

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΟΙΚΙΑΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Χουστουλάκης Ιωάννης

Επιβλέπουσα: Επίκ. Καθηγήτρια Κορωνάκη Ειρήνη

Ιούλιος 2013

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract	7
Εισαγωγή	9
1. Η κρίση του Νερού - Γενικά στοιχεία	12
1.1 Παγκόσμια Λειψυδρία	12
1.2 Λειψυδρία στα νησιά του Αιγαίου	14
1.3 Η αφαλάτωση και το πρόβλημα της ενέργειας	18
2. Ποιοτικές και Ποσοτικές Προδιαγραφές για το νερό	19
2.1 Οι απαιτήσεις στην ποιότητα του νερού	19
2.1.1 Οι προδιαγραφές του πόσιμου νερού - Η αλατότητα στο πόσιμο νερό	19
2.1.2 Ανθρώπινη κατανάλωση	21
2.1.2.1 Χλωριούχο νάτριο	22
2.1.2.2 Θειικό ασβέστιο (γύψος)	23
2.1.2.3 Σκληρότητα	24
2.1.3 Νερό πλυσίματος	24
2.1.4 Χρήση στο καζανάκι	25
2.1.5 Χρήση σε μηχανήματα	25
2.1.6 Χρήση για πότισμα	26
2.1.7 Χρήση για ζώα	29
2.1.7.1 Αγελάδες	29
2.1.7.1.1 Θειικά άλατα	30
2.1.7.1.2 Νιτρικά άλατα	30
2.1.7.1.3 Μόλυνση	31
2.1.8 Σύγκριση τιμών με αλμυρό νερό	32
2.1.8.1 Θαλασσινό νερό	32
2.1.8.2 Νερό γεωτρήσεων	32
2.2 Η απαιτούμενη ποσότητα στο νερό - Μέθοδοι εξοικονόμησης	33
2.2.1 Εκτίμηση συνολικής κατανάλωσης	33
2.2.2 Εκτίμηση οικιακής κατανάλωσης για διαφορετικές χρήσεις	34
2.2.3 Τεχνικές εξοικονόμησης νερού	35
2.2.3.1 Προσαρμογή συνηθειών και οικιακών συσκευών	35
2.2.3.2 Χρήση ημιακάθαρτου νερού (« Grey Water») για δευτερεύουσες χρήσεις	35
2.2.3.3 Χρήση θαλασσινού νερού για καζανάκι	37
2.2.3.4 Επεξεργασία λυμάτων για πότισμα	37
2.2.3.5 Συλλογή βρόχινου νερού	38
2.2.4 Συμπεράσματα - Σενάρια ποιότητας παρεχόμενου νερού και απαιτούμενη ποσότητα πόσιμου	40
2.2.4.1 Ελαφρώς υφάλμυρο (1000~3000 TDS)	41
2.2.4.2 Έντονα υφάλμυρο/ελαφρώς αλμυρό (3000~17000 TDS)	41
2.2.4.3 Αλμυρό Νερό (17000~38000 TDS)	42

3	Γενικά περί αφαλάτωσης	43
3.1	Αντίστροφη Όσμωση (Reverse Osmosis)	45
3.2	Θερμικές μέθοδοι	46
3.2.1	Multi Stage Flash	46
3.2.2	Multiple Effect Distillation (Πολυβάθμια εξάτμιση).....	48
3.2.2.1	Forward Feed (Μπροστά τροφοδοσία)	49
3.2.2.2	Backward Feed (Προς τα πίσω τροφοδοσία)	50
3.2.2.3	Parallel Feed (Παράλληλη τροφοδοσία)	50
3.2.2.4	Parallel-Cross Feed (Παράλληλη - διασταυρωμένη τροφοδοσία)	51
3.2.2.5	Thermal Vapor Compression / Mechanical Vapor Compression	52
3.3	Σύγκριση χαρακτηριστικών απόδοσης των διαφορετικών μεθόδων	53
3.4	Επιλογή μεθόδου αφαλάτωσης για την υπάρχουσα μελέτη	56
3.4.1	Αιτιολόγηση επιλογής θερμικής μεθόδου έναντι μεθόδου μεμβρανών	56
3.4.2	Αιτιολόγηση επιλογής MED έναντι MSF	56
3.4.3	Αιτιολόγηση επιλογής Parallel-Cross Flow	57
4	Ηλιακή Ενέργεια	58
4.1	Ηλιακοί συλλέκτες	58
4.1.1	Απλοί επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες	59
4.1.2	Ηλιακοί συλλέκτες με γυάλινο κάλυμμα (glazing).....	59
4.1.3	Συλλέκτες κενού	59
4.1.4	Parabolic Trough	60
4.1.5	Επιλογή συλλέκτη	61
4.2	Ψυκτικό μέσο ηλιακού συλλέκτη	61
4.3	Οικιακά συστήματα ηλιακής ενέργειας.....	63
4.3.1	Ηλιακός Θερμοσίφωνας	63
4.3.2	Συστήματα ηλιακής θέρμανσης χώρων (Combi).....	64
5	Προτεινόμενο σύστημα αφαλάτωσης.....	66
5.1	Περιγραφή προτεινόμενου συστήματος αφαλάτωσης	66
5.2	Περιγραφή περιφερειακών λειτουργιών της μονάδας	68
5.2.1	Pre Treatment.....	68
5.2.2	Post Treatment.....	70
5.2.3	Σύστημα αποβολής άλμης.....	70
5.3	Θεωρητική ανάλυση προτεινόμενης μονάδας αφαλάτωσης	71
5.4	Αλγόριθμος υπολογισμών στο MathCAD με επεξηγήσεις.....	76
5.4.1	Σύμβολα.....	76
5.4.2	Δείκτες.....	76
5.4.3	Παραδοχές μοντελοποίησης.....	77
5.4.4	Αλγόριθμος Επίλυσης	79
5.4	Σενάρια εφαρμογής - Παρουσίαση αποτελεσμάτων	98
5.4.1	Μελέτη θερμικής απόδοσης.....	98
5.4.2	Παροχή ψυκτικού	102
5.4.3	Εκτίμηση κόστους εγκατάστασης.....	103
5.4.4	Μελέτες εφαρμογής για μονοκατοικίες και πολυκατοικίες	109

5.5	Συμπεράσματα	112
	Παράρτημα Α	115
	Παράρτημα Β	117
	Βιβλιογραφία.....	122

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να εξεταστεί εάν είναι εφικτό και ανταγωνιστικό να προσαρμοστεί η μέθοδος αφαλάτωσης Multiple Effect Distillation για να λειτουργεί με ηλιακή ενέργεια σε οικιακή κλίμακα. Εξετάζεται η δυνατότητα ενσωμάτωσης της μονάδας στα ήδη υπάρχοντα ηλιακά συστήματα και στο σύστημα αποχέτευσης. Εξετάζεται επίσης ο συγχρονισμός αύξησης της παραγωγικότητας της μονάδας με την αύξηση της ζήτησης κατά την θερινή περίοδο στα νησιά του Αιγαίου.

Κατασκευάστηκε μαθηματικό μοντέλο στο MathCAD με το οποίο υπολογίστηκε η θερμοδυναμική απόδοση της μονάδας σε διαφορετικά σημεία λειτουργίας. Εξετάστηκε ο ρυθμός μεταβολής του κόστους και της παραγωγικότητας για τις διαφορετικές ονομαστικές παροχές.

Οι υπολογισμοί αυτοί έγιναν στα πλαίσια ενός Case Study για την απόδοση της μονάδας για τα μετεωρολογικά δεδομένα της Σαντορίνης, για τις τιμές των μηνών Ιουλίου και Ιανουαρίου, ώστε να προσδιοριστούν η μέγιστη και η ελάχιστη απόδοση της μονάδας για το δεδομένο γεωγραφικό πλάτος. Η επιλογή του νησιού έγινε με κριτήριο ότι η ηλιοφάνεια και η μέση θερμοκρασία του είναι χαρακτηριστική της ευρύτερης περιοχής που πάσχει από λειψυδρία.

Στο 1^ο κεφάλαιο της εργασίας αυτής αναπτύσσονται γενικά στοιχεία για το ζήτημα της έλλειψης νερού παγκοσμίως και ειδικότερα για τα νησιά του Αιγαίου. Εξηγούνται επίσης οι ενεργειακές ανάγκες της αφαλάτωσης και οι λόγοι που επιβάλλουν τη χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στο 2^ο κεφάλαιο αναπτύσσεται σε δύο τμήματα. Στο πρώτο πραγματοποιήθηκε μια μελέτη για την ανοχή στην ποιότητα νερού για τις διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες, οικιακές και αγροτικές. Στο δεύτερο προσδιορίζεται η εκτιμώμενη ποσότητα του νερού που απαιτείται για κάθε μια από αυτές τις δραστηριότητες καθώς και οι μέθοδοι εξοικονόμησης νερού σε οικιακή κλίμακα, με σκοπό να προσδιοριστεί καλύτερα η απαιτούμενη παροχή από τη μονάδα αφαλάτωσης.

Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι αφαλάτωσης και εξηγούνται τα κριτήρια για τα οποία επιλέχθηκε η συγκεκριμένη.

Στο 4^ο κεφάλαιο περιγράφονται τα είδη των ηλιακών συλλεκτών και η απόδοσή τους. Εξηγείται η λειτουργία του συστήματος ηλιακής θέρμανσης.

Στο 5^ο κεφάλαιο εξηγείται η λειτουργία της προτεινόμενης διάταξης και οι δυνατότητες συνδυασμού μιας συσκευής θερμικής αφαλάτωσης με τις οικιακές δραστηριότητες, τον ηλιακό θερμοσίφωνα και τα συστήματα ηλιακής θέρμανσης, ώστε να εκτιμηθεί η δυνατότητα να μειωθεί το κόστος, προσαρμόζοντας τα συστήματα αυτά να λειτουργούν εν σειρά με τη μονάδα, ανακυκλώνοντας την ίδια θερμική ενέργεια και παροχή νερού. Επίσης αναπτύσσεται το μαθηματικό μοντέλο με το οποίο έγιναν οι υπολογισμοί καθώς και τα αποτελέσματα για την απόδοση και το εκτιμώμενο κόστος κάθε σεναρίου.

Abstract

The purpose of this thesis is to determine the feasibility and competitiveness of adapting Solar Powered Multiple Effect Distillation to operate on a domestic scale. It examines the ability to merge one such unit on solar powered systems as well as sewage system of an existing home. It also examines the simultaneous increase of its productivity and water demand in the Aegean Islands during summer.

A MathCAD simulation model was created and used to calculate the thermal efficiency of such unit in various operation settings. It was also used to determine the variation of specific fiscal and energy cost in function with its capacity.

The aforementioned calculations were conducted in a case study using the meteorological data of Santorini Island for its July and January values, in order to determine the unit's minimum and maximum efficiency for the given latitude. This specific island was selected because solar radiation and average temperature in its position are typical for the rest of the region which suffers of water shortage.

In the 1st chapter of this thesis some general data is presented regarding water shortage, both worldwide and specifically regarding the islands of the Aegean Sea. The energy needs of desalination processes and the reasons for covering those using Renewable Energy Sources are also explained.

The 2nd chapter is divided into two parts. The first part presents a study of the tolerance in water quality of the various human activities, domestic and agricultural. In the second part the estimated quantity is determined for each domestic activity as well as the domestic water conservation methods, in order to better determine the needed quantity from the desalination unit.

The 3rd chapter describes the desalination processes used in the industry along with the reasons for selecting MED for this study.

The 4th chapter describes the various types of solar collectors and their performance differences. The function of solar heating in residential buildings is also explained.

The 5th chapter describes the proposed desalination unit design, its operation and its potential to function in combination with domestic activities and domestic solar powered systems like water heaters and heating systems, in order to estimate the ability to reduce costs by adapting these systems to work in series with the unit,

reusing the same water and thermal energy. It also explains the mathematical model used for calculations as well as the performance results and approximate costs for each scenario of the case study.

Εισαγωγή

Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού, οι κλιματολογικές αλλαγές και ο σύγχρονος τρόπος ζωής έχουν πολλαπλασιάσει τη ζήτηση σε πόσιμο νερό πέρα από κάθε γνωστό προηγούμενο. Ήδη οι υπάρχουσες πηγές νερού δεν θα επαρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες του πληθυσμού σε πολλά μέρη του κόσμου και αναμένεται αυτό να επεκταθεί.

Το συμπέρασμα που έχει βγει παγκοσμίως είναι ότι πρέπει να βρεθούν εναλλακτικές λύσεις στην εξασφάλιση νερού αλλά και τρόποι να γίνει εξοικονόμηση στην ποσότητα νερού που καταναλώνεται.

Ένας στόχος που έχει τεθεί είναι να καθιερωθεί ως πηγή το νερό των ωκεανών μέσω της αφαλάτωσης. Το κύριο κριτήριο της έρευνας αυτής είναι η βιωσιμότητα. Δεδομένης της αφθονίας του θαλασσινού νερού σε σχέση με την ποσότητα(και σημασία) του γλυκού νερού στη φύση, αναμένεται η αξιοποίηση του να μειώσει τον κίνδυνο διαταραχής της βιόσφαιρας.

Εντούτοις το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας των μονάδων αφαλάτωσης είναι πολύ υψηλό και σε πολλές περιπτώσεις μη οικονομικά βιώσιμο.

Στην εργασία αυτή επιδιώκεται η δυνατότητα συνδυασμού της διαδικασίας με τους τρόπους με τους οποίους μπορεί να αξιοποιηθεί στο έπακρον το νερό κακής ποιότητας. Με αυτό τον τρόπο μπορούν να περιοριστούν οι ανάγκες στην παραγωγή νερού σε τιμές που μπορούν να επιτευχθούν ευκολότερα ενώ ταυτόχρονα να λυθεί το πρόβλημα αποβολής της άλμης, μειώνοντας το κόστος της αφαλάτωσης.

Για το σκοπό αυτό έγινε προσπάθεια να αντιστοιχηθεί η ελάχιστη ποιότητα και ποσότητα που απαιτείται σε κάθε χρήση του νερού. Αυτό καλύπτει τη χρήση του θαλασσινού νερού αλλά κατά κύριο λόγο αφορά την αξιοποίηση του υφάλμυρου νερού, που σήμερα θεωρείται μη βιώσιμη ως λύση. Εντούτοις είναι ένα αξιοποιήσιμο εργαλείο, έστω και ως προσωρινό μέτρο για μια μεταβατική περίοδο, που μπορεί να κάνει τη διαφορά στην προσπάθεια αντιμετώπισης της λειψυδρίας.

Είναι προφανές όμως ότι για να γίνει χρήση πολλαπλών ποιοτήτων νερού χρειάζονται διαφορετικές σωληνώσεις. Είναι συνεπώς πολύ πιο εφικτό να γίνει κάτι τέτοιο σε οικιακή κλίμακα αντί για ευρεία, ώστε να μην υπάρχει ανάγκη να εγκατασταθεί δεύτερο (και ενδεχομένως τρίτο) δίκτυο ύδρευσης.

Η άλλη ανησυχία ήταν το αντίκτυπο της διαδικασίας της αφαλάτωσης στο περιβάλλον. Πρώτον υπάρχει το θέμα των χρησιμοποιούμενων χημικών και της αποβαλλόμενης άλμης. Με μεθοδικότητα και επιπλέον κόστη μπορούν να ελαχιστοποιηθούν οι επιπτώσεις από τη διαδικασία, όμως υπάρχουν εναλλακτικές μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέσω της χρήσης πολλαπλών ποιοτήτων νερού, ώστε η άλμη και τα χημικά να αντιμετωπιστούν με χαμηλότερο κόστος.

Η αποβολή της άλμης είναι μια διαδικασία που δημιουργεί ανησυχίες για την επίπτωση στο περιβάλλον και κατά συνέπεια οικονομική επιβάρυνση για την ασφαλή απόρριψή της. Η οικιακή χρήση της μονάδας θα επιτρέψει να αναμιχθεί η αποβαλλόμενη άλμη με το ημιακάθαρτο νερό και να αξιοποιηθεί σε διάφορες χρήσεις, πράγμα που θα διευκολύνει την εκ των υστέρων αποβολή της λόγω της αραίωσής της στην αρχική αλατότητα του τροφοδοτικού νερού. Ανάλογα με τις συνθήκες αυτό δίνει τη δυνατότητα αποβολής της άλμης μέσω του συστήματος αποχέτευσης.

Η δεύτερη αιτία ανησυχίας για την αφαλάτωση είναι η εξασφάλιση της ενέργειας που απαιτείται για τη λειτουργία της. Η χρήση συμβατικών πηγών (ορυκτά καύσιμα) προκαλούν οικολογικά προβλήματα. Επιπλέον για απομονωμένες περιοχές όπως τα νησιά του Αιγαίου είναι εξαιρετικά ακριβή η εξασφάλισή τους.

Η ηλιακή ενέργεια αντίθετα, όχι μόνο είναι ασφαλής για το περιβάλλον και αφθονεί στις περιοχές αυτές, αλλά επιπλέον είναι συγχρονισμένη με την αύξηση του πληθυσμού λόγω του τουρισμού. Τη θερινή περίοδο η ηλιακή ακτινοβολία σχεδόν διπλασιάζεται, υπερδιπλασιάζοντας την παραγωγή νερού και προσαρμόζοντάς την με την αυξημένη ζήτηση.

Επίσης κρίσιμο είναι ότι η ηλιακή ενέργεια αξιοποιείται ήδη σε εγκατεστημένα οικιακά συστήματα και είναι δυνατόν να μην καταστρέφεται από την χρήση της στη διαδικασία αφαλάτωσης. Δηλαδή η θερμική αφαλάτωση μπορεί να παρεμβληθεί στα ήδη υπάρχοντα ηλιακά συστήματα χωρίς να επηρεάσει σημαντικά τη λειτουργία τους.

Συγκρίνεται επίσης η απόδοση μεταξύ υψηλής και χαμηλής θερμοκρασίας λειτουργίας της μονάδας αφαλάτωσης. Κατά τη χαμηλή θερμοκρασία μειώνεται η διάβρωση και η χρήση χημικών ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίπεδοι ηλιακοί

συλλέκτες για την εξασφάλισή της. Με τη χρήση υψηλής θερμοκρασίας όμως τα κατασκευαστικά κόστη είναι πολύ χαμηλότερα.

1. Η κρίση του Νερού - Γενικά στοιχεία

1.1 Παγκόσμια Λειψυδρία

Κάθε γνωστή μορφή ζωής χρειάζεται νερό για να επιζήσει. Μάλιστα κάθε μορφή ζωής, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπινου είδους, αποτελείται εν μέρει από νερό(με εξαίρεση τους ιούς). Η Γη καλύπτεται κατά το 75% της επιφάνειάς της από αυτό. Εκτιμάται ότι υπάρχουν $1.4 * 10^9 km^3$ νερού σε όλο τον πλανήτη, εκ των οποίων το 97% είναι θαλασσινό νερό, το 2.5% βρίσκεται σε μορφή πάγων στους πόλους. Το υπόλοιπο 0.5% ανακυκλοφορεί μέσα και γύρω από τη βιόσφαιρα και αποτελεί αναγκαία συνθήκη επιβίωσης των περισσότερων χερσαίων και μερικών θαλάσσιων ζωντανών οργανισμών. Η μέση τιμή βροχοπτώσεων ανέρχεται στα $2 * 10^8 km^3$ παγκοσμίως (1). Αναλυτικότερα οι ποσότητες αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Πηγές	Όγκος km	Ποσοστό Συνολικού Νερού	Ποσοστό Γλυκού Νερού
Ατμοσφαιρικό Νερό	12900	0.001 %	0.01 %
Πολικοί Πάγοι	24064000	1.72 %	68.7 %
Παγετώνες	300000	0.021 %	0.86 %
Ποτάμια	2120	0.0002 %	0.006 %
Λίμνες	176400	0.013 %	0.26 %
Έλη	11470	0.0008 %	0.03 %
Υγρασία Εδάφους	16500	0.0012 %	0.05 %
Υδροφόροι Ορίζοντες	10530000	0.75 %	30.1 %
Λιθόσφαιρα	23400000	1.68 %	
Ωκεανοί	1338000000	95.81 %	
Σύνολο	1396513390	100%	100%

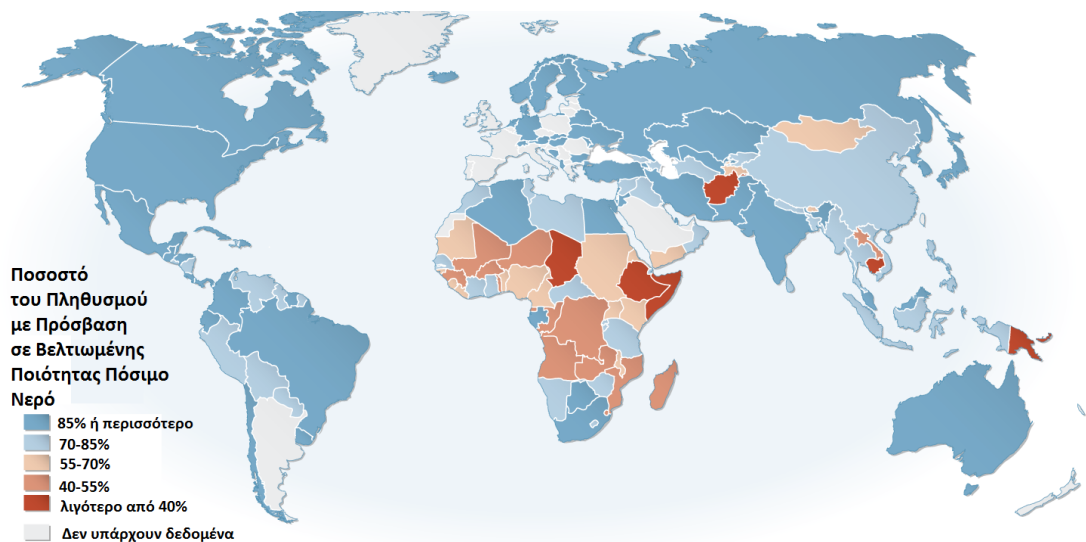
Πίνακας 1: Κατανομή υδάτινων πόρων στον πλανήτη (2)

Σε ολόκληρη τη γνωστή ιστορία του ανθρώπινου πολιτισμού ήταν απαραίτητη η συστηματική άντληση πόσιμου νερού από κάποια πηγή. Συστήματα ύδρευσης έχουν ανακαλυφθεί ακόμα και 4000 ετών στη Μινωική Κρήτη.

Οι πηγές γλυκού νερού μπορούν να είναι ανανεώσιμες και μη. Ως ανανεώσιμες χαρακτηρίζονται τα επιφανειακά και υπόγεια νερά που αναπληρώνονται άμεσα από τον κύκλο του νερού. Τα βαθύτερα υδροφόρα στρώματα αναπληρώνονται πολύ αργά και θεωρούνται μη ανανεώσιμα για πρακτικούς σκοπούς. (3)

Η παγκόσμια δημογραφική έκρηξη από την έναρξη της βιομηχανικής επανάστασης ως σήμερα επταπλασίασε τον ανθρώπινο πληθυσμό. Ταυτόχρονα ο σύγχρονος τρόπος ζωής δεκαπλασίασε την κατανάλωση νερού (από ~20 λίτρα σε ~200 ανά άτομο την ημέρα) για ένα υπολογίσιμο τμήμα του πληθυσμού. Το αποτέλεσμα είναι ότι παγκοσμίως οι ανάγκες σε πόσιμο νερό έχουν πολλαπλασιαστεί, ενώ οι έρευνες δείχνουν ότι οι υπάρχουσες πηγές εξαντλούνται και σύντομα δεν θα επαρκούν. Επίσης για το πρόβλημα έχει κατηγορηθεί και το φαινόμενο του θερμοκηπίου (1).

Επιπλέον είναι χαρακτηριστικό ότι οι πηγές του γλυκού νερού είναι πολύ ανομοιόμορφα κατανεμημένες στην επιφάνεια του πλανήτη (1), ενώ η κατανομή του νερού δεν είναι συμβατή με την κατανομή του ανθρώπινου πληθυσμού. Σε πολλά μέρη του κόσμου που είχαν ανέκαθεν έλλειψη νερού ο πληθυσμός έχει αυξηθεί τόσο που η υπάρχουσα υποδομή κάθε χώρας δεν αρκεί για να καλύψει τις ανάγκες του σε πόσιμο νερό. Συγκεκριμένα στοιχεία παρουσιάζονται στον παρακάτω χάρτη:



Εικόνα 1 – Ποσοστό του Πληθυσμού με Πρόσβαση σε καλής ποιότητας πόσιμο νερό ανά χώρα (4)

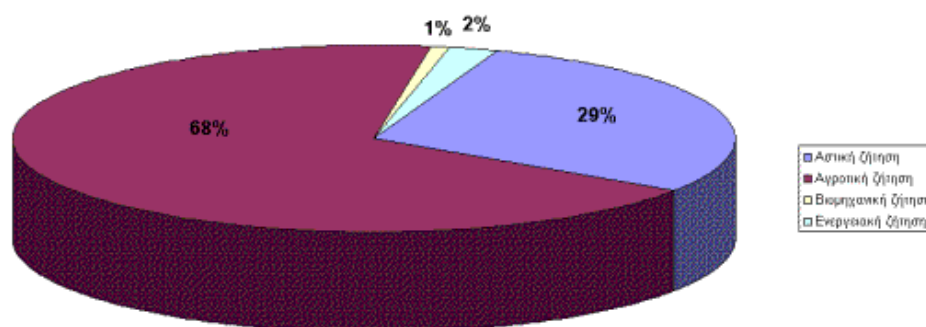
1.2 Λειψυδρία στα νησιά του Αιγαίου

Ένα συγκεκριμένο παράδειγμα περιοχής που πάσχει από λειψυδρία είναι τα νησιά του Αιγαίου, συγκεκριμένα οι Κυκλάδες και τα Δωδεκάνησα. Ανέκαθεν λόγω των κλιματολογικών και γεωγραφικών συνθηκών στα νησιά αυτά οι πηγές νερού ήταν φτωχές και μπορούσαν να συντηρήσουν μόνο ένα μικρό πληθυσμό. Για πολλούς αιώνες, η επιβίωση εξασφαλιζόταν με διάφορες μεθόδους εξασφάλισης και εξοικονόμησης νερού, όπως τη συλλογή του νερού της βροχής.

Σήμερα, ενώ ο μόνιμος αριθμός κατοίκων των νησιών είναι ακόμα μικρότερος από παλιότερα, οι αλλαγές στον τρόπο ζωής, η εγκατάλειψη κάποιων παραδοσιακών μεθόδων (πχ αναβαθμίδες) και προπάντων η μετατροπή των νησιών σε παραθεριστικά και τουριστικά κέντρα ανέβασαν τη ζήτηση νερού σε βαθμό που να μην μπορούν πλέον να έχουν αυτονομία.

Τα περισσότερα νησιά ικανοποιούν μεγάλο μέρος των αναγκών τους μεταφέροντας με δεξαμενόπλοια νερό. Η πολιτική αυτή είναι αυξανόμενα δαπανηρή και ασύμφορη. Ταυτόχρονα η χρήση των πλοίων αποτελεί επιβάρυνση στο περιβάλλον λόγω της κατανάλωσης πετρελαίου ενώ λόγω της υγιεινής των πλοίων το νερό δεν είναι πόσιμο (5).

Ένα σημαντικό μέρος των αναγκών καλύπτεται επίσης με την εκτεταμένη χρήση γεωτρήσεων, ιδιαίτερα για την κάλυψη των γεωργικών αναγκών, που ποσοτικά είναι οι μεγαλύτερες. Η κατανομή της ζήτησης ανά χρήση έχει ως εξής:



Εικόνα 2 - Κατανομή της ζήτησης νερού στα Νησιά του Αιγαίου (6)

Η εξάρτηση από τις γεωτρήσεις θεωρείται επίσης μη βιώσιμη λύση και κατηγορείται ότι λόγω υπεράντλησης εξαντλείται ο υδροφόρος ορίζοντας, προκαλώντας την εισροή θαλασσινού νερού σε αυτόν. Έχει παρουσιαστεί το φαινόμενο το νερό των γεωτρήσεων να γίνεται υφάλμυρο και συνεπώς ακατάλληλο για αρκετές χρήσεις (5).

Συγκεκριμένα στοιχεία για τις ποσότητες που καλύπτει κάθε πηγή νερού ανά νησί παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.

Το πρόβλημα της λειψυδρίας δείχνει να επιδεινώνεται καθότι οι ποσότητες νερού που μεταφέρονται με τα πλοία έχουν αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, ενώ ταυτόχρονα συνεχίζουν να γίνονται νέες γεωτρήσεις και να εγκαθίστανται μονάδες αφαλάτωσης.

Αναφέρεται ότι το 2007 μεταφέρθηκαν 697000 κυβικά μέτρα νερού στις Κυκλάδες και 1.100.000 κυβικά στα Δωδεκάνησα, με το μεγαλύτερο μέρος τους να καταναλώνεται την περίοδο του καλοκαιριού (8), ενώ μεταξύ 1997 και 2007 το κόστος μεταφοράς ανέβηκε από 1.244.881 € σε 11.206.409 € και συνεχίζει να

αυξάνεται. Για το κράτος το κόστος ήταν 4.91 €/m³ μεταφερόμενου νερού για τα Δωδεκάνησα και 8.32 €/m³ για τις Κυκλάδες (το 2007) (5).

Οι τιμές αυτές αιτιολογούνται από την απουσία κατάλληλης διαχείρισης και υποδομών. Δεν υπάρχουν δεξαμενές με αρκετή χωρητικότητα και τις περιόδους αιχμής δημιουργείται έλλειμμα (κατά μέσο όρο 6,4 % ετησίως). Επιπλέον τα δίκτυα ύδρευσης είναι ελαττωματικά και όχι μόνο υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού αλλά θεωρείται ότι το 40-60% του νερού χάνεται σε διαρροές (5). Πέρα από αυτό έχει παρατηρηθεί ότι γίνεται σπατάλη στη χρήση του νερού.

Από τις τιμές που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα υπολογίστηκε ένας μέσος όρος 68% κάλυψης των αναγκών από υπόγεια νερά

ΝΗΣΟΣ	ΑΦΑΛΑ- ΤΩΣΕΙΣ (%)	ΜΕΤΑΦΕΡΟ- ΜΕΝΕΣ ΠΟΣΟΤΗΤΕΣ (%)	ΤΑΜΙΕΥ- ΤΗΡΕΣ (%)	ΥΠΟΓΕΙΑ (%)	ΚΑΛΥΨΗ ΥΔΡΕΥΣΗΣ (%)	ΥΔΡΕΥΤΙΚΗ ΑΠΑΙΤΗΣΗ (κμ)	ΠΛΗΘΥΣΜΟ Σ 2001	ΕΤΗΣΙΕΣ ΔΙΑΝΥΚΤΕ -ΡΕΥΣΕΣ 2001
Αστυπάλαια			58,49	30,02	88,51	161.560	1.238	52.929
Κάλυμνος Ψέριμος Τέλενδος Καλόλιμνος		0,2		98,37	98,57	1.474.756	16.441	117.431
Λειψοί		55,46		23,83	79,29	67.452	698	6.070
Λέρος- Φαρμακονησι	5,46	11,38		82,26	99,1	773.966	8.207	29.794
Πάτμος-Αρκοι		75		16,86	91,86	330.781	3.044	72.221
Κάσος				100	100	113.737	990	564
Κάρπαθος- Σαρια				100	100	754.558	6.511	207.953
Κως				98,55	98,55	5.428.825	30.947	6.316.684
Νίσυρος-Γυαλι	71	14,93			85,92	110.430	948	33.765
Μεγίστη-Ρω		85,95		5,71	91,66	58.616	430	8.632
Ρόδος				91,98	91,98	17.507.447	117.007	9.560.266
Σύμη		85		6,71	91,71	293.789	2.606	35.253
Χάλκη		89,55			89,55	50.778	313	43.860
Τήλος				93,19	93,19	79.342	533	14.385
Αγαθονήσι		83,7			83,7	12.411	158	580
Άνδρος				98,9	98,9	1.031.920	10.009	219.295
Αμοργός		7,35		74,86	82,2	183.264	1.859	62.490
Θήρα	4,28	0,36	25,87	54,32	84,83	1.984.189	12.440	954.917

Ίος	38,48		1,27	60,25	100	278.987	1.838	177.934
Κύθνος				99,28	99,28	175.833	1.608	77.646
Κέα				92,77	92,77	315.813	2.417	24.381
Σέριφος				95,8	95,8	202.635	1.414	83.012
Μήλος	24,56			58,44	83	626.581	4.771	94.013
Σίφνος	15			72,63	87,63	345.594	2.442	79.659
Νάξος			48,14	50,75	98,89	2.115.304	18.188	475.418
Πάρος	12,41			87,05	99,46	1.675.267	12.853	891.449
Σύρος	49,42			21,46	70,88	1.855.053	18.181	344.652
Μύκονος- Δηλος	29,75		37,27	14,27	81,29	1.597.541	9.320	1.191.051
Τήνος	8,71			88,77	97,48	1.058.208	8.574	305.669
Ανάφη				100	100	27.695	273	10.971
Δονούσα				99,09	99,09	13.596	163	175
Ηρακλεία		91,99		4,35	96,35	14.753	151	10.860
Κουφονήσια		80		5,31	85,31	38.470	366	10.708
Σχοινούσα		98,52			98,52	22.597	206	22.464
Κίμωλος	39,43	12,45		48,12	100	70.388	769	8.418
Σίκινος		40		56,85	96,85	24.768	238	29.670
Φολέγανδρος		39,56		8,89	48,45	72.160	667	96.372
Αντίπαρος				99,07	99,07	160.573	1.037	90.110
Άγ.Ευστράτιος				100	100	40.774	371	1.836
Λέσβος				99,04	99,04	9.135.851	90.643	525.426
Λήμνος				96	96	1.688.189	18.102	168.141
Ικαρία				100	100	900.725	8.312	114.531
Σάμος				78,07	78,07	6.042.336	33.814	1.069.175
Φούρνοι- Θυμαίνα				99,72	99,72	161.168	1.469	20.100
Οινούσες	25,31		31,73	42,97	100	98.790	1.050	2.300
Χίος	8,72		12,5	70,52	91,74	4.585.600	51.936	192.266
Ψαρά				100	100	33.717	422	4.290

Πίνακας 2 - Ποσοστά που καλύπτονται από τις διαφορετικές πηγές νερού ανά νησί (7)

1.3 Η αφαλάτωση και το πρόβλημα της ενέργειας

Η λύση που φαίνεται να είναι οικονομικά και τεχνικά εφικτή στο πρόβλημα της λειψυδρίας είναι να παραχθεί πόσιμο νερό από αλμυρό με τη μέθοδο της αφαλάτωσης. Χρησιμοποιούταν ήδη από τους αρχαίους Έλληνες ναυτικούς, αλλά άρχισε να αναπτύσσεται σαν τεχνολογία μεγαλύτερης κλίμακας από το 19^ο αιώνα.

Το σημαντικότερο πρόβλημα της αφαλάτωσης είναι οι μεγάλες απαιτήσεις σε ενέργεια. Ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις σε θερμική ενέργεια έχουν αντίστοιχα οι θερμικές μέθοδοι. Επιδιώκοντας να εξασφαλιστεί η αυτονομία των νησιών σε πόσιμο νερό η αφαλάτωση αυξάνει την εξάρτησή τους σε πετρέλαιο, καθότι τόσο η ηλεκτροπαραγωγή (που απαιτείται για κάθε μέθοδο αφαλάτωσης υπολογίσιμης κλίμακας) όσο και η παραγωγή θερμότητας που απαιτείται για τις θερμικές μεθόδους χρησιμοποιούν το πετρέλαιο ως πηγή ενέργειας. Το πρόβλημα αυτό είναι αντίστοιχο και στις άλλες περιοχές του κόσμου αλλά είναι πιο έντονο στα νησιά που είναι πιο δαπανηρή η μεταφορά του.

Η αιτία του προβλήματος έγκειται στο ότι τα νησιά δεν έχουν ενεργειακή αυτονομία, και καλύπτουν της ανάγκες τους σε ηλεκτρισμό από μικρής ισχύος ντιζελογεννήτριες, πράγμα επίσης πολύ δαπανηρό.

Το κοινό χαρακτηριστικό όμως που έχουν οι περισσότερες περιοχές που αντιμετωπίζουν έλλειψη νερού είναι το εξαιρετικό δυναμικό τους για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Ιδιαίτερα στα νησιά αυτό πλαισιώνεται από ένα εξαιρετικό αιολικό δυναμικό σε πολλές περιπτώσεις. Η αξιοποίηση αυτών των δυνατοτήτων θεωρείται ότι θα μπορούσε να εξασφαλίσει μια βιώσιμη λύση τόσο στο πρόβλημα της ενέργειας όσο σε αυτό του νερού.

Μια άλλη λύση που επίσης εξετάζεται είναι η συμπαραγωγή νερού και ενέργειας, αξιοποιώντας το waste heat των εργοστασίων ηλεκτρικής ενέργειας για θερμική αφαλάτωση.

2. Ποιοτικές και Ποσοτικές Προδιαγραφές για το νερό

2.1 Οι απαιτήσεις στην ποιότητα του νερού

Το πρώτο που χρειάζεται να εξεταστεί είναι αν μια υπάρχουσα πηγή νερού προσφέρει νερό κατάλληλο για τη χρήση για την οποία προορίζεται ή υπάρχει ανάγκη να χρησιμοποιηθεί κάποιο σύστημα προεπεξεργασίας. Η ανάλυση αυτή αφορά κυρίως το νερό των γεωτρήσεων.

Πραγματοποιήθηκε μελέτη γύρω από τις διαφορετικές ανάγκες για ποιότητα νερού που υπάρχουν ανάλογα με την προοριζόμενη χρήση. Ο σκοπός είναι να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή εξοικονόμηση στην ενέργεια που ξοδεύεται για την αφαλάτωση και στην ποσότητα της άλμης που αποβάλλεται. Στην ιδανική περίπτωση η άλμη μπορεί να αξιοποιηθεί πλήρως και να αποφευχθεί το κόστος εγκατάστασης της συσκευής αραίωσης.

Η αναφορά στα στοιχεία γεωπονίας θα χρησιμοποιηθεί για να γίνουν τεχνικοοικονομικές προτάσεις βάσει κάποιων υποθέσεων.

2.1.1 Οι προδιαγραφές του πόσιμου νερού - Η αλατότητα στο πόσιμο νερό

Η αλατότητα καθορίζει την ποιότητα νερού. Ως αλατότητα ορίζεται η συνολική ποσότητα των διαλυμένων στερεών ουσιών μέσα στο νερό και αναγράφεται στη βιβλιογραφία ως TDS (Total dissolved solids). Μετράται συνήθως σε ppm (particles per million) ή mg/litre.

Η ποσότητα TDS καθ' εαυτή δεν έχει ευθέως επίπτωση στην υγεία και νομικά θεωρείται δευτερεύων κριτήριο. Εντούτοις στη βιβλιογραφία απαντάται ως το κριτήριο που καθορίζει την ποιότητα του νερού. Στην πραγματικότητα όμως σημασία έχει η συγκέντρωση κάθε στοιχείου ξεχωριστά και όχι το άθροισμά τους.

Το νερό στη φύση ανέκαθεν βρισκόταν με ποικιλία οργανικών και μη ενώσεων. Σχεδόν πάντα θα βρούμε μέσα στο νερό το κοινό αλάτι (Χλωριούχο νάτριο), θειικά άλατα, μικρόβια, και διάφορα άλλα άλατα και στοιχεία σε μικρότερες ποσότητες. Ανάλογα με τις αναλογίες των στοιχείων αυτών, το νερό μπορεί να είναι κατάλληλο για κατανάλωση.

Σήμερα είναι πιο δύσκολο να προσδιοριστεί η καταλληλότητα του νερού για χρήση γιατί από τη μόλυνση υπάρχει μεγαλύτερη ποικιλία στα ανεπιθύμητα

στοιχεία στο νερό. Η αποβολή των διαφόρων χημικών από ανθρώπινες δραστηριότητες στον αιγιαλό ή στο χώμα και η συχνά υπερβολική χρήση χημικών λιπασμάτων και εντομοκτόνων στις καλλιέργειες έχει μολύνει πολλές πηγές πόσιμου νερού. Επιπλέον περιορίζει τις δυνατότητες αξιοποίησης των στερεών υπολοίπων του νερού (ή της αποβαλλόμενης άλμης σε περίπτωση αφαλάτωσης).

Το νερό των θαλασσών απαιτεί σε όλες τις περιπτώσεις διαδικασία αφαλάτωσης, με ελάχιστη τιμή περίπου 6000 TDS για τη Βαλτική Θάλασσα, μέγιστη τιμή 40000 TDS για την Ερυθρά Θάλασσα και μέση τιμή 35000 TDS (9).

