συμπεριλαμβάνεται στη γενικότερη αρχή διατήρησης της ενέργειας-μάζας. Η αρχή διατήρησης της ενέργειας είναι μια από τις θεμελιώδεις αρχές της Φυσικής, της Χημείας και γενικά των θετικών και φυσικών επιστημών. Η ενέργεια γενικά του συστήματος ονομάζεται ενθαλπία. Κατά τις χημικές αντιδράσεις οι μεταφορά ενέργειας γίνεται από το σύστημα στο περιβάλλον ή αντίστροφα με τη μορφή θερμότητας, ενώ το τυχόν έργο του συστήματος συνυπολογίζεται στην ενθαλπία.

Η μεταφορά της θερμικής ενέργειας και η διατύπωση των μαθηματικών σχέσεων που την περιγράφουν, αποτελούν έναν ξεχωριστό κλάδο στις τεχνολογικές επιστήμες. Η μεταφορά της θερμότητας είναι η επιστήμη που επιτρέπει εκ των προτέρων να γνωρίζουμε την κατανομή της θερμοκρασίας σ' ένα σώμα σε συνάρτηση των συντεταγμένων του χώρου και του χρόνου και επιπλέον να υπολογίσουμε τη θερμότητα που μεταφέρεται δια μέσου ενός σώματος, όταν υπάρχουν θερμοκρασιακές διαφορές. Η γνώση των νόμων που περιγράφουν τα φαινόμενα αυτά είναι αναγκαία προκειμένου να επηρεαστεί η εξέλιξή τους.

Η θερμότητα μεταφέρεται ως αποτέλεσμα της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ επιφανειών ή μεταξύ μίας επιφάνειας και ενός ρευστού. Υπάρχουν τρεις τρόποι μεταφοράς θερμότητας:

- Μεταφορά θερμότητας με επαφή (άμεση ή έμμεση μέσω μίας διαχωριστικής επιφάνειας), δηλαδή με επαφή που προκύπτει από μεταφορά θερμότητας στα υλικά, μέσω των μορίων τους. Μ' αυτόν τον τρόπο μεταφοράς θερμότητας, γίνεται η ανταλλαγή θερμότητας στη μέθοδο αφαλάτωσης της παρούσης εργασίας.
- Μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία, δηλαδή η θερμική ακτινοβολία εκπέμπεται από ένα θερμό σώμα προς το ψυχρότερο περιβάλλον του, με την μορφή φωτονίου, εμφανίζεται δηλαδή τόσο ως σωματίδιο, όσο και ως κύμα.
- Μεταφορά θερμότητας με συναγωγή, η οποία αναφέρεται στα ρευστά και οφείλεται στην κίνηση των μορίων τους. Η κίνηση αυτή δημιουργείται είτε λόγω της βαρύτητας που επιδρά στα ρευστά, είτε με χρήση κάποιας συσκευής που προκαλεί κίνηση στα μόρια των ρευστών.

Οι παρακάτω εξισώσεις περιλαμβάνονται στο μαθηματικό μοντέλο της παρούσας εργασίας:

Το ισοζύγιο ροής για το συνολικό σύστημα γράφεται ως εξής:

$$\mathbf{M}_f = \mathbf{M}_v + \mathbf{M}_{bd} \quad (1)$$

όπου:

M_f η ροή του θαλασσινού νερού με την οποία τροφοδοτήθηκε το σύστημα

M_v η ροή του ατμού στο σύστημα

M_{bd} η ροή του θαλασσινού νερού που αφήνει το σύστημα

Το ισοζύγιο ροής συναρτήσεως της αλατότητας γράφεται ως εξής:

$$\mathbf{M}_{bd} \cdot \mathbf{X}_{bd} = \mathbf{M}_f \cdot \mathbf{X}_{sw} \quad (2)$$

όπου:

X_{bd} η αλατότητα του θαλασσινού νερού που αφήνει το σύστημα

X_{sw} η αλατότητα του θαλασσινού νερού που εισέρχεται στο σύστημα

Η θερμοκρασιακή πτώση για κάθε στάδιο είναι:

Μοντελοποίηση συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με χρήση ηλιακού συλλέκτη

$$\Delta T_{st} = ((TBT - T_{bd}) / n) - 1 \quad (3)$$

όπου:

n ο αριθμός των σταδίων αφαλάτωσης στο σύστημα

TBT η μέγιστη θερμοκρασία του θαλασσινού νερού στο σύστημα

Ο υπολογισμός της ποσότητας του ατμού που απαιτείται για να προθερμάνει το θαλασσινό νερό, κατά το πέρασμα του από ένα προθερμαντή του συστήματος, είναι:

$$M_{sprh} = \frac{M_f \cdot c_p \cdot (T(i) - T(i + 1))}{L(i)} \quad (4)$$

όπου:

i ο αριθμός του σταδίου από το οποίο διέρχεται το θαλασσινό νερό

T η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού

c_p η ειδική θερμοχωρητικότητα του θαλασσινού νερού υπό σταθερή πίεση

L η λανθάνουσα θερμότητα για τον ατμό: η θερμότητα που επιφέρει αλλαγή στην κατάσταση αλλά δεν επιφέρει καμία αλλαγή στη θερμοκρασία ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα.

Όλες οι 'αγνές' ουσίες στη φύση έχουν τη δυνατότητα να αλλάζουν κατάσταση. Τα στερεά μπορούν να μετατραπούν σε υγρά (ο πάγος σε νερό) και τα υγρά μπορούν να μετατραπούν σε αέρια (το νερό σε ατμό), αλλά τέτοιου είδους αλλαγές απαιτούν την προσθήκη ή αφαίρεση θερμότητας. Η θερμότητα που προκαλεί τις αλλαγές αυτές ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα. Ωστόσο, η λανθάνουσα θερμότητα δεν επηρεάζει τη θερμοκρασία μιας ουσίας - για παράδειγμα, το νερό παραμένει ως έχει στους 100°C ενώ βράζει. Η θερμότητα που προστίθεται για να συνεχίσει ο βρασμός του νερού είναι λανθάνουσα θερμότητα.

Η λανθάνουσα θερμότητα για τον ατμό του συστήματος σε kJ/kg δίνεται από τη σχέση:

$$L = 2589.583 + 0.9156 \cdot T - 4.8343 \cdot 10^{-2} \cdot T^2 \quad (5)$$

όπου:

T η θερμοκρασία του ατμού σε °C

Η σχέση (5) ισχύει για ένα εύρος θερμοκρασίας από 10 °C έως 140 °C με λάθη λιγότερα από 0.4% για το υπολογισμό.

Η θερμότητα που απαιτείται για τη προθέρμανση του θαλασσινού νερού στους προθερμαντές δίνεται από τη σχέση :

$$Q = M_f \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (6)$$

όπου:

ΔT η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στην εισερχόμενη και εξερχόμενη θερμοκρασία του θαλασσινού νερού στο προθερμαντή.

