



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

**Διπλωματική Εργασία**

**«Συστήματα ηλιακού κλιματισμού με χρήση  
κύκλου προσρόφησης»**

**Δημήτριος Ν. Φάκαλης**

Επιβλέπων Καθηγητής: Χρήστος Τζιβανίδης

**Αθήνα, Σεπτέμβριος 2010**



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

**Διπλωματική Εργασία**

**«Συστήματα ηλιακού κλιματισμού με χρήση  
κύκλου προσρόφησης»**

**Δημήτριος Ν. Φάκαλης**

Επιβλέπων Καθηγητής: Χρήστος Τζιβανίδης

**Αθήνα, Σεπτέμβριος 2010**

## Πρόλογος

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία αφορά τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού και ιδιαίτερα αυτά που λειτουργούν με κύκλο προσρόφησης. Στο τελευταίο μέρος της Εργασίας παρουσιάζονται οι εξισώσεις επίλυσης καθώς και η αριθμητική προσομοίωση ενός υβριδικού συστήματος επίπεδου συλλέκτη, το οποίο βρίσκεται στην περιοχή της Θήρας και συνδυάζει θέρμανση και ψύξη μέσα στο 24ωρο. Το μελετώμενο σύστημα λειτουργεί με ζεύγος silica gel / αιθανόλης. Ο τρόπος επίλυσης χωρίζει την μέση ημέρα κάθε μήνα σε 5 δίωρες ζώνες από τις 8.00 – 18.00 και μελετά σε κάθε ζώνη και ώρα τα ζητούμενα στοιχεία.

Στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάζονται με εκτενή τρόπο εκείνοι οι λόγοι που καθιστούν σήμερα την στροφή της κοινωνίας στην χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ιδιαίτερα στην ηλιακή ενέργεια. Επίσης παρουσιάζονται οι παράμετροι χρήσης της ηλιακής ακτινοβολίας και τα συστήματα συλλογής της.

Θα πρέπει να τονίσουμε ότι λόγω των παραδοχών που έχουν γίνει για την απλοποίηση του υπολογιστικού μοντέλου, τα αποτελέσματα μπορεί να διαφέρουν από εκείνα άλλων και ίσως πιο πολύπλοκων μοντέλων, ωστόσο κρίνεται τελικά πως αρκούν για την εξαγωγή χρήσιμων και σωστών συμπερασμάτων.

Τέλος, για την πραγμάτωση της εργασίας αυτής θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Χρήστο Τζιβανίδη, λέκτορα Ε.Μ.Π. για την επιλογή και ανάθεση του θέματος καθώς και για την καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της Εργασίας.

# Περιεχόμενα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή

1.1: Το ενεργειακό ζήτημα στο σήμερα	2
1.2: Η ρύπανση του πλανήτη	4
1.3: Το φαινόμενο του θερμοκηπίου	5
1.4: Οι κλιματικές αλλαγές	8
1.5: Διεθνείς προσπάθειες για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών	12
1.5.1: Η Σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος	12
1.5.2: Το Πρωτόκολλο του Κιότο	13
1.6: Η κατάσταση στην Ελλάδα	15

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

2.1: Εισαγωγή - Ορισμός	19
2.2: Μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	22
2.2.1: Ηλιακή ενέργεια	22
2.2.2: Η Αιολική ενέργεια	24
2.2.3: Η Γεωθερμική ενέργεια	26
2.2.4: Η Βιομάζα	28
2.2.5: Η Υδραυλική ενέργεια – Τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα	30
2.2.6: Θερμική ενέργεια των ωκεανών	32
2.2.7: Παλιρροιακή ενέργεια	32
2.2.8: Κυματική Ενέργεια	32
2.3: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΑΠΕ	32
2.3.1: Πλεονεκτήματα	33
2.3.2: Μειονεκτήματα	33

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Ο ήλιος και η ηλιακή ακτινοβολία

3.1: Ο Ήλιος	36
3.1.1: Τα χαρακτηριστικά του Ήλιου	36
3.1.2: Η σύσταση του Ήλιου	38
3.1.3: Η ηλιακή ενέργεια	38
3.1.4: Ο θάνατος του Ήλιου	38
3.2: Η δομή του Ήλιου	39
3.3: Η ηλιακή ακτινοβολία	41
3.3.1: Ορισμός – Ηλιακή σταθερά	41
3.3.2: Συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας	44
3.3.3: Οι βασικές γωνίες	46
3.3.4: Κατανομή της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας	48
3.4: Όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας	49
3.4.1: Θερμικοί ανιχνευτές (Thermal detectors)	49
3.4.2: Αισθητήρες ηλεκτρονικής διέγερσης (Quantum detectors)	50

3.5: Το ηλιακό δυναμικό	51
-------------------------	----

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Τα ηλιακά συστήματα**

4.1: Εισαγωγή	54
4.2: Τα φωτοβολταϊκά συστήματα	55
4.3: Τα παθητικά ηλιακά συστήματα	57
4.4: Τα ενεργητικά (θερμικά) ηλιακά συστήματα	61
4.4.1: Εφαρμογές των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων	62
4.4.2: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και οφέλη από τη χρήση των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων	62
4.5: Οι ηλιακοί συλλέκτες	63
4.5.1: Επίπεδοι συλλέκτες	64
4.5.2: Συλλέκτες κενού	65
4.6: Η αγορά των θερμικών ηλιακών συστημάτων	66

