

# ΑΦΑΛΑΤΩΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΣΩΤΗΡΗΣ ΚΑΛΟΓΗΡΟΥ

ΑΝΩΤΕΡΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ, ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ,  
Τ.Κ. 423, ΛΕΥΚΩΣΙΑ, ΚΥΠΡΟΣ  
ΤΗΛ. +357-2-306199, FAX. +357-2-494953

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αναλύονται και συγκρίνονται μεταξύ τους οι διάφορες υπάρχουσες μέθοδοι αφαλάτωσης ως προς την κατανάλωση πρωτεύοντος ενέργειας, το κόστος αγοράς και εγκατάστασης των μονάδων, την απαιτούμενη αρχική επεξεργασία του θαλάσσιου νερού και την ευκολία συνδυασμού τους με την ηλιακή ενέργεια. Από αυτή την ανάλυση φαίνεται η δυνατότητα χρήσης της μεθόδου αφαλάτωσης με αποστακτήρα πολλαπλών διαβαθμίσεων με συνδυασμό συμβατικής και ηλιακής ενέργειας. Από τα είδη των διάφορων ηλιακών συλλεκτών οι γραμμικοί συλλέκτες παραβολικού τύπου επιλέγονται κυρίως λόγω της δυνατότητας τους να εργάζονται σε υψηλές θερμοκρασίες με υψηλή απόδοση. Οικονομική ανάλυση της μεθόδου αυτής με βάση τα κυπριακά οικονομικά μεγέθη, δείχνει μία τιμή νερού ίση με 89σ (400 Δρχ) το κ.μ. που θεωρείται αρκετά καλή τιμή. Η χρήση του συστήματος με ηλιακή ενέργεια μόνο είναι ασύμφωρη, κυρίως λόγω του υψηλού κόστους του αποστακτήρα, της μεγάλης επιδότησης των συμβατικών καυσίμων από το κράτος και του μεγάλου χρονικού διαστήματος που το σύστημα μένει αδρανές κατά την νύκτα.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Ηλιακή ενέργεια. Αφαλάτωση. Αποστακτήρας πολλαπλών διαβαθμίσεων. Γραμμικοί συλλέκτες παραβολικού τύπου.

## ABSTRACT

The various existing methods of desalination are analysed with respect to their prime energy consumption, cost of purchasing and installing the units, their sea-water treatment requirement and suitability for solar energy utilisation. From this analysis it is shown that the multiple effect boiling evaporator in combination with solar and conventional energy supply is the most useful. From the many types of solar collectors the linear parabolic trough type is selected mainly due to its ability to work at high temperatures with high efficiency. Economic analysis of the proposed method based on Cypriot economic factors shows a water price equal to 89c/m<sup>3</sup> (400 drachmas) which is considered as a very good price. Operation of the system with solar energy alone is not cost effective due to the high cost of the evaporator equipment, the high fuel subsidisation by the Government and the high percentage of inactive time during night-time.

KEY WORDS: Solar energy. Desalination. Multiple effects boiling evaporator. Linear parabolic trough collectors.

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το νερό είναι μια από τις πιο άφθονες πρώτες ύλες πάνω στη γή αφού καλύπτει τα τρία τέταρτα του πλανήτη. Ενενηνταεπτά τοις εκατόν όμως του νερού της γης είναι αλμυρό νερό ωκεανών και μόνο τρία τοις εκατόν είναι πόσιμο νερό. Αυτό το νερό βρίσκεται σε υπόγειες δεξαμενές, λίμνες ποταμούς και πάγους.

Το νερό είναι πολύ σημαντικό για τη διατήρηση της ζωής. Η μεγάλη όμως ανάπτυξη και η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού της γής έχουν δημιουργήσει μεγάλη ζήτηση στις ποσότητες πόσιμου νερού. Επιπρόσθετα, η έλλειψη ενισχύεται και από το πρόβλημα της μόλυνσης των νερών των ποταμών και των λιμνών από τα βιομηχανικά απόβλητα και τη μεγάλη ποσότητα των αποχετεύσεων. Σε παγκόσμια κλίμακα, σύμφωνα με το Malik κ.α. [1] η ρύπανση των φυσικών πόρων του νερού από την ανθρώπινη δραστηριότητα έχει δημιουργήσει τη μεγαλύτερη αιτία έλλειψης νερού.