Εξ' ορισμού θεωρούμε:

<u>Χαρακτηρισμός</u>	<u>Total Dissolved Solids (TDS)</u>
Γλυκό Νερό	< 1.500
Υφάλμυρο/Γλυφό Νερό (Brackish)	1.500 - 10.000
Αλμυρό Νερό	10.000 – 50.000
Άλμη (Brine)	>50.000

Πίνακας 3 - Χαρακτηρισμός νερού βάσει αλατότητας

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας της ποιότητας νερού είναι η σκληρότητα. Ως σκληρότητα ορίζεται η παρουσία πολυσθενών κατιόντων στο νερό(ιόντα με σθένος ίσο ή μεγαλύτερο του 2+) (10). Αυτό αφορά κυρίως τα άλατα του ασβεστίου και του μαγνησίου, και δευτερευόντως κάποια άλλα στοιχεία. Η σκληρότητα προσδιορίζεται υπολογίζοντας την ισοδυναμία των υπαρχόντων στοιχείων με τη συγκέντρωση ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3).

Το χλωριούχο νάτριο δεν επηρεάζει τη σκληρότητα.

Οι διαβαθμίσεις σκληρότητας ορίζονται ως εξής:

<u>Χαρακτηρισμός</u>	<u>CaCO_3 (ppm)</u>
Μαλακό	0-30
Μετρίως μαλακό	30-60
Μετρίως σκληρό	60-120
Σκληρό	120-180
Πολύ σκληρό	> 180

Πίνακας 4 - Χαρακτηρισμός του νερού βάσει σκληρότητας (10)

Όπως θα αναπτυχθεί παρακάτω, η σκληρότητα δεν αποτελεί γενικά πρόβλημα στην κατανάλωση από ζωντανούς οργανισμούς αλλά κάνει το νερό διαβρωτικό.

2.1.2 Ανθρώπινη κατανάλωση

Τα όρια στις συγκεντρώσεις συγκεκριμένων ουσιών αποσκοπούν άμεσα στην προστασία της υγείας από συγκεκριμένους κινδύνους και αποκαλούνται Maximum Contaminant Levels (MCL). Υπάρχουν εντούτοις και άλλες προδιαγραφές και όρια τα οποία αναφέρονται στην απωθητικότητα από τις αισθήσεις, δηλαδή την όψη, την μυρωδιά και τη γεύση του νερού. Οι προδιαγραφές αυτές καλούνται Secondary Maximum Contaminant Levels (SMCL).

Σε αυτές εντάσσεται και η τιμή TDS. Στη νομοθεσία των ΗΠΑ το πόσιμο νερό έχει μέγιστο επιτρεπόμενο όριο τα 500 TDS. Στην ΕΕ ο περιορισμός στα TDS ορίζεται μέσω περιορισμού της αγωγιμότητας, που είναι 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (για 20°C). Μετατρέποντας την τιμή αυτή το Ευρωπαϊκό όριο τίθεται στα 1600 TDS.

Τα TDS έχουν επίσης αντιστοιχηθεί με την γεύση του νερού. Από μελέτη που έγινε από τον WHO (World Health Organization), η αντιστοιχία είναι η εξής:

Συγκέντρωση	Χαρακτηρισμός γεύσης
<300 TDS	Εξαιρετικό
300 - 600 TDS	Καλό
600 - 900 TDS	Μέτριο
900 - 1200 TDS	Φτωχό
> 1200 TDS	Απαράδεκτο

Πίνακας 5 – Χαρακτηρισμός της γεύσης του νερού βάσει αλατότητας (11)

Επίσης ως απαράδεκτο μπορεί να χαρακτηριστεί και το νερό με εξαιρετικά χαμηλό TDS, ιδιαίτερα από ανθρώπους συνηθισμένους σε νερό υψηλότερης αλατότητας. Γενικά πάντως οι συγκεντρώσεις κάτω των 1000 TDS είναι αποδεκτές στους καταναλωτές.

Ιδανική θεωρείται η συγκέντρωση περίπου 170 TDS. Το νερό της ΕΥΔΑΠ έχει μέση αλατότητα 156 TDS, και θεωρείται από τα καλύτερα.

Αξίζει να αναφέρω ότι τα οργανοληπτικά κριτήρια όπως αυτό της γεύσης ή της οσμής δεν έχει μόνο σημασία για ψυχολογικούς παράγοντες αλλά επιπλέον αποτελεί μια εκτίμηση από το ανθρώπινο ένστικτο για την καταλληλότητα του νερού για κατανάλωση. Δεν είναι, ασφαλώς, αλάθητη, αλλά σε πολλές περιπτώσεις έχει αποδειχτεί αρκετά ακριβής.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, οι προδιαγραφές του νερού για να κρίνεται κατάλληλο για ανθρώπινη κατανάλωση καθορίζεται από την οδηγία 98/83/EK. Το πρότυπο της οδηγίας αυτής περιλαμβάνει:

-Η αγωγιμότητά του πρέπει να είναι μικρότερη από 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ στους 20°C, που μεταφράζεται σε προσεγγιστικά 1600 TDS.

-Τα χαρακτηριστικά του που γίνονται αντιληπτά από τις αισθήσεις (Χρώμα, διαφάνεια, οσμή, γεύση) πρέπει να είναι αποδεκτά στον καταναλωτή και χωρίς ασυνήθιστη μεταβολή.

-Τις μέγιστες τιμές συγκέντρωσης συγκεκριμένων χημικών ενώσεων και εκπομπής ραδιενέργειας

-Την απουσία κολοβακτηριδίων και συγκεκριμένα *Escherichia coli* (E. Coli) και εντερόκοκκων μέσα στο νερό.

Αναλυτικά, οι περιορισμοί στα χημικά στοιχεία και στη ραδιενέργεια παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α.

2.1.2.1 Χλωριούχο νάτριο

Χρήση νερού υψηλής περιεκτικότητας σε NaCl ως πόσιμο είναι βλαβερό για την υγεία αυτού που το πίνει. Υπερβολική κατανάλωση NaCl μπορεί μακροπρόθεσμα να προκαλέσει κατακράτηση υγρών, αύξηση πίεσης, ακόμα και εγκεφαλικό ή καρδιακά νοσήματα. (12; 13)

Βάσει του EPA, ως αποδεκτή συγκέντρωση σε ιόντα νατρίου στο νερό προτείνονται τα 20 ppm, υποθέτοντας χαμηλή σε νάτριο διατροφή. Στο NaCl (58 kg/kmol), το Na (22 kg/kmol) είναι περίπου το 38% κ.β., που θέτει το όριο σε NaCl περίπου στα 52 ppm. Αυτό δεν περιορίζεται περαιτέρω από το όριο στη συγκέντρωση χλωρίου, που είναι τα 250 ppm (14). Το νόμιμο όριο για χλωριούχα άλατα είναι 250 ppm στην ΕΕ (Παράρτημα Α), που προβλέπει περίπου 500-750 mg κατανάλωση τη μέρα μόνο από το νερό (και καθιστά παράνομο το νερό αφαλάτωσης από τη θάλασσα με περιεκτικότητα πάνω από 300 TDS).

Το National Academy of Sciences θέτει ως συνιστώμενη ημερήσια δόση τα 500 mg NaCl/μέρα. Η Mayo Clinic θέτει το όριο στα 2300 mg γενικά και 1500 για κάποιες ομάδες ανθρώπων.

Θεωρώντας ως όριο τα 500 mg τη μέρα, υποθέτοντας ότι δεν υπάρχει καθόλου αλάτι στις τροφές που καταναλώνουμε (Πράγμα αδύνατο, αφού πολλά τρόφιμα περιέχουν αλάτι ή νάτριο εκ φύσεως. Στην πραγματικότητα από την τροφή παίρνουμε κατά μέσο όρο 2000-3000 mg τη μέρα) και θεωρώντας κατανάλωση 3 λίτρων νερού τη μέρα, δίνει ένα θεωρητικό μέγιστο 166 ppm NaCl/λίτρο. Αντίστοιχα, παίρνοντας για όριο τα 2300 έχουμε ως θεωρητικό μέγιστο τα 763 mg/λίτρο (15).

Παρατηρήθηκε εξαιρετική διάσταση απόψεων στο θέμα των ανώτατων ορίων στο NaCl, τόσο στο νερό όσο και στη διατροφή. Είναι γενικώς κυρίαρχη η αντίληψη ότι ο μέσος άνθρωπος καταναλώνει πολύ περισσότερο αλάτι στις τροφές απ' ότι είναι υγιεινό.

Θεωρείται επιπλέον ότι η υπέρμετρη κατανάλωση αλατιού είναι ακόμα εντονότερη στους λαούς που έχουν έλλειψη σε πόσιμο νερό. Πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν και οι παραδόσεις των νησιωτών αλλά και όλων των λαών που ζουν σε περιοχές όπου υπάρχει ανάγκη για αφαλάτωση. Η διατροφή τους περιλαμβάνει κατά παράδοση μεγαλύτερες ποσότητες αλατιού τόσο λόγω των παστών τροφών, όπου το αλάτι χρησιμοποιούταν ως συντηρητικό, όσο και γιατί το αλάτι χρησιμοποιούταν συχνά για να περιορίσουν τις ανάγκες τους σε νερό. Έχει μελετηθεί ότι στις περιοχές αυτές, ακόμα και αν έχουν αλλάξει οι παραδόσεις, λόγω συνηθειών ο μέσος άνθρωπος καταναλώνει περισσότερο αλάτι.

Το συμπέρασμα είναι ότι για τις συνθήκες αυτές πρέπει να ληφθεί το χαμηλότερο από αυτά τα όρια ως κριτήριο για να κριθεί το νερό της αφαλάτωσης πόσιμο. Για το σκοπό της εργασίας αυτής θεωρώ ως αποδεκτό όριο τα 52 ppm.

2.1.2.2 Θεϊκό ασβέστιο (γύψος)

Το θεϊκό ασβέστιο περιέχεται πάντα σε κάποιο ποσοστό στο νερό. Σε ποσότητες μεγαλύτερες από τις νομικά επιτρεπόμενες (250 ppm) μπορεί να προκαλέσει διάρροια ή αφυδάτωση, που σε ενήλικους υποχωρεί μετά από λίγες μέρες, συνηθίζοντας τη συγκέντρωση αυτή. Τα παιδιά και τα βρέφη είναι πιο ευαίσθητα και πρέπει να αποφεύγουν αντίστοιχες συγκεντρώσεις. Οι μεγάλες συγκεντρώσεις θεϊκού ασβεστίου έχουν κατηγορηθεί ότι μπορούν να προκαλέσουν καρκίνου του στομάχου (16).

2.1.2.3 Σκληρότητα

Δεν θεωρείται γενικά ότι η σκληρότητα στο πόσιμο νερό δημιουργεί προβλήματα υγείας και μάλιστα συνεισφέρει στη διατροφή με τα ιχνοστοιχεία ασβεστίου και μαγνησίου (κάποιες μελέτες κατηγορούν τη σκληρότητα για προβλήματα υγείας αλλά δεν είναι γενικώς αποδεκτές). Εντούτοις υψηλή σκληρότητα επηρεάζει τη γεύση του νερού και γ' αυτό τίθενται κάποια επιτρεπτά όρια. Γενικότερα το νερό έχει αποδεκτή γεύση για σκληρότητα μεταξύ 100-300 ppm CaCO_3 , αλλά μπορεί να φτάσει και ψηλότερα ανάλογα με το αντίστοιχο ιόν. Ως ανώτατο ανεκτό όριο θεωρούνται τα 500 ppm CaCO_3 . (11)

2.1.3 Νερό πλυσίματος

Η καταλληλότητα του νερού για πλύσιμο καθορίζεται κυρίως από τη σκληρότητα.

Η σκληρότητα του νερού έχει κατηγορηθεί για δερματολογικά προβλήματα. Επίσης καθορίζει την αντίδραση του νερού με το σαπούνι. Υψηλή σκληρότητα σημαίνει ότι το σαπούνι δεν δημιουργεί αφρό. Το όριο τίθεται στα 200 ppm CaCO_3 (17). Επίσης η σκληρότητα του νερού δημιουργεί επικαθήσεις στις επιφάνειες αυτοκινήτων και πατωμάτων όταν πλένονται με αυτό. Σε οικιακό επίπεδο αυτό συνήθως αντιμετωπίζεται χρησιμοποιώντας ξύδι.

Νομικά δεν γίνεται συγκεκριμένη αναφορά στο νερό πλυσίματος. Η εντολή 2006/7/EC περί υδάτων κολύμβησης που καθορίζει προδιαγραφές για ύδατα που χρησιμοποιούνται δημοσίως έχει συγκεκριμένους περιορισμούς μόνο όσον αφορά την παρουσία των κολοβακτηριοειδών και των E. Coli, αλλά αναφέρεται και στον έλεγχο της παρουσίας στοιχείων από μόλυνση, όπως τα βαρέα μέταλλα πχ. μόλυβδος(Pb) και υδράργυρος(Hg).

Όσον αφορά την αλατότητα του ως σύνολο, δεν βρέθηκαν στοιχεία που να την κατηγορούν για προβλήματα υγείας. Νομικά η ΕΕ και ο WHO δεν θέτουν περιορισμούς σε συγκεντρώσεις TDS, NaCl ή θεικών για το νερό πλυσίματος. Από αρκετούς η υψηλή αλατότητα θεωρείται ότι είναι ωφέλιμη για την υγεία. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τη Νεκρά Θάλασσα, που έχει αλατότητα 330.000 TDS.

Αυστηρότερες προδιαγραφές καθορίζονται από την Αυστραλιανή νομοθεσία σχετικά με τα νερά για δημόσια λουτρά και πισίνες, που θέτει το όριο στα 3000 TDS.

2.1.4 Χρήση στο καζανάκι

Στο Χονγκ Κονγκ χρησιμοποιείται θαλασσινό νερό για το καζανάκι από το 79% του πληθυσμού (τιμή 1999), κάτι που ξεκίνησε να εφαρμόζεται από το 1955 (18). Το pretreatment περιλαμβάνει μόνο φίλτρα για την κατακράτηση των μεγαλύτερων σωματιδίων και χλωρίωση (19).

Μπορεί να βγει με ασφάλεια το συμπέρασμα ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί νερό με περιεκτικότητα μέχρι και 34000 TDS (η αλατότητα του νερού στην περιοχή του Χονγκ Κονγκ) για το σκοπό αυτό. Ενδεχομένως να υπάρχει ανοχή και σε μεγαλύτερες τιμές, αλλά δεν υπάρχουν στοιχεία για να δοθεί μια καθοριστική απάντηση.

2.1.5 Χρήση σε μηχανήματα

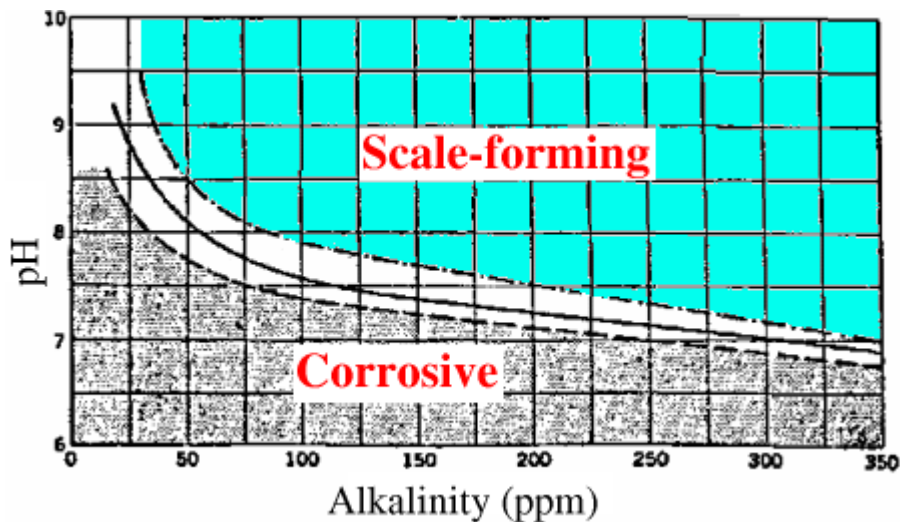
Τα στοιχεία που περιέχει μέσα το νερό μπορούν να προκαλέσουν δυο είδη προβλημάτων στα μηχανήματα που το χρησιμοποιούν και τους σωλήνες που το μεταφέρουν.

Το πρώτο είναι η διάβρωση στα μεταλλικά μέρη τους.

Το δεύτερο είναι οι επικαθίσεις αλάτων στις επιφάνειές τους (το λεγόμενο scaling).

Ενδεικτικά το όριο συνολικών διαλυμένων στερεών αναφέρεται ως 500 TDS (11). Στην πραγματικότητα όμως αυτό καθορίζεται από το είδος των στερεών.

Για το scaling κατηγορείται η σκληρότητα του νερού. Σκληρότητα μεγαλύτερη των 200 ppm δημιουργεί επικαθίσεις (scaling). Οι τιμή αυτή όμως επηρεάζεται και από τη φύση της σκληρότητας (ανθρακική ή μη). Επίσης τόσο οι επικαθίσεις όσο και η διάβρωση καθορίζονται από το pH του νερού, την συνολική παρουσία αλκαλικών και την συγκέντρωση διαλυμένου οξυγόνου σε αυτό. (17)



Εικόνα 3 - Καμπύλη Baylis: Σταθερότητα του νερού σε σχέση με το pH και την αλκαλικότητά του. Η περιοχή με το λευκό χρώμα είναι η ευσταθής (47).

Γενικά τα όρια στα οποία μπορούν να λειτουργήσουν τα μηχανήματα, και συγκεκριμένα τα πλυντήρια πιάτων και ρούχων, παρέχονται από τον κατασκευαστή.

2.1.6 Χρήση για πότισμα

Το NaCl είναι υδροσκοπικό και εμποδίζει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Χρήση νερού υψηλής περιεκτικότητας σε NaCl για πότισμα μειώνει την παραγωγικότητα, είτε απ' ευθείας είτε μέσω της συγκέντρωσης του αλατιού στο χώμα. Χρειάζεται να οριστούν προδιαγραφές μέχρι ποιές συγκεντρώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί το νερό για πότισμα, ανάλογα με τις αντοχές του είδους του φυτού, και ανάλογα με το πόσο NaCl συγκεντρώνεται στο χώμα.

Μέρος του αλατιού που περιέχει το νερό συσσωρεύεται στο χώμα μακροχρόνια μέχρι να φτάσει ένα σημείο ισορροπίας. Αυτό καθορίζεται από το λόγο απόπλυσης(leaching), που ορίζεται ως ο λόγος του νερού που απορροφάται πιο κάτω από το ύψος των ριζών προς τη συνολική ποσότητα νερού που δίνουμε. Μια απλουστευτική υπόθεση είναι ότι για λόγο απόπλυσης 15-20% το χώμα θα έχει μακροπρόθεσμα 3 φορές την αλατότητα του νερού που χρησιμοποιείται.

Το νερό του ποτίσματος καταλήγει σε τρία μέρη: εν μέρει θα εξατμιστεί, εν μέρει θα απορροφηθεί από τα φυτά και εν μέρει θα περάσει στο υπέδαφος. Τα δύο πρώτα μέρη αφήνουν πίσω τους το αλάτι στο χώμα, και το νερό που θα περάσει στο υπέδαφος θα παρασύρει μέρος του αλατιού αυτού μακριά από το χώμα. Όσο μεγαλύτερο μέρος του νερού φτάσει πιο κάτω από τις ρίζες τόσο λιγότερη συσσώρευση υπάρχει στο χώμα. (20)

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την απόπλυση. Το είδος του χώματος καθορίζει την υδραυλική αγωγιμότητα, δηλαδή την ταχύτητα που το νερό διαπερνάει το χώμα. Μια ποσότητα του νερού κατακρατείται στο έδαφος, η οποία μπορεί με τον άνεμο να εξατμιστεί, κάτι που καθορίζεται από την υδραυλική αγωγιμότητα. Το χώμα μπορεί να είναι, σε αύξουσα σειρά αγωγιμότητας, αργιλώδες, πηλώδες ή αμμώδες.

Η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει την ποσότητα νερού που εξατμίζεται, μειώνοντας την απόπλυση. Η βροχή, αντίθετα, την ενισχύει. Επίσης επηρεάζεται από το πόσο επιπλέον νερό χρησιμοποιείται για πότισμα σε σχέση με την ποσότητα που απορροφούν τα φυτά.

Για κάθε είδος καλλιέργειας ορίζεται ένα όριο μέχρι το οποίο η αλατότητα του νερού και του χώματος δεν επηρεάζουν την παραγωγικότητα, και πάνω από το όριο αυτό ορίζεται ο ρυθμός μείωσης της παραγωγής σε σχέση με το ρυθμό αύξησης της αλατότητας.

Η αντοχή ορισμένων σημαντικών καλλιεργειών αναφέρεται παρακάτω. Στις περισσότερες περιπτώσεις η ποικιλία του είδους δεν έχει μεγάλη διαφορά στην αντοχή απέναντι στο αλάτι (21).

Είδος	Μέγιστη αλατότητα <u>στο χώμα</u> χωρίς πτώση στην παραγωγικότητα (ppm)	Ρυθμός μείωσης παραγωγικότητας πάνω από το όριο (% ανά 1dS/m)	Μέγιστη αλατότητα <u>στο νερό</u> χωρίς πτώση στην παραγωγικότητα (ppm)	Ρυθμός μείωσης παραγωγικότητας πάνω από το όριο (% ανά 1dS/m)
Φασόλι	640	19	450	10
Σιτάρι	3850	7.1	2560	11
Ζαχαρότευτλα	4700	9	3000	9
Καλαμπόκι	1600	20	700	16
Πατάτα	1100	12	700	16
Φάβα	384	11	700	12
Ρύζι	1900	12	640	33
Κριθάρι	5100	5	3390	7
Σόγια	3200	20	640	1.3

Ελιά	2500	12	1660	25
Βαμβάκι	4900	5.2	1100	(Ανάλογο)
Τομάτα	1600	10	1100	50

Πίνακας 6 - Επιρροή της αλατότητας στην παραγωγικότητα των καλλιεργειών (22), (23), (24), (25).

Σημειώνεται ότι $1dS/m = 640ppm$

Εάν το χώμα είναι αργιλώδες, μπορεί να συσσωρεύσει μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αλατιού από αυτές που έχει το νερό που χρησιμοποιείται, συνεπώς πρέπει να συνυπολογιστούν και η αντοχή στην αλατότητα του χώματος και η αντοχή στην αλατότητα του νερού και να γίνει ανάλυση του χώματος ως προς το ρυθμό κατακράτησης NaCl ώστε να μπορεί να βγει συμπέρασμα.

Παρατηρήθηκε ότι για TDS από 3500 ppm και άνω ελάχιστα φυτά μπορούν να αναπτυχθούν.

Αντίθετα από το NaCl, πολλά άλλα άλατα που συναντώνται στο νερό μπορούν να ωφελήσουν το έδαφος και τις καλλιέργειες. Γενικά το κριτήριο βασίζεται στα ιόντα των ενώσεων. Γενικά τα ιόντα των K, Ma, Ca, S είναι θρεπτικά για τα φυτά στις σωστές ποσότητες, με τις αναλογίες να εξαρτώνται από το είδος του φυτού. Γενικώς ανεπιθύμητα είναι τα ιόντα των Na, Cl.

Τα νιτρικά άλατα (NO₃) είναι ωφέλημα στα φυτά και χρησιμοποιούνται για λίπασμα. Το ίδιο ισχύει και για τα θειικά άλατα, και συγκεκριμένα για το θειικό ασβέστιο και θειικό μαγνήσιο, όμως εξαρτάται από τις ανάγκες που έχει το έδαφος και τα καλλιεργούμενα φυτά αν θα ωφελήσει ή θα ζημιώσει η παρουσία των αλάτων αυτών. Πρέπει να γίνει γεωπονική μελέτη για το αν σε κάθε περίπτωση ενδείκνυται εμπλουτισμός αντίστοιχα σε θειάφι, μαγνήσιο, ή ασβέστιο (26). Χρησιμοποιείται επίσης και το θειικό νάτριο σαν λίπασμα σε μικρές ποσότητες.

Στην περίπτωση πάντως που μια πηγή νερού με αποδεκτές συγκεντρώσεις ιόντων Na και Cl είναι πολύ πιθανόν να είναι αξιοποιήσιμο σε κάποια καλλιέργεια, και μάλιστα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και η άλμη από την αφαλάτωση του νερού αυτού για τον ίδιο σκοπό, ανάλογα με την περιεκτικότητα σε αλάτι, ενδεχομένως αραιωμένη.

2.1.7 Χρήση για ζώα

Τα ζώα που χρησιμοποιούνται στην κτηνοτροφία έχουν μεγαλύτερες αντοχές από τον άνθρωπο για την αλατότητα του νερού αλλά και εκεί υπάρχουν περιορισμοί.

Υποθέτοντας ότι το νερό δεν είναι μολυσμένο, ως ασφαλείς μέγιστες τιμές θεωρούνται:

Είδος	TDS (27)	TDS (28)
Πουλερικά	3000	2000-3000
Χοίροι	3000	4000-6000
Αγελάδες (θηλάζουσες)	3500	2500-4000
Βοοειδή	5000	4000-5000
Αρνιά, απογαλακτίζοντα, πρόβατα για αναπαραγωγή, μη θηλάζουσες αγελάδες	5000	(δεν αναφέρεται σαν κατηγορία)
Άλογα	6000	4000-6000
Μη θηλάζοντα ενήλικα πρόβατα	10000	5000-10000

Πίνακας 7 - Μέγιστα ασφαλή όρια στην αλατότητα για χρήση σε ζώα

Παρατηρείται ότι συγκεκριμένα τα πρόβατα έχουν εξαιρετικά μεγάλες αντοχές στην αλατότητα, πράγμα σημαντικό για τις ανάγκες της Ελληνικής οικονομίας. Θεωρητικά αντέχουν να καταναλώσουν ολόκληρο το εύρος του νερού που ορίζεται ως υφάλμυρο. Μια μελέτη υποστηρίζει ότι σε δοκιμή που έγινε τα πρόβατα δεν παρουσίασαν προβλήματα υγείας μετά από 16 μήνες πίνοντας νερό με περιεκτικότητα 13000 ppm σε NaCl (29). Επίσης αναφέρεται ότι τα πρόβατα χρειάζονται πολύ μικρότερη ποσότητα νερού από τις αγελάδες.

2.1.7.1 Αγελάδες

Συγκεκριμένα για τις αγελάδες οι μελέτες του πανεπιστημίου του Kentucky δείχνουν τα εξής:

<1,000 TDS	Ασφαλές για χρήση χωρίς προβλήματα υγείας
1,000-2,999 TDS	Γενικά ασφαλές. Μπορεί να προκαλέσει ελαφρά διάρροια.
3,000-4,999 TDS	Το ζώο μπορεί αρχικά να αρνηθεί να πιεί; Μπορεί να προκαλέσει διάρροια; Μειώνεται η παραγωγικότητα γιατί μειώνεται η κατανάλωση νερού
5,000-6,999 TDS	Μπορεί να χρησιμοποιηθεί αν δεν απαιτείται η βέλτιστη παραγωγικότητα. Να αποφεύγεται η χρήση σε αγελάδες που θηλάζουν ή είναι έγκυες.
7,000-10,000 TDS	Να αποφεύγεται. Η κατανάλωση πιθανότατα θα προκαλέσει προβλήματα υγείας
>10,000 TDS	Ανασφαλές. Να μη χρησιμοποιείται σε καμία περίπτωση

Πίνακας 8 - Επιπτώσεις της αλατότητας του νερού στην υγεία των αγελάδων (13)

2.1.7.1.1 Θειικά άλατα

Τα θειικά άλατα ($MgSO_4$, $CaSO_4$) προκαλούν μείωση στην παραγωγή γάλακτος. Γενικά στις μικρές αλλαγές στην αλατότητα οι αγελάδες μπορούν να προσαρμοστούν, αλλά οι μεγάλες αλλαγές μπορούν να είναι θανατηφόρες. Το μέγιστο όριο που συνιστάται είναι 1000 TDS για ενήλικες αγελάδες.

2.1.7.1.2 Νιτρικά άλατα

Τα νιτρικά άλατα και το νιτρικό άζωτο επίσης μπορούν να προκαλέσουν μείωση στην παραγωγή γάλακτος, στειρότητα, ακόμα και θάνατο. Συγκεντρώσεις μέχρι 130 TDS νιτρικά άλατα και 20 TDS νιτρικό άζωτο είναι ασφαλείς με το συνδυασμό κατάλληλης διατροφής (να μην περιέχει η τροφή νιτρικά). Συγκεντρώσεις μέχρι 220 TDS νιτρικά και 40 TDS νιτρικό άζωτο είναι βραχυπρόθεσμα ασφαλείς (13).

Γενικά θεωρείται ότι τα νιτρικά άλατα επηρεάζουν λιγότερο τους ανθρώπους από τα πρόβατα και τις αγελάδες (30).

2.1.7.1.3 Μόλυνση

Οι ανοχές στη μόλυνση του νερού για κάθε είδος μπορούν να συγκριθούν στον παρακάτω πίνακα:

Ουσία	Νόμιμο όριο ΕΕ για Ανθρώπινη κατανάλωση (TDS)	Όριο που θεωρείται ασφαλές για αγελάδες (TDS)	Όριο για νερό ποτίσματος
Αλουμίνιο (Al)	0.2	5.0	1
Αρσενικό (As)	0.01	0.2	1
Βόριο (B)	1	5.0	0.75
Κάδμιο (Cd)	0.005	0.05	0.005
Χρώμιο (Cr)	0.05	1.0	5
Κοβάλτιο (Co)	(ελέγχεται αλλιώς)	1.0	0.2
Χαλκός (Cu)	2	0.5	0.2
Φθόριο (F)	-	2.0	-
Μόλυβδος (Pb)	0.01	0.1	5
Μαγγάνιο (Mn)	0.05	0.05	2
Υδράργυρος (Hg)	0.001	0.01	
Σελήνιο (Se)	0.01	0.05	0.05
Βανάδιο (V)	-	0.1	10
Ψευδάργυρος (Zn)	-	24.0	5
Θειικά (SO ₄)	250	1000	-
Κολοβακτηρίδια	0 αποικίες/100 ml	10 αποικίες/100 ml	-
Νιτρικά	50	130	-
Νάτριο	200	-	-

Πίνακας 9- Σύγκριση ορίων συγκέντρωσης τοξικών ουσιών στο νερό για ανθρώπους, φυτά και βοοειδή (31),

(13), (25)

2.1.8 Σύγκριση τιμών με αλμυρό νερό

2.1.8.1 Θαλασσινό νερό

Για αλατότητα 3,5% (35000 TDS) τα κύρια ιόντα στο θαλασσινό νερό είναι:

Σύμβολο	Cl ⁻	Na ⁺	Mg ₂	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	K ⁺
gr/kg νερού	19.353	10.76	1.292	2.712	0.412	0.399

Τα στοιχεία αυτά καλύπτουν το 99.8% των TDS.

Εκτός από το χλωριούχο νάτριο, το θαλασσινό νερό στην κανονική του σύσταση περιέχει, σε αρκετά μικρότερες ποσότητες, θειικό μαγνήσιο, θειικό ασβέστιο(κιμωλία-γύψος), χλωριούχο μαγνήσιο, κάποια άλλα άλατα σε πολύ μικρές ποσότητες, καθώς και άλλα στοιχεία που δεν είναι διαλυμένα στο νερό.

Η μέση σκληρότητά του ορίζεται στα 6630 ppm CaCO₃.

2.1.8.2 Νερό γεωτρήσεων

Το νερό που αντλείται από γεωτρήσεις ή λίμνες περιέχει σε σημαντικότερες ποσότητες κι άλλες ενώσεις, όπως χλωριούχο ασβέστιο, θειικό νάτριο, χλωριούχο κάλιο και βρωμιούχο κάλιο.

Στα πλαίσια της μελέτης αυτής, οι θερμοδυναμικές ιδιότητες του νερού μας ενδιαφέρουν ιδιαίτερα στους υπολογισμούς που θα γίνουν σχετικά με τις θερμικές μεθόδους αφαλάτωσης γιατί επηρεάζουν την τελική απόδοση της μονάδας αφαλάτωσης.

Όπως θα αναλυθεί παρακάτω, μας ενδιαφέρει επίσης η ακριβής σύσταση των στοιχείων που υπάρχουν μέσα στο νερό γιατί εξετάζονται και οι δυνατότητες αξιοποίησης της προς αποβολή άλμης.

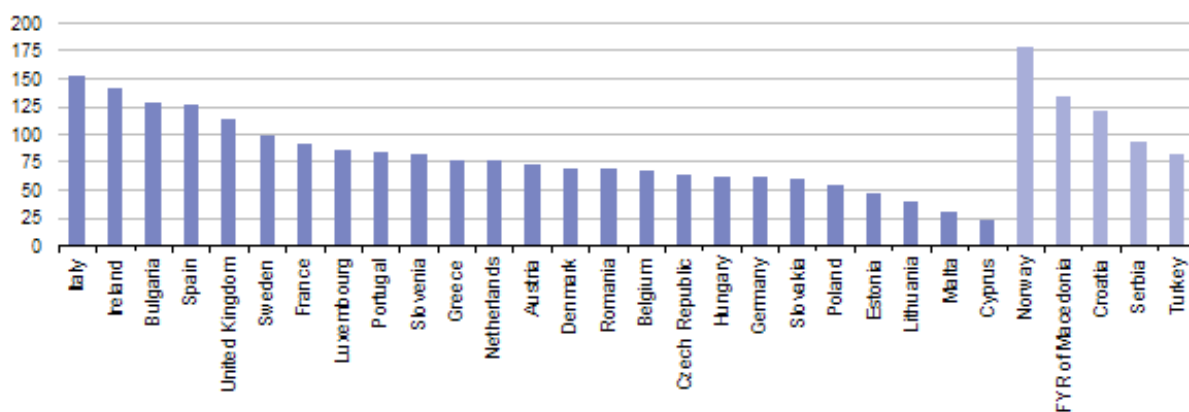
2.2 Η απαιτούμενη ποσότητα στο νερό - Μέθοδοι εξοικονόμησης

2.2.1 Εκτίμηση συνολικής κατανάλωσης

Σύμφωνα με την κλινική Mayo ο μέσος άνθρωπος χρειάζεται 2.2 με 3.5 λίτρα τη μέρα πόσιμο νερό τη μέρα για να επιβιώσει (15). Η νομοθεσία των ΗΠΑ και της ΕΕ θεωρεί ότι ο μέσος άνθρωπος καταναλώνει συνολικά 200 λίτρα τη μέρα (για όλες τις χρήσεις) (31).

Ο μέσος ευρωπαϊός πολίτης χρησιμοποιεί 150 λίτρα νερό την ημέρα. Η ίδια τιμή μετρήθηκε για τους κατοίκους της Αθήνας (32) και των μικρών οικισμών (33). Στην Αμερική η μέση κατανάλωση μπορεί να φτάσει ακόμα και τα 650 λίτρα τη μέρα.

Στην Ελλάδα το δίκτυο ύδρευσης παρέχει 75 m³ ανά άτομο, που δίνει ημερήσια τιμή 200 λίτρα ανά άτομο. Για τουριστικές περιοχές η ατομική κατανάλωση ανεβαίνει στα 380 λίτρα/ημέρα τις περιόδους αιχμής, ενώ η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση μπορεί να φτάσει μέχρι 2 και 3 φορές την τιμή αυτή σε μικρούς οικισμούς και σε συνοικίες με πολλούς κήπους (33). Για τις αγροτικές δραστηριότητες η τιμή εκτιμάται στα 770 m³ ανά άτομο ετησίως (2,1 m³ ημερησίως) για την Ελλάδα και 200 m³ (550 λίτρα/ημέρα) για την Κύπρο (34). Για την πραγματική κατανάλωση αφαιρείται ένα 15% από τις τιμές αυτές που καταλήγει σε διαρροές (33), (35). Για τις περιοχές που υποφέρουν από λειψυδρία πιο αντιπροσωπευτικές είναι οι τιμές της Κύπρου.

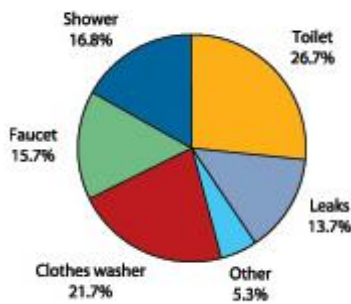


Εικόνα 4 - Μέση ετήσια κατανάλωση νερού ανά άτομο (σε m³) στις χώρες της Ευρώπης (34).

Τόσο στα νησιά του Αιγαίου όσο και στην Κύπρο, που ανέκαθεν είχαν προβλήματα λειψυδρίας, παραδοσιακά οι κάτοικοι καταναλώνουν λιγότερο νερό και κάνουν οικονομία με διάφορους τρόπους. Αναφέρεται ότι το 1950 η ημερήσια κατανάλωση νερού ήταν περίπου 30 λίτρα τη μέρα.

2.2.2 Εκτίμηση οικιακής κατανάλωσης για διαφορετικές χρήσεις

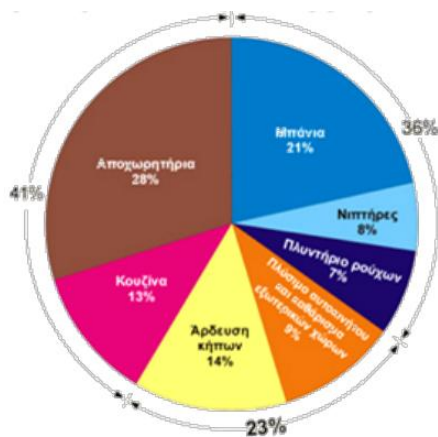
Σύμφωνα με τις μελέτες του AWWA, ο μέσος καταναλωτής χρησιμοποιεί από το συνολικό νερό που καταναλώνει το 60% για εξωτερικές χρήσεις(πλύσιμο αυτοκινήτου, πότισμα, κλπ) και 40% για εσωτερικές. Από την ποσότητα που χρησιμοποιείται εντός του σπιτιού μοιράζεται ως εξής:



Εικόνα 5 - Ποσοτική αναλογία οικιακής χρήσης του νερού (35)

- Το 26,7% στο καζανάκι
- Το 21,7% στο πλυντήριο ρούχων
- Το 16,8% στο ντους
- Το 15,7% στη βρύση
- Το 5,3 % στις υπόλοιπες χρήσεις

Η ποσότητα που καταναλώνεται στη βρύση περιλαμβάνει εκτός από την κάλυψη των άμεσων αναγκών σε νερό πλύσιμο χεριών, μαγείρεμα και ενδεχομένως πλύσιμο πιάτων. Στις «υπόλοιπες χρήσεις» επίσης περιλαμβάνεται και το πλυντήριο πιάτων(1,4%). Εκτιμάται, τέλος, ότι το 13,7% σπαταλάται σε διαρροές λόγω του δικτύου.



Εικόνα 6 - Ποσοτική αναλογία οικιακής χρήσης του νερού (άλλη πηγή) (36)

Μια άλλη πηγή δίνει τους μέσους όρους στις εξής τιμές: 28% για καζανάκι, 21% ντους, 13% κουζίνα, 8% νιπτήρας, 7 % πλυντήριο ρούχων και 23% εξωτερικές χρήσεις.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα δεδομένα για την απαιτούμενη ποιότητα ανά χρήση, είναι προφανές ότι είναι σπατάλη να χρησιμοποιείται για κάθε χρήση πόσιμο νερό

δεδομένου ότι χρειαζόμαστε περίπου 1-2% του νερού που χρησιμοποιούμε ευθέως για την επιβίωση και λιγότερο από 15% για τις ανάγκες της κουζίνας. Για τις

υπόλοιπες χρήσεις οι προδιαγραφές αφορούν κυρίως τη σκληρότητα και τη μόλυνση του νερού που για υφάλμυρο είναι πολύ πιο εύκολο να ικανοποιηθούν από το να το μετατρέψουμε σε πόσιμο.

2.2.3 Τεχνικές εξοικονόμησης νερού

2.2.3.1 Προσαρμογή συνηθειών και οικιακών συσκευών

Έχουν εκδοθεί αρκετές οδηγίες προς τους καταναλωτές για να προσαρμόσουν τις συνήθειες τους ώστε να περιοριστεί η σπατάλη. Αφορούν κυρίως τις περιπτώσεις που αφήνουμε το νερό να τρέχει.

Έχουν σχεδιαστεί βελτιωμένοι μηχανισμοί για τα διάφορα οικιακά υδραυλικά. Ένα από αυτά είναι το καζανάκι διπλής ροής, που έχει δύο διακόπτες αντί για έναν, για χρήση διαφορετικής ποσότητας νερού. Θεωρείται ότι καταναλώνει 67% λιγότερο νερό από τα συμβατικά. Αντίστοιχοι μηχανισμοί υπάρχουν για τις βρύσες και το ντους, που μετατρέπουν τη ροή σε σταγονίδια για αποτελεσματικότερη χρήση.

Επίσης μεγάλη έμφαση έχει δοθεί στην αντιμετώπιση των διαρροών, στις οποίες θεωρείται ότι σπαταλάται από το 15 ~60% ανά περίπτωση (5), (35).