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Ηλιακός κλιματισμός**

5.1: Εισαγωγή	72
5.2: Ένα τυπικό σύστημα ηλιακού κλιματισμού	74
5.3: Θερμοδυναμικές αρχές	76
5.4: Συστήματα κλειστού κύκλου	78
5.4.1: Οι ψύκτες απορρόφησης	78
5.4.2: Οι ψύκτες προσρόφησης	79
5.5: Συστήματα ανοικτού κύκλου	81
5.5.1: Ψύξη στερεού μέσου ανοικτού κύκλου με περιστρεφόμενους τροχούς	82
5.5.2: Ψύξη υγρού μέσου ανοικτού κύκλου	83
5.6: Παραδείγματα καλής εφαρμογής ηλιακού κλιματισμού στην Ελλάδα	84
5.6.1: ΣΑΡΑΝΤΗΣ Α.Ε.	84
5.6.2: Rethimno Village Hotel	85
5.7: Δυνατότητες εφαρμογών SAC στο Μεσογειακό χώρο	87
5.8: Οικονομική αξιολόγηση των SAC	88
5.9: Συμπεράσματα	89

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Προσρόφηση (Adsorption)**

6.1: Ορισμός – Εισαγωγή	92
6.2: Ιστορικά στοιχεία	93
6.3: Βασικές αρχές προσρόφησης	94
6.4: Τα προσροφητικά υλικά	94
6.4.1: Χαρακτηριστικά και γενικές απαιτήσεις	94
6.4.2: Ο ζεόλιθος	95
6.4.3: Το silica gel	96
6.4.4: Ο ενεργός άνθρακας	97
6.5: Η θεωρία της πιθανότητας προσρόφησης	99

6.6: Οι ισόθερμες εξισώσεις της προσρόφησης	99
6.6.1: Το μοντέλο του Langmuir	101
6.6.2: Το μοντέλο του Freundlich	102
6.6.3: Το μοντέλο Brunauer et al	102
6.6.4: Το μοντέλο Dubinin – Radushkevich – Polanyi (D-R)	103
6.6.5: Το μοντέλο Dubinin – Astakhov – Polanyi (D-A)	104
6.7: Παράγοντες που επηρεάζουν την ισορροπία της προσρόφησης	105
6.8: Πλεονεκτήματα της μεθόδου της προσρόφησης έναντι της απορρόφησης	107
6.9: Κύκλοι υλοποίησης της προσρόφησης	107

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Υπολογιστική προσομοίωση κύκλου προσρόφησης**

7.1: Εισαγωγή	110
7.2: Ο επιλεγόμενος ηλιακός συλλέκτης	111
7.2.1: Θεωρία επίπεδου συλλέκτη	112
7.2.2: Ο λόγος $(\tau_a)/(\tau_a)_\eta$	113
7.2.3: Κλίση του συλλέκτη	114
7.2.4: Επιλεγόμενες τιμές στο πρόβλημά μας	114
7.3: Μετεωρολογικά δεδομένα για τη νήσο Θήρα	114
7.4: Υπολογισμός μέσων θερμικών φορτίων	116
7.5: Υπολογισμός απαιτούμενης επιφάνειας ηλιακών συλλεκτών	117
7.5.1: Μέθοδος καμπυλών $f$	118
7.6: Υπολογισμός πιέσεων συμπυκνώσεως και ατμοποίησης	119
7.7: Περιγραφή του επιλεγόμενου για την εργασία μηχανισμού	119
7.7.1: Περιγραφή των μερών που απαρτίζουν τον μηχανισμό	119
7.7.2: Περιγραφή λειτουργίας του μηχανισμού	120
7.8: Ενεργειακή ανάλυση κατά την θέρμανση της τράπεζας	123
7.9: Ενεργειακή ανάλυση κατά την ψύξη της τράπεζας	124
7.10: Υπολογισμός ψυκτικής απόδοσης κύκλου	125
7.11: Αριθμητικά δεδομένα	126
7.12: Αριθμητικά αποτελέσματα	127
7.12.1: Απρίλιος	127
7.12.2: Μάιος	130
7.12.3: Ιούνιος	132
7.12.4: Ιούλιος	135
7.12.5: Αύγουστος	137
7.12.6: Σεπτέμβριος	140
7.12.7: Οκτώβριος	143
7.12.8: Αποτελέσματα ανά μήνα	161
7.13: Συμπεράσματα – Σχόλια	146

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Σύγκριση αποτελεσμάτων Διπλωματικών εργασιών**

8.1: Εισαγωγή	150
8.2: Παρουσίαση της συγκρινόμενης Εργασία	152
8.3: Αριθμητικά αποτελέσματα συγκρινόμενης Εργασίας	155
8.4: Σύγκριση των δύο Εργασιών	156
8.4.1: Σύγκριση Θερμοκρασιών	156
8.4.2: Σύγκριση φορτίων	158
8.4.3: Σύγκριση αδιάστατων συγκεντρώσεων	160
8.4.4: Σύγκριση βαθμών αποδόσεως	161
8.4.5: Συμπεράσματα – Σχόλια	163