Η μόνη ανεξάντλητη πηγή νερού είναι οι ωκεανοί το νερό των οποίων όμως έχει το μειονέκτημα της υψηλής αλμυρότητας. Από αρκετά χρόνια τώρα διαπιστώθηκε ότι η αφαλάτωση του νερού της θάλασσας θα μπορούσε να βοηθήσει στην επίλυση του προβλήματος της λειψυδρίας. Η αφαλάτωση του νερού θα μπορούσε να επιτευχθεί με αρκετές μεθόδους. Αυτές μπορούν να διαχωριστούν σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

- Μέθοδοι θερμικής απόσταξης.
- Μέθοδοι με μεμβράνες.

Στον Πίνακα 1 φαίνονται οι πιο σημαντικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται. Στις μεθόδους θερμικής απόσταξης η αφαλάτωση επιτυγχάνεται με την εξάτμιση και υγροποίηση του θαλάσσιου νερού για την οποία απαιτείται θερμική ενέργεια. Αυτή η ενέργεια μπορεί να προέρχεται από συμβατικά καύσιμα ή από ανανεώσιμες πηγές, όπως η ηλιακή ενέργεια. Στις μεθόδους με μεμβράνες απαιτείται ηλεκτρισμός που χρησιμοποιείται είτε για την άντληση σε υψηλές πιέσεις είτε για τον ιονισμό των αλάτων που περιέχονται στο θαλάσσιο νερό.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. Μέθοδοι αφαλάτωσης

ΜΕΘΟΔΟΙ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΑΠΟΣΤΑΞΗΣ	ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ
1. Πολυδιάστατοι αποστακτήρες άμεσων εξατμήσεων (ΠΑΕ) 2. Αποστακτήρες πολλαπλών διαβαθμίσεων (ΠΑ) 3. Αποστακτήρες με συμπύεση ατμού (ΣΑ) 4. Ηλιακοί αποστακτήρες (ΗΑ)	1. Αντίστροφη ώσμωση (ΑΩ) - χωρίς ανάκτηση ενέργειας - με ανάκτηση ενέργειας (ΑΩ-ΑΕ) 2. Ηλεκτροδιάλυση (ΗΔ)

Όλες οι μέθοδοι αφαλάτωσης απαιτούν σημαντική ποσότητα ενέργειας, για να πετύχουν τον διαχωρισμό των αλάτων από το θαλάσσιο νερό. Αυτό δημιουργεί πρόβλημα, διότι η καύση μεγάλων ποσοτήτων συμβατικών καυσίμων μολύνει το περιβάλλον. Έτσι, έστω και αν υπήρχαν διαθέσιμες ποσότητες καυσίμων, δε θα ήταν δυνατό αυτά να χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα για αφαλάτωση σε βαθμό που να ικανοποιείται η ανθρωπότητα σε πόσιμο νερό.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα συμβατικά καύσιμα επιβαρύνουν το περιβάλλον, η αφαλάτωση με χρήση μη συμβατικών μορφών ενέργειας πρέπει να προωθηθεί. Υπάρχουν πολλά μέρη στον κόσμο που έχουν πρόβλημα έλλειψης νερού, αλλά είναι πλούσια σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αφαλάτωση. Αρκετά τέτοια μέρη βρίσκονται και στον ευρύτερο Ελλαδικό χώρο.

## ΜΕΘΟΔΟΙ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΦΑΛΑΤΩΣΗΣ

Κλασικό παράδειγμα ηλιακής αφαλάτωσης που χρησιμοποιείται από τη φύση είναι η δημιουργία της βροχής. Όλοι οι τρόποι αφαλάτωσης με τη μέθοδο της απόσταξης, που δημιουργήθηκαν από τον άνθρωπο, είναι αντιγραφή, σε μικρό μέγεθος, του φυσικού αυτού φαινομένου.

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην αφαλάτωση του θαλάσσιου νερού, είτε μετατρέπόμενη σε θερμική ενέργεια για χρησιμοποίηση από τες μεθόδους απόσταξης είτε μετατρέπόμενη σε ηλεκτρισμό για χρησιμοποίηση από τις μεθόδους με μεμβράνες. Έτσι τα ηλιακά συστήματα αφαλάτωσης μπορούν να διαχωρισθούν σε άμεσα και έμμεσα αναλόγως της μεθόδου συλλογής και χρήσης της ηλιακής ενέργειας. Όπως συνάγεται και από το όνομά τους τα άμεσα συστήματα χρησιμοποιούν ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή πόσιμου νερού με μια μόνο συσκευή που ονομάζεται ηλιακός αποστακτήρας (Solar still). Αυτός χρησιμοποιείται τόσο για τη συλλογή της ενέργειας όσο και για την παραγωγή πόσιμου νερού.