Η ποσότητα του θαλασσινού νερού που αφήνει το στάδιο δίνεται από τη σχέση:

$$M_{b(i)} = M_{f(i)} - M_{v(i)} \quad (7)$$

όπου:

$M_{v(i)}$ η παραγόμενη μάζα του ατμού στο πρώτο στάδιο

Ο παραγόμενος ατμός σε κάθε στάδιο δίνεται από τη σχέση:

$$M_{v(i)} = M_{b(i-1)} - M_{b(i)} \quad (8)$$

$M_{b(i-1)}$ η εισερχόμενη μάζα του θαλασσινού νερού στο στάδιο

$M_{b(i)}$ η εξερχόμενη μάζα του θαλασσινού νερού από το στάδιο

Η αλατότητα του θαλασσινού νερού που αφήνει το κάθε στάδιο δίνεται από τη σχέση:

$$X_{b(i)} = (M_{b(i-1)} \cdot X_{b(i-1)}) / M_{b(i)} \quad (9)$$

$X_{b(i-1)}$ η αλατότητα του θαλασσινού νερού που εισήλθε στο στάδιο

Η ποσότητα του ατμού που εισέρχεται στον εναλλάκτη θερμότητας του σταδίου (i+1) είναι:

$$M_{s(i+1)} = M_{v(i)} - M_{sprh(i)} \quad (10)$$

Ο παραγόμενος ατμός του κάθε σταδίου δίνεται επίσης από την εξίσωση:

$$M_{v(i)} = \frac{M_{s(i)} \cdot L_{s(i-1)} + M_{b(i-1)} \cdot c_p \cdot (T_{BT}(i) - T_{enter(i)})}{L_{v(i)}} \quad (11)$$

όπου:

$T_{enter(i)}$ η θερμοκρασία εισόδου του θαλασσινού νερού στον εναλλάκτη θερμότητας του σταδίου i

Η θερμοκρασία του ατμού που παράγεται στο στάδιο i δίνεται από τη σχέση:

$$T_{v(i)} = T_{b(i)} - BPE(i) \quad (12)$$

όπου:

$BPE(i)$ η 'ανύψωση του σημείου βρασμού' στο στάδιο i σε °C

Η ανύψωση του σημείου βρασμού σε κάθε στάδιο για το θαλασσινό νερό σε °C δίνεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} BPE = & (565,757 / T - 9,81559 + 1,54739 \cdot \ln(T)) \\ & - (337,178 / T - 6,41981 + 0,922743 \cdot \ln(T)) \cdot A \\ & + (32,681 / T - 0,55368 + 0,079022 \cdot \ln(T)) \cdot A^2 \cdot \\ & (A / (266919,6 / T^2 - 379,669 / T + 0,334169)) \end{aligned} \quad (13)$$

όπου:

$$A = \frac{19,819 \cdot X}{1 - X} \quad (14)$$

X η περιεκτικότητα σε άλατα του θαλασσινού νερού που εισέρχεται στον εναλλάκτη θερμότητας

T η θερμοκρασία στην οποία ανέρχεται το θαλασσινό νερό στον εναλλάκτη θερμότητας

Η ενθαλπία του νερού σε υγρή φάση για θερμοκρασίες 0,01-145°C δίνεται από τη σχέση:

$$H = 0,5802129 + 4,151904 \cdot T + 3,536659 \cdot 10^{(-4)} T^2 \quad (15)$$

όπου

T η θερμοκρασία του νερού

Η ενθαλπία του νερού σε αέρια φάση για θερμοκρασίες 0,01-145 °C δίνεται από τη σχέση:

$$H = 2500,152 + 1,947036 \cdot T + 1,945387 \cdot 10^{(-3)} T^2 \quad (16)$$

Όπου

T η θερμοκρασία του ατμού

8. Αποτελέσματα

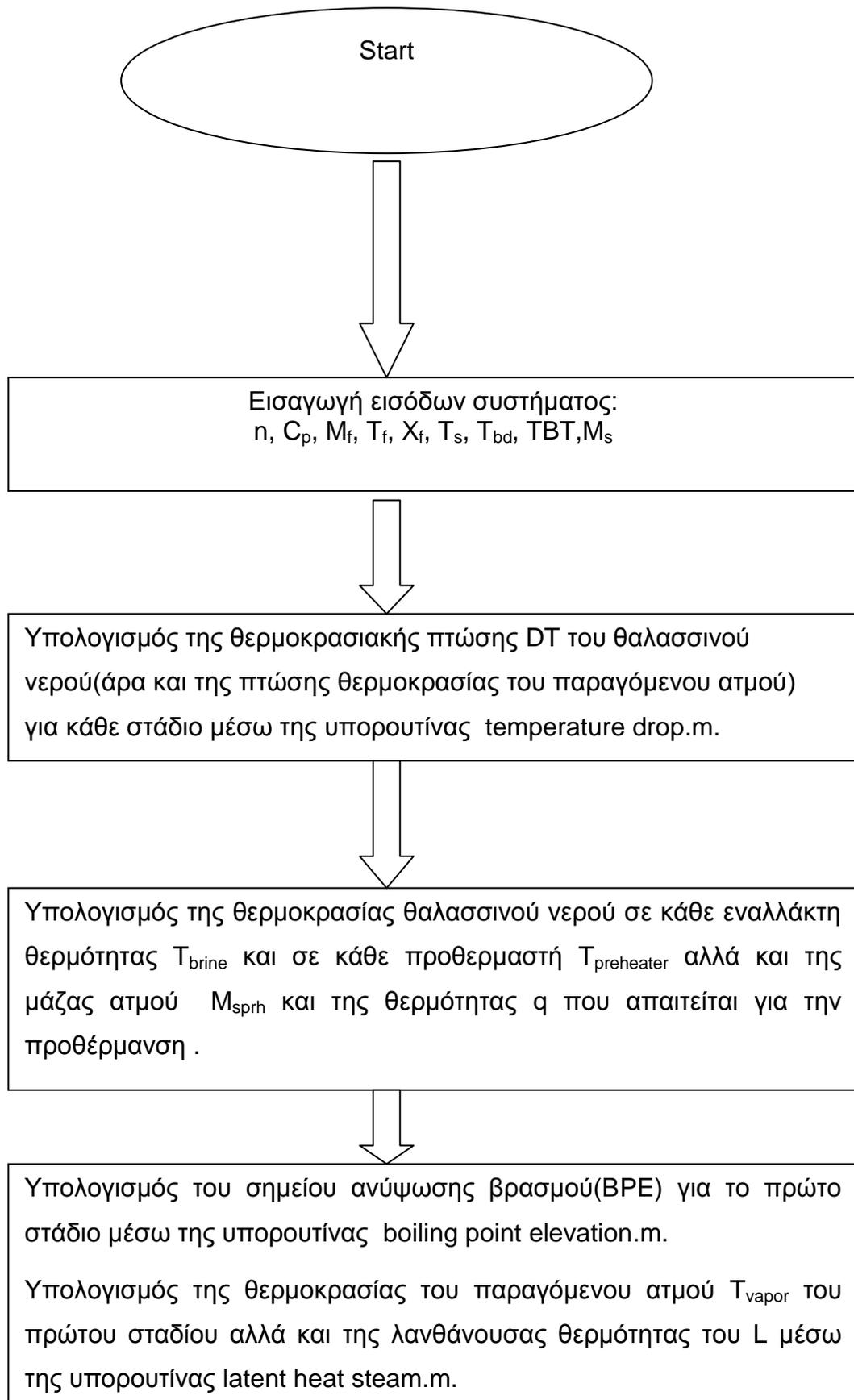
8.1 Δεδομένα προσομοίωσης

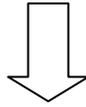
Τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ώστε να εξαχθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης είναι:

- Ο αριθμός των σταδίων αφαλάτωσης που υλοποιήθηκαν είναι 5.
- Η ροή μάζας του θαλασσινού νερού με το οποίο τροφοδοτήθηκε το σύστημα είναι $M_f=2.000.000 \text{ kg/h}=2 \times 10^6$.
- Η συγκέντρωση του άλατος του θαλασσινού νερού με το οποίο τροφοδοτήθηκε το σύστημα είναι $X_f=4.2\%$ ή 42.000 ppm (μέρη στο εκατομμύριο).
- Η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού με το οποίο τροφοδοτήθηκε το σύστημα είναι $T_f=25^\circ\text{C}$.
- Η ροή μάζας της εξωτερικής παροχής ατμού (στο πρώτο στάδιο της μεθόδου) είναι $M_s=100 \text{ kg/h}$.
- Η θερμοκρασία του ατμού (με τον οποίο τροφοδοτείται το σύστημα εξωτερικά) είναι $T_s=113^\circ\text{C}$.
- Ορίστηκε ως μέγιστη θερμοκρασία θαλασσινού νερού $T_{BT}=105^\circ\text{C}$.
- Η θερμοκρασία εισαγωγής του θαλασσινού νερού στους εναλλάκτες θερμότητας, από το δεύτερο στάδιο κι έπειτα είναι $T_{bd}=38^\circ\text{C}$.