2.2.3.2 Χρήση ημιακάθαρτου νερού («Grey Water») για δευτερεύουσες

χρήσεις

ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ		ΜΗ ΠΟΣΙΜΟ ΝΕΡΟ	
Πόση και μαγείρευμα	3 %	Αποχωρητήρια	28 %
Νιπτήρες	8 %	Άρδευση κήπου	14 %
Μπάνια	21 %	Πλύσιμο αυτοκινήτου	2 %
Κουζίνα	10 %	Άλλα	7 %
Πλύσιμο ρούχων	7 %		
ΟΛΙΚΟ	49 %	ΟΛΙΚΟ	51 %

Εικόνα 7 - Οικιακές Χρήσεις μη πόσιμου νερού (36)

Ως ημιακάθαρο χαρακτηρίζεται το νερό που χρησιμοποιήθηκε για κάποιου είδους πλύσιμο, δηλαδή το νερό από το νιπτήρα, το νεροχύτη, το ντους και τα πλυντήρια ρούχων και πιάτων.

Στα αγγλικά το νερό αυτό χαρακτηρίζεται ως “Grey Water” (Γκρι νερό) ως ενδιάμεση κατάσταση από το πόσιμο νερό και τα λύματα, που αναφέρονται ως blackwater (μαύρο νερό).



Εικόνα 8 - Συστήματα ανακύκλωσης ημιακάθαρτου νερού (36)

Σε πολλά μέρη, συμπεριλαμβανομένων των νησιών του Αιγαίου και της Κύπρου, συλλέγεται χωριστά από τα λύματα και επαναχρησιμοποιείται για το καζανάκι και για τον κήπο, είτε απευθείας είτε μέσω κάποιου συστήματος προεπεξεργασίας.

Εκτιμάται ότι μπορεί να γίνει εξοικονόμηση στην κατανάλωση μέχρι και 40-45% εάν αξιοποιηθεί το νερό αυτό εκ νέου για τις χρήσεις που δεν απαιτούν καθαρό νερό. Ένα σύστημα προεπεξεργασίας για τη χρήση του νερού αναφέρεται ενδεικτικά ότι έχει συνολικό κόστος εγκατάστασης 3600 € για 1 m³ ανά ημέρα, παροχή που μπορεί να καλύψει περίπου 10 άτομα. Αναφέρεται ότι στην Κύπρο επιχορηγούνται τέτοια συστήματα (36).

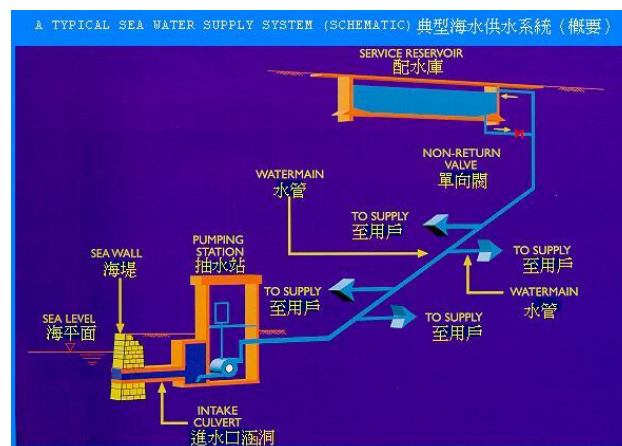
Για την χρήση στο καζανάκι δεν απαιτείται στην πραγματικότητα προεπεξεργασία και συχνά η μόνη απαιτούμενη εγκατάσταση είναι μια ξεχωριστή δεξαμενή με τις απαραίτητες σωληνώσεις.

Από την άλλη η χρήση νερού που περιέχει σαπούνι και απορρυπαντικό θέλει περαιτέρω εξέταση για την περίπτωση που προορίζεται για άρδευση χωρίς προεπεξεργασία.

2.2.3.3 Χρήση θαλασσινού νερού για καζανάκι

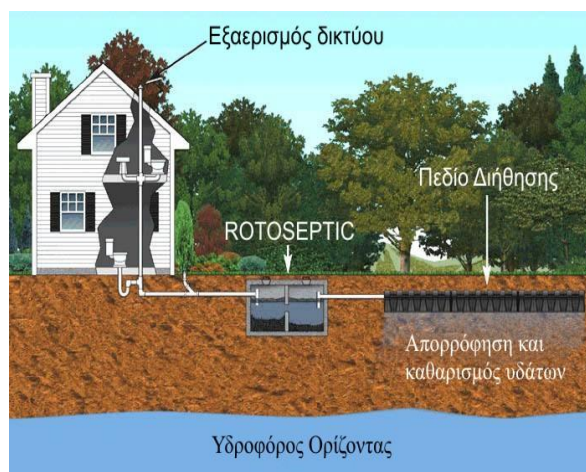
Στην περίπτωση που υπάρχει δυνατότητα παροχής θαλασσινού νερού, είναι δυνατόν με ελάχιστη επεξεργασία να χρησιμοποιηθεί στο καζανάκι. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, χρησιμοποιείται από το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού στο Χονγκ Κονγκ εδώ και δεκαετίες και η προεπεξεργασία περιλαμβάνει μόνο φίλτρα για την κατακράτηση των μεγαλύτερων σωματιδίων και χλωρίωση (19).

Το εμπόδιο για την ιδιωτική χρήση αυτού του συστήματος είναι οι νομικοί περιορισμοί για την άντληση και αποβολή νερού στον αιγιαλό.



Εικόνα 9 - Σύστημα παροχής θαλασσινού νερού (19)

2.2.3.4 Επεξεργασία λυμάτων για πότισμα



Εικόνα 10 - Οικιακός βιολογικός καθαρισμός (37)

Υπάρχουν αντίστοιχες συσκευές που επεξεργάζονται τα λύματα για να χρησιμοποιηθούν για άρδευση. Για τις ανάγκες των καλλιεργειών θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν ανεπεξέργαστα. η ανάγκη του συστήματος αφορά την ανθρώπινη υγιεινή. Τα κόστη είναι συγκρίσιμα με αυτά της επεξεργασίας ημιακάθαρτου νερού.

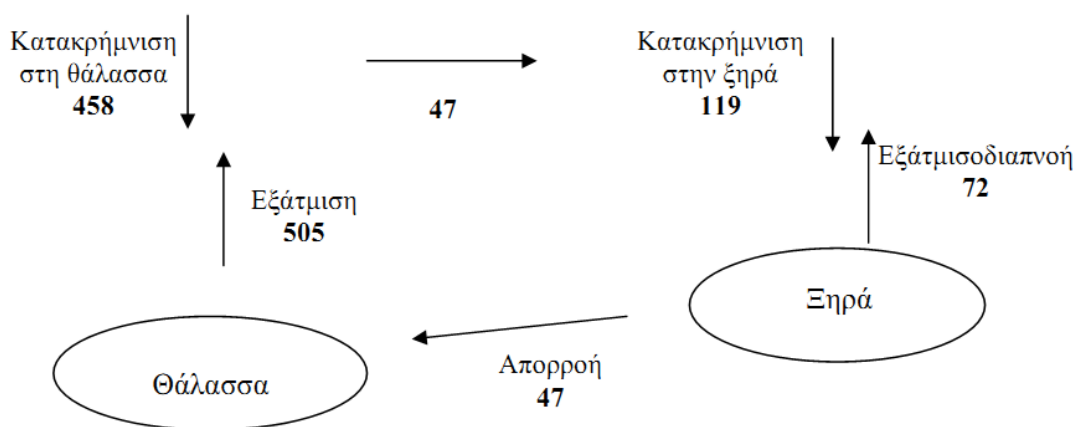
Το μειονέκτημα των οικιακών βιολογικών καθαρισμών είναι ότι δε μπορούν να λειτουργήσουν εάν το νερό περιέχει χλώρια καθαρισμού (37), που περιορίζει τη δυνατότητα συνύπαρξης με τη χρήση ημιακάθαρτου.

2.2.3.5 Συλλογή βρόχινου νερού

Από την αρχαιότητα υπήρχαν σε πολλούς πολιτισμούς συστηματικές μέθοδοι συλλογής του νερού της βροχής, ιδιαίτερα στην Ελλάδα. Στα νησιά υπάρχουν στέρνες σχεδιασμένες για αυτό το σκοπό καθώς και παραδοσιακοί τρόποι καθαρισμού του νερού μέσω φίλτρων.

Τόσο η ικανότητα του βρόχινου νερού να καλύψει τις ανάγκες των κατοίκων όσο και η αναπλήρωση των αποθεμάτων του υδροφόρου ορίζοντα μπορούν να εξεταστούν με τα δεδομένα της απορροής και της κατακρήμισης.

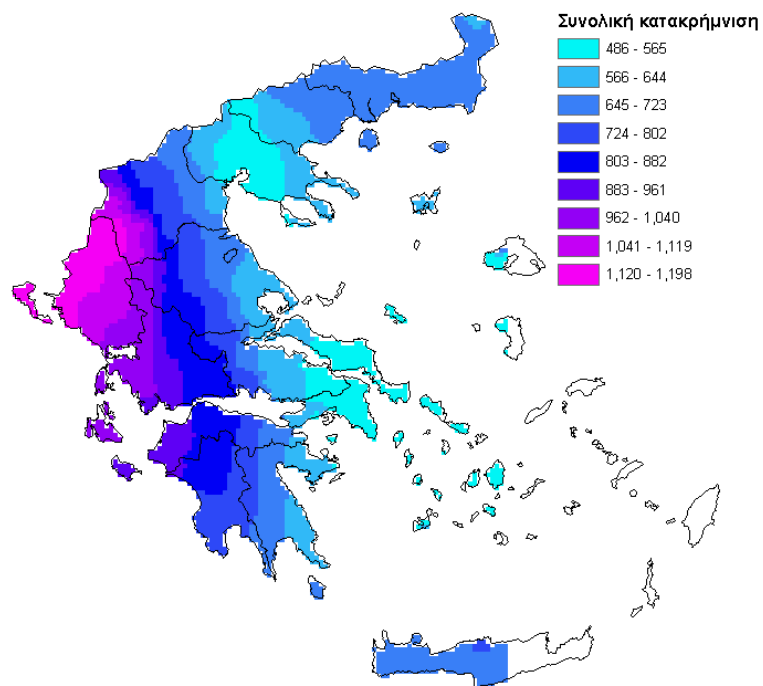
Ως κατακρήμιση ορίζεται το φαινόμενο κατά το οποίο οι υδρατμοί που κυκλοφορούν στην ατμόσφαιρα συμπυκνώνονται και επιστρέφουν στο έδαφος και στη θάλασσα. Ο όρος αυτός περιλαμβάνει τη βροχή, το χιόνι και το χαλάζι. Απορροή καλείται η επιστροφή μέρους του νερού αυτού στη θάλασσα είτε επιφανειακά είτε υπόγεια (38). Η διαφορά μεταξύ των δύο τιμών είναι ίση με την ποσότητα του νερού που εξατμίστηκε εκ νέου μετά την κατακρήμιση.



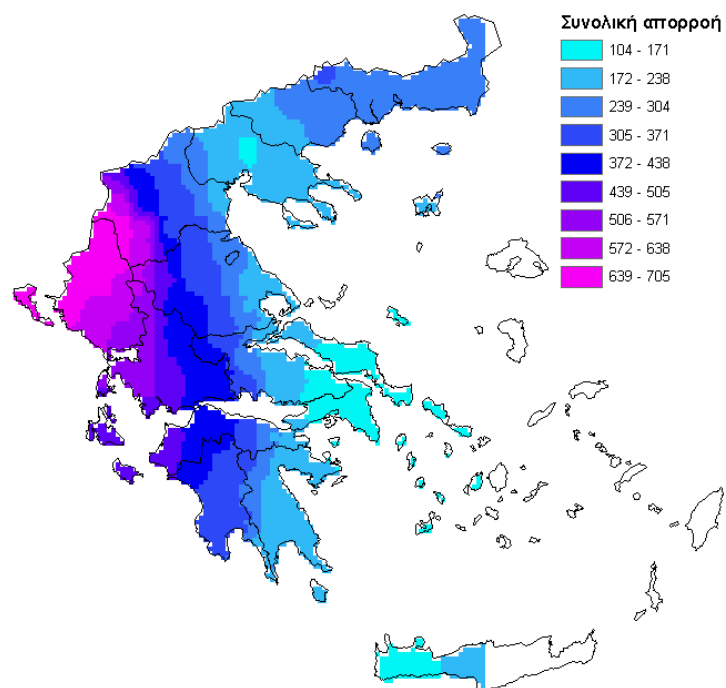
Εικόνα 11 - Υδρολογικός κύκλος (οι ποσότητες του νερού σε 1000 κυβικά ανά έτος (38))

Οι τιμές κατακρήμισης μετρώνται σε mm του μέσου ύψους της στάθμης ενός δοχείου συλλογής βρόχινου νερού για κάθε περιοχή (μέση ετήσια τιμή). Η τιμή αυτή είναι ισοδύναμη με λίτρα/m² επιφάνειας συλλογής. Για την περιοχή της

Ελλάδας και συγκεκριμένα των νησιών οι τιμές απορροής και κατακρήμισης εμφανίζονται ως εξής:



Εικόνα 12 - Χάρτης συνολικής κατακρήμισης για την Ελλάδα (6)



Εικόνα 13 - Χάρτης συνολικής απορροής για την Ελλάδα (6)

Ενδεικτικά, στις χειρότερες περιπτώσεις η ετήσια κατακρήμνιση παίρνει τιμές γύρω στα 450 mm. Από τις τιμές αυτές εκτιμάται ότι οι απώλειες κατά τη συλλογή είναι περίπου 10% (39). Συνεπώς στη δυσμενέστερη περίπτωση των 450 mm, εάν υπάρχει μια επιφάνεια συλλογής 50 m² (όπως οι στέγες των σπιτιών, που στις Κυκλάδες πήραν το σχήμα τους για το σκοπό αυτό), μπορούν θεωρητικά να συλλεγούν περίπου 20 m³ ετησίως. Αυτό, υποθέτοντας ότι υπάρχει ικανότητα συντήρησης του νερού, δίνει ημερήσια τιμή περίπου 55 λίτρα.

Η τιμή αυτή θα ληφθεί υπ' όψιν στο ποσοστό των αναγκών που καλούνται να καλύψουν οι υπόλοιπες πηγές

Όσον αφορά το θέμα της ποιότητας, γενικά το βρόχινο νερό είναι καθαρότερο από το νερό που συλλέγεται από ποτάμια ή λίμνες. Εντούτοις είναι δυνατόν να συλλεγεί μολυσμένο λόγω σωματιδίων σκόνης στον αέρα, της παρουσίας διάφορων ακαθαρσιών στην επιφάνεια συλλογής ή της γενικότερης ρύπανσης από άλλες δραστηριότητες στην περιοχή. Συνεπώς πάντα χρειάζεται κάποιου είδους προεπεξεργασία, ανάλογα με την προοριζόμενη χρήση (40).

2.2.4 Συμπεράσματα - Σενάρια ποιότητας παρεχόμενου νερού και απαιτούμενη ποσότητα πόσιμου

Για την ικανοποίηση των οικιακών αναγκών με αφαλάτωση, διακρίνονται τρεις περιπτώσεις, ανάλογα με την ποιότητα του νερού που υπάρχει ήδη διαθέσιμο. Τα εύρη συγκεντρώσεων για κάθε περίπτωση ορίστηκαν με τα εξής κριτήρια:

-Μέχρι 1000 TDS το νερό θεωρείται γλυκό και θεωρητικά πόσιμο.

-Μέχρι 3000 TDS καλύπτεται η ανοχή σε ποιότητα πολύ περισσότερων δραστηριοτήτων με μεγαλύτερη ασφάλεια.

-Μέχρι 17000 TDS είναι οι αναμενόμενες τιμές αλατότητας του νερού γεώτρησης στις Κυκλάδες. Συνεπώς η τρίτη κατηγορία αφορά κυρίως την αφαλάτωση θαλασσινού νερού.

-Η συγκέντρωση 38000 TDS είναι η μέση αλατότητα του θαλασσινού νερού του Αιγαίου και η ενδεικτική μέγιστη τιμή για το τροφοδοτικό νερό.

2.2.4.1 Ελαφρώς υφάλμυρο (1000 ~ 3000 TDS)

-Θεωρητικά μπορεί μόνο το 10% του καταναλισκόμενου νερού να χρειάζεται να αφαλατωθεί, ενδεικτικά περίπου 15 λίτρα ανά άτομο ημερησίως.

-Για τα πλυντήρια και το ντους αναμένεται να είναι κατάλληλο το νερό μετά από απολύμανση, απομάκρυνση των μεγαλύτερων σωματιδίων και αποσκλήρυνση.

-Για το καζανάκι κατά πάσα πιθανότητα αρκεί να γίνει απλώς απολύμανση, ενώ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και η αποβαλλόμενη άλμη από την αφαλάτωση, καθώς δεν θα ξεπεράσει τα 10000 TDS.

-Υπάρχουν αρκετές καλλιέργειες που μπορούν να ποτιστούν με το νερό αυτό, καθώς και τα περισσότερα είδη ζώων κτηνοτροφίας.

-Με τις παραδοχές αυτές, στην περίπτωση της μονοκατοικίας οι οικιακές ανάγκες σε πόσιμο νερό μπορούν να γίνουν με τη συλλογή βρόχινου νερού.

Υποθέτοντας τις δυσμενέστερες αναμενόμενες συνθήκες, θα είχαμε 450 mm βροχόπτωση και μια οικογένεια 4 ατόμων σε μονοκατοικία 60 m² χωρίς επιπλέον στέγες, η συλλογή βρόχινου νερού από τη στέγη θα απέφερε περίπου 16 λίτρα την ημέρα ανά άτομο, που σύμφωνα με τη βιβλιογραφία είναι αρκετά για πόση και μαγείρεμα. Οι υπόλοιπες ανάγκες μπορούν να καλυφθούν με την πηγή υφάλμυρου νερού.

2.2.4.2 Έντονα υφάλμυρο/ελαφρώς αλμυρό (3000~17000 TDS)

-Τουλάχιστον το 42,7% του συνολικού νερού αναμένεται να χρειάζεται να αφαλατωθεί (μόνο για τη βρύση και τα πλυντήρια). Ο μέσος όρος αυτός αντιστοιχεί σε περίπου 64 λίτρα ημερησίως ανά άτομο.

-Για το πλύσιμο το όριο ανοχής διαφέρει ανά άτομο. Στη δυσμενέστερη περίπτωση που θα πρέπει να αφαλατωθεί και αυτό ανεβαίνει το απαιτούμενο ποσοστό αφαλάτωσης στο 59,5%. Ο μέσος όρος αυτός αυτό αντιστοιχεί σε περίπου 90 λίτρα ανά άτομο.

-Για το καζανάκι ομοίως, αλλά για τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στην περίπτωση της χρήσης της άλμης θα ήταν ασφαλέστερη η αραιώσή της με ημιακάθαρτο νερό.

-Γενικά δεν είναι ασφαλές να χρησιμοποιηθεί για καλλιέργειες, αλλά για τις μικρότερες τιμές του εύρους (μέχρι ~5000 TDS) θεωρείται είναι ασφαλές για

ορισμένα φυτά και για τα περισσότερα ζώα στην κτηνοτροφία. Ειδικά για τα πρόβατα θεωρείται ασφαλές σε όλο του το εύρος.

-Υποθέτοντας ξανά, για την περίπτωση της μονοκατοικίας, την παροχή 16 λίτρων ημερησίως ανά άτομο από το βρόχινο νερό, η απαιτούμενη ποσότητα νερού από αφαλάτωση βρίσκεται μεταξύ 48 και 74 λίτρων ανά άτομο.

2.2.4.3 Αλμυρό Νερό (17000 ~ 38000 TDS)

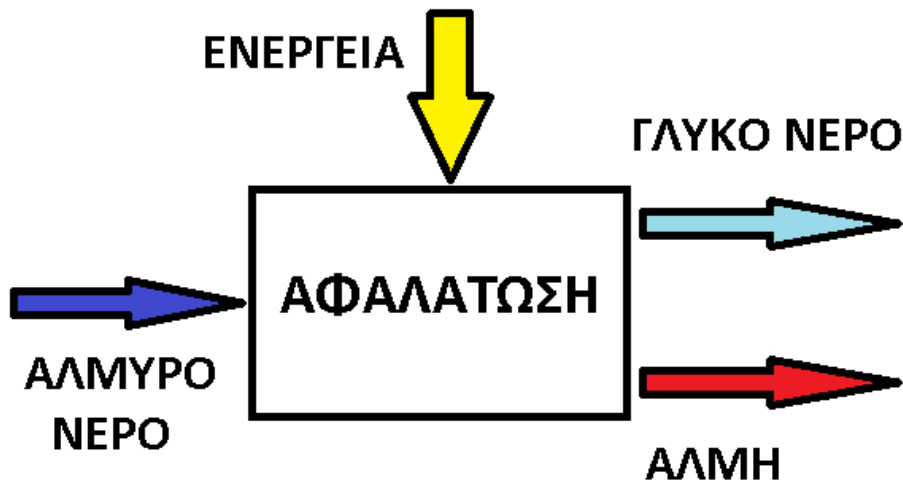
-Το 59,5% του νερού πρέπει να αφαλατωθεί. Η ποσότητα αυτή ενδεχομένως να μπορεί να μειωθεί εάν το νερό γίνεται με αλμυρό νερό και ξεβγάζεται με γλυκό. Δεν υπάρχουν τιμές για να γίνει εκτίμηση σε αυτή την περίπτωση.

-Για το καζανάκι η άλμη είναι ασφαλέστερο να αραιωθεί με ημιακάθαρτο νερό πριν χρησιμοποιηθεί ενώ εξαρτάται από το υλικό των σωληνώσεων. Επίσης είναι ανασφαλές να απορριφθεί στο χώμα.

-Με τις ίδιες υποθέσεις για το βρόχινο νερό, οι ανάγκες ανέρχονται σε 74 λίτρα την ημέρα ανά άτομο.

3 Γενικά περί αφαλάτωσης

Ο όρος αφαλάτωση περιγράφει μια διαδικασία στην οποία απομακρύνουμε τις διάφορες ανεπιθύμητες ουσίες που βρίσκονται διαλυμένες σε μια ποσότητα νερού (1). Η κυριότερη ουσία που απαιτείται να απομακρυνθεί είναι το κοινό επιτραπέζιο αλάτι (NaCl).



Εικόνα 14 - Η βασική αρχή λειτουργίας της αφαλάτωσης (59)

Η αφαλάτωση χρησιμοποιεί ενέργεια (θερμική ή/και ηλεκτρική) για να διαχωρίσει το εισερχόμενο θαλασσινό νερό σε πόσιμο νερό και σε υψηλής συγκέντρωσης άλμη, που είναι απόβλητο της διαδικασίας (3).

Οι διάφορες μέθοδοι αφαλάτωσης χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες, στις θερμικές μεθόδους και στις μεθόδους μεμβρανών.

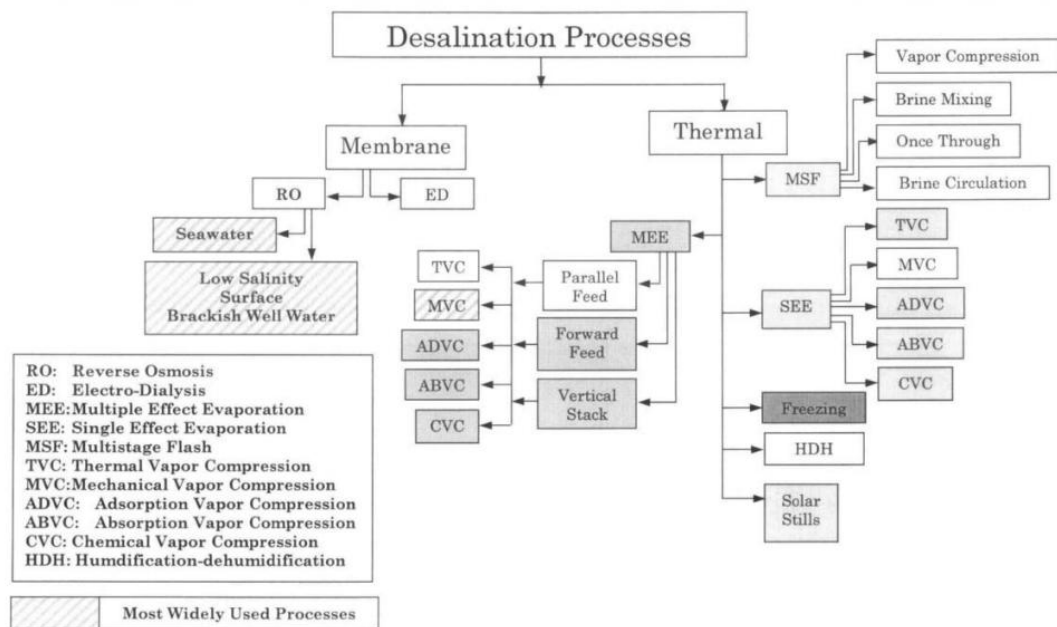
Οι θερμικές μέθοδοι στηρίζονται στην αλλαγή φάσης για το διαχωρισμό του νερού από το αλάτι. Ο διαχωρισμός μπορεί να γίνει είτε μέσω της εξάτμισης του νερού και της εκ των υστέρων συμπύκνωσής του, είτε μέσω της στερεοποίησης του νερού σε μορφή πάγου και της ακόλουθης υγροποίησης του (1). Χαρακτηριστικά οι μέθοδοι αυτοί έχουν απλή λειτουργία απαιτούν λιγότερο σύνθετες κατασκευές και εξελιγμένη τεχνολογία από αυτές των μεμβρανών (3).

Το μειονέκτημα των θερμικών μεθόδων είναι οι υψηλές απαιτήσεις σε θερμική ενέργεια. Η απόδοση τους μετράται με δύο κύριες παραμέτρους: Το Gain Output Ratio (GOR) (ή Performance Ratio), που ορίζεται ως ο λόγος της ποσότητας παραγόμενου νερού προς τον λόγο αρχικού παραγόμενου ατμού, και η ειδική

κατανάλωση ενέργειας, που ορίζεται ως ο λόγος της συνολικής καταναλισκόμενης ενέργειας(σε kWh ή MJ) προς το παραγόμενο νερό σε m³.

Οι μέθοδοι που βασίζονται σε μεμβράνες στηρίζονται στην επιλεκτικότητα των μεμβρανών μέσω της οποίας μπορούν να διαχωρίσουν τα άλατα από το νερό όταν αυτό διέρχεται μέσα από αυτές. Χωρίζονται επίσης σε δυο κατηγορίες: Τις μεθόδους που λειτουργούν με υψηλή πίεση (π.χ. αντίστροφη όσμωση) και τις μεθόδους που λειτουργούν με βάση τη διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού (όπως η ηλεκτροδιάλυση) (3).

Αναλυτικότερα οι μέθοδοι χωρισμένες σε κατηγορίες αναπτύσσονται στο παρακάτω διάγραμμα:



Εικόνα 15 – Ταξινόμηση μεθόδων αφαλάτωσης σε κατηγορίες με τη διεθνή τους ονομασία (2)

Η πλέον χρησιμοποιούμενη μέθοδος παγκοσμίως είναι η αντίστροφη όσμωση (RO). Οι θερμικές μέθοδοι έχουν ευρεία χρήση στην Μέση Ανατολή, όπου αφθονούν οι πηγές θερμικής ενέργειας με χαμηλό κόστος (πετρέλαιο, ηλιακή ακτινοβολία) ενώ το τροφοδοτικό νερό είναι κατά κανόνα εξαιρετικά αλμυρό (42000-51000 ppm) και σε υψηλότερη θερμοκρασία, δημιουργώντας προβλήματα στην χρήση της αντίστροφης όσμωσης λόγω διαβρωτικότητας (2).

3.1 Αντίστροφη Όσμωση (Reverse Osmosis)

Η μέθοδος αυτή είναι σήμερα (έτος 2013) η κυρίαρχη στην βιομηχανία της αφαλάτωσης. Στη μέθοδο αυτή αναπτύσσεται υψηλή πίεση στο νερό το οποίο στη συνέχεια περνάει από ειδικές μεμβράνες, των οποίων το μοριακό πλέγμα επιτρέπει στα μόρια του νερού να περνάνε ενώ εμποδίζει τη διέλευση στα ιόντα του αλατιού.

Η **όσμωση** είναι το φαινόμενο στο οποίο δυο διαλύματα που έχουν διαφορετική συγκέντρωση αλάτων και διαχωρίζονται από μια ημιπερατή μεμβράνη τείνουν να ανταλλάξουν μόρια νερού μέχρι να εξισωθούν οι συγκεντρώσεις τους. Αυτό επιφέρει την αύξηση του όγκου του νερού από τη μεριά του διαλύματος προς την μεριά που αρχικά είχε τη μεγαλύτερη συγκέντρωση. Συνεπώς κατά την όσμωση δημιουργείται πίεση (3).

Εάν ασκηθεί τεχνητά πίεση από τη μεριά του αλμυρότερου διαλύματος το φαινόμενο θα λειτουργήσει αντίστροφα, προκαλώντας ροή νερού προς το διάλυμα με τη μικρότερη συγκέντρωση, παράγοντας έτσι νερό χαμηλότερο σε αλατότητα. Το φαινόμενο αυτό λέγεται **αντίστροφη όσμωση** και η είναι η βάση της μεθόδου αυτής. Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να αφαιρεθούν μέχρι και το 99,5% των διαλυμένων ιόντων του τροφοδοτικού νερού (3).

Η απόδοση της μεθόδου αυτής καθορίζεται από την πίεση λειτουργίας και το ποσοστό ανάκτησης νερού ($\frac{kg \text{ προϊόντος}}{kg \text{ τροφοδοτικό υ νερού}}$), και επηρεάζεται πάρα πολύ από την αλατότητα του τροφοδοτικού νερού. Για υφάλμυρο νερό το ποσοστό ανάκτησης είναι 75-85% και η πίεση λειτουργίας 15 bar, ενώ για θαλασσινό νερό οι αντίστοιχες τιμές είναι 40-50% και 60-80 bar. Η πίεση λειτουργίας καθορίζει το ειδικό κόστος ηλεκτρικού ρεύματος, καθώς το 80% της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται στις αντλίες υψηλής πίεσης (3).

Η μέθοδος αυτή απαιτεί περίπου 3,5-7 kWh/m³ ηλεκτρικής ενέργειας και δεν απαιτεί θερμική ενέργεια. Χρησιμοποιώντας τις πιο σύγχρονες τεχνολογίες η τιμή αυτή μπορεί να πέσει και κάτω των 2 kWh/m³, με αντίκτυπο όμως στα κόστη κατασκευής (3).

Η μέθοδος έχει υπολογίσιμα κόστη συντήρησης γιατί οι μεμβράνες θέλουν αντικατάσταση κάθε 3-5 χρόνια (1) και μπορούν να κοστίσουν το 5%-20% του αρχικού κόστους. Επίσης θέλει υπολογίσιμη προ-επεξεργασία του νερού, που

περιλαμβάνει τη χρήση θειικού οξέως, καυστικής σόδας, χλωρίου και αφαιρετικών χλωρίου(πχ διθειούχο νάτριο) (41). Η απόδοση της μεθόδου επηρεάζεται πολύ από την αλατότητα του νερού.

Αφαλάτωση αντίστροφης όσμωσης με «απλή διέλευση» παράγει νερό με 500 TDS (3). Σε θαλασσινό νερό με 35000 TDS η συγκέντρωση σε NaCl είναι περίπου 30200 ppm(86.2% του συνολικού), που σημαίνει ότι αν η κατακράτηση των μεμβρανών είναι ίση σε όλα τα στοιχεία, παράγουμε νερό με 431 ppm NaCl. Βάσει των προδιαγραφών του EPA (2.2.1.2.1) και των υπολογισμών που έγιναν, αυτή η συγκέντρωση δεν ενδείκνυται για μακροπρόθεσμη χρήση γιατί κάνει το νερό ανθυγιεινό. Πολύ καλύτερη ποιότητα νερού μπορεί να φέρει η αντίστροφη όσμωση «τριπλής διέλευσης», με μεγαλύτερο όμως κόστος.

3.2 Θερμικές μέθοδοι

Η βασική τους αρχή είναι η απόσταξη. Προσδίδουμε θερμότητα στο νερό ώστε να εξατμιστεί, αφήνοντας πίσω τα διαλυμένα στερεά. Γενικά οι μέθοδοι αυτοί δίνουν νερό υψηλότερης καθαρότητας από τις μεθόδους που στηρίζονται στις μεμβράνες αλλά έχουν μεγαλύτερες ενεργειακές απαιτήσεις.

3.2.1 Multi Stage Flash

Η βασική αρχή λειτουργίας τους είναι η ακόλουθη (5):

Το τροφοδοτικό νερό θερμαίνεται μέχρι λίγο πριν το σημείο κορεσμού και στη συνέχεια εισάγεται στην πρώτη βαθμίδα της μονάδας, στην οποία υπάρχει υποπίεση, προκαλώντας την ατμοποίηση μέρους του νερού. Ο ατμός αυτός εν συνεχεία ψύχεται κατά την επαφή με τους σωλήνες που μεταφέρουν το τροφοδοτικό νερό.

Το μέρος του τροφοδοτικού νερού που δεν εξατμίστηκε παίρνει τη μορφή συμπυκνωμένης άλμης, η οποία οδηγείται στην επόμενη βαθμίδα, στην οποία η πίεση είναι ακόμα χαμηλότερη από αυτή της προηγούμενης, προκαλώντας την εξάτμιση μιας ακόμα ποσότητας νερού.

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι την τελευταία βαθμίδα της μονάδας, με διαδοχική πτώση θερμοκρασίας και πίεσης σε κάθε έναν. Στην έξοδο του τελευταίου η άλμη απορρίπτεται.

Η μέθοδος αυτή καθαρίζει το νερό μέσω της απόσταξης και στηρίζεται στην ανάκτηση λανθάνουσας θερμότητας για να εξασφαλίσει την απόδοσή της. Η εξοικονόμηση ενέργειας είναι ανάλογη του αριθμού των βαθμίδων.

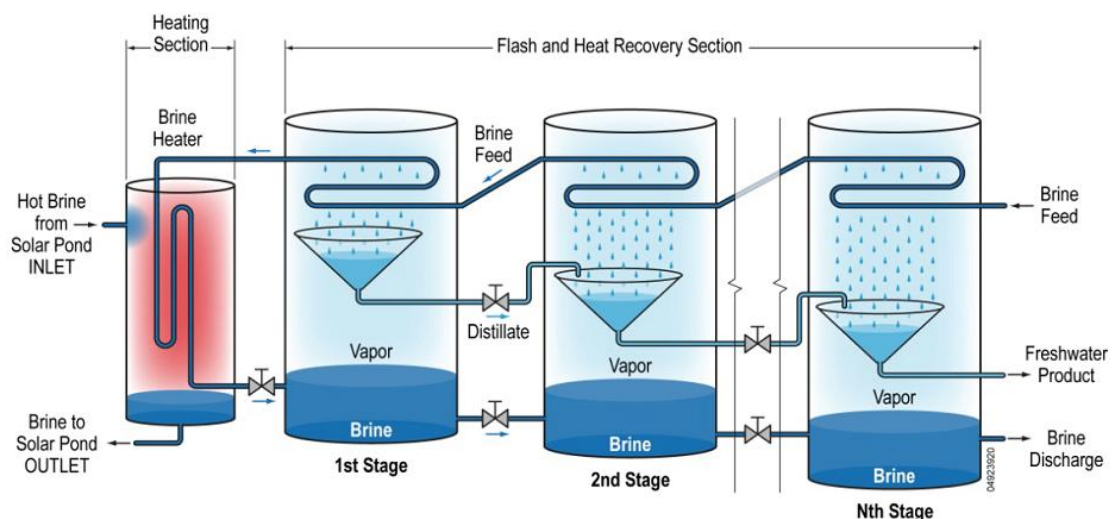
Η μέθοδος αυτή έχει PR περίπου ίσο με 8 και ειδικό κόστος 290 kJ/m^3 θερμικής ενέργειας για 20 βαθμίδες (5), και περίπου $3\text{-}5 \text{ kWh/m}^3$ ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με τον αριθμό των βαθμίδων (42).

Οι επικαθήσεις αλάτων (scaling) και η διάβρωση είναι ένα υπολογίσιμο πρόβλημα λόγω της χρήσης αλμυρού νερού σε υψηλή θερμοκρασία. Για το λόγο αυτό η διαδικασία έχει απαιτήσεις όσον αφορά την προεπεξεργασία του νερού για να περιοριστούν οι επικαθήσεις αλάτων (που μειώνουν τη συναγωγή στους εναλλάκτες). Εκτός αυτού απαιτείται απαερίωση, φιλτράρισμα σωματιδίων και απολύμανση για να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία της μονάδας (2).

Επίσης απαιτείται χρήση χημικών που περιορίζουν τη δημιουργία του αφρού, ο οποίος προκαλεί ανάμιξη σταγονιδίων άλμης με το παραγόμενο νερό, μειώνοντας την ποιότητά του.

Η μέθοδος είναι εξαιρετικά αξιόπιστη και σήμερα οι συμβατικές μονάδες MSF μπορούν να λειτουργούν μέχρι και για 2 χρόνια χωρίς ολική παύση λειτουργίας για συντήρηση (2).

Η διαδικασία περιγράφεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 16 – Διαδικασία MSF (43)

3.2.2 Multiple Effect Distillation (Πολυβάθμια εξάτμιση)

Παρόμοια με την MSF, όμως δεν θερμαίνεται ευθέως το τροφοδοτικό νερό. Ο ατμός περνάει μέσα από σωλήνες πάνω στους οποίους ψεκάζεται το τροφοδοτικό νερό (αντίστροφα από ότι στο MSF), δημιουργώντας ένα λεπτό φιλμ πάνω στη σειρά των σωλήνων. Όμοια με πριν, μέρος του νερού εξατμίζεται ενώ το υπόλοιπο παίρνει τη μορφή άλμης. Ο ατμός που παράχθηκε χρησιμοποιείται για να επαναλάβει τη διαδικασία στο επόμενο “effect” (διεθνής ορολογία για τις βαθμίδες του MED), σε χαμηλότερη πίεση και θερμοκρασία (5).

Η κρίσιμη διαφορά από το MSF είναι η δυνατότητα του MED να λειτουργήσει είτε σε υψηλές (110 °C) είτε σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (από 71.7°C μέχρι και 55°C θερμοκρασία εισόδου).

Η λειτουργία σε χαμηλή θερμοκρασία περιορίζει σημαντικά τα προβλήματα της διάβρωσης και των επικαθίσεων αλλά επιπλέον δημιουργεί τη δυνατότητα αξιοποίησης χαμηλότερου επιπέδου θερμότητας, όπως η απόρριψη θερμότητας των εργοστασίων ηλεκτρικής ενέργειας (5). Από την άλλη, κατά τη λειτουργία σε χαμηλή θερμοκρασία αυξάνεται δραστικά η ειδική επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας, πράγμα που αυξάνει το κατασκευαστικό κόστος (2). Δεν επηρεάζει ιδιαίτερα το βαθμό απόδοσης αν και γίνεται μια μικρή εξοικονόμηση στην ειδική ενέργεια διότι μειώνονται οι απαιτήσεις στην αύξηση της αισθητής θερμότητας.

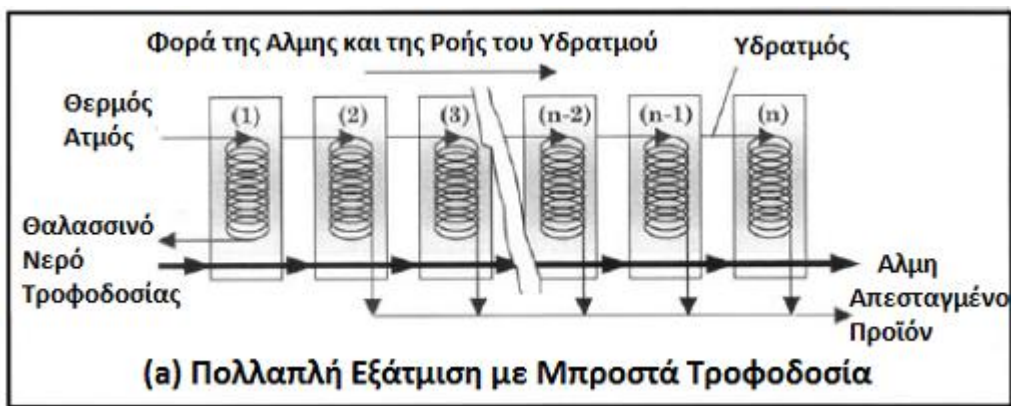
Οι απαιτήσεις τόσο σε θερμική όσο και σε ηλεκτρική ενέργεια είναι χαμηλότερες από τις αντίστοιχες του MSF (42), ενώ το ίδιο Performance Ratio μπορεί να επιτευχθεί για μικρότερο αριθμό βαθμίδων, μειώνοντας έτσι τα κόστη κατασκευής και λειτουργίας. Επίσης έχει μεγαλύτερη ανοχή στις αυξομειώσεις παροχής ατμού από το MSF και συνεπώς μεγαλύτερη ευελιξία στη λειτουργία του (43). Οι μονάδες που λειτουργούν με MED είναι συγκρίσιμα αξιόπιστες με τις αντίστοιχες που βασίζονται στο MSF, και μπορούν επίσης να λειτουργούν για πάνω από 2 χρόνια χωρίς πλήρη παύση για συντήρηση (2).