### **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: Κώδικας Υπολογισμού**

Κώδικας αριθμητικής προσημείωσης σε MATLAB	164
--	-----

### **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

a) Ιστοσελίδες	172
b) Ελληνόγλωσσα Βιβλία – Μελέτες	172
c) Διπλωματικές Εργασίες	173
d) Ξενόγλωσσα Βιβλία – Μελέτες	174

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**



## 1.1: Το ενεργειακό ζήτημα στο σήμερα

Κάθε φυσικό σύστημα περιέχει (ή εναλλακτικά αποθηκεύει) μία ποσότητα που ονομάζεται ενέργεια. Οποιαδήποτε μορφή δράσης από τα παιδικά παιχνίδια μέχρι τη λειτουργία των μηχανών και από το μαγείρεμα τροφών μέχρι τη γραμμή παραγωγής στο εργοστάσιο προϋποθέτει κατανάλωση ενέργειας. Οι πράγματι πολυποικίλες μορφές ενέργειας βρίσκονται πίσω από την ασύλληπτη ποικιλία των φυσικών φαινομένων. Έτσι, από την αρχαιότητα ακόμα, ο άνθρωπος χρησιμοποίησε όλα τα στοιχεία της φύσης (αέρας, νερό, κ.ά.) για την παραγωγή ενέργειας και κατ' επέκταση τη διευκόλυνση της ίδιας της ανθρώπινης δραστηριότητας.

Μιλώντας σήμερα για το ενεργειακό ζήτημα πρέπει να προσεγγίσουμε μία σειρά παραμέτρων που βρίσκονται στην βάση του. Τα στοιχεία που έχουμε σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας της ανθρώπινης κοινωνίας, από την Νεολιθική εποχή μέχρι σήμερα είναι εντυπωσιακά. Στις τροφοσυλεκτικές κοινωνίες (γύρω στο 10.000 π.Χ.) λίγο πριν την νεολιθική εποχή, πριν δηλαδή ο άνθρωπος εγκαθιδρύσει το γεωργικό σύστημα το οποίο όλοι γνωρίζουμε, ο μέσος κυνηγός τροφοσυλέκτης (ο μέσος εργαζόμενος της εποχής) κατανάλωνε όχι παραπάνω από 2.500 θερμίδες την ημέρα για το σύνολο των ενεργειακών απαιτήσεών του, είτε ήταν τροφή, είτε ήταν θέρμανση, είτε άλλες ενεργειακές απαιτήσεις.

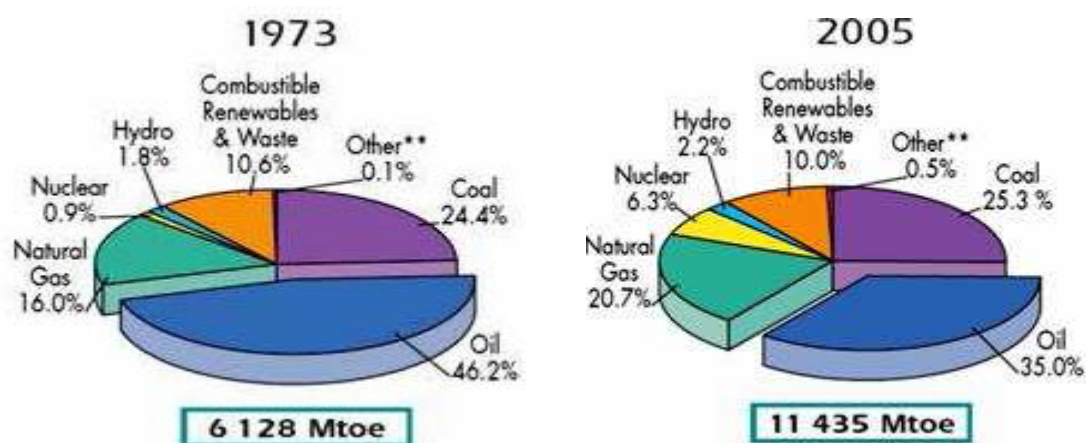
**Σήμερα καταναλώνουμε κατά μέσο όρο παγκοσμίως πάνω από 31.000 θερμίδες ο καθένας μας, 12 φορές παραπάνω από τον παλαιολιθικό άνθρωπο. Στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης ή στα πλαίσια των 24 πλέον ανεπτυγμένων χωρών του πλανήτη, των χωρών του ΟΟΣΑ, η κατανάλωση είναι γύρω στις 4 με 5 φορές παραπάνω από αυτό το 31.000. Δηλαδή καταναλώνουμε γύρω στις 120 με 150.000 θερμίδες την ημέρα, ανάλογα με την οικονομική μας δυνατότητα, το σπάταλο μοντέλο ζωής το οποίο ο καθένας από εμάς διάγει και φυσικά την χώρα στην οποία διαβιεί.**

Ειδικά μετά τη βιομηχανική επανάσταση η ζήτηση για παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας πολλαπλασιάστηκε. Κι αν πριν από λίγα χρόνια τα ενεργειακά αποθέματα φάνταζαν πολλά και η απεριόριστη χρήση και σπατάλη τους, απασχολούσε ελάχιστους επιστήμονες, η σημερινή κατάσταση δείχνει ότι η οπτική μας σε αυτό το ζήτημα πρέπει να αλλάξει ριζικά.