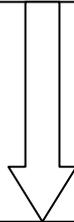
8.2 Διάγραμμα προσομοίωσης

Στο παρακάτω flow chart περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων:



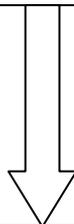


Υπολογισμός της ροής μάζας του παραγόμενου ατμού M_{vapor} και του θαλασσινού νερού M_{brine} που αφήνει το στάδιο, της συγκέντρωσης άλατος του θαλασσινού νερού X_{brine} που αφήνει το στάδιο αλλά και του λόγου μετατροπής(conversion ratio) για το στάδιο 1.

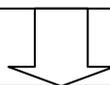


Υπολογισμός του σημείου ανύψωσης βρασμού(BPE) για το δεύτερο στάδιο μέσω της υπορουτίνας boiling point elevation.m.

Υπολογισμός της θερμοκρασίας του παραγόμενου ατμού T_{vapor} του δεύτερου σταδίου αλλά και της λανθάνουσας θερμότητας του L μέσω της υπορουτίνας latent heat steam.m.

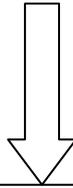


Υπολογισμός της ροής μάζας του παραγόμενου ατμού M_{vapor} και του θαλασσινού νερού M_{brine} που αφήνει το στάδιο, της συγκέντρωσης άλατος του θαλασσινού νερού X_{brine} που αφήνει το στάδιο αλλά και του λόγου μετατροπής(conversion ratio) για το στάδιο 2.

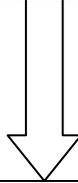


Υπολογισμός του σημείου ανύψωσης βρασμού(BPE) για το τρίτο στάδιο μέσω της υπορουτίνας boiling point elevation.m.

Υπολογισμός της θερμοκρασίας του παραγόμενου ατμού T_{vapor} του τρίτου σταδίου αλλά και της λανθάνουσας θερμότητας του L μέσω της υπορουτίνας latent heat steam.m.

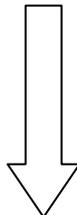


Υπολογισμός της ροής μάζας του παραγόμενου ατμού M_{vapor} και του θαλασσινού νερού M_{brine} που αφήνει το στάδιο, της συγκέντρωσης άλατος του θαλασσινού νερού X_{brine} που αφήνει το στάδιο αλλά και του λόγου μετατροπής (conversion ratio) για το στάδιο 3.

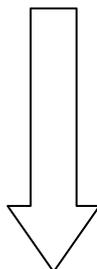


Υπολογισμός του σημείου ανύψωσης βρασμού (BPE) για το τέταρτο στάδιο μέσω της υπορουτίνας boiling point elevation.m.

Υπολογισμός της θερμοκρασίας του παραγόμενου ατμού T_{vapor} του τέταρτου σταδίου αλλά και της λανθάνουσας θερμότητας του L μέσω της υπορουτίνας latent heat steam.m.

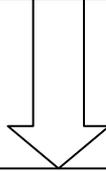


Υπολογισμός της ροής μάζας του παραγόμενου ατμού M_{vapor} και του θαλασσινού νερού M_{brine} που αφήνει το στάδιο, της συγκέντρωσης άλατος του θαλασσινού νερού X_{brine} που αφήνει το στάδιο αλλά και του λόγου μετατροπής (conversion ratio) για το στάδιο 4.

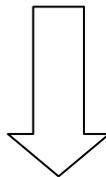


Υπολογισμός του σημείου ανύψωσης βρασμού(BPE) για το πέμπτο στάδιο μέσω της υπορουτίνας boiling point elevation.m.

Υπολογισμός της θερμοκρασίας του παραγόμενου ατμού T_{vapor} του πέμπτου σταδίου αλλά και της λανθάνουσας θερμότητας του L μέσω της υπορουτίνας latent heat steam.m.



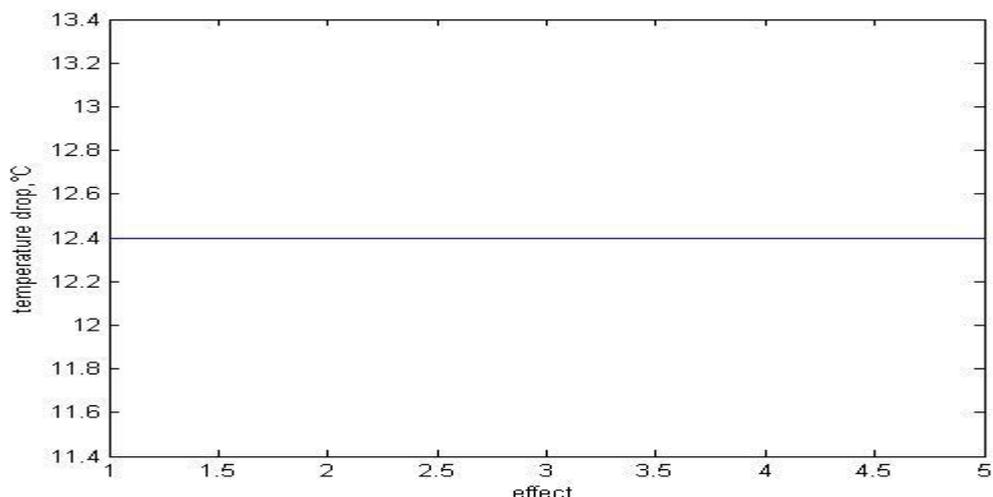
Υπολογισμός της ροής μάζας του παραγόμενου ατμού M_{vapor} και του θαλασσινού νερού M_{brine} που αφήνει το στάδιο, της συγκέντρωσης άλατος του θαλασσινού νερού X_{brine} που αφήνει το στάδιο αλλά και του λόγου μετατροπής(conversion ratio) για το στάδιο 5.