Επίσης σημαντικό είναι ότι η κατασκευή του απαιτεί κυρίως απλά υλικά, όπως αλουμίνιο και συμβατικά πλαστικά. Για τα δεδομένα της Ελλάδας και των περισσότερων χωρών αυτό έχει ιδιαίτερη αξία γιατί σε αντίθεση με την RO δεν περιλαμβάνει ούτε το επιπλέον κόστος της εισαγωγής ούτε της κατασκευής εργοστασίου εξειδικευμένης υψηλής τεχνολογίας.

Η απόδοση της μονάδας επηρεάζεται πάρα πολύ από τον αριθμό των effects (2).

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές διατάξεις για τη μέθοδο MED, κάθε μια με διαφορετικά μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα. Ανάλογα με τη διάταξη της παροχής του τροφοδοτικού νερού, άλμης και ατμού, χωρίζονται σε Forward Feed, Backward Feed, Parallel Feed, Parallel-Cross Feed. Σε αυτές προστίθενται οι διατάξεις με συμπίεση ατμού, που διακρίνονται σε Thermal Vapor Compression (TVC) και Mechanical Vapor Compression (MVC).

3.2.2.1 Forward Feed (Μπροστά τροφοδοσία)

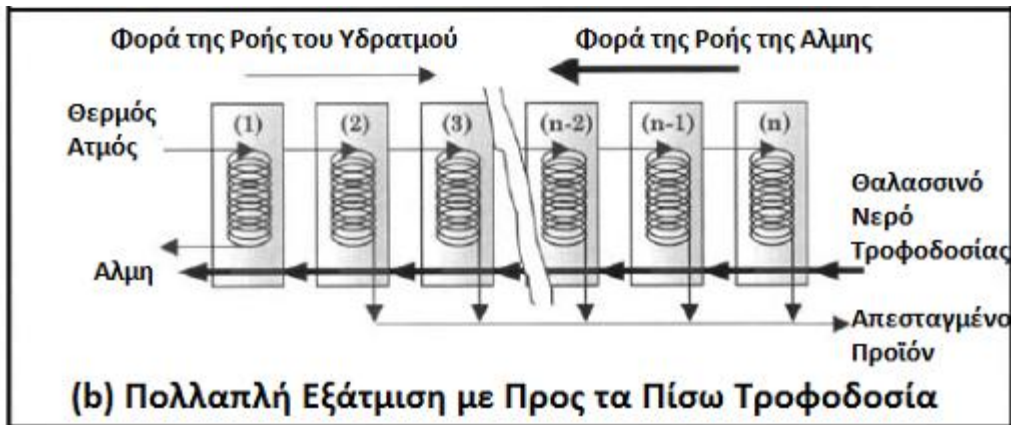


Εικόνα 17 - MED Forward Feed (1)

Στη διάταξη **Forward Feed** το τροφοδοτικό νερό ψεκάζεται στο πρώτο effect, μέρος του εξατμίζεται και η αποβαλλόμενη άλμη ψεκάζεται εκ νέου στο επόμενο effect, όπου η διαδικασία επαναλαμβάνεται με τη χρήση του ατμού που παράχθηκε στο προηγούμενο. Με τη συναλλαγή αυτή ο ατμός του προηγούμενου effect συμπυκνώνεται και εξέρχεται από το σύστημα ως απεσταγμένο νερό.

Η μέθοδος αυτή δίνει τη δυνατότητα να λειτουργήσει η μονάδα σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες. Χρησιμοποιείται κυρίως σε βιομηχανίες που επεξεργάζονται χαρτί ή ζάχαρη, αλλά όχι για την αφαλάτωση λόγω του ότι είναι λιγότερο απλή κατασκευή από την Parallel Feed (2).

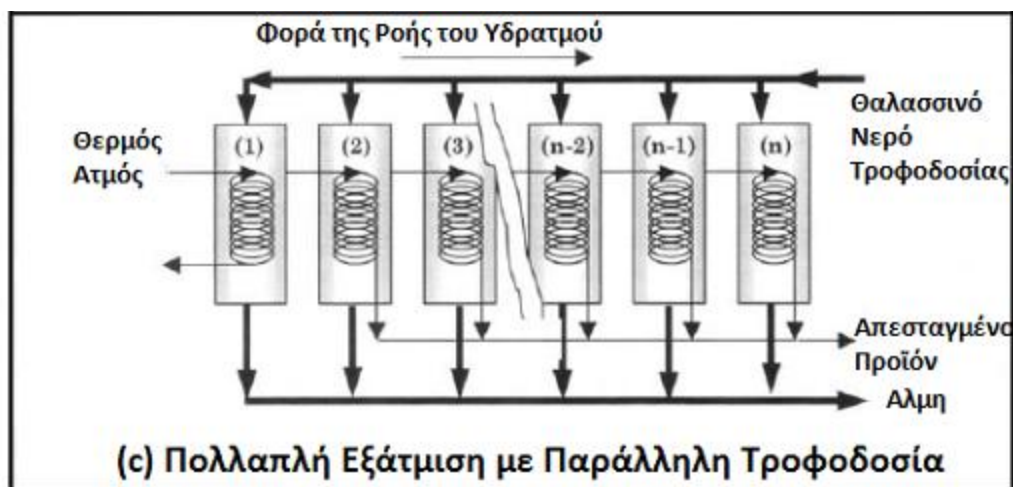
3.2.2.2 Backward Feed (Προς τα πίσω τροφοδοσία)



Εικόνα 18 - MED Backward Feed (1)

Στο Backward Feed το τροφοδοτικό νερό εισάγεται στο τελευταίο effect (με τη χαμηλότερη θερμοκρασία και πίεση), και προχωράει μέσα από τα διαδοχικά effect προς το αρχικό. Το μειονέκτημα της μεθόδου είναι η ανάγκη άντλησης του νερού από το ένα effect στο άλλο λόγω αυξανόμενης πίεσης, διότι αυξάνει το κόστος και την καταναλισκόμενη ενέργεια. Επιπλέον μεγιστοποιείται η θερμοκρασία και η αλατότητα της άλμης ταυτόχρονα, μεγιστοποιώντας στο πρώτο effect τη διάβρωση και το scaling. Για τους λόγους αυτούς η διάταξη είναι ακατάλληλη για την αφαλάτωση θαλασσινού νερού (1).

3.2.2.3 Parallel Feed (Παράλληλη τροφοδοσία)



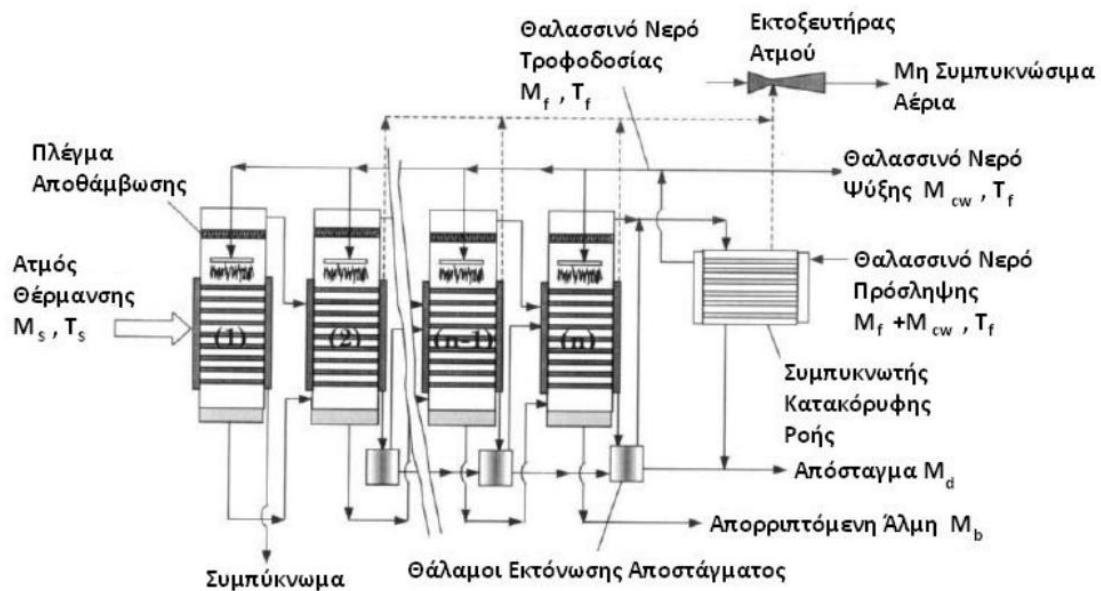
Εικόνα 19- MED Parallel Feed (1)

Κατά το Parallel Feed το τροφοδοτικό νερό εισέρχεται ταυτόχρονα σε κάθε effect στο δικό του ρεύμα. Όπως και πριν, ο παραγόμενος ατμός από το προηγούμενο effect χρησιμοποιείται για να εξατμίσει μέρος του νερού στο επόμενο effect.

Η διάταξη αυτή μαζί με τις παραλλαγές της είναι αυτή που χρησιμοποιείται βιομηχανικά για αφαλάτωση με MED. και έχει αποδειχθεί η αξιοπιστία της (2).

3.2.2.4 Parallel-Cross Feed (Παράλληλη - διασταυρωμένη τροφοδοσία)

Παρεμφερής με την Parallel Feed, κατά την Parallel-Cross Feed το τροφοδοτικό εισέρχεται σε παράλληλα ρεύματα σε όλα τα effect συγχρόνως όπως πριν, όμως η άλμη ανακυκλοφορεί στο επόμενο effect αντί να αποβάλλεται. Κατά τη διαδικασία αυτή η εξάτμιση επιτυγχάνεται και μέσω των εναλλακτών αλλά και μέσω εξάτμισης από τον όγκο της άλμης (2). Το αποτέλεσμα είναι ότι η εγκατάσταση είναι πιο πολύπλοκη, αλλά η απόδοση είναι μεγαλύτερη και επιπλέον μπορούν τα επιτευχθούν πολύ μεγαλύτερες τιμές στο ποσοστό ανάκτησης, μέχρι και 71,4%. Η διάταξη φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:

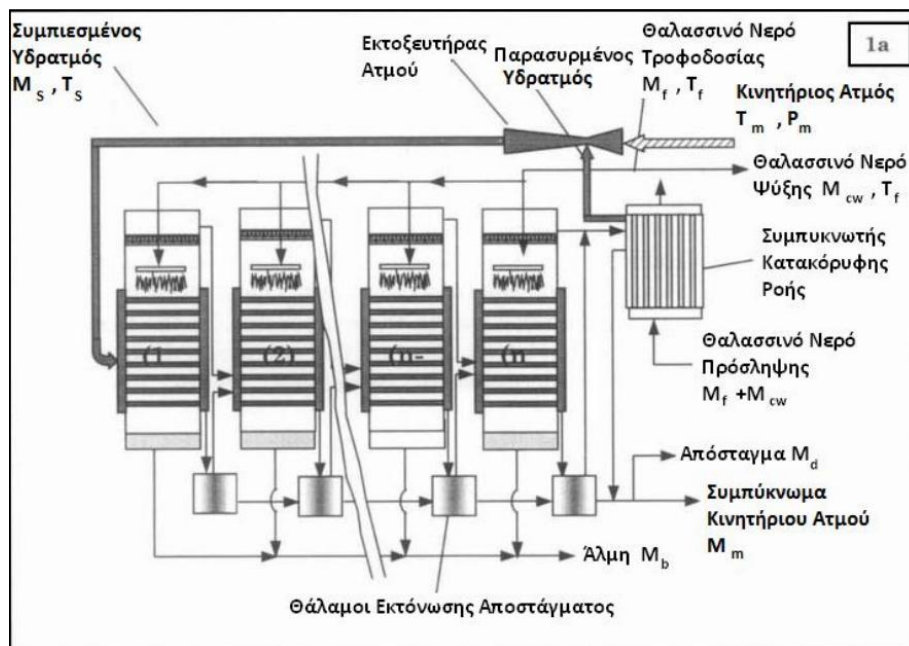


Εικόνα 61: Σχηματική Απεικόνιση Συστήματος Πολλαπλής Εξάτμισης με Παράλληλη/Διασταυρωμένη Ροή (MEE-PCF). [1]

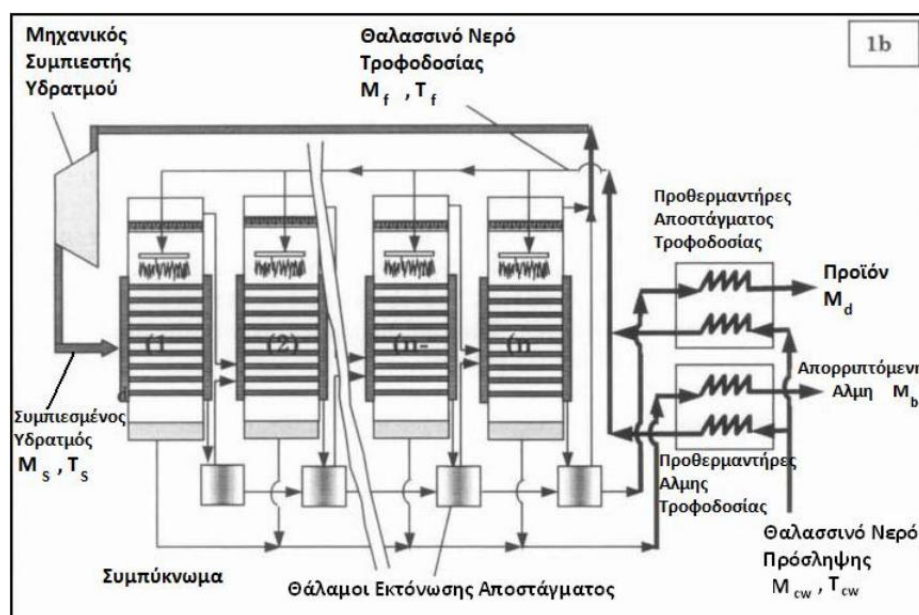
Εικόνα 20 - MED: Διάταξη Parallel-Cross Flow (1)

3.2.2.5 Thermal Vapor Compression /Mechanical Vapor Compression

Ο εξερχόμενος ατμός από το τελευταίο effect μπορεί αντί να υγροποιηθεί να ενωθεί με τον εισερχόμενο ατμό στο πρώτο effect, ανακυκλοφορώντας έτσι ένα μέρος της ενέργειας και μειώνοντας κατά συνέπεια την ειδική κατανάλωση θερμότητας. Αυτό επιτυγχάνεται είτε μέσω ενός εγχυτήρα (Steam Ejector) είτε μέσω ενός μηχανικού συμπιεστή, χαρακτηρίζοντας αντίστοιχα τις μεθόδους Thermal Vapor Compression (TVC) και Mechanical Vapor Compression (MVC). Οι διατάξεις αυτές φαίνονται στα παρακάτω σχήματα:



Εικόνα 21 – Διάταξη TVC (1)



Εικόνα 22 - Διάταξη MVC (1)

3.3 Σύγκριση χαρακτηριστικών απόδοσης των διαφορετικών μεθόδων

Η απόδοση των διαφορετικών διατάξεων που χρησιμοποιούνται στην αφαλάτωση μπορεί να συγκριθεί στον παρακάτω πίνακα. Οι τιμές αυτές αναφέρονται για μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας 90°C:

	MSF	MED Forward Feed	MED Parallel Feed	MED Parallel-Cross Feed
Αριθμός βαθμίδων	24	8	8	8
Performance Ratio	8	5,2	4,9	5,8
Ειδική επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας	259	212	335	255
Ποσοστό ανάκτησης	0,4	0,4	0,325	0,714
Αλατότητα εξερχόμενης άλμης	70.000	70.000	62.247	146.776
Ειδικός ρυθμός ροής νερού ψύξης	2,4	2,6	8,9	13,7
Ειδική ενέργεια άντλησης	8,3	4,12	7,78	9,85

Πίνακας 10 - Σύγκριση θερμικών μεθόδων αφαλάτωσης (2)

Αναφέρονται επίσης συγκεκριμένα για το MED-TVC τα στοιχεία απόδοσης ορισμένων εργοστασίων σε σύγκριση με τη θεωρητική μελέτη τους:

Εργοστάσιο αφαλάτωσης	ALBA		UMM AI-NAR		AL-JUBAIL	
Αριθμός βαθμίδων, n	4		6		8	
Παράμετροι λειτουργίας	Θεωρία	Πράξη	Θεωρία	Πράξη	Θεωρία	Πράξη
Πίεση παρεχόμενου ατμού, bar	21	21	2.8	2.8	2.7	2.7
Μέγιστη θερμοκρασία άλμης, °C	63	63	63	62	63	NA
Ελάχιστη θερμοκρασία άλμης, °C	48	48	44	43	42	NA
Θερμοκρασία τροφοδοτικού νερού, °C	43	43	40	40	40	NA
Παροχή ατμού, kg/s	8.5*2	8.3*2	11*2	10.65*2	15.5*2	NA
Θερμοκρασιακή πτώση ανά effect, °C (Thermo-compressor Design)	5	5	3.8	3.8	3	NA
Λόγος συμπίεσης	1.57	NA	1.7	NA	1.75	NA
Λόγος επέκτασης	120	NA	18.11	NA	18.7	NA

Λόγος κινητήριου προς παγιδευμένο ατμό	0.58	NA	0.885	NA	0.98	NA
Παραγόμενο απόσταγμα, kg/s	123	127	184.2	184.38	340.4	342.22
Gain output ratio	7.23	7.5	8.37	8.6	10.9	9.8
Ειδική κατανάλωση θερμότητας, kJ/kg	348.4	NA	292.1	287.5	223	NA
Ειδική κατανάλωση θερμότητας αντιστρεπτής μεταβολής, kJ/kg	127.7	NA	74.6	NA	56.44	NA
Ειδική επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας, $m^2/kg/s$	244.2	NA	335.6	310	452.2	NA
Ειδική καταστροφή θερμότητας αντιστρεπτής μεταβολής, kJ/kg/s	94.65	NA	54.24	NA	41.16	NA

Πίνακας 11 - Απόδοση μονάδων MED - Σφάλματα υπολογισμών (43)

Από τον παραπάνω πίνακα μπορώ να συμπεράνω ότι το υπάρχον μαθηματικό μοντέλο προσεγγίζει τις πραγματικές τιμές με αποδεκτό σφάλμα (~3%) για να μπορούν να βγουν συμπεράσματα από τους υπολογισμούς στο MED.

Επιπλέον παρατηρούνται οι ενδεικτικές τιμές για το Performance Ratio και της ειδικής κατανάλωσης θερμότητας σε σχέση με τον αριθμό των effects ώστε να μπορεί να γίνει σύγκριση με το σύστημα που μελετάται στην εργασία αυτή.

Συγκρίνοντας τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι το PR είναι πολύ μεγαλύτερο στο TVC απ' ότι στις διατάξεις χωρίς ανακυκλοφορία (10-11 έναντι 5-6 για 8 effects). Πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν ότι το TVC εδώ λειτουργεί σε χαμηλότερη θερμοκρασία αλλά σύμφωνα με τους υπολογισμούς που έγιναν αυτό επηρεάζει αμελητέα το PR (περίπου 2%).

Συγκεντρωτικά, τα χαρακτηριστικά των ευρύτερα χρησιμοποιούμενων μεθόδων μπορούν να συγκριθούν στον παρακάτω πίνακα:

Χρησιμοποιούμενη ενέργεια	Θερμική		Μηχανική	
	MSF	MED/TVC	MVC	RO
Μέθοδος	Εμπορική	Εμπορική	Εμπορική	Εμπορική
State of the Art	Εμπορική	Εμπορική	Εμπορική	Εμπορική
Παραγωγή Παγκοσμίως 2004 (Mm^3/d)	13	2	0.6	6
Κατανάλωση θερμότητας (kJ/kg)	250 – 330	145 - 390	--	--
Κατανάλωση ηλεκτρικής	3.0 - 5.0	1.5 - 2.5	8 - 15	2.5 - 7

ενέργειας (kWh/m ³)				
Κόστος μονάδας (\$/m ³ /d)	1500 - 2000	900 - 1700	1500 - 2000	900 - 1500
Χρόνος κατασκευής (μήνες)	24	18-24	12	18
Παροχή μονάδας (m ³ /d)	< 76000	< 36000	< 3000	< 20000
Ποσοστό ανάκτησης	10 - 25%	23 - 33%	23 - 41%	20 - 50%
Μέγιστη θερμοκρασία άλμης (°C)	90 - 120	55 - 70	70	45 (max)
Αξιοπιστία	Πολύ υψηλή	Πολύ υψηλή	Υψηλή	Μέτρια (για θαλασσινό νερό)
Συντήρηση (καθαρισμοί ανά έτος)	0.5 - 1	1 - 2	1-2	Πολλές φορές
Απαιτήσεις σε Pre-treatment	Απλές	Απλές	Πολύ Απλές	Απαιτητικές
Απαιτήσεις επίβλεψης	Απλές	Απλές	Απλές	Απαιτητικές
Ποιότητα παραγόμενου νερού(ppm)	< 10	< 10	< 10	200 - 500

Πίνακας 12 - Τεχνικοοικονομική σύγκριση χρησιμοποιούμενων μεθόδων αφαλάτωσης (42)

Παρατηρείται ότι για την κλίμακα στην οποία έγινε η μελέτη τα κόστη εγκατάστασης για τις μονάδες MED είναι συγκρίσιμα με τα αντίστοιχα για μονάδες αντίστροφης όσμωσης. Επιπλέον σύμφωνα με τον πίνακα αυτό η ειδική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και οι διάφορες απαιτήσεις στη λειτουργία της μονάδας είναι χαμηλότερες για το MED, ενώ ταυτόχρονα έχει μεγαλύτερη αξιοπιστία.

3.4 Επιλογή μεθόδου αφαλάτωσης για την υπάρχουσα μελέτη

Στα πλαίσια της εργασίας αυτής επιλέχθηκε να μελετηθεί η μέθοδος MED σε διάταξη Parallel-Cross Flow. Η αιτιολόγηση αναπτύσσεται παρακάτω:

3.4.1 Αιτιολόγηση επιλογής θερμικής μεθόδου έναντι μεθόδου μεμβρανών

-Για τα Ελληνικά δεδομένα, μεγαλύτερη ανάγκη για πόσιμο νερό έχουν οι περιοχές με μεγάλο κόστος στην ηλεκτρική ενέργεια και αφθονία σε φθηνή θερμική ενέργεια(ηλιοφάνεια, waste heat). Το MED χωρίς συμπίεση ατμού καταναλώνει λιγότερη ηλεκτρική ενέργεια από την RO(1,5-2,5 kWh/m³ έναντι 2,5-7,5 kWh/m³).

-Τα απαιτούμενα υλικά και τεχνολογία για την κατασκευή θερμικών μονάδων είναι πολύ απλούστερα από τα αντίστοιχα της RO. Συνεπώς η μονάδα μπορεί να κατασκευαστεί εν μέρει εγχώρια, περιορίζοντας συνεπώς τα υλικά που πρέπει να εισαχθούν.

-Μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία για αφαλάτωση θαλασσινού νερού

-Αν και το ειδικό κόστος είναι μεγαλύτερο από αυτό της αντίστροφης όσμωσης (41), έχει τη δυνατότητα να είναι οικολογικότερο διότι έχει περιορισμένη χρήση χημικών. Ενδεχομένως σε λειτουργία χαμηλής θερμοκρασίας να μπορεί να εξαλειφθεί κάθε χρήση αντιοξειδωτικών.

-Η ποιότητα του παραγόμενου νερού είναι αισθητά ανώτερη, ενώ σύμφωνα με τα στοιχεία της βιβλιογραφίας οι τιμές της αλατότητας του παραγόμενου νερού από RO δεν είναι ικανοποιητικές.

3.4.2 Αιτιολόγηση επιλογής MED έναντι MSF

-Αναφέρεται συγκεκριμένα ότι έχει μεγάλη ευελιξία στην λειτουργία του και μπορεί συνεπώς να χειριστεί καλύτερα τη στοχαστικότητα της ηλιοφάνειας από το MSF.

-Χαμηλότερο κόστος κατασκευής και συντήρησης από το MSF

-Το MED έχει δυνατότητα να λειτουργήσει σε χαμηλή θερμοκρασία. Το ίδιο δεν ισχύει για το MSF. Το στοιχείο αυτό είναι σημαντικό για τη δυνατότητα λειτουργίας της συσκευής σε χαμηλότερες ακτινοβολίες.

3.4.3 Αιτιολόγηση επιλογής Parallel-Cross Flow

-Η συγκεκριμένη διάταξη έχει πολύ μεγαλύτερο εύρος στο οποίο μπορεί να οριστεί ο λόγος εξάτμισης. Κατά συνέπεια μπορεί να ελεγχθεί περισσότερο η λειτουργία του έναντι της στοχαστικότητας της ακτινοβολίας.

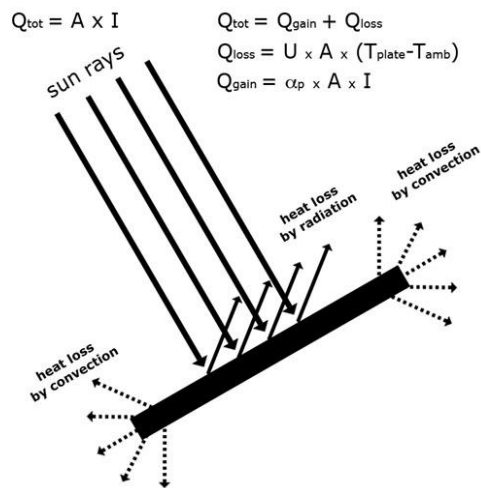
-Η παραδοχή του σχεδιασμού ότι το θερμικό φορτίο είναι ίσο σε όλα τα effects έχει πιο μικρό σφάλμα στη μέθοδο αυτή έναντι της Parallel Flow λόγω της ανακυκλοφορίας της άλμης.

-Αν και η παρεμφερής διάταξη Forward Feed έχει μικρότερη ειδική επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας για χαμηλές θερμοκρασίες, η PCF έχει μεγαλύτερο PR για τον ίδιο αριθμό effects (2).

4 Ηλιακή Ενέργεια

4.1 Ηλιακοί συλλέκτες

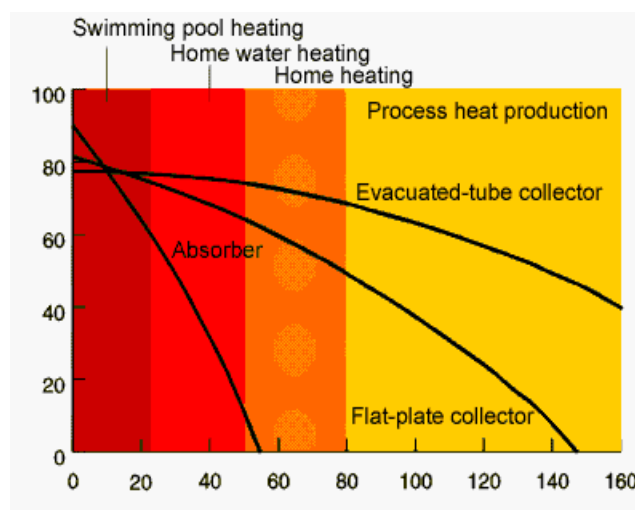
Οι ηλιακοί συλλέκτες έχουν ως βασική λειτουργία να μεταφέρουν την ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας σε κάποια πιο αξιοποιήσιμη ή αποθηκεύσιμη μορφή (44). Ένα ποσοστό της θερμότητας χάνεται λόγω συναγωγής και ένα άλλο λόγω εκπομπής ακτινοβολίας του ίδιου του συλλέκτη.



Εικόνα 23 - Απώλειες Ηλιακών Συλλεκτών (58)

Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι αποδίδουν συναρτήσει της διαφοράς της μέσης θερμοκρασίας του θερμαινόμενου ρευστού μέσα στο συλλέκτη με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτό καθορίζει όρια στην απόδοση ανάλογα με τη θερμοκρασία που θέλουμε να έχει το ρευστό στην έξοδό του, τα οποία είναι ανάλογα του είδους του συλλέκτη.

Επίσης ο βαθμός απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη μειώνεται για χαμηλότερες ακτινοβολίες. Η απόδοση των διαφορετικών συλλεκτών για δεδομένη ακτινοβολία παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 24 - Σύγκριση απόδοσης ηλιακών συλλεκτών (58)

Οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι ηλιακοί συλλέκτες διακρίνονται στις εξής κατηγορίες:

4.1.1 Απλοί επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες

Είναι σχεδιασμένοι για να λειτουργούν ως μέλαν σώμα, ώστε να απορροφούν όσο περισσότερες ακτινοβολίες είναι δυνατόν και να ανακλούν λιγότερες. Αποτελούνται από μια σκούρα επιφάνεια απορρόφησης και μια σειρά από σωληνώσεις στις οποίες κυκλοφορεί ένα ψυκτικό μέσο που απάγει τη θερμότητα από τους συλλέκτες (44).

Αποδίδουν ικανοποιητικά μόνο για μικρές διαφορές θερμοκρασιών(μέχρι περίπου $\Delta T = 20$) και χρησιμοποιούνται κυρίως για θέρμανση πισίνας. Η απόδοσή τους πρακτικά μηδενίζεται για $\Delta T = 50$.

4.1.2 Ηλιακοί συλλέκτες με γυάλινο κάλυμμα (glazing)



Εικόνα 25 - Επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες (44)

Η κατασκευή τους είναι όμοια με τους προηγούμενους αλλά καλύπτονται από γυαλί ώστε να περιορίζονται οι απώλειες συναγωγής. Επίσης το γυαλί αυτό λειτουργεί προστατευτικά και αυξάνει τη διάρκεια ζωής του συλλέκτη.

Οι συλλέκτες αυτοί χρησιμοποιούνται ευρέως για ηλιακούς θερμοσίφωνες καθώς και για θέρμανση χώρων. Προορίζονται κυρίως για να αποδίδουν θερμοκρασιακές διαφορές ΔT μεταξύ 50 και 80. Η απόδοσή τους μηδενίζεται περίπου για $\Delta T = 150$.

4.1.3 Συλλέκτες κενού



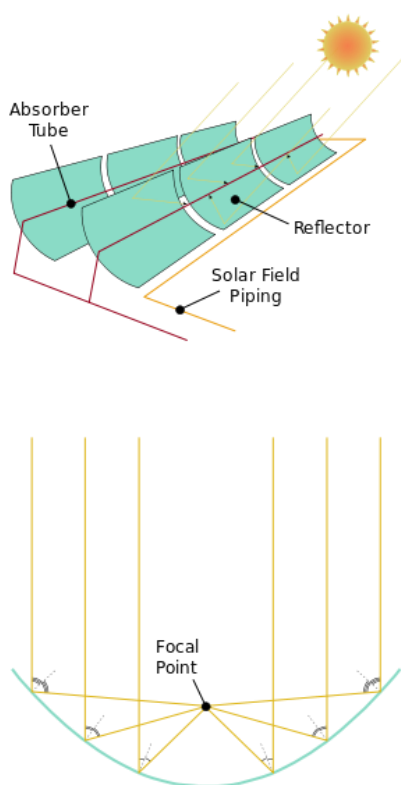
Εικόνα 26 - Συλλέκτες κενού (44)

Είναι μια πιο πρόσφατη τεχνολογία στους ηλιακούς συλλέκτες και είναι ικανή να αποδώσει μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές. Οι συλλέκτες κενού αποτελούνται από σειρές γυάλινων

σωλήνων που περιέχουν μικρότερους χάλκινους. Μέσα στους χάλκινους σωλήνες υπάρχει ρευστό που θερμαίνεται και κυκλοφορεί μέσα στο σωλήνα λόγω συναγωγής, στην άκρη του οποίου πραγματοποιείται συναλλαγή θερμότητας με ένα άλλο ρευστό (νερό ή γλυκόλη). Ανάμεσα στους σωλήνες αυτούς υπάρχει κενό ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες από τη συναγωγή (44). Το κόστος τους είναι περίπου 20~40% μεγαλύτερο των επίπεδων panels (45).

Έχουν χαρακτηριστικά πολύ μικρή μεταβολή της απόδοσής τους για τα διάφορα ΔT , και η απόδοσή τους είναι χαμηλότερη από αυτή των flat plate για χαμηλότερες θερμοκρασίες.

4.1.4 Parabolic Trough



Εικόνα 27 - Parabolic Trough (44)

Χρησιμοποιούνται σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού με ηλιακή ενέργεια. Έχουν ανακλαστήρες με σχήμα ανοικτού σωλήνα που συγκεντρώνουν τη ηλιακή ενέργεια σε ένα μονωμένο σωλήνα. Ελαχιστοποιεί τις απώλειες από ανάκλαση και μπορεί να παράξει πολύ μεγάλες θερμοκρασίες. Τα μειονεκτήματά του είναι ότι δε μπορεί να αποδώσει υπό συνθήκες διάχυτου φωτός (κατά τη νέφωση) και επιπλέον χρειάζεται σύστημα ηλιοστάτη (tracking) για να λειτουργήσει.

Προφανώς το κόστος τους είναι πολύ μεγαλύτερο από των προηγούμενων κατηγοριών, προσθέτοντας σε αυτό και το κόστος του ηλιοστάτη. Επιπλέον για τις ανάγκες της θερμικής αφαλάτωσης δεν υπάρχει ανάγκη για θερμοκρασίες άνω των 110°C που είναι η μεγαλύτερη που αναφέρεται στη βιβλιογραφία.

Κατά συνέπεια δεν κρίθηκε σκόπιμο να ερευνηθεί περαιτέρω σαν δυνατότητα.

4.1.5 Επιλογή συλλέκτη

Θα μελετηθούν δυο διαφορετικά σενάρια, για διαφορετικές θερμοκρασίες λειτουργίας. Για τα χαμηλότερα εύρη θερμοκρασίας (55-70°C), στα οποία είναι εφικτό, θα χρησιμοποιηθούν οι απλοί επίπεδοι συλλέκτες, ενώ θα γίνει αντίστοιχη μελέτη με τους συλλέκτες κενού για μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας μέχρι και 110 °C. Για το σενάριο χρήσης επίπεδων ηλιακών συλλεκτών επιλέχτηκε το μοντέλο FP1 της SolarUS και για το σενάριο χρήσης συλλεκτών κενού το SPP-25 της Solar Panels Plus. Χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα τους από τα αντίστοιχα πιστοποιητικά SRCC OG-100.

4.2 Ψυκτικό μέσο ηλιακού συλλέκτη

Μια δυσκολία που προκύπτει στην αφαλάτωση μέσω ηλιακών συλλεκτών είναι ότι δεν είναι δυνατόν να θερμανθεί απευθείας το τροφοδοτικό νερό μέσα στους συλλέκτες γιατί η αλατότητα του θα διάβρωνε τους συνήθως χάλκινους σωλήνες και θα περιόριζε έτσι κατά πολύ τη διάρκεια ζωής τους.

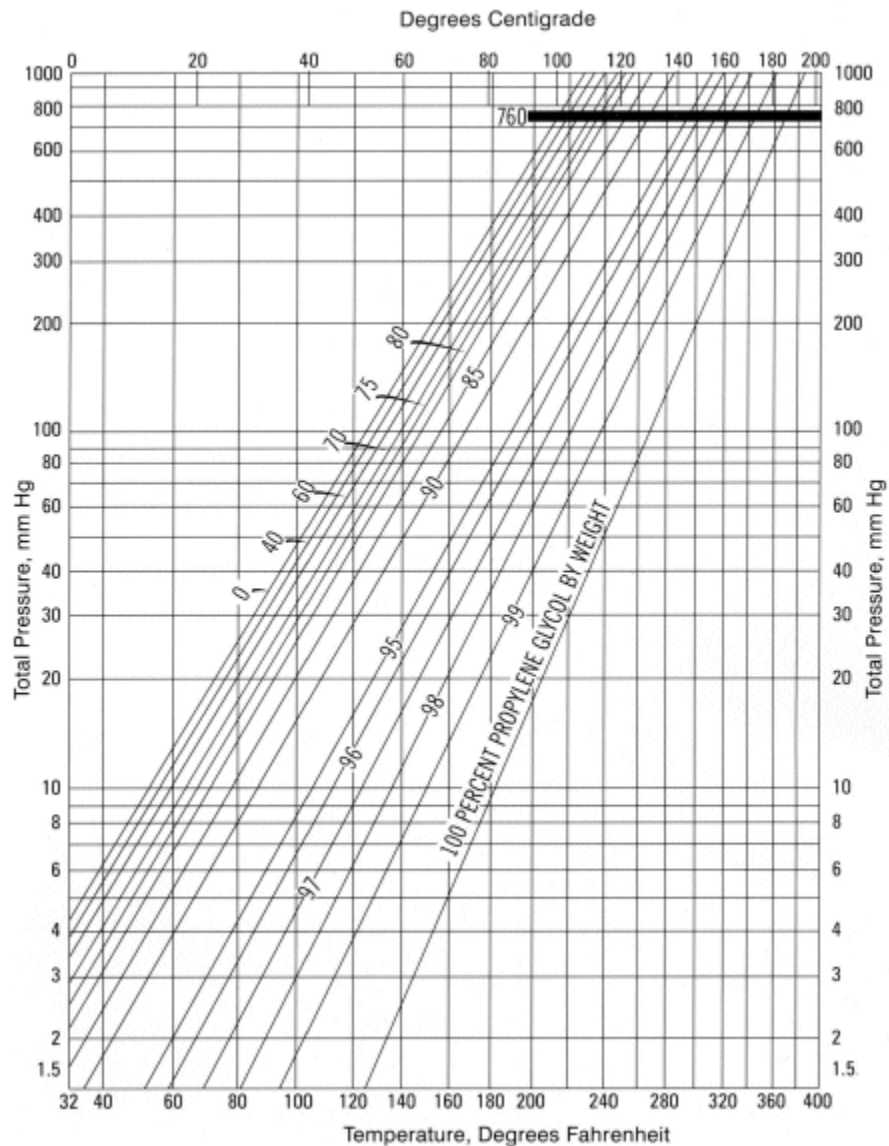
Γ' αυτό το λόγο το προτεινόμενο σύστημα λειτουργεί με ένα κλειστό κύκλο που μεταφέρει θερμότητα από τον ηλιακό συλλέκτη απ' ευθείας στο πρώτο effect του med. Κατά συνέπεια απαιτήθηκε να επιλεγεί ένα ψυκτικό μέσο.

Το ψυκτικό μέσο αυτό θα διέρχεται μέσα από έναν εναλλάκτη ο οποίος θα ψεκάζεται με αλμυρό νερό. Ανάμεσα στην υψηλή θερμοκρασία και την αλατότητα, αν και κανονικά δεν αναμένεται, δημιουργείται ο κίνδυνος διαρροής. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του ψυκτικού μέσου, σε περίπτωση διαρροής θα μπορούσε να εξατμιστεί και να αναμιχθεί με το πόσιμο νερό. Κατά συνέπεια απαιτείται να επιλεγεί ένα ψυκτικό μέσο αρκετά χαμηλής τοξικότητας και κατά προτίμηση υψηλού σημείου βρασμού, ώστε το μεγαλύτερο μέρος του ψυκτικού να μην εξατμιστεί σε περίπτωση διαρροής στον αφαλατωτή.

Η προπυλενογλυκόλη ικανοποιεί αυτές τις δύο συνθήκες.

Η προπυλενογλυκόλη έχει LD50 ίσο με 20 g/kg και αποδεκτή ημερήσια δόση ίση με 25 mg/kg (46). Επιπλέον έχει σημείο βρασμού ίσο με 188.2 °C σε κανονική πίεση και 148.8°C στα 0.26 bar, ενώ στο πρώτο effect αναμένεται στις δυσμενέστερες συνθήκες 71.7°C και 0.35 bar. Το αναμενόμενο σε περίπτωση διαρροής είναι να

απομακρυνθεί πλήρως με την άλμη ενώ στο πόσιμο νερό θα καταλήξει συγκέντρωση λίγων ppm.



Διάγραμμα 1 – Θερμοκρασία κορεσμού διαλυμάτων γλυκόλης (47)

Ταυτόχρονα είναι ένα φτηνό και ευρέως χρησιμοποιούμενο προϊόν που επιλέγεται συγκεκριμένα από εργοστάσια τροφίμων ώστε να είναι ασήμαντη η ανησυχία διαρροής στα προϊόντα. Είναι επίσης από τις συνηθέστερες επιλογές ψυκτικού για ηλιακούς συλλέκτες.