Στα έμμεσα συστήματα απαιτούνται δύο ξεχωριστά υποσυστήματα, ένα για την συλλογή της ηλιακής ενέργειας και ένα για την παραγωγή πόσιμου νερού. Τα έμμεσα συστήματα χρησιμοποιούν συμβατικά συστήματα αφαλάτωσης με τη διαφορά ότι αντί της χρήσης μίας συμβατικής μορφής ενέργειας (ντήξελ ή ηλεκτρισμό), χρησιμοποιούν την ηλιακή ή και τις δυο. Οι συμβατικές μέθοδοι αφαλάτωσης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ηλιακή ενέργεια είναι:

### 1. Μέθοδοι Θερμικής απόσταξης:

- Πολυσταδιακοί αποστατήρες άμεσων εξατμίσεων (ΠΑΕ)  
(Multi-stage flash evaporators)
- Αποστατήρες πολλαπλών διαβαθμίσεων (ΠΑ)  
(Multiple effects boiling evaporators)
- Αποστατήρες με συμπύεση ατμών (ΣΑ)  
(Vapour compression evaporators)

2. Μέθοδοι με μεμβράνες
- Αντίστροφη ώσμωση (ΑΩ)
  - Ηλεκτροδιάλυση (ΗΔ)

Η αρχή λειτουργίας των μεθόδων θερμικής απόσταξης, ή αλλαγής φάσης, είναι η χρησιμοποίηση κατ' επανάληψη της λανθάνουσας θερμότητας της εξάτμισης, για την προθέρμανση της τροφοδοσίας, ενώ την ίδια στιγμή ο ατμός συμπυκνώνεται για την παραγωγή πόσιμου νερού. Αυτό γίνεται σε διάφορες διαβαθμίσεις που η κάθε μία βρίσκεται σε χαμηλότερη πίεση (κενό) από τη προηγούμενη. Η ενεργειακή απαίτηση αυτών των συστημάτων συνήθως αναφέρεται σαν ο λόγος των μονάδων απεσταγμένου νερού ανά μονάδα ατμού ή ανά 2326 KJ (1000 Btu) θερμικής ενέργειας που αντιστοιχεί με τη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης στους 73°C. Αυτό είναι γνωστό σαν Λόγος Απόδοσης (ΛΑ). Η αρχή λειτουργίας των μεθόδων με μεμβράνες είναι η χρησιμοποίηση της ηλιακής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρισμού ο οποίος χρησιμοποιείται για τη λειτουργία είτε των αντλιών (ΑΩ) είτε για τον ιονισμό του νερού (ΗΔ). Η κατανάλωση ενέργειας σε αυτή την περίπτωση αναφέρεται σε kWh/m<sup>3</sup>.

Σε αυτή τη μελέτη δε θα αναφερθώ με λεπτομέρεια ξεχωριστά για την κάθε μέθοδο, αλλά οι διάφορες μέθοδοι που αναφέρθηκαν μέχρι τώρα θα αναλυθούν ως προς την κατανάλωση πρωτεύοντος ενέργειας, το κόστος αγοράς και εγκατάστασης των μονάδων, την απαιτούμενη αρχική επεξεργασία του θαλάσσιου νερού και την ευκολία συνδιασμού τους με ηλιακή ενέργεια.

#### ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

Η πρώτη ανάγκη που πρέπει να ικανοποιηθεί κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού ενός συστήματος είναι η επιλογή του κατάλληλου συστήματος για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την επιλογή είναι οι ακόλουθοι:

1. Η ευκολία ή τα προβλήματα που υπάρχουν λόγω του συνδυασμού της συγκεκριμένης μεθόδου με την ηλιακή ενέργεια.
2. Η αποδοτικότητα της μεθόδου σε σχέση με την κατανάλωση πρωτεύοντος ενέργειας.
3. Η ποσότητα πόσιμου νερού που απαιτείται για τη συγκεκριμένη εφαρμογή σε συνδυασμό με την έκταση εφαρμογής των διαφόρων μεθόδων αφαλάτωσης.
4. Η απαιτούμενη αρχική επεξεργασία θαλάσσιου νερού.
5. Το αρχικό κόστος των μηχανημάτων.
6. Η έκταση γης που απαιτείται για την εγκατάσταση ή και που μπορεί να υπάρξει για την συγκεκριμένη εφαρμογή.