end

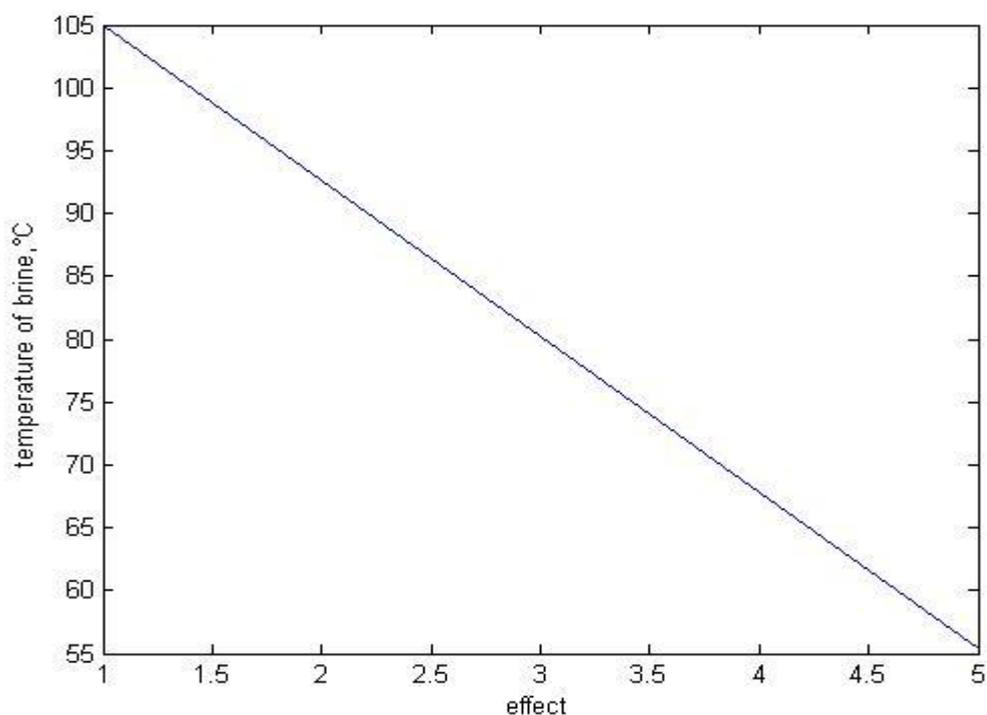
8.3 Θερμοκρασιακή πτώση σε κάθε στάδιο

Σύμφωνα με τις υποθέσεις μοντελοποίησης του συστήματος της παρούσης εργασίας ,το σύστημα παρουσιάζει σταθερή θερμοκρασιακή πτώση ατμού αλλά και θαλασσινού νερού, η οποία υπολογίστηκε και ισούται με 12.4 δηλαδή $DT=12.4$ °C ανά στάδιο. Αν ο αριθμός των σταδίων ήταν μεγαλύτερος από 5,η πτώση θερμοκρασίας θα ήταν μικρότερη, δηλαδή όσο ο αριθμός των σταδίων αυξάνεται, η θερμοκρασιακή πτώση μειώνεται. Στο παρακάτω διάγραμμα, παρουσιάζεται η θερμοκρασιακή πτώση του συστήματος που υλοποιήθηκε, σε συνάρτηση με τον αριθμό των σταδίων.



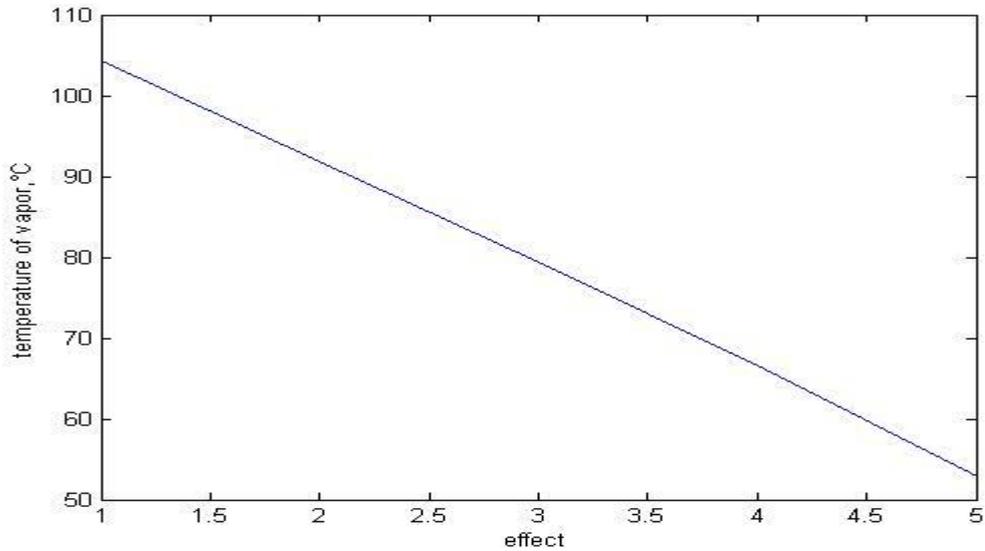
Διάγραμμα 2: Πτώση θερμοκρασίας ατμού και νερού στο σύστημα

Επιπλέον στα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού και του παραγόμενου ατμού στους εναλλάκτες θερμότητας σε κάθε στάδιο, ενώ γίνεται φανερή η πτώση θερμοκρασίας που περιγράφηκε παραπάνω.



Διάγραμμα 3 :Θερμοκρασία θαλασσινού νερού κατά την έξοδο από τους εναλλάκτες θερμότητας

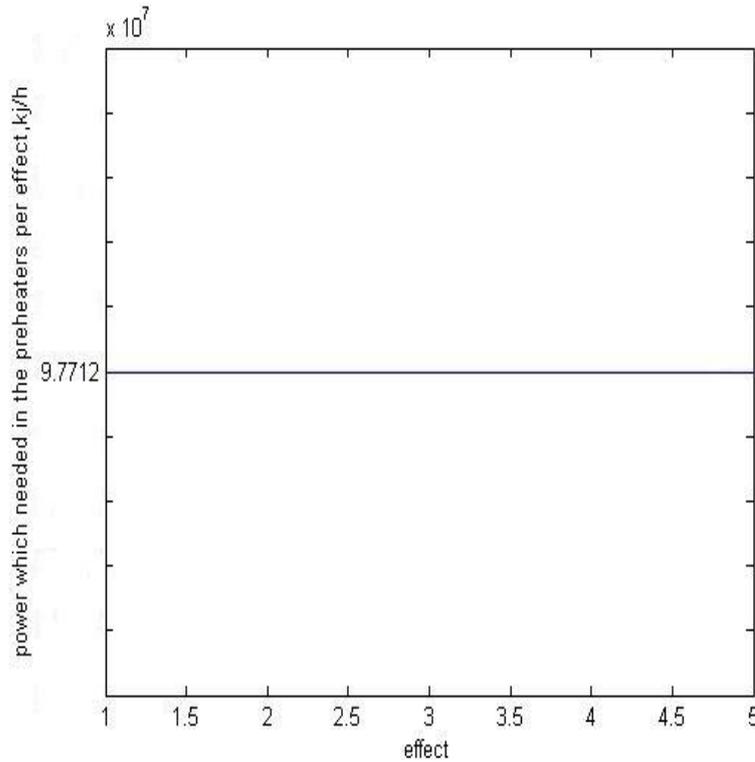
Μοντελοποίηση συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με χρήση ηλιακού συλλέκτη



Διάγραμμα 4:Θερμοκρασία παραγόμενου ατμού κατά την έξοδο του από τους εναλλάκτες θερμότητας

8.4 Ενέργεια προθέρμανσης

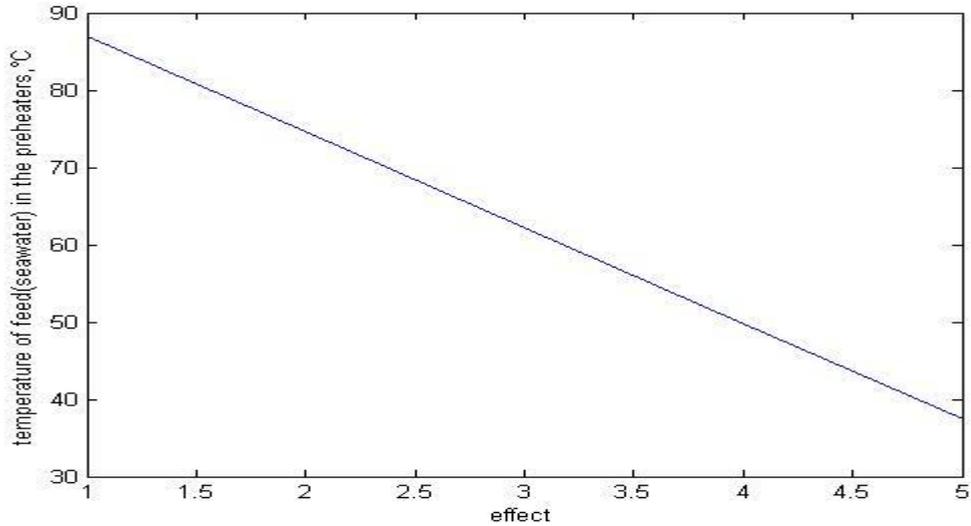
Η θερμότητα ως προς το χρόνο η οποία απαιτείται για τη προθέρμανση του θαλασσινού νερού κατά τη διέλευση του από τους πέντε προθερμαντές του συστήματος είναι σταθερή διότι ίδια αύξηση θερμοκρασίας επιτυγχάνεται σε κάθε στάδιο αλλά και ίδια ροή μάζας θαλασσινού νερού αποτελεί είσοδο σε κάθε προθερμαντή. Ο ρυθμός αυτός μεταβίβασης της θερμότητας ισούται με 9.7712×10^7 kJ/h και παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα σε συνάρτηση με τον αριθμό των σταδίων.