Στην εποχή της πληροφορικής και της βιοτεχνολογίας η ενεργειακή ζήτηση είναι πολλαπλάσια απ' ότι πριν μερικά χρόνια. **Ενδεικτικό της κατάστασης είναι ότι η παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση εικοσαπλασιάστηκε από το 1850 μέχρι σήμερα, δεκαπλασιάστηκε από το 1900 και τετραπλασιάστηκε από το 1950.** Παρόλα αυτά η παραγωγή και κατανάλωση ορυκτών καυσίμων ολοένα αυξάνεται στο βωμό της καπιταλιστικής ανάπτυξης και του λεγόμενου δυτικού τρόπου ζωής που σαν αποτέλεσμα έχει

και μια ολοένα και αυξανόμενη, σχεδόν ακόρεστη, ζήτηση για ενέργεια.

Στα παραπάνω τον καθοριστικό ρόλο παίζουν οι χώρες του λεγόμενου δυτικού κόσμου και ιδιαίτερα οι πιο πλούσιες από αυτές με πρωταθλήτριες στην κατανάλωση τις ΗΠΑ. Η παρούσα ενεργειακή κατάσταση του πλανήτη έχει ως εξής: τα 2/3 της συνολικής παραγόμενης ενέργειας καταναλώνονται από το 1/5 του πληθυσμού του πλανήτη (ανεπτυγμένες χώρες).



**Εικόνα 1:** Συγκριτικά διαγράμματα της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας το 1973 και το 2005

(Πηγή: Key World Energy Statistics, 2007, IEA)

Σε αυτό το εφιαλτικό σενάριο έρχονται να προστεθούν και οι δύο αναπτυσσόμενοι πληθυσμιακοί γίγαντες, η Κίνα και η Ινδία, οι οποίες έχουν εισέλθει δυναμικά στη παγκόσμια βιομηχανική παραγωγή με πολύ υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης. Οι χώρες αυτές φαντάζουν ενεργειακά αδηφάγες και δεν δείχνουν ασφαλώς πρόθυμες να περιορίσουν τους ρυθμούς ανάπτυξης τους για χάρη της εξοικονόμησης ενέργειας. Προσπαθούν να αναπτυχθούν με βάση το μοντέλο με το οποίο άνθησαν οι βιομηχανικές οικονομίες της Δύσης παλαιότερα.

Σύμφωνα με αυτά τα δεδομένα οι επιστήμονες δεν μπορούν να κάνουν μια ακριβή πρόβλεψη σχετικά με τις παγκόσμιες ενεργειακές απαιτήσεις, αλλά το μόνο στο οποίο συμφωνούν είναι πως αργά ή γρήγορα τα διαθέσιμα κοιτάσματα ορυκτών καυσίμων θα αρχίσουν να λιγοστεύουν επικίνδυνα.

Προφανώς δεν πρέπει να παραγνωρίσουμε ότι αυτή η ραγδαία ανάπτυξη συνέβαλε στη βελτίωση του επιπέδου ζωής πολλών εκατομμυρίων ανθρώπων, καθώς έλυσε προβλήματα μετακίνησης με την χρησιμοποίηση των αυτοκινήτων ή με τις πολλές ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές καθώς και εγκαταστάσεις θέρμανσης και κλιματισμού. **Από την άλλη θα πρέπει να αναγνωρίσουμε ότι η βελτίωση αυτή αφορά ένα μερικό ποσοστό του ανθρώπινου πληθυσμού καθώς ακόμα και σήμερα 3 δις άνθρωποι περίπου ζουν κάτω από τα όρια της φτώχειας.**

## 1.2: Η ρύπανση του πλανήτη

Η αλόγιστη σπατάλη ορυκτών καυσίμων δεν έχει μόνο σημαντικές οικονομικοκοινωνικές προεκτάσεις, αλλά και σοβαρές περιβαλλοντικές, αφού κατά την καύση τους απελευθερώνονται διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ), μονοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}$ ), διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ), οξειδία του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ), υδρογονάνθρακες ( $\text{H/C}$ ) κλπ. Κύριο αποτέλεσμα από την καύση ορυκτών καυσίμων είναι η ατμοσφαιρική ρύπανση, η οποία επηρεάζει άμεσα την ψυχοσωματική υγεία των ανθρώπων, προκαλώντας τσούξιμο των οφθαλμών, βήχα, σοβαρά αναπνευστικά, τοξικολογικά και νευρικά προβλήματα.

Η καύση των ορυκτών καυσίμων όπως είναι το πετρέλαιο και οι γαιάνθρακες κυρίως σε μεγάλα θερμοηλεκτρικά εργοστάσια, προκαλεί σημαντική υποβάθμιση του περιβάλλοντος της περιοχής στην οποία βρίσκεται και το μέγεθος της είναι ανάλογο του μεγέθους της ηλεκτροπαραγωγής και του είδους του καυσίμου (πετρέλαιο, λιθάνθρακας, φυσικό αέριο). Πιο σοβαρές, ωστόσο, είναι οι επιδράσεις της ρύπανσης στο κλίμα της γης.