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί γενικά να μετατραπεί σε θερμική ή ηλεκτρική ενέργεια. Για τη θερμική μετατροπή απαιτούνται ηλιακοί συλλέκτες ή ηλιακές λίμνες (solar ponds) και για την ηλεκτρική φωτοβολταϊκά πλαίσια. Το πρόβλημα στην χρήση της ηλιακής ενέργειας προέρχεται από την ίδια τη φύση της, δηλαδή, αυτή είναι διαθέσιμη για σχεδόν τη μισή μέρα και επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες (σύννεφα). Αυτό σημαίνει ότι κάποιου είδους αποθήκευση της ενέργειας απαιτείται για να μπορεί να υπάρξει λειτουργία των τροφοδοτούμενων συστημάτων κατά την νύκτα ή σε περιόδους χαμηλής ηλιοφάνειας. Στην περίπτωση των έμμεσων συστημάτων ένας εφεδρικός λέβητας ή παροχή ηλεκτρισμού από το δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τις ώρες αυτές για αντικατάσταση της αποθηκευτικής μονάδας η οποία είναι συνήθως δαπανηρή.

Όπως φαίνεται και από το όνομά τους τα άμεσα συστήματα μπορούν να εργάζονται μόνο όταν η ηλιακή ενέργεια είναι διαθέσιμη. Στα έμμεσα συστήματα η ηλιακή ενέργεια συνήθως μετατρέπεται σε θερμική με ηλιακούς συλλέκτες υψηλής απόδοσης σε μορφή ζεστού νερού ή ατμού. Όταν ένα έμμεσο σύστημα λειτουργεί χωρίς αποθήκευση της ενέργειας, τότε το υποσύστημα της αφαλάτωσης πρέπει να μπορεί να ακολουθεί την μεταβαλλόμενη παροχή ηλιακής ενέργειας, που είναι αναπόφευκτη, χωρίς προβλήματα. Σε όλες τις περιπτώσεις όπου η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται για αφαλάτωση ο ιδεώδης λόγος απόδοσης πρέπει να υπολογίζεται με βάση το κόστος των ηλιακών συλλεκτών, των αποθηκευτικών μονάδων (αν χρησιμοποιούνται) και το κόστος της συμβατικής μονάδας αφαλάτωσης. Με βάση έρευνα στους καταλόγους κατασκευαστών, ετοιμάστηκε ο Πίνακας 2 που δείχνει τη ποσότητα πρωτεύοντος ενέργειας που απαιτείται από τις διάφορες μεθόδους αφαλάτωσης.

Η μέθοδος με τη μικρότερη απαίτηση ενέργειας είναι αυτή της  $\Omega$  με ανάκτηση ενέργειας. Η μέθοδος όμως αυτή είναι βιώσιμη για μεγάλες εγκαταστάσεις λόγω κυρίως του υψηλού κόστους του στροβίλου ανάκτησης ενέργειας.

Οι επόμενες φθηνότερες μέθοδοι είναι αυτή της  $\Omega$  και των ΠΔ. Με βάση και πάλι καταλόγους κατασκευαστών ετοιμάστηκε ο Πίνακας 3 που δείχνει το αρχικό κόστος αγοράς και την απαίτηση των διαφόρων μεθόδων για επεξεργασία του θαλάσσιου νερού. Η φθηνότερη από όλες τις μεθόδους είναι με την χρήση ηλιακού αποστακτήρα (ΗΑ). Αυτή η μέθοδος είναι απλή στην κατασκευή και στην χρήση της. Το μειονέκτημα όμως της μεθόδου αυτής είναι η πολύ χαμηλή παραγωγή γεγονός που συνεπάγεται την απαίτηση μεγάλων εκτάσεων επίπεδης γης για την εγκατάστασή της. Είναι αμφίβολο αν αυτή η μέθοδος μπορεί να είναι βιώσιμη, όπου δεν υπάρχουν μεγάλες ερημικές περιοχές κοντά στη θάλασσα. Η μέθοδος των ΠΔ είναι η φθηνότερη από όλες τις έμμεσες μεθόδους και απαιτεί την απλούστερη επεξεργασία του θαλάσσιου νερού. Η μέθοδος της  $\Omega$  αν και απαιτεί μικρές ποσότητες ενέργειας, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2, είναι δαπανηρή (αρχικό κόστος) και προϋποθέτει μια περίπλοκη επεξεργασία του θαλάσσιου νερού τόσο πριν όσο και μετά τις κυψέλες των μεμβρανών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. Ενεργειακή απαίτηση των διάφορων μεθόδων αφαλάτωσης