Διάγραμμα 5 :Θερμική ισχύς στους προθερμαντές

8.5 Θερμοκρασία θαλασσινού νερού στους προθερμαντές

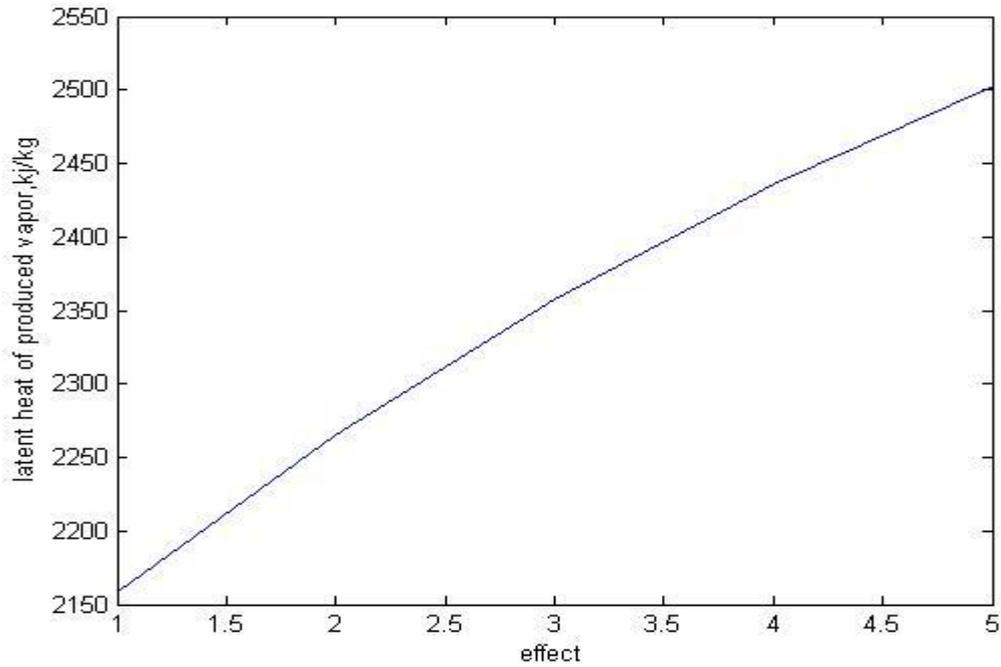
Η θερμοκρασία του θαλασσινού νερού στους προθερμαντές αυξάνεται, η αύξηση της θερμοκρασίας αυτής είναι ίση με τη θερμοκρασιακή πτώση ανά στάδιο σύμφωνα με τις υποθέσεις της μοντελοποίησης δηλαδή ίση με 12.4. Στο παρακάτω διάγραμμα γίνεται φανερή η αύξηση αυτή σε συνάρτηση με τον αριθμό των σταδίων.



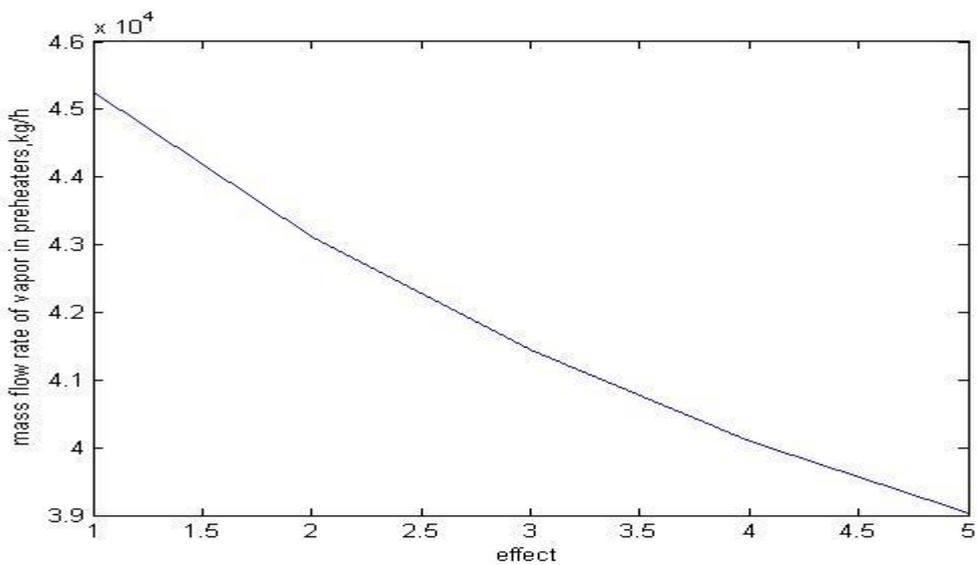
Διάγραμμα 6: Θερμοκρασία θαλασσινού νερού στους προθερμαντές κάθε σταδίου

8.6 Ροή μάζας παραγόμενου ατμού για προθέρμανση

Η ροή μάζας του παραγόμενου ατμού που χρησιμοποιείται για προθέρμανση του θαλασσινού νερού μειώνεται καθώς ο αριθμός των σταδίων αυξάνεται στο σύστημα, διότι αυξάνεται η λανθάνουσα θερμότητα του ατμού λόγω της πτώσης θερμοκρασίας του. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα γίνονται φανερά στα παρακάτω διαγράμματα.



Διάγραμμα 7: Λανθάνουσα θερμότητα παραγόμενου ατμού σε συνάρτηση με τον αριθμό των σταδίων

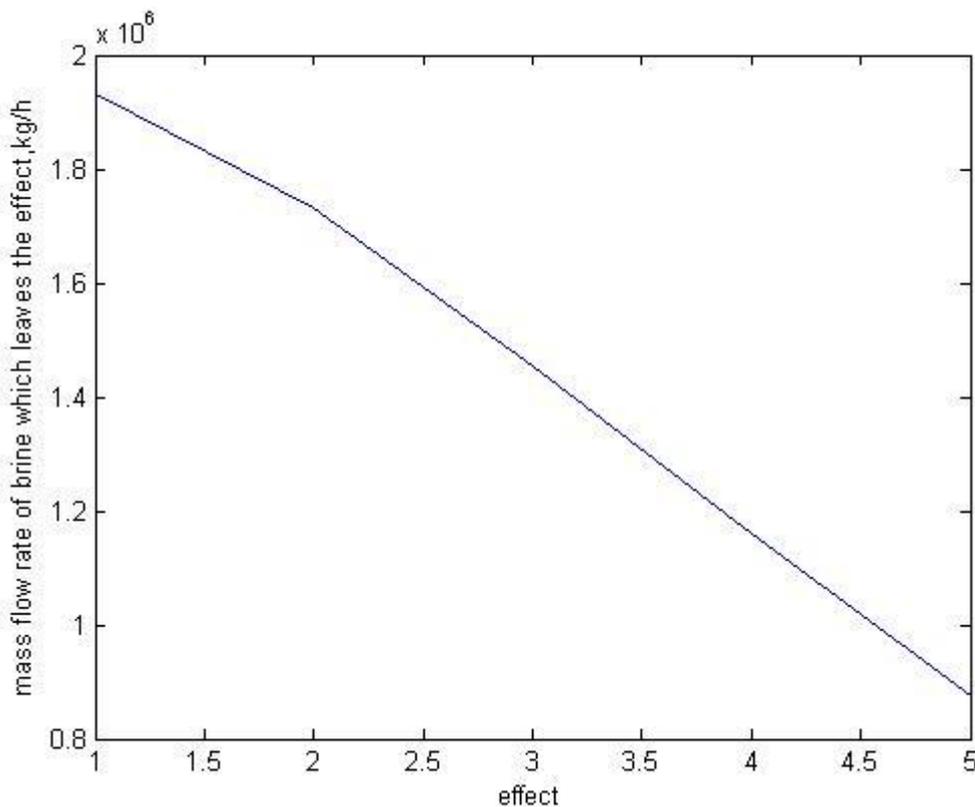


Διάγραμμα 8: Ροή μάζας παραγόμενου ατμού για προθέρμανση

Μοντελοποίηση συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με χρήση ηλιακού συλλέκτη