Εντούτοις η προπυλενογλυκόλη γενικά δεν χρησιμοποιείται καθαρή αλλά με πρόσθετα για να εμποδίσουν τη διάβρωση. Ανάλογα με το υλικό των σωλήνων για τους οποίους προορίζεται, τα πρόσθετα αυτά μπορούν να είναι τοξικά (όπως στην

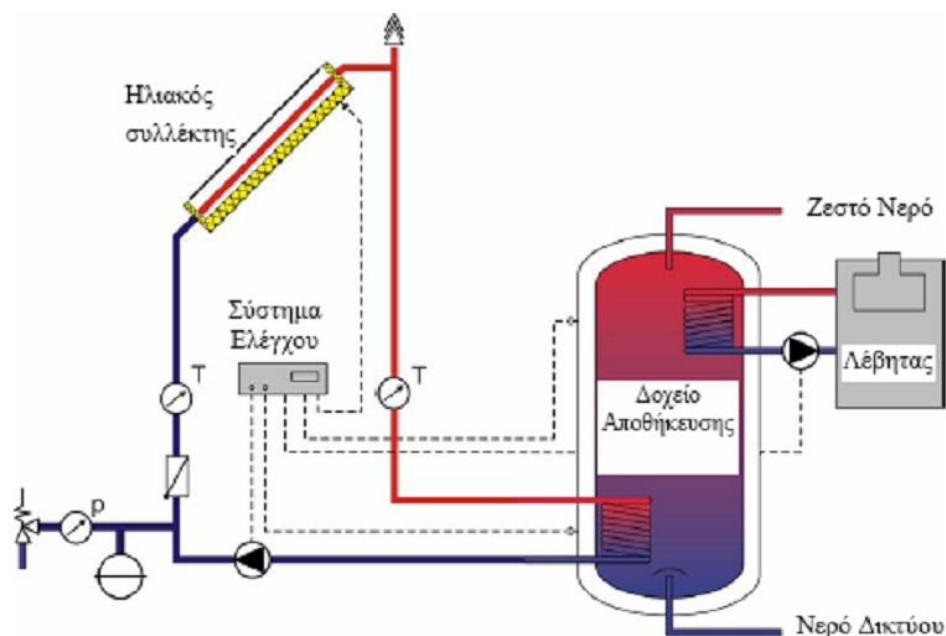
περίπτωση που προορίζεται για αλουμίνιο). Επιπλέον δεν αναφέρεται εάν είναι το ίδιο το ψυκτικό τοξικό στην περίπτωση που οξειδωθεί.

Μια άλλη επιλογή είναι το απεσταγμένο νερό. Βάση των μελετών που έγιναν παραπάνω, απαιτείται και σε αυτό να αναμειχθούν πρόσθετες ουσίες ώστε να παρουσιάζει αρκετή αλκαλικότητα για να μην είναι διαβρωτικό. Ένα μειονέκτημά του σε σχέση με την προπυλενογλυκόλη είναι ότι έχει μεγαλύτερο Cr και συνεπώς λειτουργεί με χαμηλότερα ΔT στους εναλλάκτες. Επιπλέον η κυκλοφορία του θα είναι μικρότερη για τις ίδιες θερμοκρασίες και στην μονάδα που μελετάται είναι δύσκολο να ελεγχθεί σωστά η παροχή σε τόσο χαμηλές τιμές λόγω φυσικής κυκλοφορίας του ρευστού.

4.3 Οικιακά συστήματα ηλιακής ενέργειας

4.3.1 Ηλιακός Θερμοσίφωνας

Ο ηλιακός θερμοσίφωνας χρησιμοποιεί την ηλιακή ακτινοβολία για να θερμάνει το νερό που προορίζεται για οικιακές χρήσεις. Αυτό αφορά κυρίως το πλύσιμο, αλλά μπορεί να συμπεριλάβει και τα πλυντήρια ρούχων και πιάτων. Μια διάταξη του φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 28 - Ηλιακός θερμοσίφωνας εξαναγκασμένης κυκλοφορίας (48)

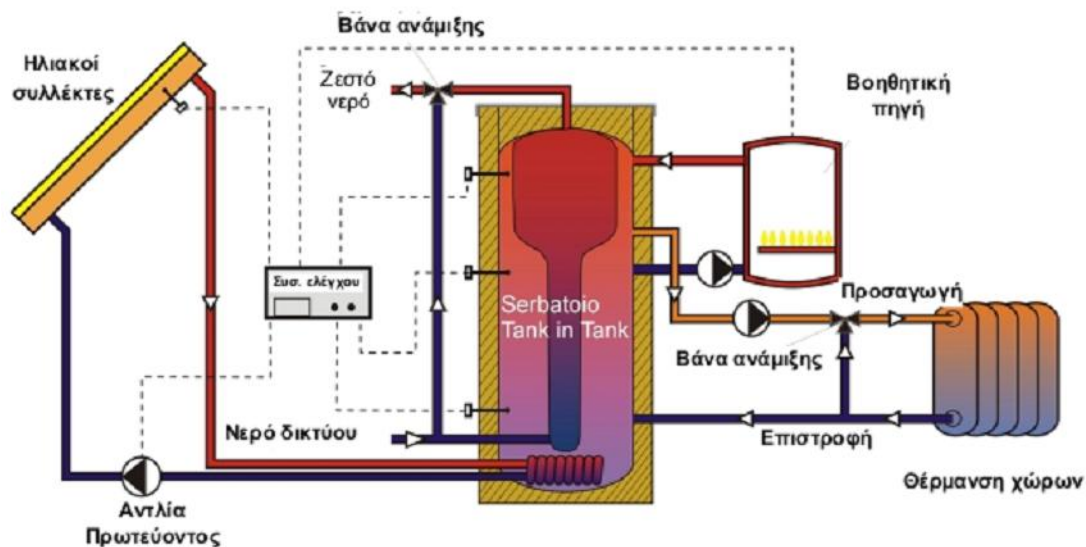
Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες χωρίζονται σε ανοικτού και κλειστού κυκλώματος, ανάλογα με το αν θερμαίνεται ευθέως το νερό ή μέσω ενός χωριστού ρεύματος σε κλειστό κύκλωμα.

Επίσης διακρίνονται σε φυσικής και εξαναγκασμένης κυκλοφορίας, ανάλογα με το αν η κίνηση του νερού επιτυγχάνεται μέσω διαφοράς πίεσης που προκαλείται από την ίδια τη θέρμανση ή με τη βοήθεια αντλίας.

4.3.2 Συστήματα ηλιακής θέρμανσης χώρων (Combi)

Πρόκειται για συστήματα που συνδυάζουν τη λειτουργία του ηλιακού θερμοσίφωνα με υποβοήθηση στο καλοριφέρ.

Η διάταξη των συστημάτων αυτών περιλαμβάνει το κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών, θερμοδοχείο αδράνειας για αποθήκευση ενέργειας, το σύστημα της θέρμανσης (πχ καλοριφέρ) και το σύστημα αυτομάτου ελέγχου. Επίσης συνήθως πλαισιώνεται από συμβατικό σύστημα θέρμανσης για υποβοήθηση (48).



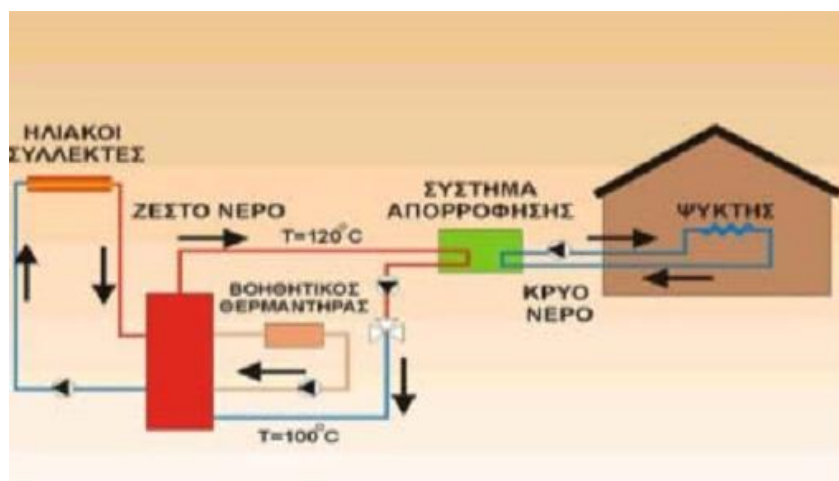
Εικόνα 29 - Διάταξη συστήματος ηλιακής θέρμανσης χώρου (48)

Το σύστημα αυτό λειτουργεί αποδοτικότερα με συστήματα θέρμανσης χαμηλής θερμοκρασίας (όπως είναι τα ενδοδαπέδια/επιτοιχία). Είναι ικανό να λειτουργεί με συμβατικά καλοριφέρ (όπως στο παραπάνω σχήμα), αλλά με μείωση της απόδοσης κατά 10-15% (48).



Εικόνα 30 - Ενδοδαπέδιο σύστημα θέρμανσης (48)

Τα ενδοδαπέδια συστήματα θέρμανσης λειτουργούν με νερό σε θερμοκρασίες 30-45°C , που είναι και οι θερμοκρασίες στις οποίες αποβάλλεται το ψυκτικό νερό στις μονάδες θερμικής αφαλάτωσης. Τα συστήματα αυτά μπορούν για τα δεδομένα της Ελλάδας να καλύψουν μέχρι και το 50% της απαιτούμενης ενέργειας θέρμανσης. Είναι επίσης δυνατόν σε αυτό το σύστημα να ενσωματωθεί και κύκλωμα ηλιακού κλιματισμού (48). Η διάταξη ενός τέτοιου συστήματος φαίνεται παρακάτω:

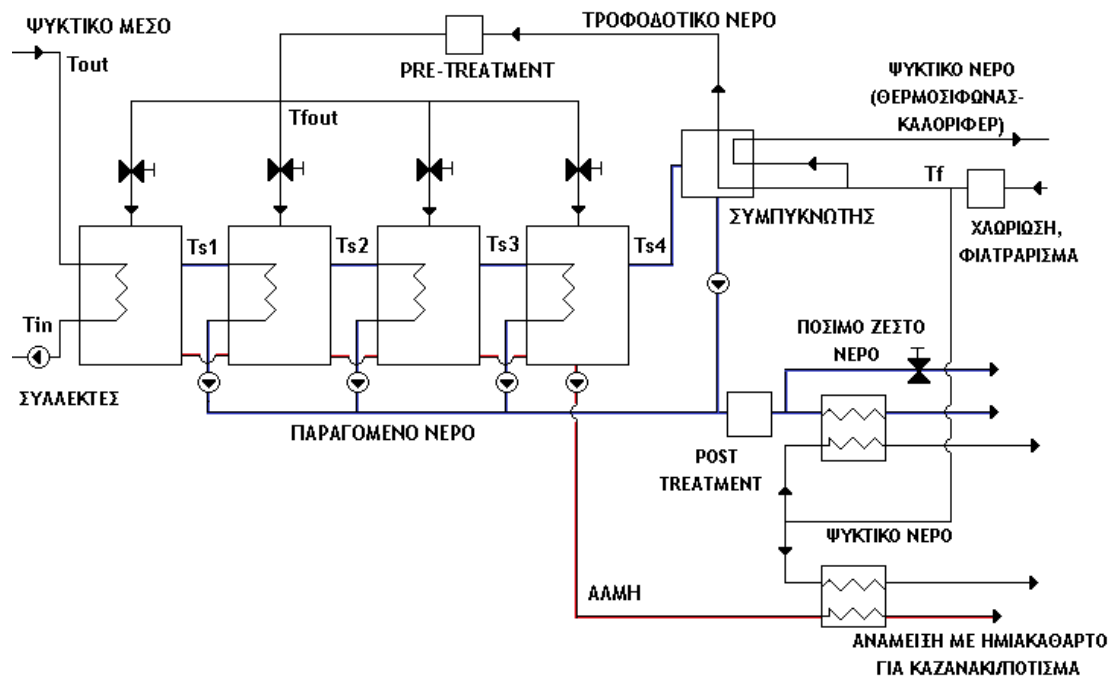


Εικόνα 31 - Σύστημα ηλιακού κλιματισμού (48)

5 Προτεινόμενο σύστημα αφαλάτωσης

Στο κεφάλαιο αυτό εξηγείται αναλυτικά η διάταξη της οικιακής μονάδας που σχεδιάστηκε.

5.1 Περιγραφή προτεινόμενου συστήματος αφαλάτωσης



Εικόνα 32 - Σχηματική περιγραφή της εξεταζόμενης μονάδας

Η διάταξη αποτελείται από ένα συμβατικό κύκλωμα ηλιακού θερμοσίφωνα κλειστού κυκλώματος, το οποίο χρησιμοποιεί ως εναλλάκτη θερμότητας το πρώτο effect μιας μονάδας **MED** σε διάταξη **Parallel-Cross Flow**, όπως αυτή περιγράφηκε παραπάνω.

Οι ηλιακοί συλλέκτες θερμαίνουν ένα ψυκτικό μέσο κλειστού κυκλώματος στην επιλεγμένη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας της μονάδας. Το μέσο αυτό στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την εξάτμιση του νερού στο πρώτο effect του αποστακτήρα και στη συνέχεια επιστρέφει στους ηλιακούς συλλέκτες.

Ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου συνδεδεμένο με θερμοστάτη θα μετράει συνεχώς την θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από τους συλλέκτες. Όταν η μέση τιμή της για κάποια σταθερή χρονική περίοδο ξεφύγει από την προκαθορισμένη θερμοκρασία λειτουργίας του αποστακτήρα, το σύστημα θα ρυθμίζει αντίστοιχα την

παροχή του τροφοδοτικού νερού και του ψυκτικού μέσου μέσω των αντίστοιχων αντλιών, διατηρώντας τη θερμοκρασία λειτουργίας και μεταβάλλοντας την παραγωγή πόσιμου νερού.

Στην έξοδο του αποστακτήρα υπάρχουν 3 ρεύματα: Απεσταγμένο νερό, άλμη, απεσταγμένο νερό σε μορφή ατμού. Και τα τρία αυτά ρεύματα έχουν υπολειπόμενη αξιοποιήσιμη θερμότητα.

Το απόσταγμα σε μορφή ατμού οδηγείται σε συμπυκνωτή, στον οποίο υγροποιείται κατά τη συναλλαγή θερμότητας με ρεύμα ψυκτικού νερού, μέρος του οποίου οδηγείται στη συνέχεια στα συστήματα pretreatment και στη συνέχεια στον αποστακτήρα ως τροφοδοτικό νερό. Το υπόλοιπο ψυκτικό νερό χρησιμοποιείται για τη λειτουργία του ηλιακού θερμοσίφωνα ή/και θερμαντικού συστήματος. Έχει ήδη εξακριβωθεί ότι η θερμοκρασία του ψυκτικού νερού (35°C) είναι ικανοποιητική τόσο για τη χρήση στο θερμοσίφωνα όσο και για τα ενδοδαπέδια συστήματα θέρμανσης.

Πριν τη συναλλαγή θερμότητας, το ψυκτικό νερό έχει υποστεί χλωρίωση και φιλτράρισμα για την απόρριψη σωματιδίων, καθώς είναι απαραίτητο για την χρήση στο νερό πλυσίματος και την αποφυγή biofouling στις σωληνώσεις.

Τα ρεύματα του παραγόμενου νερού από την έξοδο κάθε effect ενώνονται και οδηγούνται στη μονάδα Post Treatment, στην οποία το νερό χλωριώνεται και εμπλουτίζεται σε μεταλλικά στοιχεία. Στη συνέχεια οδηγείται σε εναλλάκτη στον οποίο ανακτάται μέρος της θερμότητας του προϊόντος για τη χρήση των ηλιακών συστημάτων. Μέρος του νερού μπορεί επίσης να απομαστευτεί πριν τον εναλλάκτη για να χρησιμοποιηθεί για το μαγείρεμα. Η απομάστευση ελέγχεται με τη βοήθεια μιας βαλβίδας. Η λειτουργία αυτή χρειάζεται για να υπάρχει παροχή ζεστού πόσιμου νερού από τα ηλιακά συστήματα.

Από το ρεύμα της άλμης μπορεί επίσης να ανακτηθεί μέσω ενός εναλλάκτη μια μικρή ποσότητα θερμότητας. Η ποσότητα είναι ελαττωμένη λόγω της επιλογής του μεγάλου ποσοστού ανάκτησης. Στην περίπτωση που το κόστος του εναλλάκτη δεν δικαιολογείται από την ανακτώμενη θερμότητα μπορεί ένα απλούστερο σύστημα να αποβάλλει τη θερμότητα αυτή στο περιβάλλον.

Στην είσοδο κάθε effect για το τροφοδοτικό νερό υπάρχει από μια βαλβίδα η οποία ελέγχεται από το σύστημα αυτομάτου ελέγχου ώστε να εξασφαλίζεται ίση παροχή σε όλα τα effects.

Αναλυτικότερα περιγράφονται παρακάτω οι διαδικασίες του Pre Treatment, Post Treatment και της αποβολής της άλμης.

5.2 Περιγραφή περιφερειακών λειτουργιών της μονάδας

5.2.1 Pre Treatment

Γενικά στις μονάδες θερμικής αφαλάτωσης οι ανάγκες pre-treatment είναι απλές.

Κατακράτηση σωματιδίων

Μια άλλη απαίτηση είναι να αφαιρεθούν τα μεγαλύτερα σωματίδια. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με κάποιο φίλτρο είτε με μαγνητισμό. Είναι απαραίτητο και στην εξεταζόμενη περίπτωση διότι τα σωματίδια μπορούν να φράξουν τους ψεκαστήρες που μετατρέπουν το τροφοδοτικό νερό σε σταγονίδια για την απόσταξη.

Απολύμανση

Πρέπει επίσης να γίνει χλωρίωση του νερού ώστε να απολυμανθεί από μικροοργανισμούς που μπορούν να διαβρώσουν τα υλικά της μονάδας (bio-fouling) ή να αναπτυχθούν μέσα σε αυτή, δημιουργώντας εστία μόλυνσης.

Απαερίωση

Τα αέρια που δε μπορούν να συμπιεστούν προκαλούν τα εξής αποτελέσματα (2):

- Μειώνουν την ειδική συναγωγιμότητα στα effects γιατί λειτουργούν ως μονωτές,

- Μειώνουν τη μερική πίεση του ατμού και κατά συνέπεια τη θερμοκρασία συμπύκνωσης, μειώνοντας την παραγωγικότητα,

- Η παρουσία οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα ενισχύουν της διαβρωτικές αντιδράσεις,

- Για την περίπτωση των μεθόδων MSF, MVC θα υπήρχαν κι άλλες ανεπιθύμητες συνέπειες αλλά δεν εξετάζεται στην προκειμένη περίπτωση.

Η απαερίωση στις θερμικές διεργασίες επιτυγχάνεται μέσω μηχανικών συστημάτων εκτόνωσης (2).

Anti-Foam

Δεν επιβάλλεται εδώ παρεμπόδισμός στη δημιουργία αφρού διότι αφορά κυρίως τη μέθοδο MSF και είναι προληπτικό μέτρο ώστε να μην μειώνεται η ποιότητα τροφοδοτικού νερού με την πρόσμιξη σταγονιδίων άλμης (2).

Anti-Scalant

Μια βασική απαίτηση είναι να υπάρχει κάποιο οργανικό οξύ για να παρεμποδίσει τις επικαθίσεις αλάτων. Στην περίπτωση που οι θερμοκρασίες ή/και οι τιμές της αλατότητας είναι πολύ χαμηλότερες από τις κανονικές με σωστή επιλογή των υλικών πιθανότατα να μπορεί να αποφευχθεί τελείως αυτό.

Για το μελετούμενο σενάριο που η μέγιστη θερμοκρασία είναι 55°C και το τροφοδοτικό νερό υφάλμυρο μπορεί να γίνει η υπόθεση ότι δε χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί χημική προεπεξεργασία του νερού. Δεν μπορεί να γίνει η ίδια υπόθεση για την περίπτωση μεγαλύτερων θερμοκρασιών και αλατότητας.

Δεν μπόρεσε επίσης να απαντηθεί με ακρίβεια πόσο περιορίζονται οι δυνατότητες αξιοποίησης της άλμης από τη χρήση χημικών, εντούτοις για τις προοριζόμενες χρήσεις κάθε σεναρίου δεν αναμένεται να δημιουργήσει προβλήματα.

Αποσκλήρυνση

Στην περίπτωση που το τροφοδοτικό νερό έχει ξεπερνάει ένα ορισμένο όριο στη σκληρότητα, σε αυτές τις ανάγκες θα προστεθεί και η ανάγκη αποσκλήρυνσης του νερού, τόσο για να υποκατασταθεί το αντιδιαβρωτικό αλλά και γιατί η αποβαλλόμενη άλμη προορίζεται για νερό πλυσίματος. Από τη βιβλιογραφία το όριο αυτό τίθεται στα 200 ppm (2.1.2.1). Μέσα σε αυτό το όριο πρέπει να βρίσκεται και η σκληρότητα της άλμης, η οποία υπολογίζεται με το λόγο τροφοδοτικού προς εξατμιζόμενο νερό.

5.2.2 Post Treatment

Το παραγόμενο νερό είναι απεσταγμένο και συνεπώς ακατάλληλο τόσο για ανθρώπινη κατανάλωση λόγω της γεύσης του όσο και για χρήση σε μηχανήματα, επειδή είναι διαβρωτικό. Επιπλέον το απεσταγμένο νερό γίνεται εστία μόλυνσης διότι αναπτύσσονται εύκολα μικροοργανισμοί μέσα σε αυτό.

Εμπλουτισμός σε μεταλλικά στοιχεία

Εάν προορίζεται για ανθρώπινη κατανάλωση, ο εμπλουτισμός γίνεται με διττανθρακικά και ανθρακικά ιόντα και επιδιώκεται η αύξηση του pH. Απαιτείται περιεκτικότητα τουλάχιστον 85 TDS σε μεταλλικά στοιχεία. (49)

Εάν προορίζεται για μηχανήματα η επιλογή συνήθως είναι ο εμπλουτισμός με χλωριούχο νάτριο.

5.2.3 Σύστημα αποβολής άλμης

Στις βιομηχανικές μονάδες αφαλάτωσης η άλμη θεωρείται απόβλητο και προβλέπεται ειδική διαδικασία για την απόρριψη της. Υπάρχουν ανησυχίες που λόγω της αλατότητας, της θερμοκρασίας και των χημικών που περιέχει μπορεί να προκαλέσει οικολογική ζημιά. Κανονικά προβλέπεται είτε αποβολή στη θάλασσα αφού πρώτα αραιωθεί αρκετά είτε έγχυση της σε βαθιά πηγάδια.

Στο μελετούμενο σύστημα όμως, η άλμη αραιώνεται με το ημιακάθαρτο νερό που είχε παραχθεί από την ίδια τη διαδικασία της αφαλάτωσης, δίνοντας στην άλμη την αλατότητα που είχε το τροφοδοτικό νερό. Η αραιωμένη αυτή άλμη μπορεί εν συνεχεία να χρησιμοποιηθεί στο καζανάκι και στη συνέχεια να αποβληθεί μέσω της αποχέτευσης, η οποία θεωρείται ότι ήδη προέβλεπε την αποβολή νερού με συγκέντρωση σε άλατα ίση με αυτή του τροφοδοτικού νερού. Αυτό περιλαμβάνει και τη χρήση θαλασσινού νερού εάν το σύστημα αποβολής λυμάτων είναι κατάλληλο.

Με άλλα λόγια συνδυάζεται η μέθοδος αξιοποίησης ημιακάθαρτου νερού με τη χρήση θαλασσινού νερού για το καζανάκι που χρησιμοποιείται στο Χονγκ Κονγκ για να λυθεί το πρόβλημα αποβολής της άλμης χωρίς επιπλέον ρίσκο για το περιβάλλον. Σε αυτό συνηγορεί και η περιορισμένη ή και καθόλου χρήση χημικών κατά την αφαλάτωση με MED.

5.3 Θεωρητική ανάλυση προτεινόμενης μονάδας αφαλάτωσης

Επιλέχθηκε η μέθοδος αφαλάτωσης MED με τη διάταξη Parallel-Cross Feed. Για τον καθορισμό των παραμέτρων λειτουργίας λήφθηκαν υπ' όψιν τα εξής:

Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας για επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες

Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες δε μπορούν να δημιουργήσουν μεγάλες θερμοκρασιακές διαφορές. Επιλέχθηκε συνεπώς η ελάχιστη αποδεκτή θερμοκρασία (55°C) για τη λειτουργία του MED σαν σημείο λειτουργίας.

Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες φυσικής κυκλοφορίας μπορούν να αποδώσουν αυτή τη θερμοκρασία εξόδου για αρκετές ώρες της ημέρας για το γεωγραφικό πλάτος των νησιών του Αιγαίου.

Ήταν επίσης επιθυμητή επιλογή γιατί οι χαμηλές θερμοκρασίες περιορίζουν τη διάβρωση από την αλατότητα.

Διατήρηση σταθερών τιμών στη θερμοκρασία μέσω της μεταβολής της παροχής

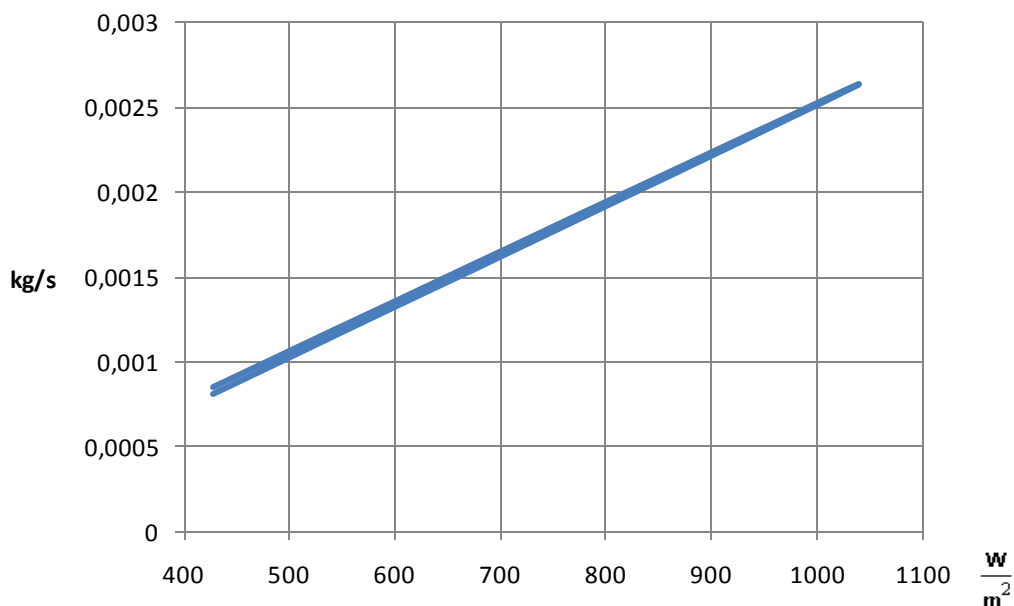
Ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου συνδεδεμένο με θερμοστάτη και μια αντλία μεταβλητών στροφών θα μετράει συνεχώς την θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από τους συλλέκτες. Όταν η μέση τιμή της για κάποια σταθερή χρονική περίοδο ξεφύγει από την προκαθορισμένη θερμοκρασία λειτουργίας του αποστακτήρα, το σύστημα θα ρυθμίζει αντίστοιχα την παροχή του τροφοδοτικού νερού και του ψυκτικού μέσου μέσω των αντίστοιχων αντλιών, διατηρώντας τη θερμοκρασία λειτουργίας και μεταβάλλοντας την παραγωγή πόσιμου νερού.

Στην περίπτωση που η ηλιοφάνεια είναι πολύ χαμηλή για να ανταπεξέλθει και η παροχή πέσει κάτω από ένα ορισμένο όριο, η μονάδα μπορεί να υποβοηθείται από καυστήρα που θα συμπληρώνει την απαιτούμενη ενέργεια.

Στην παρούσα μελέτη δεν μελετάται η περίπτωση υποβοήθησης, και για το λόγο αυτό περιορίστηκαν οι ώρες λειτουργίας, μηδενίζοντας την παροχή όταν η ακτινοβολία είναι κάτω από ένα ορισμένο όριο. Συγκεκριμένες τιμές για κάθε σενάριο αναφέρονται στην ενότητα των παραδοχών.

Η επιλογή του περιορισμού αυτού έγινε επίσης και για τον λόγο ότι η μονάδα δεν έχει άπειρη ευελιξία στη διαφοροποίηση του παρεχόμενου ατμού και η βέλτιστη λειτουργία της προβλέπεται από το σχεδιασμό για συγκεκριμένα εύρη

παροχών. Σε ακίνητο κεκλιμένο επίπεδο για ετήσια μεγιστοποίηση ακτινοβολίας, η μέγιστη τιμή ακτινοβολίας για την περιοχή είναι 1040 W/m^2 και η μέση τιμή 800 W/m^2 (υπολογίζοντας μόνο τις τιμές μεγαλύτερες των 400 W/m^2) για τον Ιούλιο. Αντίστοιχα για τον Ιανουάριο η μέγιστη τιμή είναι 620 και η μέση 550. Από τις πράξεις που έγιναν διαπιστώθηκε ότι ο αλγόριθμος δίνει σχεδόν γραμμική σχέση μεταξύ ακτινοβολίας και παροχής, όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 2 - Παροχή τροφοδοτικού νερού συναρτήσει ηλιακής ακτινοβολίας ανά 2 m^2 επίπεδων ηλιακών συλλεκτών

Η ονομαστική τιμή της παροχής τέθηκε για τη μέγιστη ετήσια τιμή και βάσει αυτής έγινε η διαστασιολόγηση της μονάδας, συμπεριλαμβανόμενης της επιφάνειας συναλλαγής θερμότητας των αποστακτήρων.

Συνεπώς στη μελέτη αυτή έγινε η παραδοχή ότι η μονάδα αυτή είναι ικανή να λειτουργήσει με ελάχιστη παροχή περίπου ίση με το 40% της ονομαστικής της. Εναλλακτικά, για να περιοριστεί το εύρος των παροχών, μπορεί ταυτόχρονα με την παροχή να μεταβάλλεται το ποσοστό ανάκτησης, διατηρώντας σε μεγάλο βαθμό τα ίδια αποτελέσματα με μοναδική εξαίρεση την αλατότητα της άλμης. Λόγω της διάταξης το ποσοστό ανάκτησης έχει πολύ μεγάλη ευελιξία και είναι εφικτό να μεταβληθεί στο απαιτούμενο εύρος.

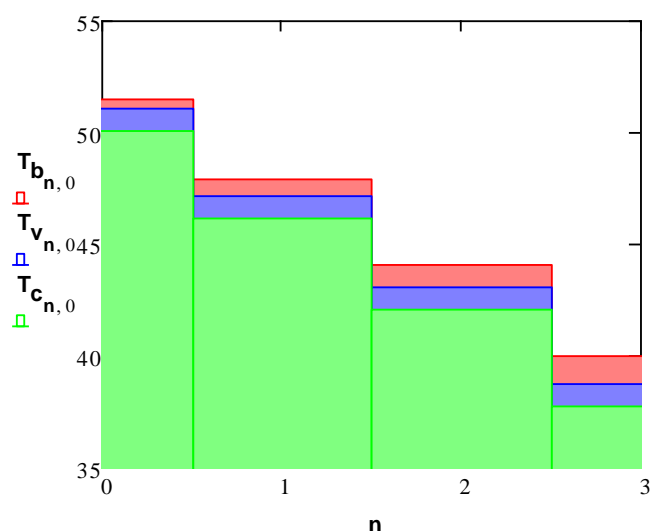
Ελάχιστη θερμοκρασία αποβολής άλμης

Επιλέχθηκε για όλα τα σενάρια η θερμοκρασία εξόδου από το τελευταίο effect να είναι ίση με 40°C. Είναι η χαμηλότερη θερμοκρασία εξόδου που γενικά χρησιμοποιείται στη βιβλιογραφία για αφαλάτωση με MED (2). Αναφέρεται μερικές φορές και η τιμή των 35 °C αλλά κρίθηκε ασύμφορο για το κόστος συντήρησης και λειτουργίας ισχυρότερου θαλάμου κενού. Για να επιτευχθούν χαμηλότερες θερμοκρασίες απαιτούνται πολύ μεγαλύτερες αντοχές στη στεγανότητα και μεγαλύτερη ισχύ στις αντλίες για τη δημιουργία κενού και προφανώς κρίθηκε ασύμφορο.

Επιπλέον η θερμοκρασία εξόδου από την μονάδα προορίζεται να είναι η θερμοκρασία νερού του θερμοσίφωνα και συνεπώς χαμηλότερες τιμές μπορεί να μην ήταν ικανοποιητικές.

Ελάχιστη θερμοκρασιακή πτώση

Η ελάχιστη θερμοκρασιακή πτώση ανά effect συμπεριλαμβανομένων όλων των απωλειών είναι περίπου 1.5-2°C (43). Κατά συνέπεια περιορίζεται ο αριθμός των effects από το συνολικό ΔT . Για 4 effects, με χρήση θαλασσινού νερού με συνολικό θερμοκρασιακό εύρος 55-40°C, η θερμοκρασιακή διαβάθμιση υπολογίστηκε ως εξής:



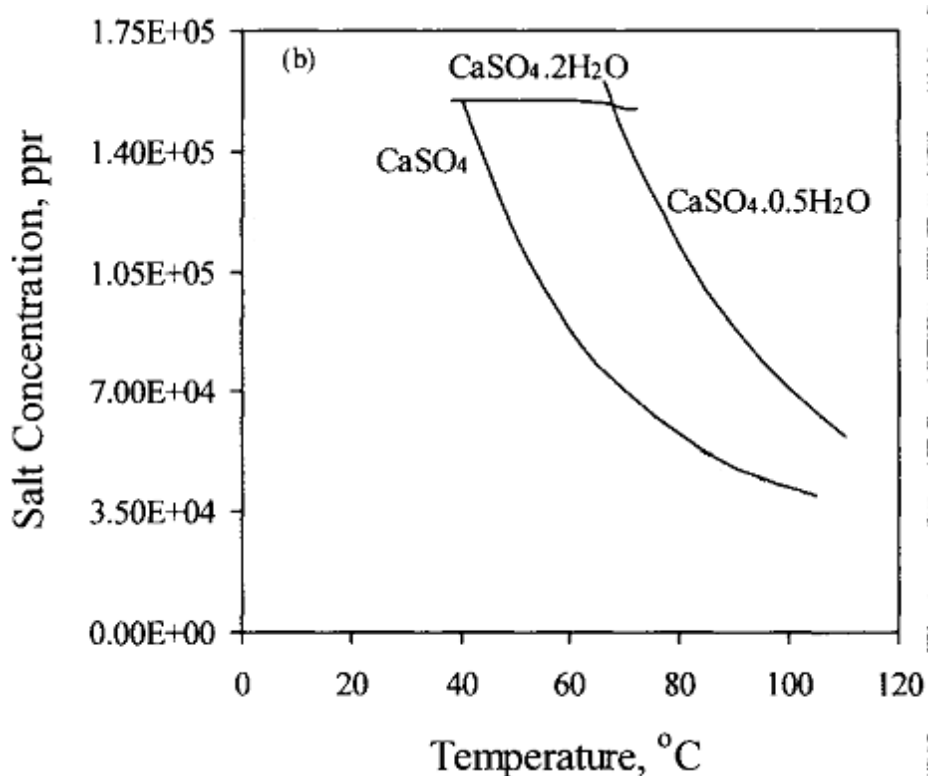
Διάγραμμα 3 – Θερμοκρασίες άλμης, ατμοποίησης και συμπύκνωσης για μονάδα με 4 effects και μέγιστη θερμοκρασία άλμης 55°C

Όπου T_b είναι η θερμοκρασία άλμης, T_v η θερμοκρασία ατμοποίησης και T_c η θερμοκρασία συμπύκνωσης.

Ποσοστό ανάκτησης

Ελέγχεται μέσω της παροχής του τροφοδοτικού νερού και καθορίζει την αλατότητα της άλμης για δεδομένο τροφοδοτικό νερό.

Ο σχεδιασμός μιας μονάδας MED κανονικά διαλέγει ως όριο αλατότητας στην αποβαλλόμενη άλμη τη διαλυτότητα του θειικού ασβεστίου στην αντίστοιχη θερμοκρασία, ώστε να περιοριστεί το scaling. Στο parallel-cross flow το μέγιστο ποσοστό ανάκτησης είναι 71,4 % (2), και για θαλασσινό νερό της Μεσογείου αυτό δίνει αλατότητα αποβαλλόμενης άλμης ίση με 132900 TDS. Η θερμοκρασία της άλμης είναι 40 °C, στην οποία το θειικού ασβεστίου παραμένει πλήρως διαλυμένο και για συγκεντρώσεις πάνω από 150000 TDS, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Προφανώς για τέτοιες τιμές θα είναι απαραίτητος ο χημικός παρεμποδισμός των επικαθίσεων.



Διάγραμμα 4 - Διαλυτότητα CaSO₄ στο νερό συναρτήσει αλατότητας και θερμοκρασίας (2)

Για την περίπτωση του υφάλμυρου, μπορεί να επιλεγεί ως κριτήριο η ποσότητα και η ποιότητα του νερού που απαιτεί κάθε δραστηριότητα, με σκοπό να γίνει πλήρης αξιοποίηση του τροφοδοτικού νερού. Ταυτόχρονα πρέπει να υπολογιστεί ότι αύξηση της αλατότητας της άλμης αυξάνει την απαιτούμενη

παροχή του ψυκτικού νερού και αυτό πρέπει να ισορροπηθεί με τις ανάγκες για ζεστό νερό.

Για το σκοπό αυτό θεωρείται για όλα τα σενάρια το ποσοστό ανάκτησης ίσο με 71.4% αλλά χαράσσονται διαγράμματα που συγκρίνουν τη μεταβολή του ποσοστού ανάκτησης με την απόδοση και την παροχή ψυκτικού.

Όλοι οι εναλλάκτες που ψύχουν σε παράλληλη διάταξη το τροφοδοτικό νερό, του οποίου τα ρεύματα στη συνέχεια ενώνονται ώστε η θερμοκρασία εισόδου να είναι κοινή σε όλα τα effects. Η παροχή του νερού διαιρείται σε τέτοια αναλογία ώστε όλα τα ρεύματα να έχουν την ίδια θερμοκρασία στην έξοδο.

5.4 Αλγόριθμος υπολογισμών στο MathCAD με επεξηγήσεις

5.4.1 Σύμβολα

T	Θερμοκρασία σε °C
X	Αλατότητα σε ppm
C_p	Θερμοχωρητικότητα σε kJ/kgK
U	Ειδική συναγωγιμότητα σε kW/m ² C
BPE	Ανύψωση σημείου βρασμού
ratio	Λόγος τροφοδοτικού νερού προς παραγόμενο απόσταγμα
h_{fg}	Λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης
n_{coll}	Αριθμός ηλιακών συλλεκτών
A_{c1}	Καθαρή επιφάνεια συλλογής ενός συλλέκτη
A_c	Συνολική επιφάνεια συλλεκτών
n_{HE}	Βαθμός απόδοσης εναλλάκτη
G_T	Ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο
DT_p	Θερμοκρασιακή πτώση ανά effect από απώλειες
FRτα	Y Intercept συλλέκτη
FRU_L	Slope συλλέκτη
C_i	Όροι δευτεροβάθμιου χαρακτηριστικού πολυώνυμου συλλέκτη
PR	Performance Ratio

5.4.2 Δείκτες

a	Περιβάλλον
in	Είσοδος στο συλλέκτη
out	Έξοδος από το συλλέκτη
f	Τροφοδοτικό νερό στην είσοδο του συμπυκνωτή
fout	Τροφοδοτικό νερό στην έξοδο του συμπυκνωτή (προθερμασμένο)
b_i	Άλμη στο effect i
s_i	Ατμός / Παραγόμενο νερό στο effect i
v_i	Κατά την ατμοποίηση στο effect i
c_i	Κατά τη συμπύκνωση στο effect i
w	(Θερμοχωρητικότητα) Τροφοδοτικό νερό

- wd** (Θερμοχωρητικότητα) Παραγόμενο (απεσταγμένο νερό)
- c** (Θερμοχωρητικότητα) Ψυκτικό μέσο συλλέκτη
- bout** Αποβαλλόμενη άλμη στο τελευταίο effect

5.4.3 Παραδοχές μοντελοποίησης

-Συνθήκες μόνιμης κατάστασης (steady state) (2)

-Το εξατμιζόμενο νερό δεν περιέχει άλατα. Για να συμβαίνει αυτό θεωρείται ότι δεν παρασέρνονται σταγονίδια της άλμης από το εξατμιζόμενο νερό. (2)

- Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να ανεβάσουν τη θερμοκρασία του ρευστού στους 55°C για ηλιακή ακτινοβολίες άνω των 400 W/m².

Οι συλλέκτες κενού μπορούν να ανεβάσουν τη θερμοκρασία του ρευστού στους 55°C για ηλιακή ακτινοβολίες άνω των 300 W/m² και στους 90°C για ακτινοβολίες άνω των 400 W/m². Για την εξέταση των αντίστοιχων σεναρίων, η παροχή μηδενίζεται για τις ώρες που η ακτινοβολία είναι χαμηλότερη από την αντίστοιχη τιμή.