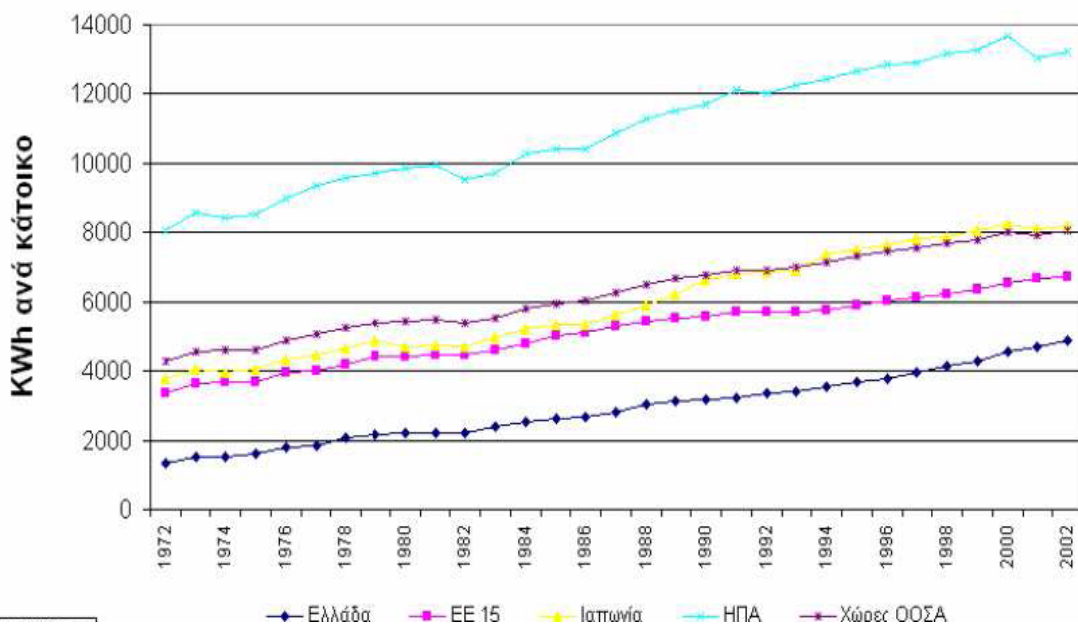
Η τοπική ρύπανση λοιπόν φαίνεται να είναι απλώς η κορυφή του παγόβουνου καθώς οι συνέπειες τις οξύνουν προβλήματα παγκοσμίου ενδιαφέροντος όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η όξινη βροχή και η τρύπα του όζοντος.

Και στον τομέα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης πρωταγωνιστικό ρόλο έχουν οι χώρες των G8 – οι επτά πιο εύρωστες οικονομικά χώρες (Γαλλία, Γερμανία, Ιαπωνία, Ιταλία, Καναδάς, Ηνωμένο Βασίλειο και ΗΠΑ) και η Ρωσία – ευθύνονται για περίπου τις μισές (48,7%) εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα παγκοσμίως, σύμφωνα με τα στοιχεία του έτους 1999. Κι αν σε αυτό προσθέσουμε τους ρύπους που παράγουν η Κίνα και η Ινδία αυτό το ποσοστό εκτοξεύεται ακόμα παραπάνω.

Τέλος, όσο κι αν η σωτηρία του πλανήτη είναι και στα δικά μας χέρια, όπως πολλά ΜΜΕ και «φίλοι του περιβάλλοντος» προσπαθούν να μας πείσουν τελευταία τη μεγαλύτερη ευθύνη την έχουν ακόμα οι βιομηχανίες και τα ανεπτυγμένα κράτη. Άλλωστε πόσο μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές αερίων οι κάτοικοι μιας φτωχής Αφρικάνικης ή Ασιατικής χώρας, εν αντιθέσει με τους κατόχους χιλιάδων ρυπογόνων μεγάλου κυβισμού οχημάτων στην Ευρώπη και στη Βόρεια Αμερική; Κι από την άλλη, πόσο μπορεί να μειώσουν την σπατάλη ενέργειας οι φτωχές χώρες, όταν ένας κάτοικος των ΗΠΑ καταναλώνει κατά μέσο όρο τόση ηλεκτρική ενέργεια όση καταναλώνουν ένας κάτοικος της ΕΕ και της Ιαπωνίας μαζί;