8.7 Ροή μάζας θαλασσινού νερού που αφήνει κάθε στάδιο αφαλάτωσης

Η ροή μάζας θαλασσινού νερού που αφήνει κάθε στάδιο αφαλάτωσης μειώνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των σταδίων, το οποίο είναι απολύτως λογικό, διότι ένα ποσοστό του θαλασσινού νερού εξατμίζεται σε κάθε στάδιο. Περίπου το 50 % του θαλασσινού νερού που εισήχθη στο σύστημα αρχικά εξέρχεται στο τελευταίο στάδιο από το σύστημα χωρίς να έχει εξατμιστεί. Στο παρακάτω διάγραμμα γίνονται φανερά τα αποτελέσματα αυτά σε συνάρτηση με τον αριθμό των σταδίων.



Διάγραμμα 9: Ροή μάζας θαλασσινού νερού που αφήνει κάθε στάδιο

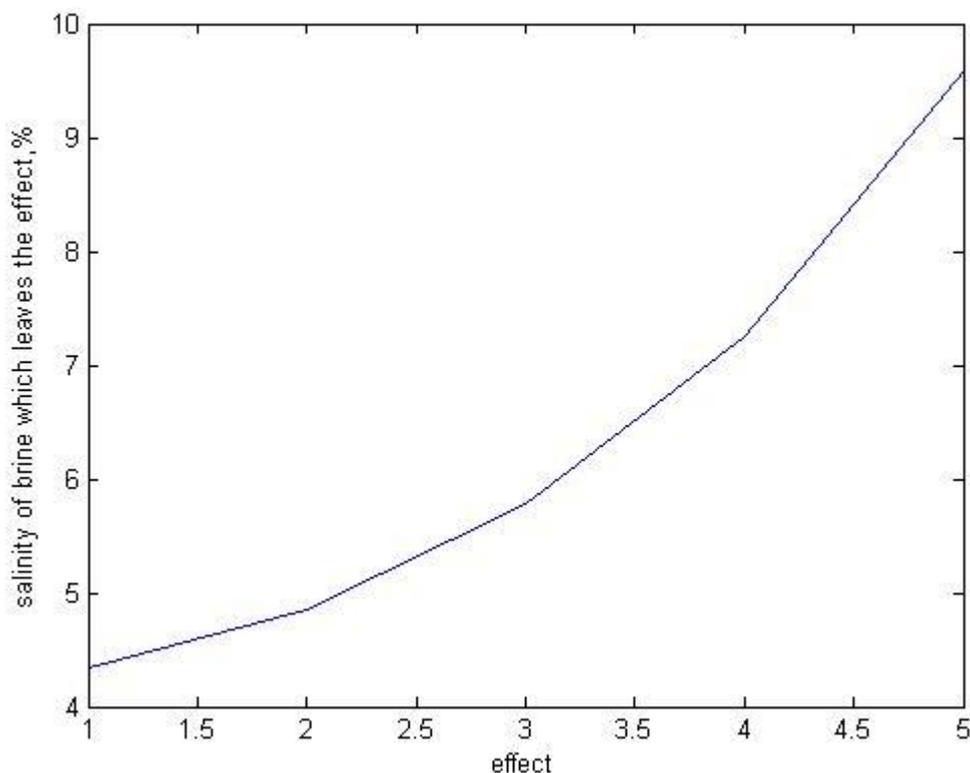
8.8 Συγκέντρωση άλατος της μάζας του θαλασσινού νερού που αφήνει κάθε στάδιο

Η συγκέντρωση άλατος του νερού που αφήνει το κάθε στάδιο ,που εξέρχεται δηλαδή από τον εναλλάκτη θερμότητας κάθε σταδίου αυξάνεται όσο αυξάνεται ο αριθμός των σταδίων. Αυτό συμβαίνει διότι το διάλυμα συμπυκνώνεται δηλαδή ένα

Μοντελοποίηση συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με χρήση ηλιακού συλλέκτη

μέρος της αρχική μάζας εξατμίζεται σε κάθε στάδιο. Έτσι από 4.2% αλατότητα του θαλασσινού νερού που εισήχθη στο σύστημα, το θαλασσινό νερό που εξέρχεται απ' αυτό, στο πέμπτο στάδιο παρουσιάζει συγκέντρωση άλατος 9,586%.

Παρακάτω παρουσιάζεται τα διάγραμμα συγκέντρωσης άλατος στο σύστημα.

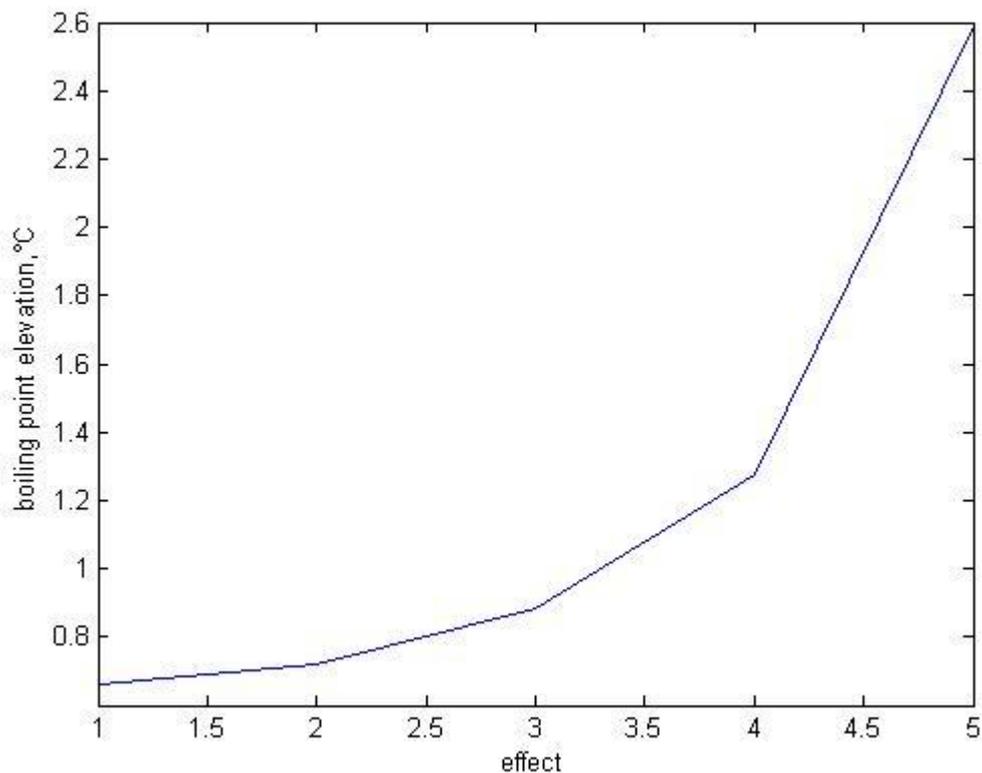


Διάγραμμα 10: Η % συγκέντρωση άλατος του νερού στο σύστημα

8.9 Ανύψωση σημείου βρασμού (Boiling Point Elevation, BPE)