-Η απόδοση των συλλεκτών στις τιμές παροχής ρευστού που χρησιμοποιούνται είναι αρκετά κοντά στην απόδοση για την παροχή για την οποία δοκιμάστηκε ο συλλέκτης κατά την πιστοποίησή του

-Στο συμπυκνωτή κυκλοφορεί τροφοδοτικό νερό υγροποιώντας τον ατμό, μέρος του οποίου δεν εισέρχεται στον αποστακτήρα. Η αναλογία ψυκτικού και τροφοδοτικού νερού ρυθμίζεται έτσι ώστε το τροφοδοτικό νερό να έχει θερμοκρασία 35 βαθμών στην έξοδο του συμπυκνωτή.

-Οι συνολικές απώλειες ανά effect από την πτώση πίεσης από βαρύτητα, επιτάχυνση και τριβή αντιστοιχίζονται σε συγκεκριμένη θερμοκρασιακή πτώση (2) η οποία εδώ ορίζεται ίση με 1°C.

-Η πτώση πίεσης από συμπύκνωση θεωρείται αμελητέα (2).

-Για τον υπολογισμό της ανύψωσης σημείου βρασμού(BPE) χρειάστηκε να γίνει παραδοχή για την αλατότητα της άλμης πρώτου να γίνουν οι υπολογισμοί. Έγινε η παραδοχή ότι αλατότητα της άλμης αυξάνει γραμμικά ανά effect. Το σφάλμα της υπόθεσης αυτής είναι πολύ μικρό γιατί οι τιμές της αλατότητας έχουν

σχεδόν γραμμική άνοδο και επιπλέον η αλατότητα υφάλμυρου νερού έχει δημιουργεί αμελητέα ανύψωση του σημείου βρασμού.

-Για το σενάριο χρήσης νερού γεώτρησης, θεωρήθηκε ότι το τροφοδοτικό νερό έχει περίπου σταθερή θερμοκρασία σε όλο το διάστημα της ημέρας και όλο το χρόνο ίση με 15°C. Η σύμβαση αυτή ήταν αναγκαστικό να γίνει λόγω έλλειψης λεπτομερέστερων στοιχείων.

-Η θερμοκρασία εξόδου στο τελευταίο effect και για την άλμη και για τον ατμό είναι ίση με 40°C (2).

-Η παροχή τροφοδοτικού και ψυκτικού νερού και η παροχή ψυκτικού μέσου του συλλέκτη αυτορυθμίζονται ώστε όλες οι θερμοκρασίες λειτουργίας να παραμένουν σταθερές για όλο το διάστημα της ημέρας.

-Η h_{fg} και κατά συνέπεια ο λόγος εξάτμισης είναι ελεγχόμενα μέσα σε κάθε effect μέσω του ελέγχου της πίεσης από τις αντλίες κενού.

-Η θερμοκρασία βρασμού είναι ίση με τη θερμοκρασία της άλμης μείον την ανύψωση σημείου βρασμού και την πτώση που αντιστοιχεί στην υδροστατική ανύψωση. Λόγω του τύπου του εναλλάκτη (Οριζόντιο Φιλμ) οι απώλειες υδροστατικής ανύψωσης θεωρούνται αμελητέες (2).

- Η θερμοκρασία παραγόμενου ατμού είναι ίση με τη θερμοκρασία της άλμης στο ίδιο effect. Ο ατμός είναι στην πραγματικότητα ελαφρώς υπέρθερμος λόγω ανύψωσης σημείου βρασμού, όμως γίνεται η σύμβαση αποβάλλει μόνο λανθάνουσα θερμότητα.

-Η θερμοκρασία στην επιφάνεια του εναλλάκτη μέσα σε κάθε effect είναι προσεγγιστικά ίση με την αντίστοιχη θερμοκρασία της άλμης. Αυτό χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της επιφάνειας συναλλαγής θερμότητας.

-Η συναλλαγή θερμότητας είναι ίση σε όλα τα effects (2)

-Για λόγους κοστολόγησης, η επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας είναι ίση σε όλα τα effects (ενιαία διαστασιολόγηση) (2).

5.4.4 Αλγόριθμος Επίλυσης

Όλα τα μεγέθη τέθηκαν ως διανύσματα με δείκτη j , με τον οποίο ορίζεται μια γραμμική παρεμβολή για κάθε μέγεθος. Κάθε στοιχείο του διανύσματος λύνει ένα διαφορετικό σύστημα με άλλο σημείο λειτουργίας, μεταβάλλοντας μια ή περισσότερες μεταβλητές του συστήματος ταυτόχρονα και προσδιορίζοντας τη σχέση της απόδοσης συναρτήσει του μεταβαλλόμενου μεγέθους. Ο αριθμός j_{count} δείχνει την ακρίβεια της καμπύλης.

Αριθμός βημάτων επαναλήψεων

$j_{count} := 50$

$n_{ef} := 4$ **Αριθμός των effects**

Για την εύρεση των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων του νερού χρησιμοποιήθηκαν οι τύποι του IFC 1967 (50).

Δεδομένα Case Study

Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιούνται για το σενάριο αφαλάτωσης υφάλμυρου νερού σε χαμηλή θερμοκρασία. Στα διαγράμματα όσες τιμές από αυτές δε δηλώνονται ότι μεταβάλλονται είναι σταθερές.

Αλατότητα τροφοδοτικού νερού σε ppm

$X_f = 2000$

Αναλογία αποστάγματος προς τροφοδοτικό νερό (Ποσοστό ανάκτησης)

$ratio = 0.7140$

Ηλιακός συλλέκτης

Επιλέχθηκε Μοντέλο συλλέκτη SolarUS FP1, δεδομένα από πιστοποιητικό του SRCC

Ο Αριθμός των συλλεκτών ορίστηκε ως n_{coll}

Επιφάνεια σε m^2

$$A_c := A_{c1} \cdot n_{coll}$$

Πραγματική επιφάνεια συλλογής του ενός συλλέκτη

$$A_{c1} := 2.01$$

Πρωτοβάθμιοι όροι

$(FR_{τα}) := 0.644$ "Y Intercept": (Παράγων Θερμικής απολαβής)*(Διαπερατότητα Καλύμματος *Απορροφητικότητα απορροφητήρα)

$(FR_{UL}) := 3.536$ "Slope": (Παράγων Θερμικής απολαβής)*(Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας απωλειών στο περιβάλλον) σε $(W/(m^2 \cdot C))$

Δευτεροβάθμιοι όροι

$$C_1 := 0.642$$

$$C_2 := 3.23590$$

$$C_3 := 0.00372$$

Ορίζονται τα εξής:

- Θερμοκρασία τροφοδοτικού νερού ίση με 15 °C,
- Θερμοκρασία τροφοδοτικού νερού μετά την προθέρμανση ίση με 35 °C,
- Θερμοκρασία γλυκόλης στην έξοδο του συλλέκτη ίση με 55 °C
- Θερμοκρασία αποβαλλόμενης άλμης στην έξοδο της μονάδας ίση με 40 °C
- Σταθερός β.α στους εναλλάκτες (2) και τα effects και ίσος με 0.8
- Θερμικές απώλειες στο συμπυκνωτή ίσες με το 10% της συναλλασσόμενης θερμότητας
- Απώλειες πίεσης ανά effect ισοδύναμες με θερμοκρασιακή πτώση 1°C

Συναρτήσεις

Η λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης είναι ίση με:

$$h_{fg}(T) := 2499.5698 - 2.204864 T - 2.304 \cdot 10^{-3} \cdot T^2$$

Ισολογισμός μάζας νερού

$$m_f = m_s + m_b$$

Ισολογισμός μάζας αλάτων

$$x_f \cdot m_f = x_b \cdot m_b$$

Η αλατότητα αποβαλλόμενης άλμης ορίζεται συναρτήσει αυτής του τροφοδοτικού νερού:

$$x_{b\text{out},j} := \frac{x_{f,j}}{1 - \text{ratio}_j} \quad x_{b\text{out},0} = 6.993 \times 10^3$$

Για αλατότητα από 1 έως 16% και θερμοκρασίες από 10 έως 180 °C ισχύει (2):

$$\text{BPE}(T, X) := \left(8.325 \cdot 10^{-2} + 1.883 \cdot 10^{-4} \cdot T + 4.02 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 \right) \frac{X}{10000} + \\ \left(-7.625 \cdot 10^{-4} + 9.02 \cdot 10^{-5} \cdot T - 5.2 \cdot 10^{-7} \cdot T^2 \right) \cdot \left(\frac{X}{10000} \right)^2 + \left(1.522 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-6} \cdot T - 3 \cdot 10^{-8} \cdot T^2 \right) \cdot \left(\frac{X}{10000} \right)^3$$

Η Ειδική συναγωγικότητα για θερμοκρασία εισόδου 100 C έχει υπολογιστεί στα 2.4 kWatt/C*m² (2) και για κάθε ακόλουθο effect ισχύει

$$U_{n+1} = 0.95 U_n$$

Στην βιβλιογραφία (2), αντίστοιχο παράδειγμα με θερμοκρασία από 100 έως 40 °C για 6 effects οι τιμές δίνονταν ως εξής:

$$U_n = (2.4, 2.28, 2.16, 2.0577, 1.9548, 1.8571)$$

Η ειδική συναγωγιμότητα ορίζεται με γραμμική παρεμβολή ανάμεσα στις τιμές αυτές για την αντίστοιχη θερμοκρασία στο πρώτο effect και χρησιμοποιείται ο προηγούμενος τύπος για τον ορισμό της ειδικής συναγωγιμότητας στα ακόλουθα effects.

-Η συναλλαγή θερμότητας και η επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας είναι ίσες σε όλα τα effects (2)

$$Q_1 = Q_n$$

$$A_1 = A_n$$

Συνεπώς ισχύει:

$$\frac{Q_1}{A_1} = \frac{Q_n}{A_n}$$

Γενικά ισχύει για συναγωγή:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Και συνεπώς:

$$U_1 \cdot \Delta T_1 = U_n \cdot \Delta T_n$$

Χρησιμοποιώντας αυτόν τον τύπο υπολογίζονται οι θερμοκρασίες σε κάθε effect. Οι τιμές αυτές ταυτίζονται με τη θερμοκρασία της άλμης σε κάθε effect.

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας του ατμού πρέπει να βρεθεί η ανύψωση σημείου βρασμού. Για να γίνει αυτό πρέπει να γίνει εκτίμηση της αλατότητας της άλμης για κάθε effect. Έγινε η παραδοχή ότι η μεταβολή της είναι σταθερή μεταξύ δυο διαδοχικών effect. Η παραδοχή αυτή απέχει ελάχιστα από την πραγματικότητα και δημιουργεί αμελητέο σφάλμα.

Υπολογίζεται το BPE για κάθε effect βάση του πολυωνύμου που ορίστηκε παραπάνω. Φυσικά για 2000 rpm είναι αμελητέα, είναι υπολογίσιμος παράγοντας μόνο για υψηλές αλατότητες.

$$BPE_{1n,j} := BPE(T_{b_{n,j}}, X_{apr_{n,j}})$$

$$T_{b_{0,0}} = 51.533$$

$$T_{s_{n,0}} =$$

$$BPE_{1n,0} =$$

51.513
47.851
43.998
39.943

0.021
0.033
0.045
0.057

Αφού υπολογιστούν οι θερμοκρασίες ατμού μπορεί να βρεθεί η τιμή της λανθάνουσας θερμότητας ατμοποίησης και συμπύκνωσης για κάθε effect. Κατά τη συμπύκνωση ληφθήκαν υπ' όψιν οι απώλειες πίεσης και τριβής.

$$h_{fgv_{n,j}} := h_{fg}(T_{v_{n,j}}) \quad h_{fgc_{n,j}} := h_{fg}(T_{c_{n,j}})$$

Η θερμοκρασία της γλυκόλης στην έξοδο του αποστακτήρα προσδιορίζεται με την εξίσωση του βαθμού απόδοσης του εναλλάκτη:

$$\eta_{HE} = \frac{m \cdot c_{p.c} \cdot T_{out} - T_{in}}{m \cdot c_{p.min} \cdot T_{out} - T_{b_1}}$$

Το πηλίκο των $m \cdot c_p$ των δύο ρευμάτων είναι συνάρτηση του ποσοστού ανάκτησης και προσδιορίζεται με επαναληπτική διαδικασία.

Προσδιορισμός τιμών Θερμοχωρητικότητας

Τροφοδοτικό νερό

Η θερμοχωρητικότητα του τροφοδοτικού νερού ορίστηκε ως συνάρτηση της αλατότητας.

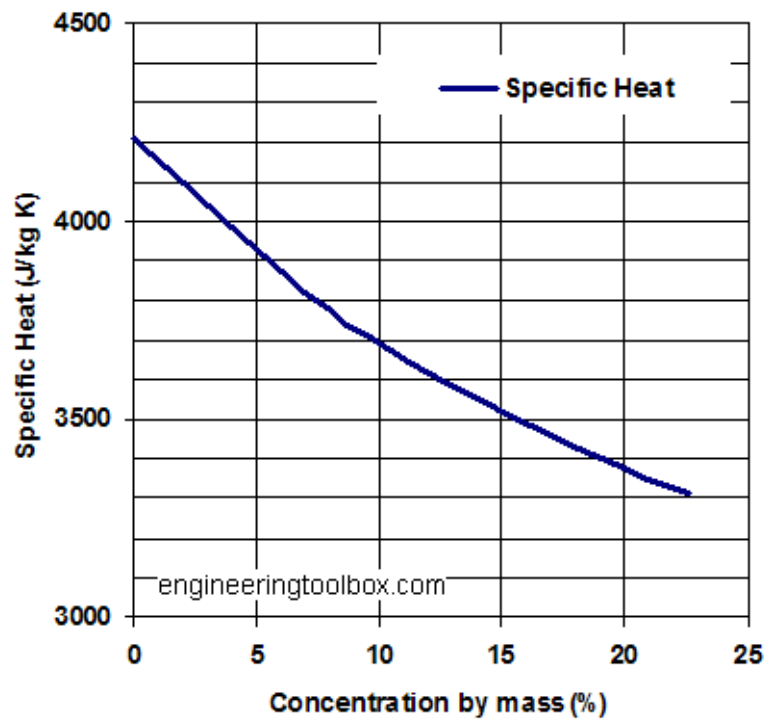
Η θερμοχωρητικότητα θαλασσινού νερού ισούται με

$$C_{pw35000} := 3.998 \text{ KJ/kgK}$$

Και η θερμοχωρητικότητα απεσταγμένου νερού με:

$$C_{pwd} := 4.190 \text{ KJ/kgK}$$

Παρατηρείται ότι η μεταβολή της θερμοχωρητικότητας κατά την αύξηση της αλατότητας είναι σχεδόν γραμμική:



Διάγραμμα 5 - Θερμοχωρητικότητα νερού για διαφορετικές αλατότητες (51)

Συνεπώς η θερμοχωρητικότητα του υφάλμυρου θα υπολογιστεί ως γραμμική παρεμβολή μεταξύ των δύο τιμών.

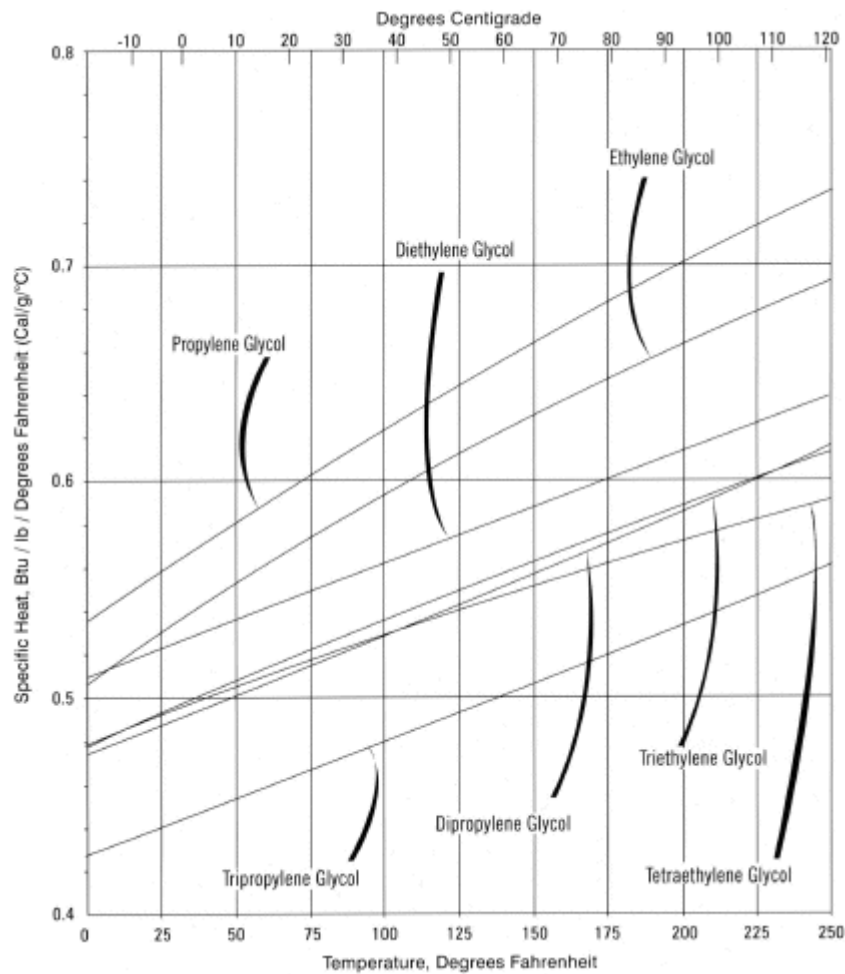
Για το δεδομένο νερό η τιμή υπολογίζεται ίση με: $C_{p_{wat}}(X_{f_0}) = 4.179 \text{ KJ/kgK}$

Όμοια υπολογίζεται και η θερμοχωρητικότητα της άλμης:

$$C_{p_{bout_j}} := C_{p_{wat}}(X_{bout_j})$$

$$C_{p_{bout_0}} = 4.152 \text{ KJ/kgK}$$

Για την προπυλενογλυκόλη που επιλέχθηκε ως ψυκτικό μέσο ισχύει:



Διάγραμμα 6 - Θερμοχωρητικότητα διαλυμάτων γλυκόλης (52)

$C_{pc20} := 2.470$: **$\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$** Θερμοχωρητικότητα στους $20\text{ }^\circ\text{C}$

Επισημαίνεται ότι $1\text{ [kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})] = 0.238845896627\text{ [Btu}/(\text{lb}\cdot^\circ\text{F})]$

Από το διάγραμμα βλέπω ότι

$$C_{pc120} := \frac{0.74}{0.238845896627} \quad C_{pc120} = 3.098$$

Η θερμοχωρητικότητα της γλυκόλης ορίζεται ως συνάρτηση της θερμοκρασίας:

$$C_{pc}(T) := \left[C_{pc20} + \frac{(C_{pc120} - C_{pc20}) \cdot T}{100} \right]$$

Μετεωρολογικά δεδομένα

Τα Μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αναγράφονται στο Παράρτημα Β.

Το Γεωγραφικό πλάτος ισούται με

$$\phi = 38^{\circ}23'17''$$

Οι Τιμές Ηλιακής ακτινοβολίας λήφθηκαν για μέση ημέρα του μήνα Ιουλίου σε κεκλιμένο επίπεδο σταθερής βάσης για θερινή μεγιστοποίηση ακτινοβολίας. Η κλίση του επιπέδου για θερινή μεγιστοποίηση είναι ίση με $\beta = \phi - 15$. Στη διατύπωση των περισσότερων αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε κλίση για ετήσια μεγιστοποίηση, που ορίζεται για $\beta = \phi$.

Η μελέτη γίνεται στο διάστημα 5.30 έως 19:00 για τη θερινή περίοδο και 7.30 έως 17:15 για τη χειμερινή περίοδο. Οι ώρες είναι χειμερινή ώρα Ελλάδας και για τις δύο τιμές (GMT+2).

Για ορισμένες ώρες έλειπε η τιμή της θερμοκρασίας ατμόσφαιρας από το PVGIS και συμπληρώθηκαν δεδομένα από το ΚΑΠΕ.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα εκχωρήθηκαν στις μεταβλητές G_T και T_a .

Η ημερήσια προσπίπτουσα ακτινοβολία υπολογίστηκε ίση με:

$$\frac{\sum G_T}{4} = 7.663 \times 10^3 \text{ Wh} \quad \frac{\sum G_{Tjan}}{4} = 3.993 \times 10^3 \text{ Wh}$$

Επίπεδος ηλιακός Συλλέκτης

Το Πρωτοβάθμιο πολυώνυμο που περιγράφει το βαθμό απόδοσης συλλέκτη ορίζεται ως (53):

$$\eta_i = (FR_{\tau\alpha}) - (FRU_L) \cdot \frac{(T_{in} - T_a)}{G_T}$$

Το δευτεροβάθμιο πολυώνυμο ορίζεται ως:

$$\eta_c = C_1 - C_2 \cdot \frac{(T_{in} - T_a)}{G_T} - C_3 \cdot \frac{(T_{in} - T_a)^2}{G_T}$$

Μετά την εφαρμογή του πολυωνύμου, οι αρνητικές τιμές του β.α. εξισώθηκαν με μηδέν και οι μεγαλύτερες της μονάδας με 1.

Παροχή ψυκτικού

Η παροχή του ψυκτικού μέσου μέσα στους συλλέκτες ορίζεται από την παρακάτω εξίσωση (53):

$$m_c = \eta_i \cdot A_c \cdot \frac{G_T}{\left[C_{p,c} \left(\frac{T_{in} + T_{out}}{2} \right) \cdot (T_{out} - T_{in}) \right]}$$

Υπολογισμός παροχής ατμού

Ορίζεται ο λόγος παροχής ατμού σε κάθε effect προς την παροχή στο πρώτο συναρτήσεως της λανθάνουσας θερμότητας ατμοποίησης:

$$m_{s1} m_{s_{h,j}} := \frac{h_{fgc_{0,j}}}{h_{fgc_{n,j}}}$$

Έχοντας υπολογίσει την αναλογία του παραγόμενου νερού σε όλα τα effects ως προς το πρώτο, μπορούμε να υπολογίσουμε το PR:

$$PR_j := \sum_n m_{s1} m_{s_{h,j}} \quad \text{Performance Ratio}$$

Επίσης με γνωστό το ποσοστό ανάκτησης μπορεί να υπολογιστεί ο λόγος της παροχής τροφοδοτικού νερού σε όλα τα effects ως προς την παροχή στον πρώτο. Έχοντας, κατά συνέπεια, υπολογίσει όλα τα μεγέθη αδιάστατα ως προς την παροχή ατμού στο πρώτο effect, μπορεί στη συνέχεια να βρεθεί το ποσοστό ανάκτησης σε κάθε effect:

$$ratio_{en,j} := \frac{\eta_{ef} \cdot m_{s1} m_{s_{h,j}}}{m_{foliko} \cdot m_{s1}}$$

Ισολογισμός ενέργειας στο πρώτο effect

Ενέργεια που παραλαμβάνει το τροφοδοτικό νερό στο πρώτο effect:

$$Q_{1\text{eff}} = m_{b1} \cdot c_{pb} \cdot (T_{b1} - T_{f\text{out}}) + m_{s1} [C_{ps} \cdot (T_s - T_{f\text{out}}) + h_{fgv_0}]$$

Η οποία είναι ίση με τη διαφορά ενθαλπίας στη γλυκόλη:

$$Q_{1\text{eff}} = m_c \cdot C_{pc} \cdot (T_{\text{out}} - T_{\text{in}})$$

Για να γίνει ο υπολογισμός προσδιορίζεται η αλατότητα της άλμης στο 1^ο effect ώστε να υπολογιστεί η θερμοχωρητικότητα της άλμης:

$$X_{b1,j} := \frac{X_{f,j}}{1 - \text{ratio}_{e_0,j}}$$

Επιλύοντας την εξίσωση βρίσκεται η παροχή τροφοδοτικού νερού στο πρώτο effect ίση με m_{f1} . Όμως η παροχή τροφοδοσίας είναι ίση σε όλα τα effects και κατά συνέπεια υπολογίζεται η συνολική παροχή τροφοδοτικού νερού:

$$m_f := m_{f1} \cdot n_{ef}$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται η παροχή παραγόμενου νερού βάσει των υπολογισμένων ποσοστών αποκατάστασης για κάθε effect:

$$m_{\text{stof}_{i,j}} := \text{ratio}_{i,j} \cdot m_{f_{i,j}}$$

Μπορούν επίσης να υπολογιστούν οι παροχές του παραγόμενου νερού ανά effect εφόσον είχε από πριν βρεθεί η αναλογία τους με την παροχή στο πρώτο.

Επίσης υπολογίζεται η παροχή της παραγόμενης άλμης

$$m_{\text{bout}_{i,j}} := (1 - \text{ratio}_{i,j}) \cdot m_{f_{i,j}}$$

Συμπυκνωτής

Από τον ισολογισμό ενθαλπίας υπολογίζεται το σύνολο του νερού που κυκλοφορεί στο συμπυκνωτή:

$$m_{w_{i,j}} := \frac{\left(m_{s_{n_i,i}}\right)^{\langle j \rangle} \cdot h_{fgc_{n_i,j}}}{\left(T_{f_{out_j}} - T_{f_j}\right) \cdot C_{p_{w_j}}}$$

Η Παροχή ψυκτικού νερού στο συμπυκνωτή είναι ίση με τη συνολική παροχή νερού μείον την παροχή τροφοδοτικού νερού:

$$m_{cw} := m_w - m_f$$

Επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας αποστακτήρα

Προσδιορίζονται η μέγιστες τιμές συναλλαγής θερμότητας ώστε να βρεθεί από τον τύπο η μέγιστη απαιτούμενη επιφάνεια για να λειτουργήσει η μονάδα.

Προσδιορισμός επιφάνειας συναλλαγής θερμότητας για ένα effect:

$$A_{HE1} := AHE(Q_{ef}) \quad A_{HE1_0} = 0.17 \text{ m}^2$$

Συνολική επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας του αποστακτήρα:

$$A_{HEtot_0} = 0.681 \text{ m}^2$$

Εναλλάκτες ρευμάτων εξόδου

Για τους εναλλάκτες ισχύει ο γενικός τύπος της συναγωγής:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Δυσμενέστερη εκτίμηση για την ειδική συναγωγιμότητα των εναλλακτών τύπου Plate Heat Exchanger (51):

$$U_{ex} := 1 \frac{\text{KW}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Για να διαστασιολογηθούν οι εναλλάκτες των ρευμάτων εξόδου πρέπει να βρεθεί η μέγιστη παροχή νερού που διέρχεται από αυτούς και μέσω αυτού να βρεθεί η μέγιστη συναλλασσόμενη ενέργεια.

Υπολογίζεται η μέγιστη παροχή άλμης, παραγόμενου, τροφοδοτικού και ψυκτικού νερού. Η μέγιστη τιμή εντοπίζεται κατά την ώρα που παρουσιάζεται η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία.

Διαστασιολόγηση εναλλάκτη άλμης:

Η Μέγιστη ανακτώμενη θερμότητα από άλμη ισούται με:

$$Q_{\text{recbrine}}^{\langle j \rangle} := \eta_{\text{HE}} \cdot m_{\text{boutmax}_j} \cdot \left[C_{\text{pWat}}(X_{\text{b1}_j}) \cdot (T_{\text{b}_{\eta_1, j}} - T_{\text{f}_j}) \right]$$

Επιφάνεια συναλλαγής εναλλάκτη άλμης:

$$A_{\text{exbrine}_0} = 0.013 \text{ m}^2$$

Διαστασιολόγηση εναλλάκτη παραγόμενου νερού:

Υπολογισμός θερμοκρασίας συνολικού ρεύματος παραγόμενου νερού:

Ως **Taverageout** ορίζεται η θερμοκρασία των αναμιγμένων ρευμάτων παραγόμενου νερού από όλα τα effects και υπολογίστηκε ίση με:

$$T_{\text{averageout}}^{\langle 0 \rangle} = (45.845)$$

Όμοια με πριν υπολογίζεται η μέγιστη ανακτώμενη θερμότητα από παραγόμενο νερό:

$$Q_{\text{recprod}}^{\langle j \rangle} := \eta_{\text{HE}} \cdot m_{\text{smax}_j} \cdot \left[C_{\text{pWat}}(X_{\text{b1}_j}) \cdot (T_{\text{averageout}}^{\langle j \rangle} - T_{\text{f}_j}) \right]$$

Επιφάνεια συναλλαγής εναλλάκτη παραγόμενου νερού:

$$A_{\text{exd}_0} = 0.018 \text{ m}^2$$

Αποτελέσματα ενεργειακής απόδοσης

Αποτελέσματα ενεργειακής απόδοσης

Ειδική επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας:

$$\text{SpecificHTArea} := \frac{A_{\text{HEtot}_0}}{m_{\text{smax}_0}} \quad \text{SpecificHTArea} = 361.309 \frac{\text{m}^2}{\text{kg/s}}$$

$$\text{ProdEnergy}^{(j)} := \frac{\sum_i Q_{\text{prodsum}, j}}{4}$$

Παροχή αποβαλλόμενης άλμης (σε κιλά):

$$m_{\text{cwbrineTOT}_0} = 17.107$$

Επειδή οι πράξεις έγιναν σε κιλά, για να υπολογιστούν τα μεγέθη που περιλαμβάνουν λίτρα έγινε διαίρεση με την πυκνότητα, η οποία ορίστηκε για 20 °C.

Θερμικό κόστος παραγωγής νερού σε m^3 / kWh

$$kw_{\text{m3}} := \frac{Q_{\text{coll}}}{\text{TotalProduct}} \quad kw_{\text{m3}_0} = 172.873 \quad \frac{\text{Kwh}}{\text{m}^3}$$

0.9982071

Παραγόμενα λίτρα την ημέρα για Ιούλιο:

$$\text{Λιτρα} := \frac{\text{TotalProduct}}{0.9982071} \quad \text{Λιτρα}_0 = 43.071$$

Performance Ratio

$$PR_0 = 3.977$$

Ενθαλπία στην είσοδο

$$Q_{in_j} := \frac{Q_{coll_j}}{1000} \quad Q_{in_0} = 7.432 \text{ KWh}$$

Ενθαλπία στην έξοδο

$$Q_{out_j} := \text{ProdEnergy}_j + \frac{\left[\sum_i [m_{cw_{i,j}} \cdot [Cp_{w_j} \cdot (T_{fout_j} - T_{f_j})]] \right] + \left[\sum_i [m_{bout_{i,j}} \cdot [Cp_{w_j} \cdot (T_{fout_j} - T_{f_j})]] \right]}{4}$$

$$Q_{out_0} = 6.984 \text{ KWh}$$

Θερμικές απώλειες της μονάδας:

Ποσοστό απωλειών

$$Q_L := Q_{in} - Q_{out}$$

$$U_L := \frac{Q_L}{Q_{in}}$$

$$Q_{L_0} = 0.449 \text{ KWh}$$

$$U_{L_0} = 0.06 = 6\%$$

Ποσοστό ανάκτησης θερμότητας για το θερμοσίφωνα/ ηλιακό καλοριφέρ:

$$Q_{hotwater_j} := \frac{\sum_i [m_{cw_{i,j}} \cdot [Cp_{w_j} \cdot (T_{fout_j} - T_{f_j})]]}{4}$$

Από συμπυκνωτή

$$Q_{hotwater_0} = 5.04 \text{ KWh}$$

Ανακτώμενη θερμότητα από τον εναλλάκτη του παραγόμενου νερού:

$$Q_{productRecov_0} = 1.235 \text{ KWh}$$

Ανακτώμενη θερμότητα από τον εναλλάκτη της αποβαλλόμενης άλμης

$$Q_{\text{brineRecov}_j} := \eta_{\text{HE}} \left[\sum_i \left(\frac{m_{\text{bout}_{i,j}}}{4} \right) \right] \cdot \left[C_{\text{pWat}}(X_{\text{b1}_j}) \cdot (T_{\text{b}_{\eta_1,j}} - T_{\text{f}_j}) \right]$$

$$Q_{\text{brineRecov}_0} = 0.397 \text{ KWh}$$

Ποσοστά ανάκτησης σε σχέση με το αρχικό ποσό θερμότητας:

$$\eta_{\text{Rcondenser}} := \frac{Q_{\text{hotwater}}}{Q_{\text{in}}} \quad \eta_{\text{Rcondenser}_0} = 0.678$$

$$\eta_{\text{Rprod}} := \frac{Q_{\text{productRecov}}}{Q_{\text{in}}} \quad \eta_{\text{Rprod}_0} = 0.166$$

$$\eta_{\text{Rbrine}} := \frac{Q_{\text{brineRecov}}}{Q_{\text{in}}} \quad \eta_{\text{Rbrine}_0} = 0.053$$

Συνολικό ποσό ανακτήσιμης θερμότητας

$$\eta_{\text{RTOT}} := \eta_{\text{Rcondenser}} + \eta_{\text{Rprod}} + \eta_{\text{Rbrine}}$$

$$\eta_{\text{RTOT}_0} = 0.898$$

Κοστολόγηση Εγκατάστασης

Χρησιμοποιήθηκαν οι τύποι:

Κόστος αποστακτήρα

$$\text{Cost}_{\text{Evap}} := 4135 \cdot A_{\text{HE1}}^{0.786} \quad \text{σε } \$ (54)$$

Κόστος εναλλάκτη (54)

$$\text{Cost}_{\text{HE}}(A1) := 1224 \cdot A1^{0.57}$$

Κόστος αντλιών (54)

$$\text{Cost}_{\text{pump}_j} := 65 \cdot Q_f^{0.825}$$

Με έρευνα στην παρούσα αγορά, συμπληρώθηκαν οι τύποι αυτοί με τις παρακάτω παραδοχές για το κόστος:

Κόστος Αντλίας κενού:

$$\mathbf{Cost_{vacPump}} := 150 \text{ €}$$

Κόστος Ηλιακού Συλλέκτη ανά m^2

$$\mathbf{Cost_{coll}} := 100 \text{ €}$$

Επίσης τέθηκε η ισοτιμία:

1 US\$ = 0.765228038 Euros (Ιούνιος 2013)

Κόστος Συλλεκτών:

$$\mathbf{Cost_{coll}_0} = 201$$

Κόστος Αποστακτήρων:

$$\mathbf{Cost_{Evap_0}} = 3.147 \times 10^3$$

Κόστος Αντλιών: 1 γλυκόλης, 1 τροφοδοτικού νερού, 2 ψυκτικού μέσου

$$\mathbf{Cost_{Pump}_j} := 4 \cdot \mathbf{US\$} \cdot \mathbf{E} \cdot \frac{3600}{0.9982071} \cdot \frac{1}{1000} \cdot (\mathbf{m_{cwmax}})_j^{0.825} \cdot 0.65$$

$$\mathbf{Cost_{Pump}_0} = 15.418$$

Αντλίες κενού

$$\mathbf{Cost_{vacPump}} := (\mathbf{n_{ef}} + 1) \cdot 150 = 750$$

Κόστος εναλλακτών

$$\mathbf{Cost_{HEtot}_0} = 94.25$$

Στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν εγκαταστάθηκε εναλλάκτης για την άλμη διότι ήταν ασύμφορο να εγκατασταθεί εναλλάκτης αξίας ~100 ευρώ για μέγιστο όφελος 10 λίτρα ζεστό νερό ημερησίως.

Εκτιμώμενο συνολικό κόστος

$$\mathbf{Cost := Cost_{Evap} + Cost_{HEtot} + Cost_{Pump} + Cost_{vacPump}}$$

Εκτιμώμενο συνολικό κόστος περιλαμβανομένων των ηλιακών συλλεκτών

$$\mathbf{Cost_{withcollectors} := Cost_{coll} + Cost_{Evap} + Cost_{HEtot} + Cost_{Pump} + Cost_{vacPump}}$$

$$\mathbf{Cost_{\eta} = 4.088 \times 10^3 \text{ €}}$$

$$\mathbf{Cost_{withcollector_{\eta}} = 4.289 \times 10^3}$$

Οι παρακάτω πράξεις και τα ακόλουθα συμπεράσματα δεν υπολογίζουν το κόστος των συλλεκτών διότι η μονάδα σχεδιάζεται να εγκατασταθεί συμπληρωματικά στα ήδη υπάρχοντα συστήματα χωρίς να επηρεάσει τη λειτουργία τους.

Κόστος εγκατάστασης ανά κυβικό

$$\mathbf{CostPerCMperDay = \frac{1000 \cdot Cost}{\text{Λιτρα}}}$$

$$\mathbf{CostPerCMperDay = 9.49 \times 10^4}$$

Κάλυψη εκτιμώμενων αναγκών βάσει των δεδομένων της AWWA (55)

Ημερήσια ζήτηση σε νερό ανά άτομο σε λίτρα θεωρήθηκε ίση με 150 λίτρα, που είναι ο μέσος όρος για την Ευρώπη και για μικρούς ελληνικούς οικισμούς, και έστω ο αριθμός των ατόμων ίσος με 2.

Συνολική Ζήτηση σε κιλά

$$\mathbf{DailyDemand := DailyDemandperPerson \cdot People \cdot 0.9982071}$$

Ποσοστά χρήσεων

Βρύση

FaucetPerc := 0.157

Τουαλέτα

ToiletPerc := 0.267

Ντους

ShowerPerc := 0.168

Πλυντήριο Ρούχων

ClothesWash := 0.217

Ποσοτικές ανάγκες ανά χρήση

FaucDem := **DailyDemand** · **FaucetPerc** = 47.016

ShowDem := **DailyDemand** · **ShowerPerc** = 50.31

ClothesWashDem := **DailyDemand** · **ClothesWash** = 64.983

ToilDem := **DailyDemand** · **ToiletPerc** = 79.956

Ζήτηση σε ζεστό νερό

HotWaterDemand := **ShowDem** + **ClothesWashDem** = 115.293

Μελετώντας υφάλμυρο νερό, έχουμε

Ανάγκες σε πόσιμο νερό:

PotableWaterDemand := **FaucDem** = 47.016

Ποσοστό αναγκών που καλύπτονται για τον επιλεγμένο αριθμό ατόμων με τη συσκευή αυτή τον Ιούλιο:

$$\mathbf{PotableDemandMetRatio} := \frac{100(\mathbf{TotalProduct}_0)}{\mathbf{PotableWaterDemand}} = 91.446 \%$$

Λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι δε χρειαζόμαστε πόσιμο νερό για κάθε χρήση που κάνουμε στο νερό της βρύσης (που στον αλγόριθμο το υπέθεσα), το ποσοστό αυτό καλύπτει τις ανάγκες των 2 ατόμων. Εντούτοις δεν είναι αρκετό διότι χρειάζεται να

δημιουργήσει απόθεμα για τους χειμερινούς μήνες που η ηλιακή ακτινοβολία και συνεπώς η παραγωγή νερού είναι χαμηλότερη.

Κάλυψη αναγκών σε ζεστό νερό:

$$\text{HotWaterCoverage} := \frac{(100m_{cwDAY})_0}{\text{HotWaterDemand}} = 188.303 \%$$

Ποσότητα ημιακάθартου νερού που απαιτείται ημερησίως για να συμπληρώσει την άλμη για χρήση στο καζανάκι:

$$\text{GrayWaterToilDem} := \text{ToilDem} - m_{bDAY}_0 = 62.735 \text{ Κιλά}$$

Η τιμή αυτή είναι ικανοποιητική γιατί προσεγγίζει την τιμή του παραγόμενου νερού. Συνεπώς θα αποβάλλεται τελικώς νερό με την ίδια περιεκτικότητα με αυτή του τροφοδοτικού νερού.