**Εικόνα 2:** Πηγές εκπομπών CO<sub>2</sub> από καύση ορυκτών καυσίμων (1995)  
(Πηγή: WWF)

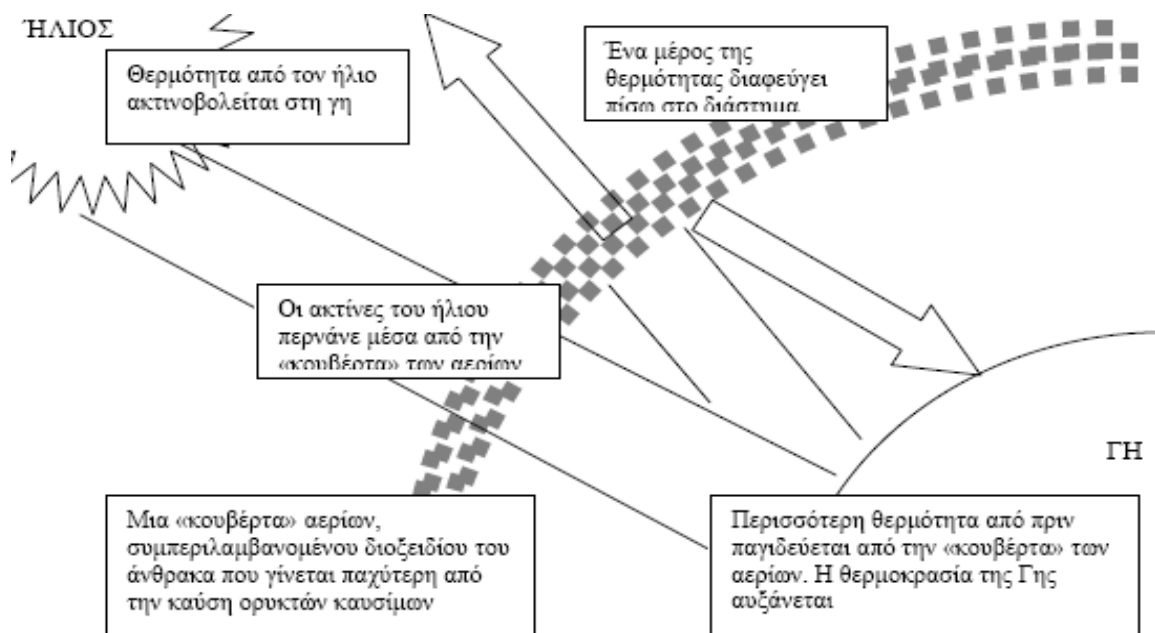


**Εικόνα 3:** Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας ανά κάτοικο  
(Πηγή: www.cres.gr)

### 1.3: Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

Η ατμόσφαιρα της γης λειτουργεί ως ένα διαφανές, προστατευτικό κάλυμμα γύρω από τον πλανήτη μας. Αφήνει το ηλιακό φως να περνά και συγκρατεί τη θερμότητα. Χωρίς αυτήν, η ηλιακή θερμότητα θα αντανακλούνταν κατευθείαν από την επιφάνεια της γης και θα επέστρεφε ακέραη στο διάστημα. Στην περίπτωση αυτή, η θερμοκρασία στη γη θα ήταν περίπου κατά 30 °C χαμηλότερη κι όλα θα πάγωναν. Είναι λοιπόν φανερό ότι η

ατμόσφαιρα λειτουργεί, κατά κάποιο τρόπο, σαν τα γυάλινα τοιχώματα ενός θερμοκηπίου.

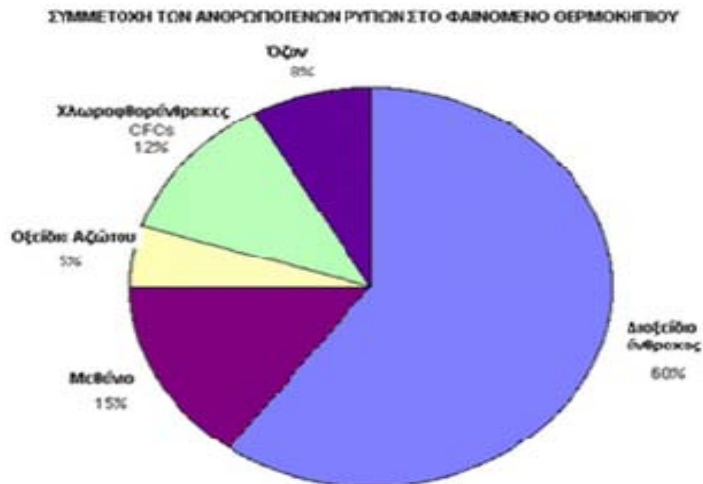


**Εικόνα 4:** Γραφική επεξηγηματική απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου  
(Πηγή: WWF UK)

Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο οι επιστήμονες μιλούν για το «φαινόμενο του θερμοκηπίου». Υπεύθυνα για το φαινόμενο αυτό είναι τα λεγόμενα «αέρια θερμοκηπίου» στην ατμόσφαιρα, τα οποία παγιδεύουν θερμότητα. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι φαινόμενο φυσικό, ωστόσο ενισχύεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, η οποία συμβάλλει στην αύξηση της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου (CO<sub>2</sub> και CH<sub>4</sub>) καθώς και στην έκλυση άλλων ιχνοστοιχείων, όπως οι χλωροφθοράνθρακες (CFC's). **Τα τελευταία χρόνια, καταγράφεται μία αύξηση στη συγκέντρωση αρκετών αερίων του θερμοκηπίου, ενώ ειδικότερα στην περίπτωση του διοξειδίου του άνθρακα, η αύξηση αυτή ήταν 31% την περίοδο 1750-1998** (Πίνακας 1).