Η ανύψωση του σημείου βρασμού (boiling point elevation) στο σύστημα και συγκεκριμένα στους εναλλάκτες θερμότητας του, δηλαδή η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στη θερμοκρασία του παραγόμενου ατμού και τη θερμοκρασία του θαλασσινού νερού μέσα στον εναλλάκτη αυξάνεται, όσο αυξάνεται ο αριθμός των σταδίων. Αυτό συμβαίνει διότι η αλατότητα του νερού που εξέρχεται από κάθε στάδιο αυξάνεται, οπότε το σημείο βρασμού του αυξάνεται επίσης. Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα της 'ανύψωσης σημείου βρασμού' σε συνάρτηση με τα στάδια του μοντέλου αφαλάτωσης

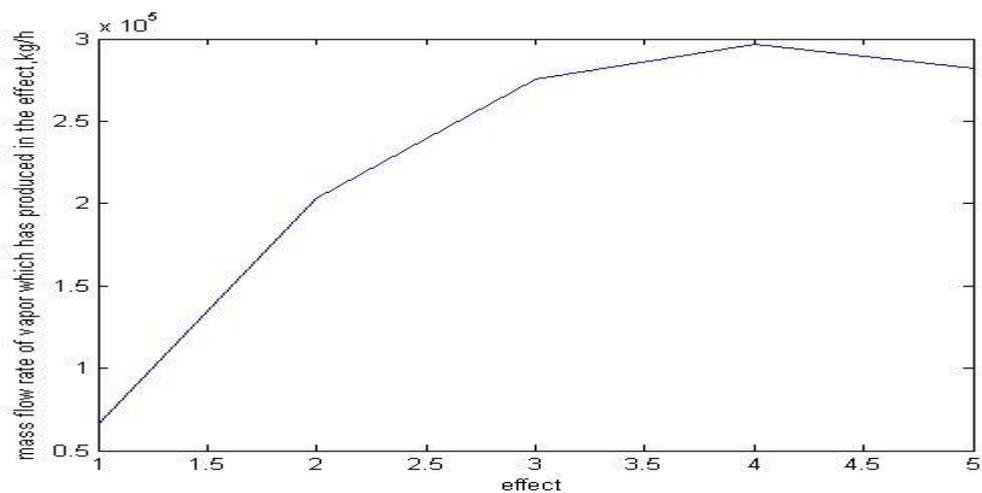
Μοντελοποίηση συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με χρήση ηλιακού συλλέκτη



Διάγραμμα 11: Boiling point elevation συστήματος

8.10 Ροή μάζας παραγόμενου ατμού

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η ροή μάζας του παραγόμενου ατμού σε κάθε στάδιο αφαλάτωσης που αποτελεί και το προϊόν του συστήματος.

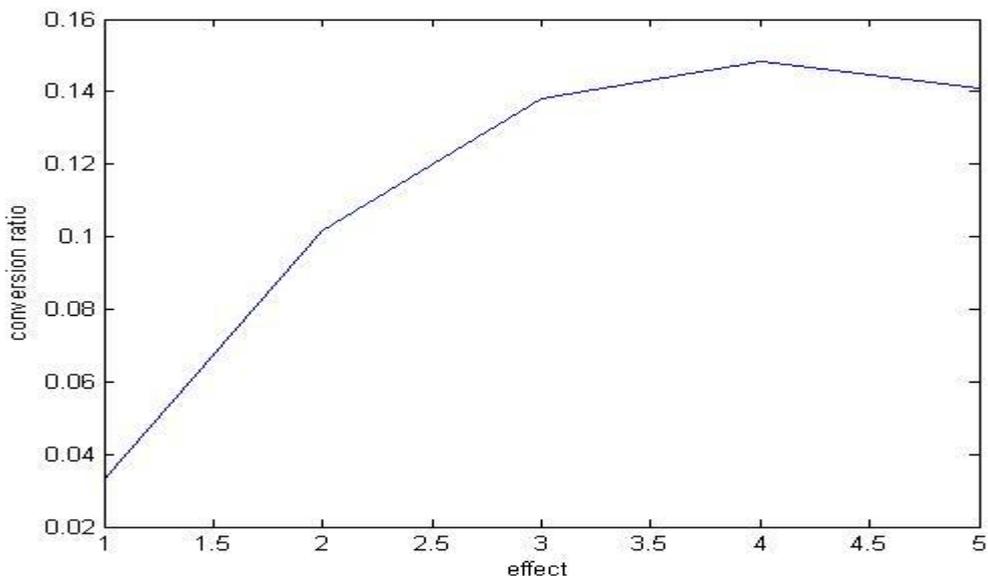


Διάγραμμα 12: Παραγόμενος ατμός συστήματος

Μοντελοποίηση συστήματος αφαλάτωσης θαλασσινού νερού με χρήση ηλιακού συλλέκτη

Ο παραγόμενος ατμός αυξάνεται στο σύστημα έως και το τέταρτο στάδιο ενώ στο πέμπτο στάδιο μειώνεται ελάχιστα λόγω του ότι η μάζα του θαλασσινού νερού αρχίζει να μειώνεται αισθητά λόγω εξάτμισης ενός μέρους του, αλλά και στο ότι η πτώση πίεσης μέσα στον εναλλάκτη θερμότητας έχει μειώσει αρκετά το σημείο βρασμού του θαλασσινού νερού οπότε δεν υπάρχει μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στη θερμοκρασία εισόδου και εξόδου του θαλασσινού νερού, στον πέμπτο εναλλάκτη θερμότητας. Στο πρώτο στάδιο η μάζα του παραγόμενου ατμού είναι αρκετά χαμηλότερη από τα υπόλοιπα στάδια διότι η μάζα ατμού που εισήχθη εξωτερικά στο σύστημα είναι σχετικά μικρή αλλά και το θαλασσινό νερό έχει υψηλή σχετικά θερμοκρασία λόγω της προθέρμανσης του με αποτέλεσμα μικρές θερμοκρασιακές διαφορές. Συνεπώς, το τελικό προϊόν του συστήματος αφαλάτωσης της παρούσης εργασίας είναι $(281.790 - 39.000) = 242.790$ kg/h ατμού, ο οποίος θα υγροποιηθεί οδηγούμενος στο συμπιεστή του συστήματος.

Ο λόγος του παραγόμενου ατμού προς τη μάζα θαλασσινού νερού που εισήχθη αρχικά στο σύστημα M_f ονομάζεται λόγος μετατροπής (conversion ratio) και είναι ανάλογος με την παραγωγή ατμού στο σύστημα. Το μέτρο αυτό της απόδοσης του συστήματος παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Διάγραμμα: Λόγος μετατροπής (conversion ratio) του συστήματος

Το μέγιστο της παραπάνω γραφικής παράστασης αντιστοιχεί στο τέταρτο στάδιο και ισούται με 0,1485 δηλαδή η μέγιστη απόδοση επιτυγχάνεται στο τέταρτο στάδιο για τη συγκεκριμένη προσομοίωση της διαδικασίας. Δηλαδή το 14,09 % του θαλασσινού νερού που εισήχθη στο σύστημα αποτελεί το τελικό προϊόν της διαδικασίας στο πέμπτο στάδιο. Αν αφαιρεθεί το ποσό ατμού που εισάγεται στον πέμπτο προθερμαντή, εξάγεται το τελικό ποσό ατμού του συστήματος, δηλαδή $242.790 \text{ kg/h} / 2.000.000 \text{ kg/h} = 12,14 \%$ της αρχικής μάζας νερού που εισήχθη αρχικά στο σύστημα.

9. Συμπεράσματα

Η αφαλάτωση είναι μία από τις ελπιδοφόρες τεχνικές στην επίλυση του προβλήματος της λειψυδρίας. Πιο συγκεκριμένα, η μέθοδος εξάτμισης πολλαπλών σταδίων αποτελεί μία αποδοτική μέθοδο.