Ποσοστό των αναγκών για το καζανάκι που καλύπτονται από την ποσότητα της άλμης

$$\text{BrineToiletCoverage} := \frac{(100m_{bDAY})_0}{\text{ToilDem}} = 21.539 \%$$

Εάν το τροφοδοτικό νερό ήταν **θαλασσινό**, η ζήτηση σε πόσιμο νερό θα ήταν

$$\text{PotableWaterDemandSalt} := \text{FaucDem} + \text{ShowDem} + \text{ClothesWashDem} = 162.308$$

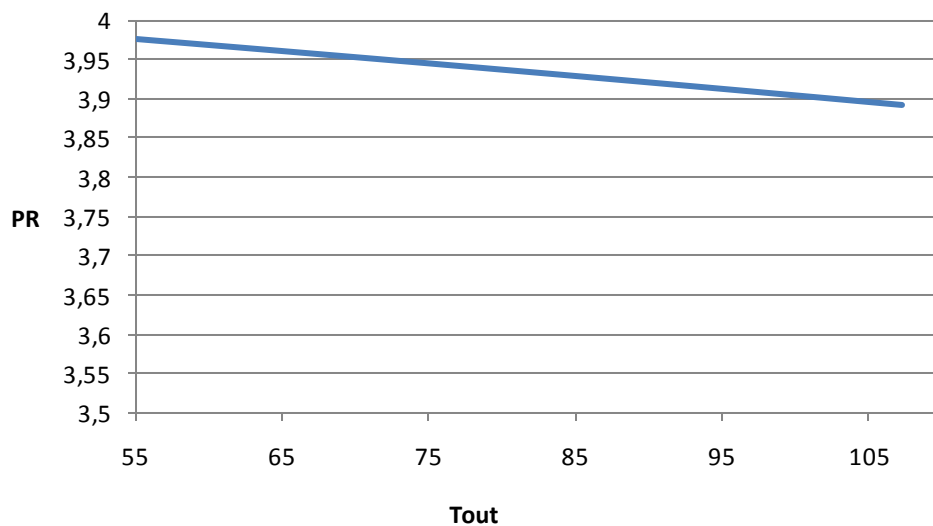
Και το ποσοστό κάλυψης αναγκών σε πόσιμο νερό θα ήταν

$$\text{PotableDemandMetRatioSalt} := \frac{[100(\text{TotalProduct}_0)]}{\text{PotableWaterDemandSalt}} = 26.489 \%$$

5. 4 Σενάρια εφαρμογής - Παρουσίαση αποτελεσμάτων

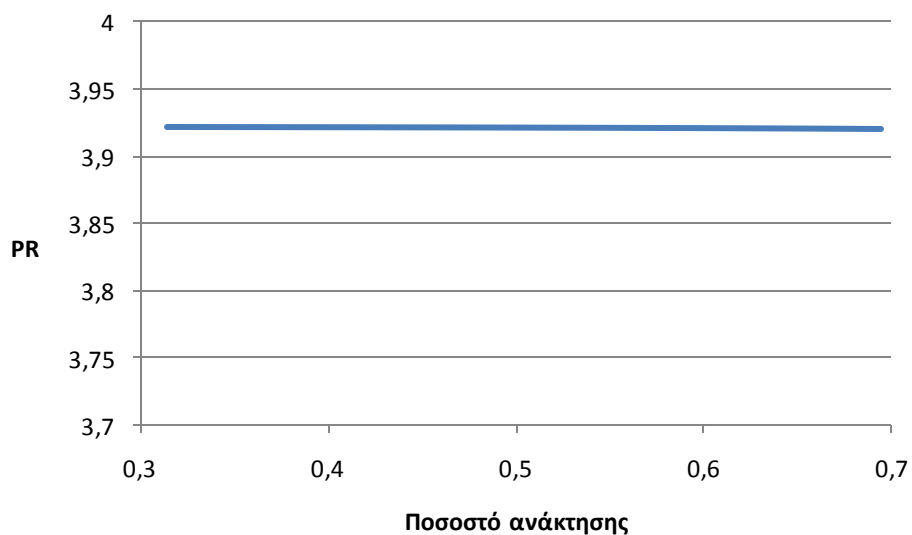
5.4.1 Μελέτη θερμικής απόδοσης

Διαπιστώθηκε ότι η μέγιστη θερμοκρασία εισόδου έχει ελάχιστη επιρροή στο συντελεστή απόδοσης και την ειδική κατανάλωση θερμότητας. Για μονάδα με 4 effects, μελετήθηκαν οι παράγοντες που επηρεάζουν το Performance Ratio:

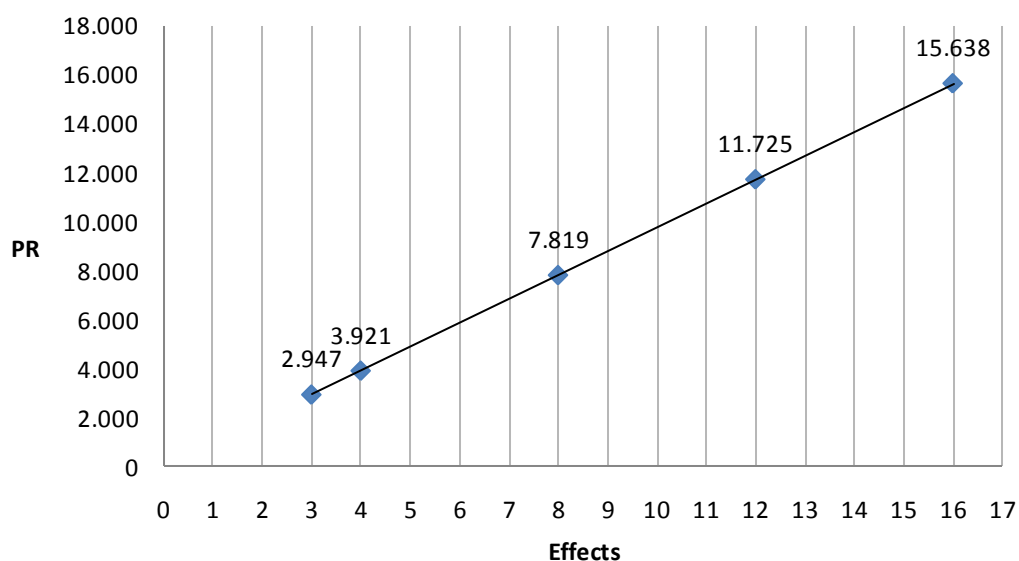


Διάγραμμα 7 - Επιρροή της μέγιστης θερμοκρασίας στο PR

Παρατηρήθηκε εξαιρετικά αμελητέα μεταβολή του PR κατά τη μεταβολή του ποσοστού ανάκτησης:



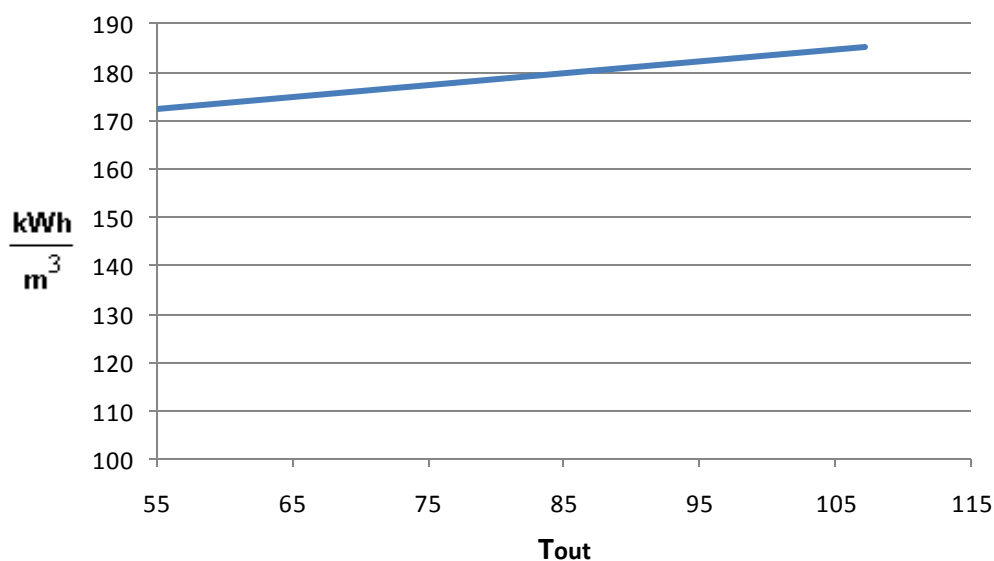
Διάγραμμα 8 - Επιρροή του ποσοστού ανάκτησης στο PR



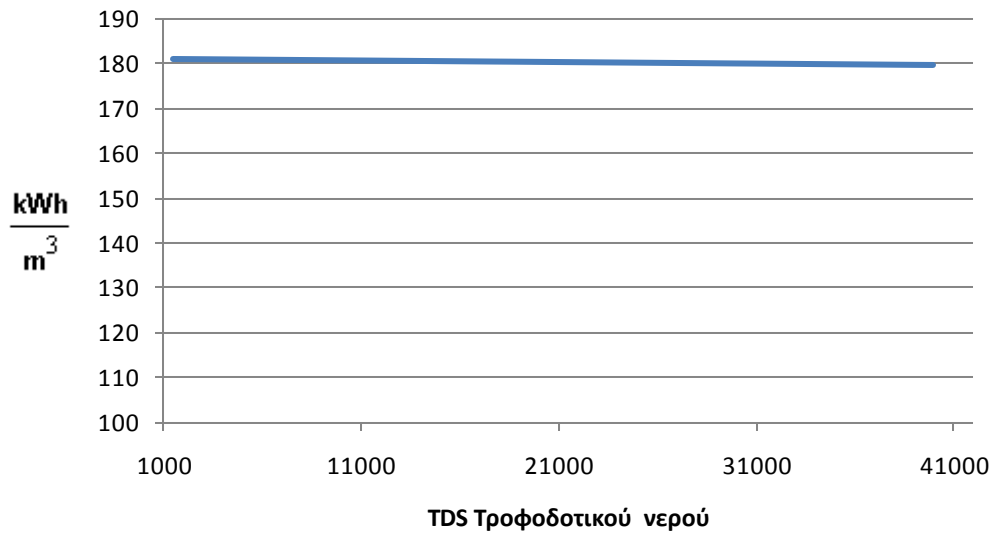
Διάγραμμα 9 – Performance Ratio Συναρτήσει του αριθμού των Effects

Τα αποτελέσματα επικυρώνουν τη βιβλιογραφία ότι το PR ισούται προσεγγιστικά με τον αριθμό των effects (2). Όσο μεγαλύτερος ο αριθμός των effects τόσο περισσότερες φορές επαναχρησιμοποιείται η ίδια ενέργεια, μειώνοντας τις απαιτήσεις σε θερμότητα.

Μελετήθηκαν επίσης οι παράγοντες που επηρεάζουν την ειδική κατανάλωση θερμότητας:



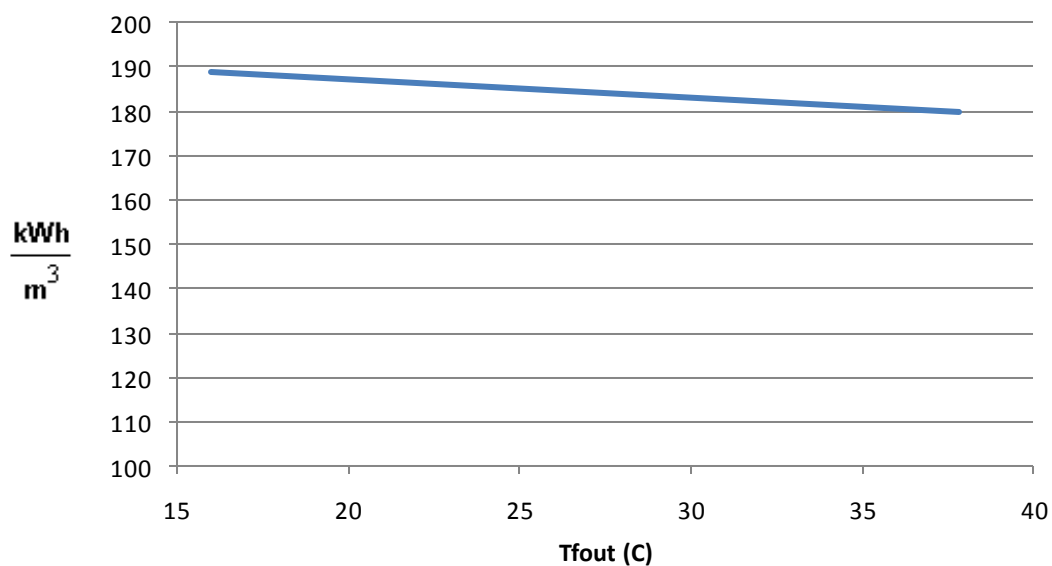
Διάγραμμα 10 - Επιρροή της μέγιστη θερμοκρασίας στην ειδική κατανάλωση θερμότητας



Διάγραμμα 11 - Επιρροή της αλατότητας του τροφοδοτικού νερού στην ειδικό ενεργειακό κόστος για εύρος 1500 έως 42000 ppm

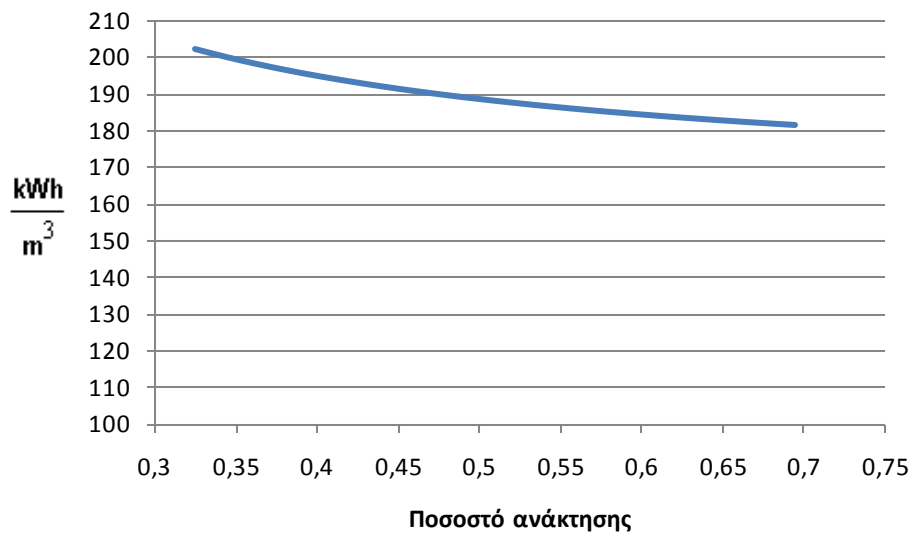
Έχει ληφθεί υπ' όψιν το BPE και η επιρροή στο Cr. Παρατηρήθηκε μεταξύ των ακραίων τιμών αμελητέα πτώση (περίπου 1%) στην ειδική κατανάλωση ενέργειας κυρίως λόγω της πτώσης στη θερμοχωρητικότητα.

Συσχέτιση με θερμοκρασία εισόδου θερμαντικού μέσου στον αποστακτήρα:



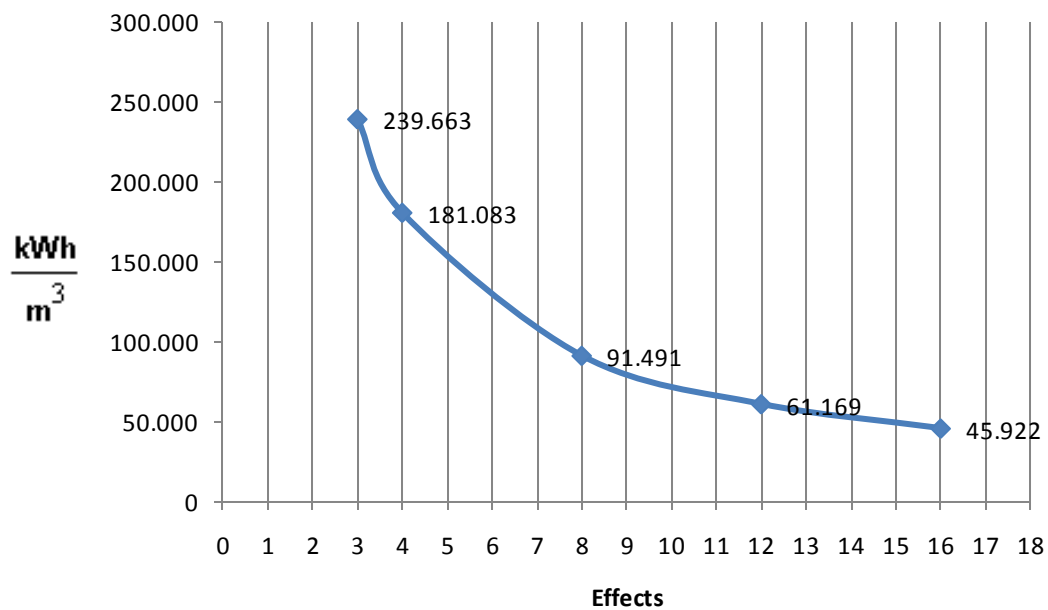
Διάγραμμα 12 - Ειδική κατανάλωση θερμότητας συναρτήσει της θερμοκρασίας του νερού κατά την είσοδο στους αποστακτήρες

Συσχέτιση με ποσοστό ανάκτησης:



Διάγραμμα 13 Ειδική κατανάλωση θερμότητας συναρτήσει του ποσοστού ανάκτησης

Συσχέτιση με τον αριθμό των effects:

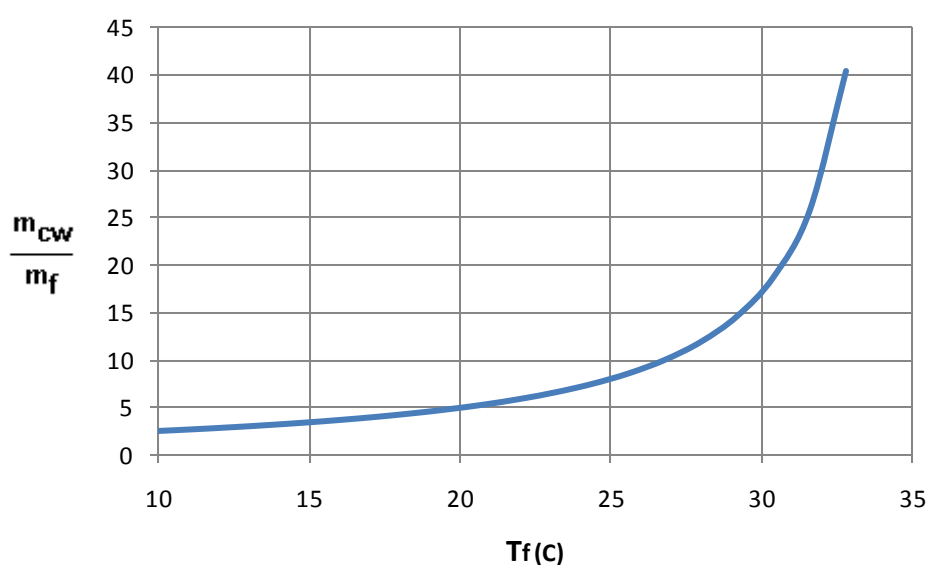


Διάγραμμα 14 - Ειδική κατανάλωση θερμότητας συναρτήσει του αριθμού των Effects

5.4.2 Παροχή ψυκτικού

Δεδομένης της ύπαρξης του συμπυκνωτή, η απόδοση της καθεαυτής μονάδας είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας τροφοδοτικού νερού. Για δεδομένη θερμοκρασία τροφοδοτικού νερού μετά την προθέρμανση, το μόνο που επηρεάζεται είναι η παροχή ψυκτικού νερού.

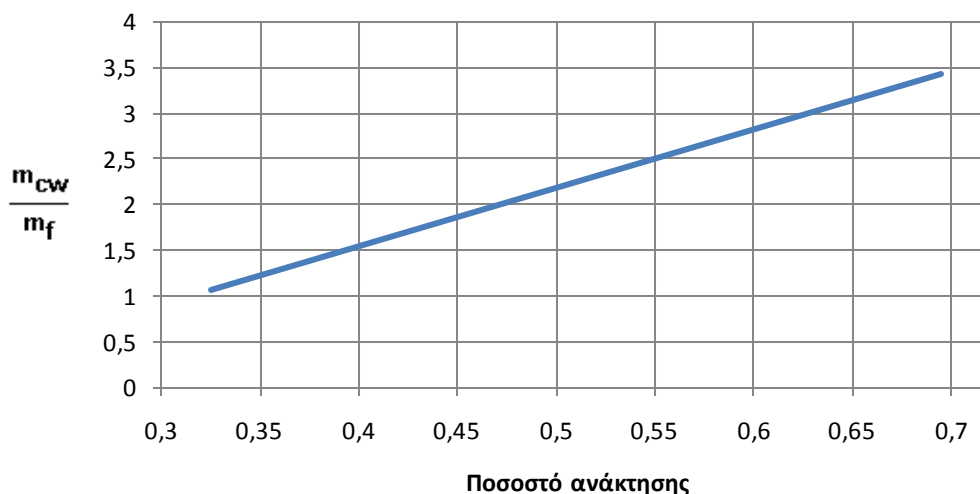
Για θερμοκρασία τροφοδοτικού/ψυκτικού νερού ίση με 35 °C στην έξοδο του συμπυκνωτή και ποσοστό ανάκτησης 0.714, υποθέτοντας ότι δεν γίνεται ανάκτηση θερμότητας από το τροφοδοτικό νερό και την άλμη, ο λόγος ψυκτικού προς τροφοδοτικό νερό είναι ίσος με:



Διάγραμμα 15 - Ειδική παροχή ψυκτικού συναρτήσει θερμοκρασίας τροφοδοσίας

Σημειώνεται για την περίπτωση που το τροφοδοτικό νερό παρέχεται από το δίκτυο, από τις τιμές του ΕΛΟΤ 1291, η μέγιστη μέση θερμοκρασία που έχει μετρηθεί είναι 28.7 Κελσίου (Ιεράπετρα Κρήτης) στην παροχή του δικτύου.

Αντίστοιχα, θεωρώντας τη θερμοκρασία του τροφοδοτικού νερού σταθερή και ίση με 15 °C μελετάται η μεταβολή του λόγου ψυκτικού προς τροφοδοτικό συναρτήσει του ποσοστού ανάκτησης:



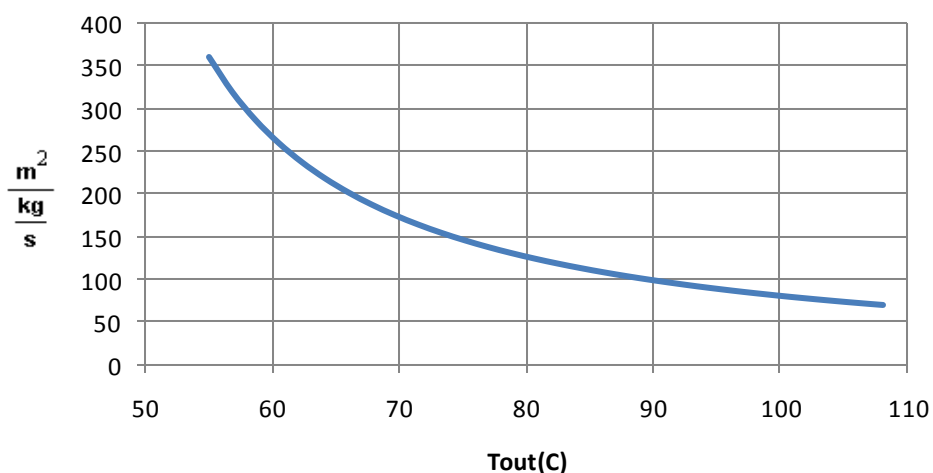
Διάγραμμα 16 - Ειδική παροχή ψυκτικού συναρτήσει ποσοστού ανάκτησης

5.4.3 Εκτίμηση κόστους εγκατάστασης

Για τον υπολογισμό του κόστους εγκατάστασης, θεωρήθηκε ότι το κόστος των συλλεκτών κενού είναι 40% μεγαλύτερο των επίπεδων. Επίσης έγινε η σύμβαση ότι οι ηλιακοί συλλέκτες δεν έχουν οικονομία κλίμακας. Επισημαίνεται ότι λαμβάνεται υπ' όψιν μόνο το κόστος του συλλέκτη καθ' εαυτού και όχι το κόστος εγκατάστασής τους.

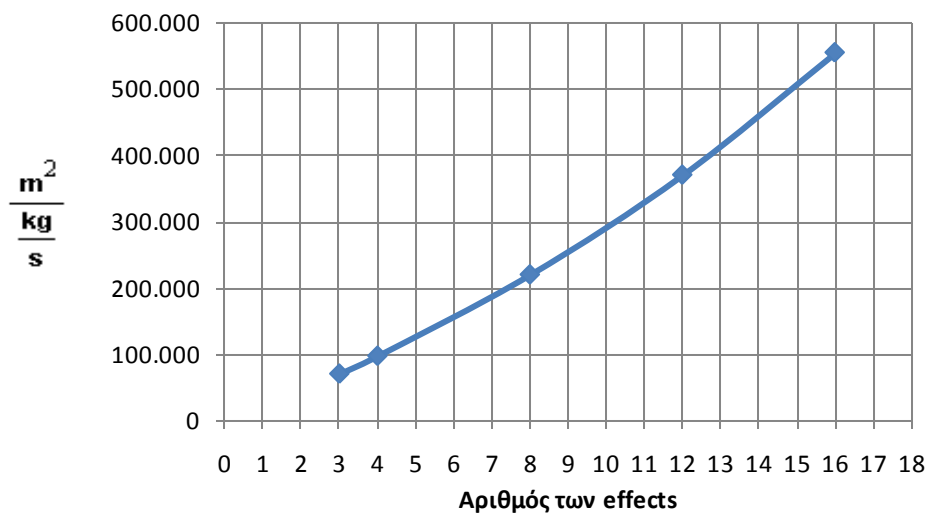
Καθοριστικός παράγοντας στην κοστολόγηση είναι η επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας, η οποία καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας.

Η επιρροή της θερμοκρασίας εισόδου στον αποστακτήρα στην ειδική επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Διάγραμμα 17 - Ειδικής επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας για 4 effects συναρτήσει της θερμοκρασίας εισόδου

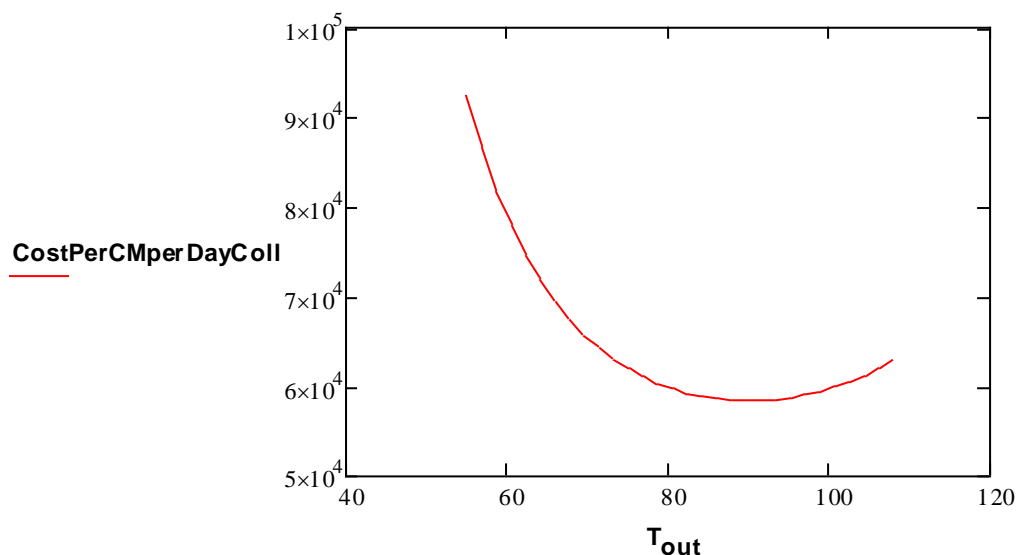
Άλλος καθοριστικός παράγοντας της ειδικής επιφάνειας μεταφοράς θερμότητας είναι ο αριθμός των effects:



Διάγραμμα 18 - Ειδική επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας για μέγιστη θερμοκρασία 90 C συναρτήσει του αριθμού των effects

Για την χάραξη των ακόλουθων διαγραμμάτων ο αριθμός των effects επιλέχθηκε ίσος με 4.

Για Ελάχιστη Ημερήσια παροχή 200 με 230 Λίτρα, χαράχθηκε διάγραμμα για την περίπτωση των συλλεκτών κενού που μελετάει τη μεταβολή του ειδικού κόστους για τις τιμές της μέγιστης θερμοκρασίας λειτουργίας από 55 έως 110°C:

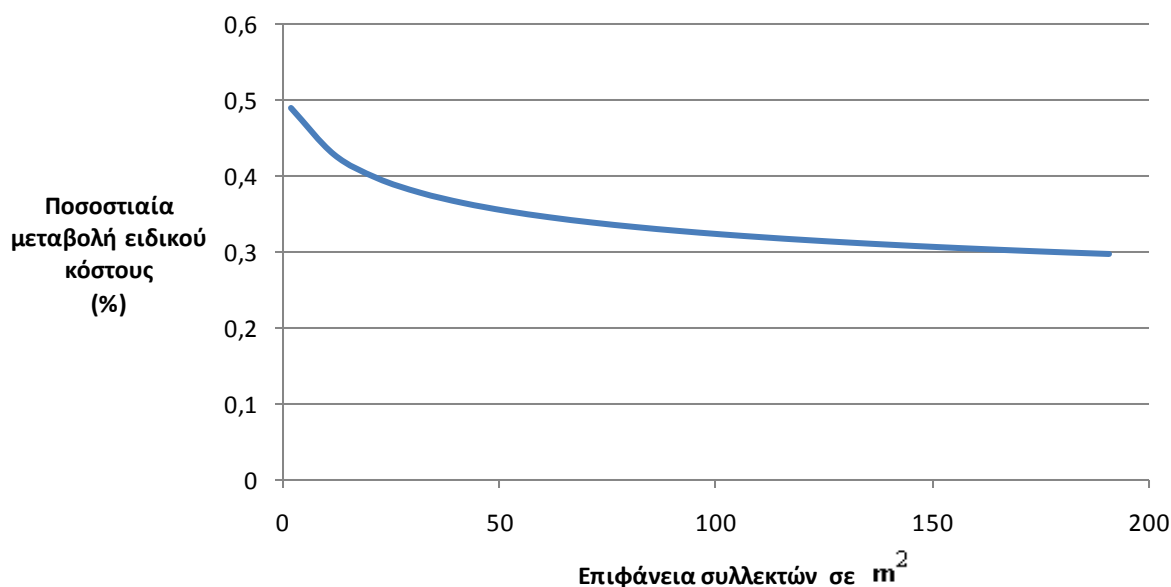


Διάγραμμα 19 - Μεταβολή ειδικού κόστους σε σχέση με τη θερμοκρασία

Παρατηρείται ελαχιστοποίηση του κόστους για θερμοκρασίες γύρω στους 90°C. Επιπλέον θα ήταν δυσκολότερο να επιτευχθούν μεγαλύτερες θερμοκρασίες

για πολλές ώρες την ημέρα, ιδιαίτερα το χειμώνα. Για το λόγο αυτό επιλέχθηκε για να εξεταστεί ως σενάριο η συγκεκριμένη τιμή σαν σημείο λειτουργίας.

Διαπιστώθηκε ότι η αλατότητα του νερού έχει αμελητέα(μικρότερη του 0.5%) και φθίνουσα επιρροή στο κόστος εγκατάστασης, και συνεπώς δεν υπήρχε λόγος χωριστής μελέτης του κόστους συναρτήσει της ποιότητας νερού. Αυτό φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



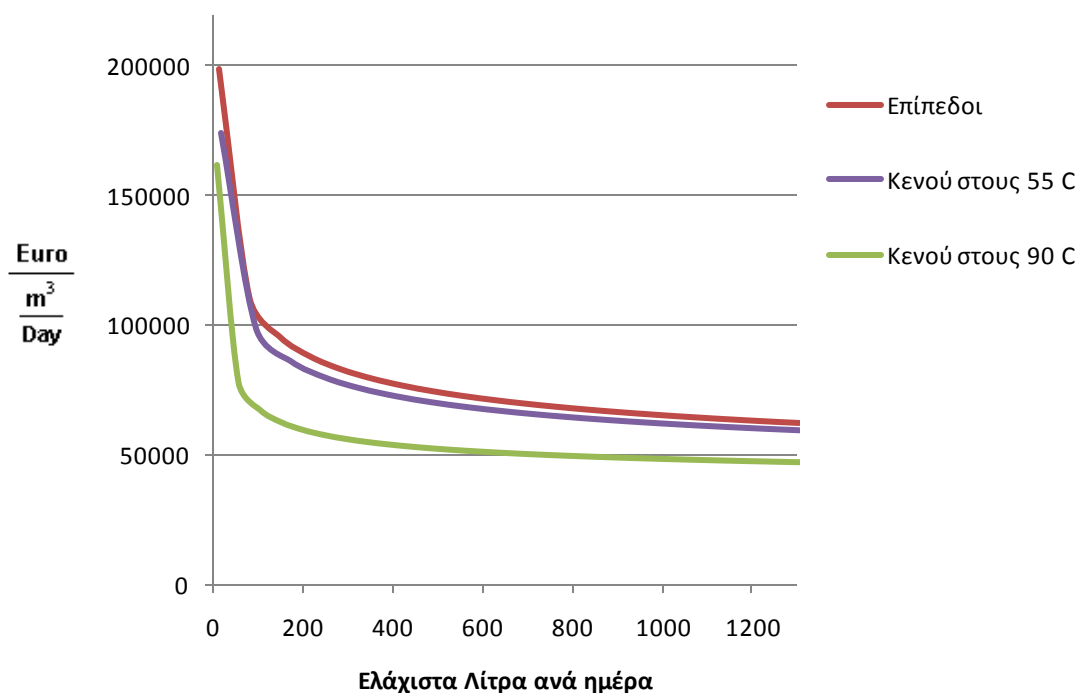
Διάγραμμα 20 - Διαφορά ειδικού κόστους εγκατάστασης μεταξύ αφαλάτωσης νερού με 2000 και νερού με 38000 TDS

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το ειδικό κόστος είναι η κλίμακα, το είδος των συλλεκτών και η θερμοκρασία λειτουργίας. Λήφθηκε υπ' όψιν η ελαχιστοποίηση του κόστους για 90°C και τα πλεονεκτήματα της λειτουργίας στη χαμηλότερη δυνατή θερμοκρασία. Έγινε σύγκριση του ειδικού κόστους εγκατάστασης μεταξύ 3 σεναρίων:

1. Χρήση επίπεδων ηλιακών συλλεκτών με θερμοκρασία εξόδου τους 55°C
2. Χρήση ηλιακών συλλεκτών κενού με θερμοκρασία εξόδου τους 55°C
3. Χρήση επίπεδων ηλιακών συλλεκτών με θερμοκρασία εξόδου τους 90°C

Σημειώνεται ότι η ειδική κατανάλωση θερμότητας για τα Σενάρια 1 και 2 υπολογίστηκαν στις 172.563 kWh/m³ και για το Σενάριο 3 ήταν 180.322 kWh/m³.

Τα αποτελέσματα ήταν τα εξής:



Πίνακας 13 - Σύγκριση ειδικού κόστους μονάδας βάση θερμοκρασίας και είδους συλλέκτη

Το κόστος γίνεται συναρτήσει της παροχής που θα παράγει η μονάδα μια μέση μέρα του μήνα Ιανουαρίου. Αυτή θεωρείται η θεωρητική ελάχιστη τιμή που πρόκειται να παράξει η μονάδα.

Παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο κατασκευαστικό κόστος εντοπίζεται στο Σενάριο 1. Οι τιμές του είναι υπερβολικά μεγάλες και οφείλονται στην δραματική αύξηση της επιφάνειας συναλλαγής θερμότητας που προκάλεσε ο ορισμός χαμηλής θερμοκρασίας εισόδου.

Πραγματοποιήθηκε επίσης σύγκριση της ευαισθησίας κάθε σεναρίου στη μεταβολή της ακτινοβολίας. Ο λόγος της ημερήσιας παραγωγής για την ακτινοβολία της μέσης ημέρας του Ιουλίου προς την αντίστοιχη για την ακτινοβολία του Ιανουαρίου βρέθηκε ότι είναι σταθερή ως προς την κλίμακα και ίση με:

Σενάριο	$\frac{\text{Παροχή Ιουλίου}}{\text{Παροχή Ιανουαρίου}}$
1	3,150999
2	2,357434
3	3,040773

Πίνακας 14 - Λόγος ετήσιας μέγιστης προς ελάχιστη παροχή ανά Σενάριο

Συγκρίθηκε η απαιτούμενη επιφάνεια συλλεκτών προς την ημερήσια παραγωγή σε λίτρα για τις θερινές και χειμερινές τιμές:

Σενάριο	Ελάχιστα Λίτρα/ m^2	Μέγιστα Λίτρα/ m^2
1	6,812431	21,46596
2	7,827249	18,45222
3	4,80462	14,60976

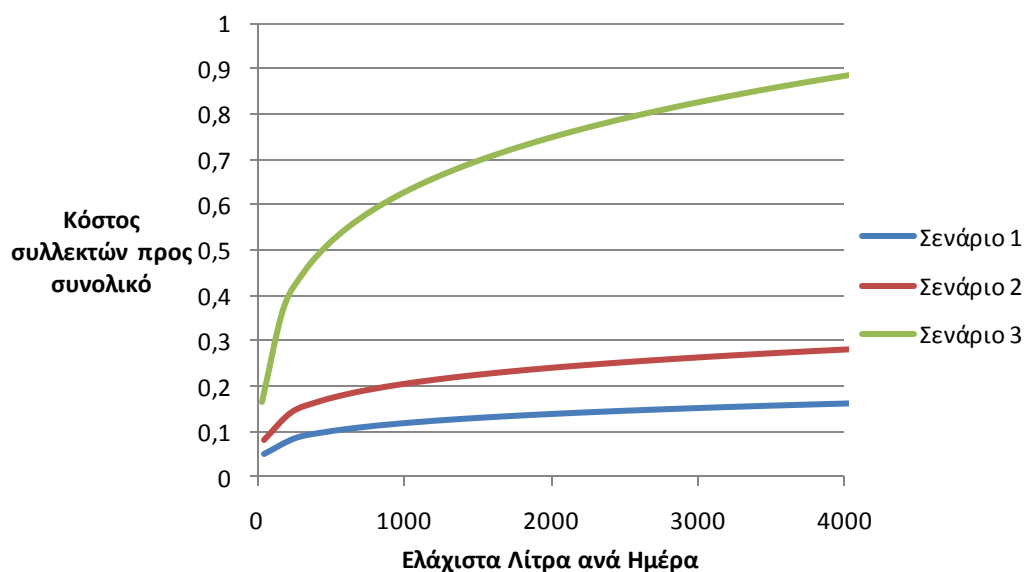
Πίνακας 15 - Ημερήσια παραγωγή λίτρων ανά m^2 συλλέκτη

Αντίστοιχα, χαράχθηκε διάγραμμα που συγκρίνει για τα 3 σενάρια την επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας του εναλλάκτη:

Η ειδική επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας υπολογίστηκε ίση με $360.678 \frac{m^2}{kg/s}$ για τα Σενάρια 1 και 2 και $97.524 \frac{m^2}{kg/s}$ για το Σενάριο 3. Επηρεάζεται μόνο από τη θερμοκρασία λειτουργίας και όχι από το είδος των συλλεκτών ή την παροχή.

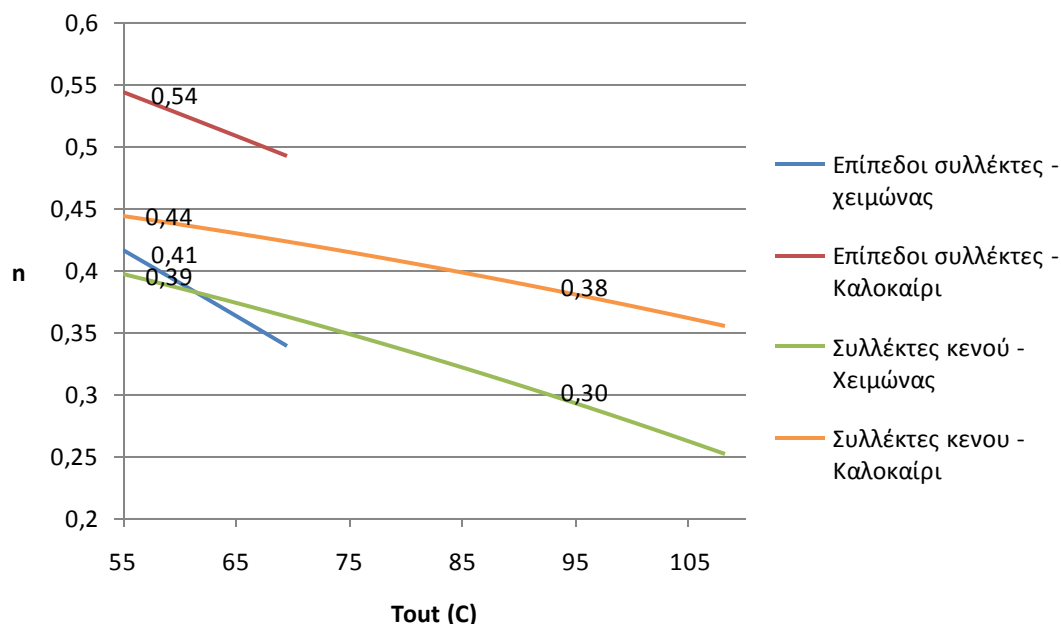
Όπως φαίνεται από τον προηγούμενο πίνακα αν και το Σενάριο 3 έχει χαμηλότερη ειδική επιφάνεια συναλλαγής θερμότητας και συνεπώς μικρότερο όγκο και κατασκευαστικά κόστη για τον αποστακτήρα καθ' εαυτόν, έχει πολύ μεγαλύτερες απαιτήσεις στην επιφάνεια των συλλεκτών, πράγμα που καταλαμβάνει πολύ μεγαλύτερο μέρος του κόστους της μονάδας.