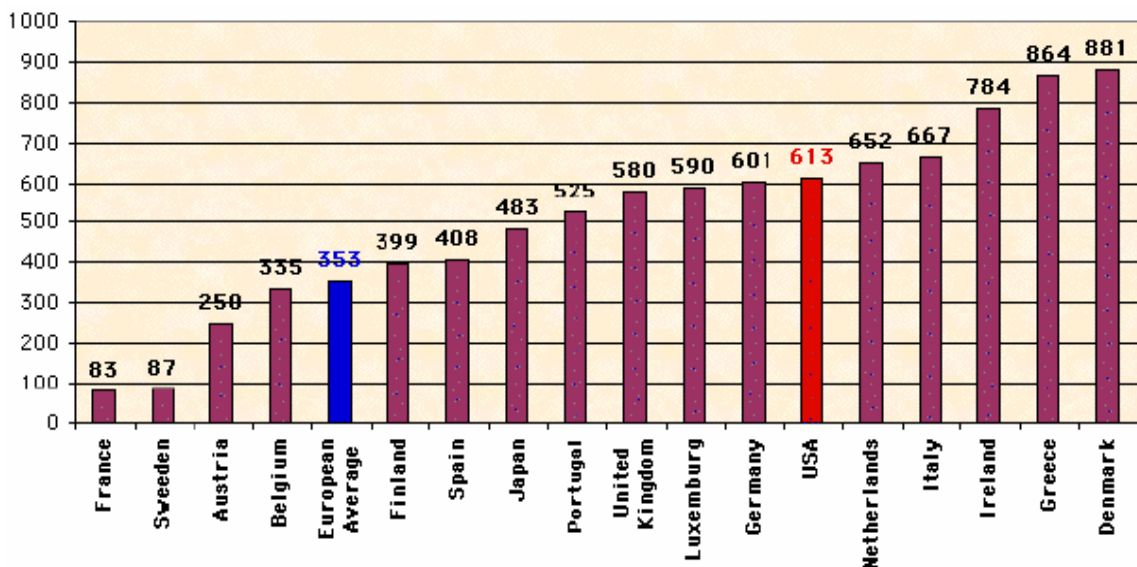
Αέριο	Επίπεδα 1998	Επίπεδα 1750	Ποσοστό αύξησης
CO <sub>2</sub>	365 ppm	278 ppm	31%
CH <sub>4</sub>	1745 ppb	700 ppb	150%
NO <sub>x</sub>	314 ppb	270 ppb	16%

**Πίνακας 1:** Αέρια θερμοκηπίου με τη μεγαλύτερη αύξηση συγκέντρωσης  
(Πηγή: IPCC)



**Εικόνα 5:** Συμμετοχή των ανθρωπογενών ρύπων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (Πηγή: WWF)

Εκτιμάται ότι τα τρία τέταρτα της ανθρωπογενούς παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα, οφείλονται σε χρήση ορυκτών καυσίμων, όπως είναι το πετρέλαιο και άνθρακας από τα οποία παίρνει το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειάς του ο σύγχρονος κόσμος, ενώ το υπόλοιπο μέρος προέρχεται από αλλαγές που συντελούνται στο έδαφος, κυρίως μέσω της αποδάσωσης. Κάθε KWh ηλεκτρισμού που προμηθεύονται οι καταναλωτές και που παράγεται από ορυκτά καύσιμα, επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με CO<sub>2</sub> συν τις πάσης φύσεως άλλες επικίνδυνες ουσίες, όπως καρκινογόνα μικροσωματίδια, οξείδια αζώτου, ενώσεις του θείου κλπ, που επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην υγεία και το περιβάλλον.



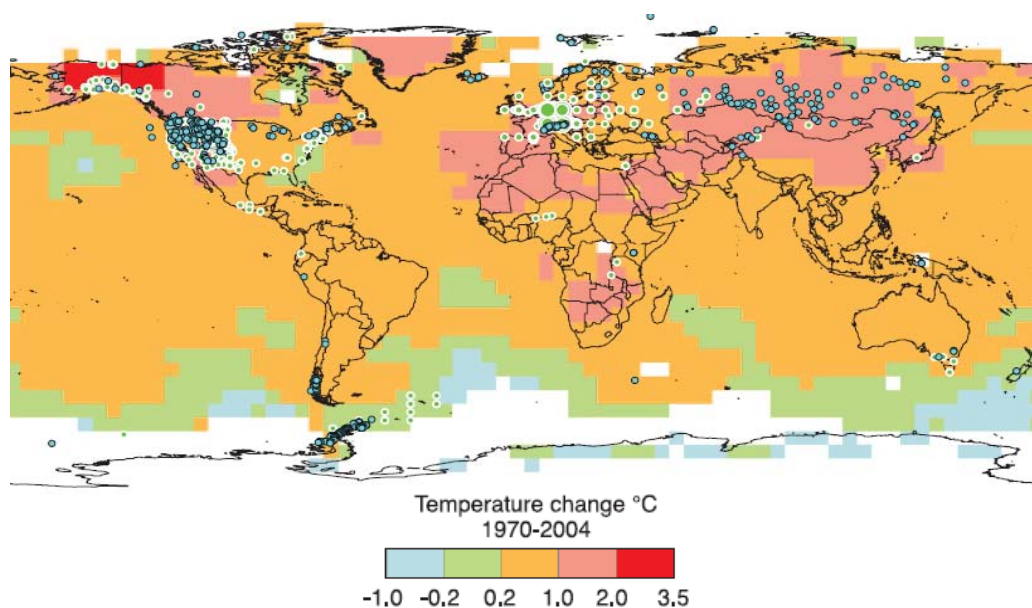
**Εικόνα 6:** Ποσότητα CO<sub>2</sub> σε γραμμάρια που ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα για την παραγωγή 1KWh ηλεκτρικής ενέργειας (2001) (Πηγή: www.manicore.com)