Μέθοδος	Θερμική ενέργεια (kJ/kg)	Μηχανική ενέργεια (kWh/m <sup>3</sup> )	Κατανάλωση προτεθέντος ενέργειας (kJ/kg)
ΠΑΕ	294	3.7	338.4
ΠΔ	123	2.2	149.4
ΣΑ	-	16	192
ΑΩ	-	12	144
ΑΩ-ΑΕ	-	7.9	94.8
ΗΔ	-	12	144
ΗΑ	2330	-	2330

Σημείωση: Απόδοση μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας 30%

ΠΙΝΑΚΑΣ 3. Σύγκριση μεθόδων αφαλάτωσης

ΕΙΔΟΣ	ΠΑΕ	ΠΔ	ΣΑ	ΑΩ	ΗΑ
Έκταση εφαρμογής	Μέτρια-μεγάλη	Μικρή-μέτρια	Μικρή	Μικρή-μεγάλη	Μικρή
Επεξεργασία θαλάσσιου νερού	Μέτρια	Απλή	Απλή	Περίπλοκη	-
Κόστος (£) σε τιμές 1993	1200-2000	1250-1900	1800-2900	2000-2550 Αλλαγή μεμβράνων κάθε 3-4 χρόνια	900-1000

Μια πιθανότητα που θα μπορούσε να ληφθεί υπόψη για αφαλάτωση είναι και η χρήση της ΑΩ με φωτοβολταϊκά πλαίσια. Τέτοια μέθοδος είναι πιο κατάλληλη για διακοπτόμενη λειτουργία, από ότι είναι οι θερμικές μέθοδοι απόσταξης, και έχει υψηλή παραγωγή ανά μονάδα συλλεγόμενης ενέργειας. Σύμφωνα με τον Zarza κ.α. [2] οι οποίοι συγκρίναν την πιο πάνω μέθοδο με αυτή των ΠΔ συνδυασμένη με γραμμικούς παραβολικούς συλλέκτες (ΓΠΣ):

1. Το συνολικό κόστος του πόσιμου νερού που παράγεται από το σύστημα ΓΠΣ με αποστακτήρα ΠΔ είναι χαμηλότερο από αυτό της ΑΩ με φωτοβολταϊκά πλαίσια, λόγω κυρίως του υψηλού κόστους του ηλεκτρισμού που παράγεται με φωτοβολταϊκά.

2. Ο αποστακτήρας ΠΔ είναι υψηλής αξιοπιστίας που κάνει την εγκατάσταση να είναι δυνατή σε χώρες με υψηλή ηλιοφάνεια που υστερούν όμως σε ειδικά καταρτισμένο προσωπικό. Επειδή λόγω του ότι οποιοδήποτε σοβαρό λάθος θα μπορούσε να καταστρέψει τις μεμβράνες του συστήματος ΑΩ, αυτά πρέπει να χειρίζονται από κατάλληλα καταρτισμένο προσωπικό.

Επιπρόσθετα με τα πιά πάνω η μέθοδος ΑΩ με φωτοβολταϊκά πλαίσια έχει τα πιά κάτω μειονεκτήματα:

1. Επιπρόσθετο κόστος για εγκατάσταση στροβίλου ανάκτησης ενέργειας ο οποίος συνήθως χρησιμοποιείται, λόγω του ότι η ενέργεια που παράγεται από εναλλασσόμενες πηγές στοιχίζει ακριβιά τόσο να συλλεγεί όσο και να αποθηκευτεί.
2. Σε περιοχές όπου το θαλάσσιο νερό είναι μολυσμένο παρέχεται λιγότερη ασφάλεια. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι θερμικές μέθοδοι προτιμούνται, λόγω του ότι το νερό εξατμίζεται και με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται η μεταφορά μικροοργανισμών.