Με την παραδοχή πάντα ότι το κόστος των συλλεκτών δεν έχει οικονομία κλίμακας, υπολογίστηκε ο λόγος του κόστους των συλλεκτών προς το συνολικό για κάθε σενάριο:



Διάγραμμα 21 - Κόστος των συλλεκτών ως ποσοστό της εγκατάστασης συναρτήσει της κλίμακας

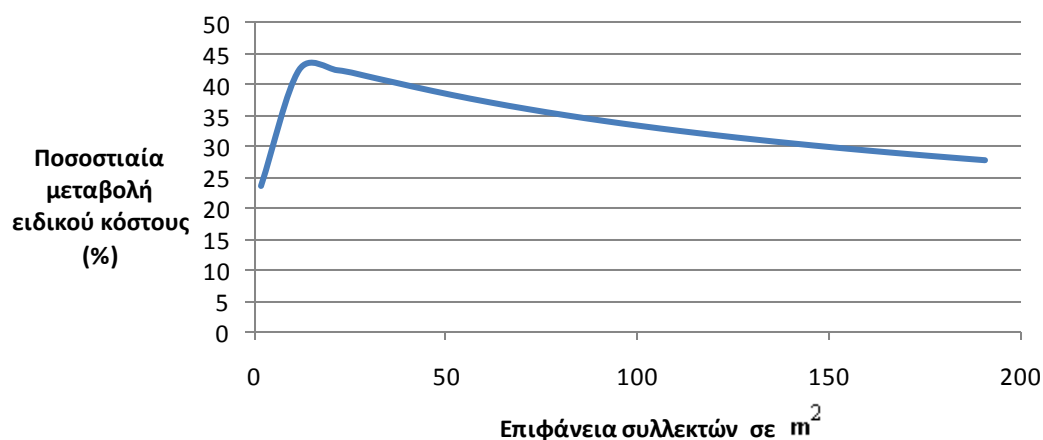
Η κλιμάκωση αυτή στο κόστος των συλλεκτών στο Σενάριο 3 γίνεται κατανοητή όταν γίνει σύγκριση στους βαθμούς απόδοσης των συλλεκτών συναρτήσει της θερμοκρασίας εξόδου τους:



Διάγραμμα 22 - Απόδοση ηλιακών συλλεκτών για τις μέγιστες ωριαίες ακτινοβολίες Ιανουαρίου και Ιουλίου

Όπως φαίνεται από το σχήμα, οι συλλέκτες του Σεναρίου 3 έχουν πολύ χαμηλότερη απόδοση από αυτών του Σεναρίου 1, ιδιαίτερα για θερινές τιμές. Δεν υπολογίστηκαν τιμές για τους επίπεδους συλλέκτες για θερμοκρασίες άνω των 70°C.

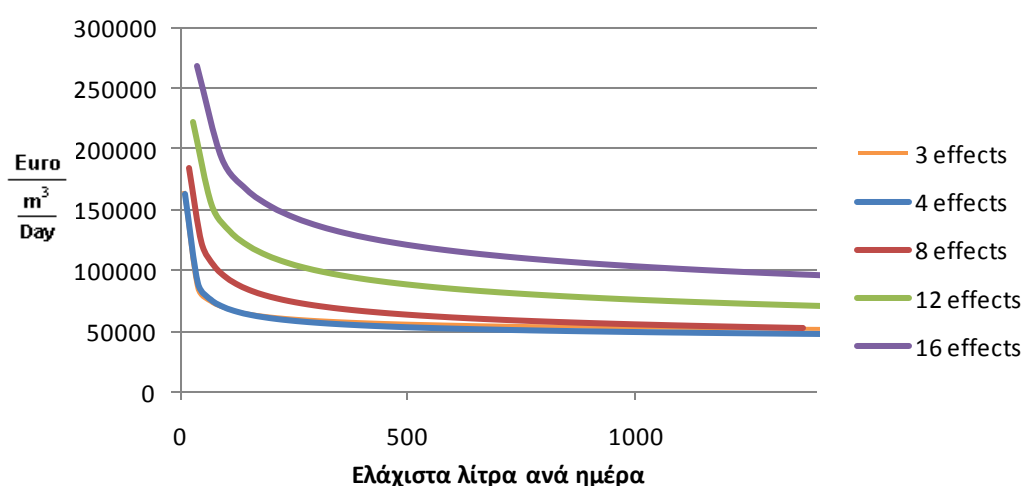
Συγκρίθηκε επίσης η διαφορά του ειδικού κατασκευαστικού κόστους μεταξύ Σεναρίου 1 και Σεναρίου 3:



Διάγραμμα 23 - Διαφορά κόστους μονάδας βάσει θερμοκρασίας λειτουργίας

Η χρήση επίπεδων συλλεκτών σε χαμηλή θερμοκρασία μπορεί να αυξήσει το κόστος μέχρι και 42% από την τιμή που θα είχε η μονάδα για να λειτουργήσει με συλλέκτες κενού στους 90 °C. Επισημαίνεται και εδώ ότι αυτή η τιμή αφορά μόνο τη θερμοδυναμική πλευρά του κόστους. Στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι οι χαμηλότερες θερμοκρασίες μειώνουν τη διάβρωση και κατά συνέπεια τα κόστη σε χημικά και σε συντήρηση. Επιπλέον η διαφορά κόστους φθίνει για μεγαλύτερες κλίμακες. Εντούτοις για τη μελέτη αυτή οι ακόλουθοι υπολογισμοί θα στηριχθούν στο Σενάριο 3 διότι για τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα είναι η πλέον συμφέρουσα.

Σύγκριση του ειδικού κόστους συναρτήσει του αριθμού των effects:



Διάγραμμα 24 - Επιρροή του αριθμού των effects στο κατασκευαστικό κόστος για το Σενάριο 3

Παρατηρείται σύγκλιση του κόστους για 3-8 effects για ημερήσια παροχή άνω των 1500 λίτρων. Βάσει των αποτελεσμάτων που βρέθηκαν παραπάνω, συμφέρει περισσότερο να χρησιμοποιηθούν περισσότερα effects σε μεγαλύτερη κλίμακα ώστε να περιοριστεί η υπερβολική επιφάνεια συλλεκτών.

5.4.4 Μελέτες εφαρμογής για μονοκατοικίες και πολυκατοικίες

Από την μελέτη που έγινε παραπάνω κρίθηκε πιο συμφέρουσα η χρήση συλλεκτών κενού και θερμοκρασία λειτουργίας 90°C. Εφαρμόζοντας τη λειτουργία αυτή πραγματοποιήθηκαν μελέτες για τη χρήση της μονάδας αυτής για την περίπτωση της μονοκατοικίας και την περίπτωση της πολυκατοικίας.

Θεωρήθηκε ότι στην περίπτωση της μονοκατοικίας πρέπει να καλυφθούν οι ανάγκες μιας οικογένειας 4 ατόμων για όλο το χρόνο. Για την περίπτωση της πολυκατοικίας, έχοντας υπ' όψιν την περίπτωση των νησιών του Αιγαίου, θεωρήθηκε ότι το χειμώνα πρέπει να καλυφθούν οι ανάγκες 10 ατόμων και το καλοκαίρι οι ανάγκες 30 ατόμων.

Εξετάστηκαν σε χωριστά σενάρια οι ανάγκες που υπάρχουν όταν το τροφοδοτικό νερό είναι υφάλμυρο και όταν είναι θαλασσινό. Βάσει της μελέτης που έγινε στο Κεφάλαιο 2, απαιτήσεις στην ημερήσια παροχή πόσιμου νερού είναι:

Σενάριο 1	Υφάλμυρο νερό	15 λίτρα/άτομο
Σενάριο 2	Έντονα υφάλμυρο νερό	64 λίτρα/άτομο
Σενάριο 3	Θαλασσινό νερό	90 λίτρα/άτομο

Μελετάται η περίπτωση που δεν υπάρχει συλλογή νερού σε ταμιευτήρες και όλο το πόσιμο νερό πρέπει να εξασφαλιστεί από την αφαλάτωση. Με αυτή την θεώρηση γίνεται ο υπολογισμός της απαιτούμενης παροχής της μονάδας για κάθε περίπτωση (σε λίτρα ανά ημέρα):

Λίτρα/ημέρα	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Μονοκατοικία	60	256	360
Πολυκατοικία κατά το χειμώνα	150	640	900
Πολυκατοικία κατά το καλοκαίρι	450	1920	2700

Πίνακας 16 - Απαιτούμενη ημερήσια παροχή της μονάδας για κάθε σενάριο

Για την περίπτωση της μονοκατοικίας θεωρήθηκε ότι μέρος της θερινής παραγωγής νερού αποθηκεύεται για χρήση κατά τον χειμώνα. Με σωστή διαχείριση το νερό μπορεί να παραμείνει πόσιμο μέχρι και για 6 μήνες. Θεωρήθηκε ότι η απαιτούμενη ημερήσια παροχή πρέπει να ισούται με τη μέση τιμή της θερινής και της χειμερινής παροχής της, με κλίση προς τη χειμερινή τιμή για λόγους ασφαλείας.

Για την περίπτωση της πολυκατοικίας θεωρείται ότι δεν γίνεται υπολογίσιμη αποταμίευση νερού και η αυξομείωση του πληθυσμού μέσα στο χρόνο ταυτίζεται με αυτή της παραγωγής νερού.

Θα εξεταστεί επιπλέον η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν 8 effects στη μονάδα στην περίπτωση της πολυκατοικίας ώστε να περιοριστεί η συλλεκτική επιφάνεια.

Υπολογίστηκαν οι απαιτούμενες μεικτές συλλεκτικές επιφάνειες. Στις παρακάτω τιμές αναγράφεται η μεικτή συλλεκτική επιφάνεια συλλογής, οι υπολογισμοί έγιναν με την πραγματική:

m^2	Σενάριο 1	Σενάριο 2	Σενάριο 3
Μονοκατοικία	8	36	48
Πολυκατοικία (4 effects)	40	172	240
Πολυκατοικία (8 effects)	20	88	124

Πίνακας 17 - Απαιτούμενες επιφάνειες συλλογής για κάθε σενάριο

Παρατηρείται ότι η απαιτούμενη επιφάνεια συλλογής στην περίπτωση της πολυκατοικίας παίρνει διαστάσεις που αναμένεται να ξεπεράσουν την επιφάνεια του κτιρίου. Υποχρεωτικά σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να γίνει χρήση μονάδας με περισσότερα effects ώστε να μειωθεί η απαιτούμενη επιφάνεια.

Έγιναν υπολογισμοί για το κόστος εγκατάστασης και την παραγόμενη θερμική ενέργεια για κάθε ένα από τα παραπάνω σενάρια.

Τα τεχνικοοικονομικά αποτελέσματα εμφανίζονται συγκεντρωτικά στον παρακάτω πίνακα:

	Σενάριο 1			Σενάριο 2			Σενάριο 3		
	Μονο-κατοικία	Πολυ-κατοικία (4 eff.)	Πολυ-κατοικία (8 eff.)	Μονο-κατοικία	Πολυ-κατοικία (4 eff.)	Πολυ-κατοικία (8 eff.)	Μονο-κατοικία	Πολυ-κατοικία (4 eff.)	Πολυ-κατοικία (8 eff.)
Μεικτή Επιφάνεια συλλεκτών (m^2)	8	40	20	36	172	88	48	240	124
Πραγματική Επιφάνεια συλλεκτών (m^2)	6.308	31.54	15.77	28,386	135,622	69,388	37,848	189,24	97,774

Ειδική κατανάλωση θερμότητας (kWh/m ³)	181.08	181.08	91.49	180,80	180,80	91,33	180,32	180,32	91,05
Ειδικό κόστος κατασκευής (€/m ³ /ημέρα)	64600	32670	68380	33802	21172	44850	30544	19361	41031
Ελάχιστη ανακτώμενη θερμική ενέργεια (kWh)	4.59	22.97	14.70	20,79	99,35	65,13	27,98	139,91	92,80
Ελάχιστη παραγωγή νερού (Λίτρα/ημέρα)	30.18	150.901	145.984	136,01	649,87	643,44	181,84	909,22	909,39
Εκτιμώμενο Κόστος συλλεκτών (€)	1135	5677	2839	5109	24411	12489	6812	34063	17599
Εκτιμώμενο Συνολικό κόστος (€)	4085	10610	12820	12950	38171	41348	16460	51667	54913

Πίνακας 18 – Τεχνικοοικονομικά αποτελέσματα για κάθε μελετούμενο σενάριο

5.5 Συμπεράσματα

Από τους παραπάνω υπολογισμούς βγήκαν τα εξής συμπεράσματα:

- Για την περίπτωση της πολυκατοικίας δεν επαρκούν τα στοιχεία για να βγει συμπέρασμα εάν συμφέρει η χρήση 4 ή 8 effects. Το κόστος για 4 effects εμφανίζεται ελαφρώς μικρότερο αλλά το πραγματικό κόστος εγκατάστασης των συλλεκτών είναι μεγαλύτερο. Όμως η επιπλέον συλλογή θερμότητας οδηγεί σε εξοικονόμηση πετρελαίου με την οποία σε βάθος χρόνου θα υπάρξει απόσβεση του κόστους. Το άλλο εμπόδιο στη χρήση των 4 effects είναι ότι απαιτεί πολύ μεγάλη επιφάνεια συλλογής η οποία μπορεί να μην είναι διαθέσιμη, ιδιαίτερα για την περίπτωση χρήση θαλασσινού νερού.
- Η αλατότητα επηρεάζει ελάχιστα την απόδοση της μονάδας. Αυτό αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα έναντι της αντίστροφης όσμωσης, κατά την οποία η αφαλάτωση θαλασσινού νερού μειώνει πολύ την αξιοπιστία και την

απόδοσή της. Επιπλέον απαιτείται η χρήση πολύ λιγότερων χημικών για την θερμική αφαλάτωση σε σχέση με την αντίστροφη όσμωση.

- Η οικονομία κλίμακας είναι πολύ έντονη και η εγκατάσταση συμφέρει περισσότερο για μεγαλύτερες παροχές. Στην περίπτωση της μονοκατοικίας το ειδικό κόστος εμφανίζεται τεράστιο, ιδιαίτερα στην περίπτωση που η ημερήσια παροχή είναι μικρότερη, δηλαδή στα σενάρια χαμηλής αλατότητας. Λαμβάνοντας επίσης την αξιοπιστία της αντίστροφης όσμωσης για την αφαλάτωση υφάλμυρου νερού κρίνεται ασύμφορο να χρησιμοποιηθεί η μονάδα σε μονοκατοικία για υφάλμυρο νερό.
- Οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες λειτουργίας της μονάδας μειώνουν κατά πολύ την επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας του αποστακτήρα. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες μειώνουν το πρόβλημα των επικαθήσεων, την ειδική κατανάλωση θερμότητας και κατά συνέπεια την απαιτούμενη επιφάνεια συλλογής. Κατά συνέπεια αυξάνοντας τη μέγιστη θερμοκρασία άλμης μειώνεται κατά πολύ το κόστος του αποστακτήρα και αυξάνεται υπολογίσιμα το κόστος των συλλεκτών. Όπως όμως αναφέρθηκε και πριν, το κόστος των συλλεκτών έχει μεγαλύτερη απόσβεση από αυτό του αποστακτήρα.
- Η θερμοκρασία του τροφοδοτικού νερού δεν επηρεάζει την θερμική απόδοση της μονάδας. Επηρεάζει μόνο την παροχή ψυκτικού νερού. Για την περίπτωση της οικιακής εγκατάστασης όμως το ψυκτικό νερό βρίσκεται σε κλειστό κύκλωμα και η παροχή του είναι σε μεγάλο βαθμό αδιάφορη. Συνεπώς οποιαδήποτε διακύμανση στη θερμοκρασία τροφοδοτικού νερού θα γίνει αισθητή μόνο στα συστήματα θέρμανσης.
- Η μεταβολή του ποσοστού ανάκτησης από την ελάχιστη στη μέγιστη τιμή αυξάνει την παραγωγικότητα μόνο κατά 4%. Το ποσοστό αυτό δεν αποτελεί στ' αλήθεια κριτήριο ρύθμισής του. Το βασικό κριτήριο για να ρυθμιστεί αποτελεί η αλατότητα της αποβαλλόμενης άλμης λόγω της διάβρωσης και των επικαθήσεων που μπορεί να προκαλέσει. Ενδεχομένως να συμφέρει η μείωσή του για να περιοριστεί η χρήση χημικών. Μπορεί επίσης να

ρυθμιστεί να αυξομειώνεται όπως η παροχή ώστε να αντιμετωπιστεί η στοχαστικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας.

- Το Performance Ratio έχει σχεδόν γραμμική σχέση με τον αριθμό των effects, όπως επικυρώνεται και από τη βιβλιογραφία. Η εξοικονόμηση ατμού μειώνει την ειδική κατανάλωση θερμότητας και αυξάνει το κατασκευαστικό κόστος. Γενικεύεται το συμπέρασμα που βγήκε με τα σενάρια της πολυκατοικίας, ότι το κόστος των συλλεκτών είναι αντιστρόφως ανάλογο με αυτό του αποστακτήρα.

Παράρτημα Α

Χημικές παράμετροι και μετρήσεις ραδιενέργειας που επιτρέπονται από την ΕΕ για το πόσιμο νερό.

Chemical Parameters		
Acrylamide	0,1	µg/l
Antimony	5	µg/l
Arsenic	10	µg/l
Benzene	1	µg/l
Benzo(a)pyrene	0,01	µg/l
Boron	1	mg/l
Bromate	10	µg/l
Cadmium	5	µg/l
Chromium	50	µg/l
Copper	2	mg/l
Cyanide	50	µg/l
1,2-dichloroethane	3	µg/l
Epichlorohydrin	0,1	µg/l
Fluoride	1,5	mg/l
Lead	10	µg/l
Mercury	1	µg/l
Nickel	20	µg/l
Nitrate	50	mg/l
Nitrite	0,5	mg/l
Pesticides	0,1	µg/l
Pesticides-Total	0,5	µg/l
Polycyclic aromatic hydrocarbons	0,1	µg/l
Selenium	10	µg/l
Tetrachloroethene and Trichloroethene	10	µg/l
Trihalomethanes — Total	100	µg/l
Vinyl chloride	0,5	µg/l
Radioactivity		
Tritium	100	Bq/l
Total indicative dose	0,1	mSv/year
Indicator Parameters		
Aluminium	200	µg/l
Ammonium	0,5	mg/l
Chloride	250	mg/l
Clostridium perfringens (including spores)	0	number/100 ml
Colour	Acceptable to consumers and no abnormal change	

Conductivity	2 500	μS cm-1 at 20°C
Hydrogen ion concentration	> 6,5 and < 9,5	
Iron	200	pH units
Manganese	50	μg/l
Odour	Acceptable to consumers and no abnormal change	μg/l
Oxidisability	5	mg/l O2
Sulphate	250	mg/l
Sodium	200	mg/l
Taste	Acceptable to consumers and no abnormal change	number/100 ml
Colony count 22°	No abnormal change	
Colifom bacteria	0	
Total organic carbon (TOC)	No abnormal change	
Turbidity	Acceptable to consumers and no abnormal change	

Πίνακας 19 - Χημικές παράμετροι, μετρήσεις ραδιενέργειας και οργανοληπτικοί χαρακτήρες που επιτρέπονται από την ΕΕ για το πόσιμο νερό (31)

Παράρτημα Β

Παραθέτονται εδώ τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς. Τα δεδομένα προέρχονται από το πρόγραμμα PVGIS και ορίστηκαν για τις παρακάτω συντεταγμένες:

38°23'17'' Γεωγραφικό πλάτος

25°26'19'' Γεωγραφικό μήκος

Τιμές Ιανουαρίου για επίπεδο με κλίση 36° (προσανατολισμός για ετήσια μεγιστοποίηση ακτινοβολίας):

Time	G	G _d	G _c	DNI	DNI _c	A	A _d	A _c	T _d
6:52	0	0	0	0	0	0	0	0	8.9
7:07	0	0	0	0	0	0	0	0	9.3
7:22	16	16	12	0	0	8	7	6	9.6
7:37	73	36	94	110	189	157	44	240	9.9
7:52	127	61	169	167	288	254	82	386	10.1
8:07	175	77	239	219	377	324	99	495	10.4
8:22	223	92	310	262	452	383	113	585	10.6
8:37	270	105	378	298	513	432	125	659	10.9
8:52	314	117	445	328	564	473	135	720	11.1
9:07	356	128	508	353	607	507	144	771	11.3
9:22	395	137	568	374	643	536	151	814	11.5
9:37	432	145	624	392	674	561	157	850	11.6
9:52	466	152	675	407	701	581	162	880	11.8
10:07	496	158	723	420	723	599	166	905	11.9
10:22	523	163	765	431	742	613	169	925	12.1
10:37	548	168	803	440	757	625	172	942	12.2
10:52	568	171	835	447	771	635	174	956	12.3
11:07	586	174	863	453	781	643	176	967	12.4
11:22	600	176	885	458	789	649	177	976	12.5
11:37	610	178	901	462	795	653	178	982	12.6
11:52	617	179	913	464	799	656	178	986	12.6
12:07	621	180	918	465	801	658	179	988	12.7
12:22	621	180	918	465	801	658	179	988	12.7
12:37	617	179	913	464	799	656	178	986	12.7
12:52	610	178	901	462	795	653	178	982	12.8
13:07	600	176	885	458	789	649	177	976	12.8
13:22	586	174	863	453	781	643	176	967	12.8
13:37	568	171	835	447	771	635	174	956	12.8
13:52	548	168	803	440	757	625	172	942	12.8

14:07	523	163	765	431	742	613	169	925	12.7
14:22	496	158	723	420	723	599	166	905	12.7
14:37	466	152	675	407	701	581	162	880	12.7
14:52	432	145	624	392	674	561	157	850	12.6
15:07	395	137	568	374	643	536	151	814	12.6
15:22	356	128	508	353	607	507	144	771	12.5
15:37	314	117	445	328	564	473	135	720	12.5
15:52	270	105	378	298	513	432	125	659	12.4
16:07	223	92	310	262	452	383	113	585	12.3
16:22	175	77	239	219	377	324	99	495	12.2
16:37	127	61	169	167	288	254	82	386	12.1
16:52	29	29	22	0	0	16	13	12	12.0
17:07	16	16	12	0	0	8	7	6	11.9
17:22	0	0	0	0	0	0	0	0	11.8
17:37	0	0	0	0	0	0	0	0	11.7
17:52	0	0	0	0	0	0	0	0	11.6
18:07	0	0	0	0	0	0	0	0	11.5
18:22	0	0	0	0	0	0	0	0	11.4
18:37	0	0	0	0	0	0	0	0	11.3
18:52	0	0	0	0	0	0	0	0	11.2
19:07	0	0	0	0	0	0	0	0	11.0
19:22	0	0	0	0	0	0	0	0	10.9
19:37	0	0	0	0	0	0	0	0	10.8
19:52	0	0	0	0	0	0	0	0	10.7
20:07	0	0	0	0	0	0	0	0	10.5
20:22	0	0	0	0	0	0	0	0	10.4
20:37	0	0	0	0	0	0	0	0	10.3

Πίνακας 20 - Μετεωρολογικά δεδομένα Σαντορίνης για μέση ημέρα του Ιανουαρίου. Κλίση συλλέκτη για ετήσια μεγιστοποίηση ακτινοβολίας (56)

Τιμές Ιουλίου για επίπεδο με κλίση 36° (προσανατολισμός για ετήσια μεγιστοποίηση). Σημειώνεται ότι οι θερμοκρασίες για 05:00-07:00 δεν ήταν διαθέσιμες από το PVGIS και χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του ΚΑΠΕ:

Time	G	G _d	G _c	DNI	DNI _c	A	A _d	A _c	T _d
5:22	14	14	19	0	0	80	16	72	22.9
5:37	24	24	33	0	0	177	43	161	23.0
5:52	35	34	47	0	0	285	68	257	23.2
6:07	45	44	61	0	0	387	89	349	23.4
6:22	59	46	76	365	295	481	107	432	23.9
6:37	98	55	113	431	349	564	122	507	24.4
6:52	143	65	155	491	397	639	135	573	24.9

7:07	194	74	201	545	441	705	146	632	25.2
7:22	249	83	250	593	480	763	155	684	25.4
7:37	307	92	301	637	515	814	161	729	25.6
7:52	366	99	354	676	547	859	166	769	25.8
8:07	427	107	406	711	575	897	169	803	26.0
8:22	488	113	459	743	601	931	171	833	26.2
8:37	548	119	510	771	624	960	172	859	26.5
8:52	606	125	560	797	644	985	173	880	26.7
9:07	663	129	608	820	663	1010	172	899	26.8
9:22	717	133	654	840	679	1030	171	914	27.0
9:37	768	137	697	858	694	1040	169	927	27.2
9:52	815	140	737	874	707	1050	168	938	27.4
10:07	859	142	774	889	719	1060	166	947	27.5
10:22	899	145	807	901	728	1070	164	954	27.7
10:37	934	146	837	911	737	1080	162	959	27.8
10:52	965	148	862	920	744	1090	160	964	28.0
11:07	991	149	884	927	750	1090	159	967	28.1
11:22	1010	149	901	933	755	1090	157	970	28.2
11:37	1030	150	914	937	758	1100	156	972	28.4
11:52	1040	150	923	940	760	1100	156	973	28.5
12:07	1040	151	927	942	761	1100	155	973	28.6
12:22	1040	151	927	942	761	1100	155	973	28.7
12:37	1040	150	923	940	760	1100	156	973	28.7
12:52	1030	150	914	937	758	1100	156	972	28.8
13:07	1010	149	901	933	755	1090	157	970	28.9
13:22	991	149	884	927	750	1090	159	967	28.9
13:37	965	148	862	920	744	1090	160	964	28.9
13:52	934	146	837	911	737	1080	162	959	29.0
14:07	899	145	807	901	728	1070	164	954	29.0
14:22	859	142	774	889	719	1060	166	947	29.0
14:37	815	140	737	874	707	1050	168	938	29.0
14:52	768	137	697	858	694	1040	169	927	29.0
15:07	717	133	654	840	679	1030	171	914	28.9
15:22	663	129	608	820	663	1010	172	899	28.9
15:37	606	125	560	797	644	985	173	880	28.8
15:52	548	119	510	771	624	960	172	859	28.8
16:07	488	113	459	743	601	931	171	833	28.7
16:22	427	107	406	711	575	897	169	803	28.6
16:37	366	99	354	676	547	859	166	769	28.5
16:52	307	92	301	637	515	814	161	729	28.3
17:07	249	83	250	593	480	763	155	684	28.2
17:22	194	74	201	545	441	705	146	632	28.0
17:37	143	65	155	491	397	639	135	573	27.9
17:52	98	55	113	431	349	564	122	507	27.7
18:07	59	46	76	365	295	481	107	432	27.5

18:22	45	44	61	0	0	387	89	349	27.3
18:37	35	34	47	0	0	285	68	257	27.0
18:52	24	24	33	0	0	177	43	161	26.8
19:07	14	14	19	0	0	80	16	72	26.5
19:22	0	0	0	0	0	0	0	0	26.2
19:37	0	0	0	0	0	0	0	0	25.9
19:52	0	0	0	0	0	0	0	0	25.6
20:07	0	0	0	0	0	0	0	0	25.3
20:22	0	0	0	0	0	0	0	0	24.9
20:37	0	0	0	0	0	0	0	0	24.5

Πίνακας 21 - Μετεωρολογικά δεδομένα Σαντορίνης για μέση ημέρα του Ιουλίου. Κλίση συλλέκτη για ετήσια μεγιστοποίηση ακτινοβολίας (56)

Τιμές Ιουλίου για επίπεδο με κλίση 21° (προσανατολισμός για θερινή μεγιστοποίηση ακτινοβολίας):

Time	G	G _d	G _c	DNI	DNI _c	A	A _d	A _c	T _d
5:22	15	15	21	0	0	80	16	72	22.9
5:37	27	27	37	0	0	177	43	161	23.0
5:52	35	34	48	212	172	285	68	257	23.2
6:07	63	44	77	292	236	387	89	349	23.4
6:22	100	54	112	365	295	481	107	432	23.9
6:37	143	64	153	431	349	564	122	507	24.4
6:52	193	74	198	491	397	639	135	573	24.9
7:07	247	83	247	545	441	705	146	632	25.2
7:22	304	92	298	593	480	763	155	684	25.4
7:37	364	100	351	637	515	814	161	729	25.6
7:52	425	108	404	676	547	859	166	769	25.8
8:07	486	115	457	711	575	897	169	803	26.0
8:22	547	121	509	743	601	931	171	833	26.2
8:37	607	127	561	771	624	960	172	859	26.5
8:52	665	132	611	797	644	985	173	880	26.7
9:07	721	136	658	820	663	1010	172	899	26.8
9:22	775	140	703	840	679	1030	171	914	27.0
9:37	825	143	746	858	694	1040	169	927	27.2
9:52	872	146	785	874	707	1050	168	938	27.4
10:07	915	148	821	889	719	1060	166	947	27.5
10:22	955	150	854	901	728	1070	164	954	27.7
10:37	989	151	883	911	737	1080	162	959	27.8
10:52	1020	153	908	920	744	1090	160	964	28.0
11:07	1040	154	929	927	750	1090	159	967	28.1

11:22	1070	154	945	933	755	1090	157	970	28.2
11:37	1080	155	958	937	758	1100	156	972	28.4
11:52	1090	155	967	940	760	1100	156	973	28.5
12:07	1100	155	971	942	761	1100	155	973	28.6
12:22	1100	155	971	942	761	1100	155	973	28.7
12:37	1090	155	967	940	760	1100	156	973	28.7
12:52	1080	155	958	937	758	1100	156	972	28.8
13:07	1070	154	945	933	755	1090	157	970	28.9
13:22	1040	154	929	927	750	1090	159	967	28.9
13:37	1020	153	908	920	744	1090	160	964	28.9
13:52	989	151	883	911	737	1080	162	959	29.0
14:07	955	150	854	901	728	1070	164	954	29.0
14:22	915	148	821	889	719	1060	166	947	29.0
14:37	872	146	785	874	707	1050	168	938	29.0
14:52	825	143	746	858	694	1040	169	927	29.0
15:07	775	140	703	840	679	1030	171	914	28.9
15:22	721	136	658	820	663	1010	172	899	28.9
15:37	665	132	611	797	644	985	173	880	28.8
15:52	607	127	561	771	624	960	172	859	28.8
16:07	547	121	509	743	601	931	171	833	28.7
16:22	486	115	457	711	575	897	169	803	28.6
16:37	425	108	404	676	547	859	166	769	28.5
16:52	364	100	351	637	515	814	161	729	28.3
17:07	304	92	298	593	480	763	155	684	28.2
17:22	247	83	247	545	441	705	146	632	28.0
17:37	193	74	198	491	397	639	135	573	27.9
17:52	143	64	153	431	349	564	122	507	27.7
18:07	100	54	112	365	295	481	107	432	27.5
18:22	63	44	77	292	236	387	89	349	27.3
18:37	35	34	48	212	172	285	68	257	27.0
18:52	27	27	37	0	0	177	43	161	26.8
19:07	15	15	21	0	0	80	16	72	26.5
19:22	0	0	0	0	0	0	0	0	26.2
19:37	0	0	0	0	0	0	0	0	25.9
19:52	0	0	0	0	0	0	0	0	25.6
20:07	0	0	0	0	0	0	0	0	25.3
20:22	0	0	0	0	0	0	0	0	24.9
20:37	0	0	0	0	0	0	0	0	24.5

Πίνακας 22 - Μετεωρολογικά δεδομένα Σαντορίνης για μέση ημέρα του Ιουλίου. Κλίση συλλέκτη για θερμή
μεγιστοποίηση ακτινοβολίας (56)

Βιβλιογραφία

1. Λιάτσου Δ., Χριστίνα-Σερμίνια. *Συστήματα Αφαλάτωσης με Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας*. s.l. : ΕΜΠ.
2. Ettouney και El-Dessouky. *Fundamentals of Water Desalination*. s.l. : Elsevier, 2002.
3. Έλληνας, Παναγιώτης. *Η κρίση του νερού και η αφαλάτωση ως άμεση λύση*. s.l. : ΕΜΠ.
4. Access to safe drinking water. [Ηλεκτρονικό] <http://maps.grida.no/go/graphic/access-to-safe-drinking-water>.
5. ΜΕΝΤΗΣ, ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ. *Αφαλάτωση με χρήση ΑΠΕ στα άνυδρα νησιά του Νοτίου Αιγαίου*.
6. Συνολικά στοιχεία για την Ελλάδα. *Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας*. [Ηλεκτρονικό] <http://ndbhmi.chi.civil.ntua.gr/el/applications/greece.html#>.
7. *Διαχείριση υδάτινων πόρων στα Ελληνικά νησιά*. Αθήνα : Υπουργείο Ανάπτυξης, 2006.
8. Ευθυμίουπουλος, Ηλίας. *Ημερίδα για Αφαλάτωση με χρήση ΑΠΕ*. Αθήνα : Γεωπονικό Πανεπιστήμιο.
9. Seawater. *Wikipedia*. [Ηλεκτρονικό] <http://en.wikipedia.org/wiki/Seawater>.
10. Hard water. *Wikipedia*. [Ηλεκτρονικό] http://en.wikipedia.org/wiki/Water_hardness.
11. Guidelines for drinking-water quality, 2nd ed. Health criteria and other supporting information. *Total dissolved solids in Drinking-water*. Geneva : World Health Organization, 1996. Vol. 2.
12. Salt. *Wikipedia*. [Ηλεκτρονικό] <http://en.wikipedia.org/wiki/Salt>.
13. Drinking Water Quality Guidelines for Cattle. *University of Kentucky*. [Ηλεκτρονικό] <http://www.ca.uky.edu/agc/pubs/id/id170/id170.pdf>.
14. Water Quality. *Wilkes University*. [Ηλεκτρονικό] <http://wilkes.edu/include/waterresearch/pdfs/waterbooklet070610.pdf>.
15. How much water we need. *Mayo Clinic*. [Ηλεκτρονικό] <http://www.mayoclinic.com/health/water/NU00283>.
16. Sulfates. *Lenntech - Water Treatment Solutions*. [Ηλεκτρονικό] <http://www.lenntech.com/sulfates.htm>.
17. Total Water Hardness. *Thames Valley District School Board*. [Ηλεκτρονικό] <http://www.tvdsb.ca/uploads/ScienceProbeware/totalwaterhardness.pdf>.
18. Water supply and sanitation in Hong Kong. *Wikipedia*. [Ηλεκτρονικό] http://en.wikipedia.org/wiki/Water_supply_and_sanitation_in_Hong_Kong.
19. Hong Kong - Seawater for Flushing. *Hong Kong Special Administrative Region - Water Supplies Department*. [Ηλεκτρονικό]

http://www.wsd.gov.hk/en/water_resources/water_treatment_and_distribution_process/seawater_for_flushing/.

20. Soil Salinity Problems. *FAO*. [Ηλεκτρονικό]
<http://www.fao.org/docrep/003/T0234E/T0234E02.htm>.

21. *Knott's Handbook for Vegetable Growers, 3rd edition*. s.l. : Wiley-Interscience.

22. Salinity tolerance in irrigated crops. *NSW Department of Primary Industries*.
[Ηλεκτρονικό]
<http://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/resources/soils/salinity/crops/tolerance-irrigated>.

23. Crop Salt Tolerance. *University of California*. [Ηλεκτρονικό]
<http://ucce.ucdavis.edu/files/repositoryfiles/ca3810p20-72365.pdf>.

24. Annex 1. Crop salt tolerance data. *FAO*. [Ηλεκτρονικό]
<http://www.fao.org/docrep/005/Y4263E/y4263e0e.htm>.

25. Soil and Water salinity. *University of Hawaii*. [Ηλεκτρονικό]
<http://www.ctahr.hawaii.edu/oc/freepubs/pdf/pnm17.pdf>.

26. Forms of Sulfur Fertilizer. *North Dakota State University*. [Ηλεκτρονικό]
<http://www.ag.ndsu.edu/procrop/fer/ammsul04.htm>.

27. Livestock and water salinity. *Government of Western Australia, Department of Agriculture and Food*. [Ηλεκτρονικό]
http://www.agric.wa.gov.au/objtwr/imported_assets/content/lwe/water/watq/fn2007_stocksalinity_sglauert.pdf.

28. State of New South Wales. Water requirements for sheep and cattle. *Guide to Rural Residential Living*. [Ηλεκτρονικό] January 2007.
http://ruralresidentialliving.com.au/livestock/resource_downloads/Primefacts%20Water%20requirements%20for%20sheep%20and%20cattle.pdf.

29. Sodium Chloride. *University of Wyoming*. [Ηλεκτρονικό]
http://www.uwyo.edu/ces/pubs/b1183/_files/sodium_chloride.pdf.

30. Your yard and water quality. *University of Kentucky*. [Ηλεκτρονικό]
<http://www.ca.uky.edu/agc/pubs/id/id201/id201.pdf>.

31. European Commission Council Directive 98/83/EC.

32. Κατανάλωση νερού ανά κάτοικο. *Τομέας Βιομηχανικής Διοίκησης και Επιχειρησιακής Έρευνας Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών EMP*. [Ηλεκτρονικό]
<http://oggi.simor.ntua.gr/oi-deiktes/periballon/selides-oikistikn-deikt/n/en02>.

33. *OEMK-A-2.1*. s.l. : Υπουργείο Οικονομίας & Οικονομικών.

34. Eurostat Code: ENV_WATQ2. *Eurostat*. [Ηλεκτρονικό] <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/>.

35. *Residential End Uses of Water*. s.l. : American Water Works Association Research Foundation, 1999.
36. Ανακύκλωση ημιακάθαρτου νερού. *Hydranos Water Recycling Systems*. [Ηλεκτρονικό] <http://www.hydranos.org/hydranos2/images/downloads/greyWaterGreek.pdf>.
37. ROTOSEPTIC, Αυτόνομες Μονάδες Βιολογικού Καθαρισμού. *Smart Technical Solutions*. [Ηλεκτρονικό] http://www.sts.gr/?page_id=2136.
38. Στασινάκης, Α. Σ. *Εισαγωγή στην Περιβαλλοντική Μηχανική*. s.l. : Πανεπιστήμιο Αιγαίου.
39. Τσιρογιάννης, Ιωάννης. *Αξιοποίηση του νερού της βροχής με σκοπό την άρδυσή του πράσινου στις σχολικές αυλές*. 2011. 978-960-93-2558-5.
40. Rainwater harvesting. *Wikipedia*. [Ηλεκτρονικό] http://en.wikipedia.org/wiki/Rainwater_harvesting.
41. Νικολάου, Καλλιόπη. *Αντίστροφη Όσμωση με Χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας*. s.l. : ΕΜΠ.
42. German Aerospace Center (DLR) Institute of Technical Thermodynamics Section Systems Analysis and Technology Assessment. *AQUA-CSP Concentrating Solar Power for Seawater Desalination*. s.l. : Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety, Germany.
43. Schorr, Micheal. *Desalination Trends and Technologies*. s.l. : InTech, 2011. 978-953-307-311-8.
44. Solar thermal collector. *Wikipedia*. [Ηλεκτρονικό] http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_thermal_collector.
45. Evacuated Tubes or Flat Plates? *Solar Panels Plus*. [Ηλεκτρονικό] <http://www.solarpanelsplus.com/all-about-solar/evacuated-tubes-or-flat-plates/>.
46. Προπυλενογλυκόλη . *INCHEM*. [Ηλεκτρονικό] <http://www.inchem.org/documents/pims/chemical/pim443.htm#SectionTitle:3.4%20%20Hazardous%20characteristics>.
47. Causes of Corrosion. *Mountain Empire Community College*. [Online] <http://water.me.vccs.edu/concepts/corrosioncauses.html>.
48. Ζαρράς, Γεώργιος. *Σχεδιασμός θερμικού ηλιακού συστήματος για τα μετεωρολογικά δεδομένα της Πάτρας*. Πάτρα : Πολυτεχνική Σχολή Πανεπιστημίου Πατρών, 2009.
49. Withers, Anthony. *Options for recarbonation, remineralisation and disinfection for desalination plants*. s.l. : Elsevier.
50. *Water and Steam Properties*. [MathCad Document] s.l. : International Formulation Committee, 1967.

51. *Engineering Toolbox*. [Ηλεκτρονικό] <http://www.engineeringtoolbox.com/>.
52. Propylene Glycols - Specific Heat Values. *Dow Answer Center*. [Ηλεκτρονικό] https://dow-answer.custhelp.com/app/answers/detail/a_id/7470/.
53. Αντωνόπουλος, Κίμων. *Θερμικά - Ηλιακά Συστήματα*. σ.λ. : ΕΜΠ.
54. Nafey, A. S. *Design and Simulation of Thermal Desalination Processes*. σ.λ. : Leeds University, 1988.
55. Residential End Uses of Water Study. *AWWA*. [Ηλεκτρονικό] www.waterrf.org/PublicReportLibrary/RFR90781_1999_241A.pdf.
56. JRC. *PVGIS*. [Ηλεκτρονικό] <http://www.pvtech.gr/pvgis.html>.
57. www.prodes-project.org. *PRODES - ΚΑΠΕ*. [Ηλεκτρονικό] http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/PRODES/DESALINATION_GENERAL_1.pdf.
58. Solar Collector Lab Test. *Echomaterico*. [Ηλεκτρονικό] <http://www.echomaterico.net/blog/solar-collector-lab-test/>.
59. Buros, O. K. *The ABCs of Desalting*. σ.λ. : International Desalination Association.