Η μείωση των συμβατικών ενεργειακών πόρων τις τελευταίες δεκαετίες, καθώς και η μόλυνση του περιβάλλοντος από την επεξεργασία αυτών των πόρων, οδήγησε στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι οποίες αφορούν στην εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση και δεν αλλοιώνουν το περιβάλλον, όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας, αποδεδειγμένα ρυπογόνες και τοξικές ουσίες. Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί την πιο κύρια φυσική πηγή ενέργειας, η οποία γίνεται εκμεταλλεύσιμη μέσω των ηλιακών θερμικών συλλεκτών, με πιο αποδοτικό τύπο αυτό του παραβολικού συλλέκτη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη συνεχόμενη έρευνα και ανάπτυξη της τεχνολογίας του αλλά και χρήση του στην αφαλάτωση και συγκεκριμένα στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της μεθόδου εξάτμισης πολλαπλών σταδίων.

Στο κεφάλαιο 7 της παρούσης διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκε το σύστημα εξάτμισης πολλαπλών σταδίων, δηλαδή οι διατάξεις από τις οποίες αποτελείται αλλά και το μαθηματικό μοντέλο που διέπει το σύστημα. Στο κεφάλαιο 8 αναπτύχθηκε κα σχεδιάστηκε ο αλγόριθμος ο οποίος συνέβαλε στον υπολογισμό χρήσιμων παραμέτρων, οι οποίες επιτρέπουν πρόβλεψη της μελλοντικής συμπεριφοράς του συστήματος, με βάση κάποια δεδομένα προσομοίωσης.

Τα κυριότερα αποτελέσματα τα οποία εξήχθησαν από την προσομοίωση της διαδικασίας είναι εκείνα τα οποία περιγράφονται στο κεφάλαιο 8. Τα αποτελέσματα είναι λογικά και δε παρουσιάζουν μη αναμενόμενες τιμές.

Η ροή μάζας θαλασσινού νερού που αφήνει κάθε στάδιο μειώνεται συνεχώς, η συγκέντρωση άλατος αυξάνεται σε κάθε στάδιο ενώ η ροή μάζας ατμού είναι η μέγιστη στο τέταρτο στάδιο. Η θερμοκρασιακή πτώση μειώνεται όσο ο αριθμός των σταδίων αυξάνεται ενώ η ενέργεια που απαιτείται για προθέρμανση είναι σταθερή σε κάθε στάδιο.

Το boiling point elevation παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή πάντα στο τελευταίο στάδιο ανεξάρτητα από τον αριθμό σταδίων. Η λανθάνουσα θερμότητα του παραγόμενου ατμού αυξάνεται από στάδιο σε στάδιο ανεξάρτητα από τον αριθμό σταδίων, το οποίο είναι λογικό, λόγω πτώσης του σημείου βρασμού. Τέλος, όπως γίνεται φανερό από την παραγωγή ατμού, το βέλτιστο conversion ration το οποίο αποτελεί ένα δείκτη απόδοσης, επιτυγχάνεται στο τέταρτο στάδιο.

10. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΕΚΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα εργασία μοντελοποιείται αναλυτικά ένα σύστημα αφαλάτωσης νερού με τη μέθοδο πολλαπλών σταδίων και υπολογίζονται διάφορα χρήσιμα και απαραίτητα μεγέθη για μία τέτοια εγκατάσταση.

Στη συγκεκριμένη όμως μοντελοποίηση θεωρείται ότι δεν υπάρχουν απώλειες θερμότητας προς το περιβάλλον λόγω πολύ καλής θερμομόνωσης. Πρακτικά βέβαια αυτό δεν ισχύει, συνεπώς θα μπορούσαν να εξεταστούν επιπρόσθετα υλικά στην κατασκευή των διατάξεων της μεθόδου ,με τα οποία επιτυγχάνεται πολύ καλή θερμομόνωση, ώστε σ' ένα πραγματικό σύστημα οι απώλειες θερμότητας να περιορίζονται στο ελάχιστο.

Επιπροσθέτως, στο πεδίο των βελτιώσεων θα μπορούσαν να γίνουν περισσότερες μελέτες, ώστε να μελετηθεί ποιος αριθμός σταδίων αφαλάτωσης είναι ο καταλληλότερος με βάση πάντα το κόστος των διατάξεων αλλά και το τελικό προϊόν, για την εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος.

Κλείνοντας, το συγκεκριμένο σύστημα αφαλάτωσης υλοποιήθηκε και προσομοιώθηκε σε θεωρητική βάση ώστε να συνδυαστεί απόλυτα με το μοντέλο του ηλιακού παραβολικού συλλέκτη που υλοποιείται από το μεταπτυχιακό φοιτητή Μπακιρτζόγλου Βάιο. Δηλαδή η ενεργειακή προσαρμογή του συστήματος αυτού με το συγκεκριμένο μοντέλο θα μπορούσε να αποτελέσει τη βασική μελλοντική προέκταση της παρούσης εργασίας, λόγω των πλεονεκτημάτων της μεθόδου αυτής αφαλάτωσης ενεργειακά, αλλά και του ηλιακού παραβολικού συλλέκτη, που περιγράφηκαν μέσα στην εργασία.

11. Βιβλιογραφία

- [1] John Duffie, William Beckman, Solar Engineering of thermal Processes.
- [2] Iqbal, M., An introduction to Solar Radiation, Academic Press, Toronto, 1983.
- [3] Howell John, Bannerot Richard, Vliet Gary, Solar Thermal Energy Systems.
- [4] Desalting handbook for planners, Third Edition, Florida, 2003.
- [5] Αγγέλου Θ. Παπαϊωάννου, 'Θερμοδυναμική', Τόμος Ι, 2007.
- [6] Βασίλειος Χρ. Γκέκας και Σπύρος Χρ. Γκέκας, Θερμοδυναμική και Περιβάλλον, Προσέγγιση Καραθεοδωρή-Φιλοσοφικές προεκτάσεις, Θεσσαλονίκη 2003.
- [7] Θ. Πανίδης, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις στη Μεταφορά θερμότητας, Πάτρα, 2005.
- [8] Adrian Biran and Mosche Breiner, 'Matlab 6 για Μηχανικούς', 3rd Edition.
- [9] Ευάγγελος Β. Χατζίκος, Matlab 6 για μηχανικούς, Θεσσαλονίκη, 2003.
- [10] Hazim Mohammed Qiblawey and Fawzi Banat, 'Solar thermal desalination technologies', Jordan, 2007.
- [11] Soteris Kalogirou, 'Solar Thermal Collectors and Applications', Cyprus, 2004.
- [12] Soteris Kalogirou, 'Use of Parabolic Solar Energy Collectors for seawater Desalination', Cyprus, 1998.
- [13] M.H.Khademi, M.R.Rahimpour, A.Jahanmiri, 'Simulation and optimization of a six-effect evaporator in a desalination process', Iran, 2008.
- [14] Narmine H.Aly and M.A Marwan, 'Dynamic response of multi-effect evaporators', Egypt, 1997.
- [15] Narmine H.Aly and Adel K. El-Fiqi, 'Thermal performance of seawater desalination systems', Egypt, 2003.
- [16] A.S.Nafey, M.A.Sharaf, Lourdes Garcia-Rodriquez, 'A new visual library for design and simulation of solar desalination systems', Egypt, 2010.

[17] Hisham T.El-Dessoiky, Hisham M. Ettouney, Faisal Mandani, 'Performance of parallel feed multiple effect evaporation system for seawater desalination', Kuwait, 1999.

[18] K. Schwarzer, E.Vieira da silva, B.Hoffschmidt, T.Schwarzer, 'A new solar desalination system with heat recovery for decentralized drinking water production'.

[19] Mostafa H. Sharqawya, John H. Lienhard Va, Syed M. Zubairb, 'Thermophysical properties of seawater: a review of existing correlations and data', Cambridge, 2009.