Από τα πιο πάνω φαίνεται ότι οι θερμικές μέθοδοι αφαλάτωσης είναι πιο οικονομικές και πιο ασφαλείς. Δυο συστήματα, που θα μπορούσαν να συνδυαστούν με ηλιακή ενέργεια, είναι τα ΠΑΕ και τα ΠΔ. Σύμφωνα με τους Πίνακες 2 και 3 τα συστήματα ΠΔ απαιτούν λιγότερη πρωτεύοντα ενέργεια, πολύ απλό σύστημα επεξεργασίας του θαλάσσιου νερού και είναι χαμηλότερου κόστους. Επιπρόσθετα, τα συστήματα ΠΔ σύμφωνα με τον Porteous [3] παρουσιάζουν διάφορα πλεονεκτήματα συγκρινόμενα με άλλα συστήματα απόσταξης ως εξής:

1. Οικονομία στην ενέργεια, επειδή το αλμυρό νερό δε θερμαίνεται πάνω από το σημείο βρασμού, όπως συμβαίνει στα συστήματα ΠΑΕ. Αυτό οδηγεί σε λιγότερες θερμοδυναμικές αντιστρεψιμότητες, επειδή ο ατμός χρησιμοποιείται στη θερμοκρασία που παράγεται.
2. Η τροφοδοσία έχει τη χαμηλότερη συγκέντρωση αλάτων στο σημείο όπου η θερμοκρασία στον αποστακτήρα είναι η υψηλότερη, έτσι η πιθανότητα παραγωγής πέτρας περιορίζεται.
3. Η τροφοδοσία ρέει διαμέσου του αποστακτήρα σε σειρά και, επειδή η μέγιστη συγκέντρωση αλάτων συμβαίνει στην τελευταία διαβάθμιση, η χειρότερη ανύψωση του σημείου βρασμού συμβαίνει μόνο σε αυτήν τη διαβάθμιση.
4. Η μέθοδος αυτή απαιτεί χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Οι άλλες μέθοδοι απαιτούν υψηλή κατανάλωση, λόγω της αντλίας επανακυκλοφορίας στα συστήματα ΠΑΕ και του συμπιεστή ατμών στα συστήματα ΣΑ.

5. Τα συστήματα ΠΑΕ είναι επιρρεπή σε προβλήματα θερμοκλής ισορροπίας τα οποία παρουσιάζονται στη μείωση του λόγου απόδοσης. Στα συστήματα ΠΔ ο ατμός παράγεται στη μιά διαβάθμιση και χρησιμοποιείται στην επόμενη. Επίσης ο λόγος απόδοσης δεν εξαρτάται από τη θερμοκή ισορροπία.
6. Τα συστήματα ΠΔ είναι πιό απλά διότι απαιτούνται λιγότερες διαβαθμίσεις για ένα συγκεκριμένο λόγο απόδοσης.

## ΤΟ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Από την πιό πάνω ανάλυση φαίνεται ότι τα συστήματα του τύπου ΠΔ είναι τα πιο κατάλληλα για συνδιασμό με ηλιακή ενέργεια με σκοπό την παραγωγή πόσιμου νερού. Η θερμοκρασία που απαιτείται για τη μέθοδο αυτή είναι της τάξεως των 70-100°C. Απο τα διάφορα είδη ηλιακών συλλεκτών επιλέγηκαν οι γραμμικοί συλλέκτες παραβολικού τύπου. Αυτοί μπορούν να προμηθεύουν ατμό αυτής της θερμότητας με απόδοση γύρω στο 65%. Από τα πολλά είδη αποστακτήρων του τύπου ΠΔ ο τύπος του κατακόρυφου αποστακτήρα πολλαπλών διαβαθμίσεων (ΚΠΔ) είναι ο καταλληλότερος για συνδυασμό με την ηλιακή ενέργεια. Αυτός διαθέτει ένα αριθμό πλεονεκτημάτων, τα σημαντικότερα των οποίων είναι η σταθερή του λειτουργία για παραγωγή μεταξύ μηδέν και 100% και η ικανότητα του να ακολουθεί χωρίς πρόβλημα και να προσαρμόζεται αυτόματα σε μεταβαλλόμενη παροχή ατμού, έστω και αν αυτή γίνεται απότομα.

Διαγραμματικό του συστήματος φαίνεται στο Σχεδιάγραμμα 1. Το σύστημα αυτό μελετήθηκε οικονομικά για διάφορα μεγέθη εγκαταστάσεων. Η περίπτωση που λόγω της φύσης της φαίνεται να έχει καλές προοπτικές είναι η εγκατάσταση του σε μιά τουριστική μονάδα, όπως ένα ξενοδοχείο. Ο καταλληλότερος χώρος εγκατάστασης των συλλεκτών είναι η οροφή του ξενοδοχείου. Το θαλάσσιο νερό αντλείται συνήθως απο μιά γεώτρηση κοντά στη γραμμή κύματος, ούτως ώστε να φιλτράρεται καθώς περνά μέσα από την άμμο. Η επιστροφή του υφάλμυρου νερού στη θάλασσα πρέπει να γίνεται όσο το δυνατό πιό μακριά από την εισαγωγή. Στους ηλιακούς συλλέκτες κυκλοφορεί απεσταγμένο νερό. Ο ατμός διαχωρίζεται από το νερό στον διαχωριστήρα και, όπως διακρίνεται και από το σχεδιάγραμμα, όταν δεν υπάρχει ηλιοφάνεια, εύκολα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο λέβητας, χωρίς περίπλοκα συστήματα ελέγχου. Ο διαχωριστής νερού συμπληρώνεται με απεσταγμένο νερό από τον αποστακτήρα. Ένα τέτοιο σύστημα χρησιμοποιεί ηλιακούς συλλέκτες τύπου ΓΠΣ συνολικού εμβαδού 540 m<sup>2</sup> και αποστακτήρα τύπου ΚΠΔ με λόγο απόδοσης 12. Το κόστος και των δύο καθώς επίσης και αυτό των εφεδρικών συστημάτων φαίνεται στον Πίνακα 4.

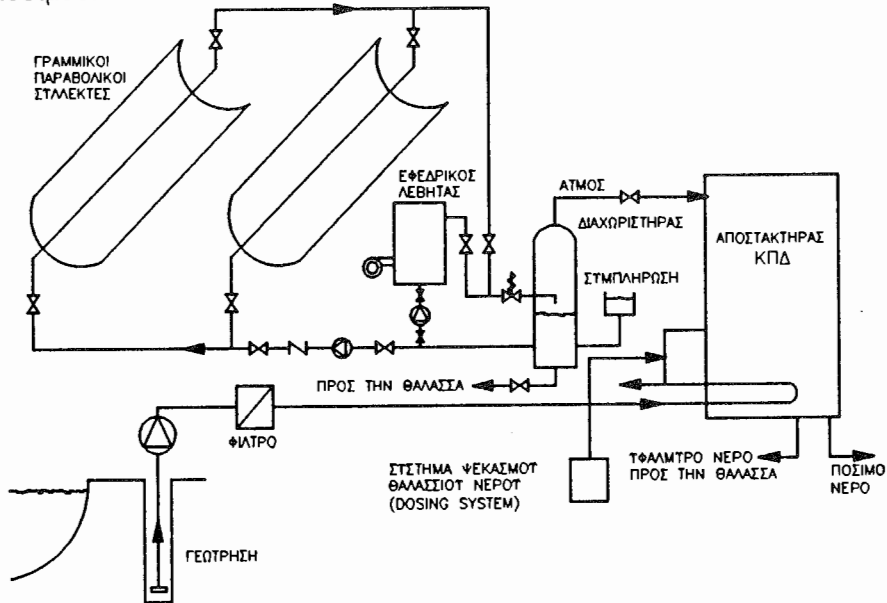
Η μέγιστη μέση ημερήσια παραγωγή του συστήματος είναι 108 m<sup>3</sup> πόσιμου νερού που ικανοποιεί πλήρως τις ανάγκες ενός ξενοδοχείου περίπου 200 δωματίων. Στην Κύπρο τα περισσότερα καύσιμα είναι επιδοτημένα από την Κυβέρνηση. Το συμβατικό καύσιμο που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για



ΠΙΝΑΚΑΣ 4. Συνολικό κόστος εγκατάστασης

ΕΙΔΟΣ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΚΟΣΤΟΣ (€)
Ηλιακοί συλλέκτες ΓΠΣ	540 m <sup>2</sup>	41.560
Αποστακτήρας ΚΠΔ	ΛΑ = 12	152.000
Λέβητας, διασωληνώσεις, αντλίες και εργατικά	-	4.180
ΣΥΝΟΛΟ	-	156.180

να συμπληρώνει την ηλιακή ενέργεια είναι το ντίζελ. Η τρεχούμενη τιμή που πωλείται αυτό το καύσιμο είναι περίπου η μισή της κανονικής (το άλλο μισό επιδοτείται). Για αυτό το λόγο στα αποτελέσματα της οικονομικής ανάλυσης, που παρουσιάζονται στον Πίνακα 5, χρησιμοποιούνται και οι δύο τιμές του καυσίμου.



ΣΧΕΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1. Σύστημα αφαλάτωσης με βραστήρα πολλαπλών διαβαθμίσεων και γραμμικούς παραβολικούς συλλέκτες

Το κόστος του νερού που φαίνεται στον Πίνακα 5 είναι το κόστος που δεν επιφέρει ούτε κέρδος ούτε ζημιά στον ιδιοκτήτη στο τέλος της ζωής του συστήματος (20 χρόνια). Όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα του Πίνακα 5, η λειτουργία του συστήματος μόνο με ηλιακή ενέργεια είναι ασύμφορη, λόγω του ψηλού αρχικού κόστους και του γεγονότος ότι το σύστημα παραμένει αδρανές για το μισό περίπου χρόνο (νύκτα). Η τιμή του νερού είναι περίπου η ίδια, είτε το σύστημα εργάζεται μόνο με συμβατικό καύσιμο είτε με συνδυασμό ηλιακής και συμβατικής ενέργειας. Αυτό δε συμβαίνει όμως, όταν

η τιμή του καυσίμου δεν είναι επιχορηγημένη, όπου η ηλιακή επιλογή είναι πιο συμφέρουσα. Λαμβάνοντας υπόψη και τη μόλυνση του περιβάλλοντος, η εκλογή της ηλιακής ενέργειας δεν πρέπει να αγνοείται έστω και αν δεν υπάρχει σημαντική διαφορά στην τιμή του πόσιμου νερού.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5. Οικονομική ανάλυση συστήματος αφαλάτωσης για ξενοδοχειακή μονάδα

Μέθοδος λειτουργίας	Μέση ημερήσια παραγωγή νερού (m <sup>3</sup> )	Τιμή νερού (£)	Τιμή νερού με κόστος καυσίμων μη επιχορηγημένο (£)
Μόνο με συμβατικά καύσιμα, χωρίς ηλιακούς συλλέκτες	108	0.90	1.39
Μόνο με ηλιακούς συλλέκτες	20.4	2.43	2.43
Με ηλιακούς συλλέκτες και λέβητα	108	0.89	1.29

#### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αναλύονται και συγκρίνονται μεταξύ τους οι διάφορες υπάρχουσες μέθοδοι αφαλάτωσης ως προς την κατανάλωση πρωτεύοντος ενεργείας, το κόστος αγοράς και εγκατάστασης των μονάδων, την απαιτούμενη αρχική επεξεργασία του θαλάσσιου νερού και την ευκολία που μπορούν να συνδυαστούν με την ηλιακή ενέργεια. Από αυτή την ανάλυση φαίνεται ότι η καταλληλότερη επιλογή είναι με τη μέθοδο αφαλάτωσης με αποστακτήρα πολλαπλών διαβαθμίσεων με συνδυασμό συμβατικής και ηλιακής ενέργειας. Οικονομική ανάλυση της μεθόδου αυτής δείχνει μία τιμή νερού ίση με 89σ (400 Δρχ) το κ.μ. που θεωρείται αρκετά καλή τιμή. Η χρήση του συστήματος με ηλιακή ενέργεια μόνο είναι ασύμφορη, κυρίως λόγω του ψηλού κόστους του αποστακτήρα, της μεγάλης επιδότησης των συμβατικών καυσίμων από το κράτος και του γεγονότος ότι το σύστημα μένει αδρανές για μεγάλο χρονικό διάστημα.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Malik M.A.S., Tiwari G.N., Kumar A. and Sodha M.S., *Solar Distillation*, Pergamon Press, 1985.
- [2] Zarza E., Ajora J.I., Leon J., Genthener K., Gregorzewski A., Alefeld G., Kahn R., Haberle A., Gunzbourg L., Scharfe J. and Cord'homme C., *Solar Thermal Desalination Project at the Plataforma Solar De Almeria, Proceedings of the New Technologies for the Use of Renewable Energy Sources for Desalination*, Athens, Greece, section III, pp. 62-81, 1991.
- [3] Porteous A., *Saline Water Distillation*, Longman, 1975.