## 1.4: Οι κλιματικές αλλαγές

Τα τελευταία χρόνια όλο και πιο συχνά γίνεται λόγος για τις σημαντικές αλλαγές που έχει υποστεί το κλίμα του πλανήτη. Οι καθημερινές εικόνες από διάφορα ακραία καιρικά και σπάνια κλιματικά φαινόμενα που συμβαίνουν σε κάθε γωνιά του πλανήτη, αλλά και όσα κι εμείς ζούμε τα τελευταία χρόνια και στην Ελλάδα δικαιολογούν την έντονη αυτή ανησυχία. Το φαινόμενο των κλιματικών αλλαγών άλλαξε δραστικά τη διάσταση και τον χαρακτήρα των περιβαλλοντικών προβλημάτων.

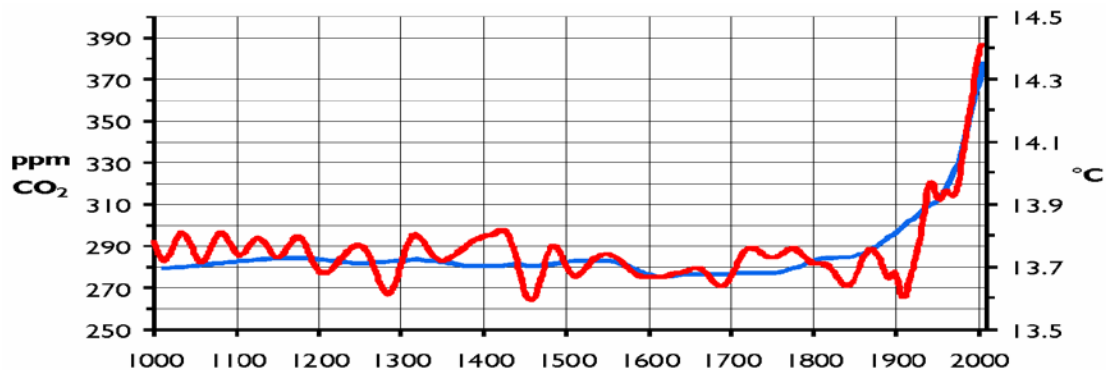
Έτσι, τα προβλήματα και ζητήματα του περιβάλλοντος που στο παρελθόν αφορούσαν στις τοπικές κοινωνίες, αρχές και κυβερνήσεις, σήμερα αφορούν σε ολόκληρο τον πλανήτη. Παλιότερα οι συνέπειες της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης αφορούσαν στις εκπομπές και τα λύματα των βιομηχανιών οι οποίες επηρέαζαν την ατμόσφαιρα ή τον υδροφόρο ορίζοντα ή τα επιφανειακά νερά μιας περιοχής. Σήμερα εκτός από αυτής της φύσεως τα προβλήματα, που βεβαίως παραμένουν, **το κυρίαρχο περιβαλλοντικό ζήτημα ξεπερνά τα σύνορα μιας πόλης, ενός κράτους ή έστω και μιας ηπείρου.**



**Εικόνα 7:** Παγκόσμιος χάρτης μεταβολής της θερμοκρασίας  
(Πηγή: WWF UK)

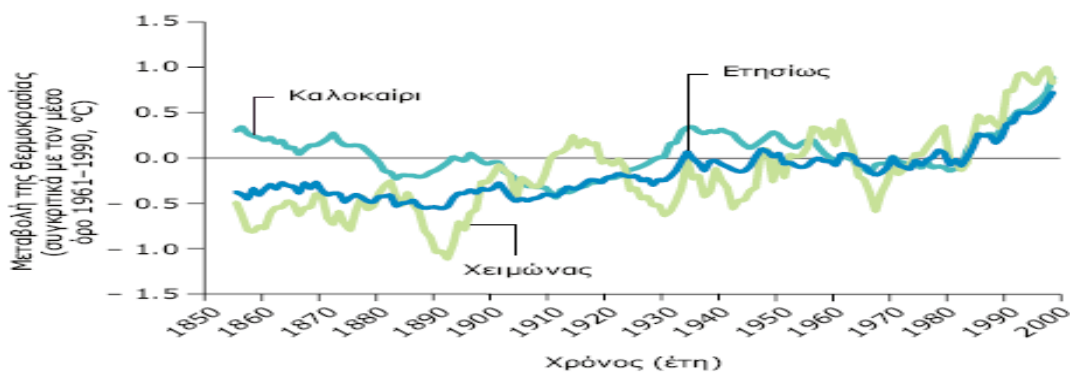
Και σαν να μην έφταναν όλα αυτά, οι επιστήμονες που μελετούν τις κλιματικές αλλαγές προμηνύουν ένα δυσσιώπιο μέλλον εάν δεν παρθούν μέτρα αντιμετώπισης του προβλήματος, καθώς αυτές οι αλλαγές έχουν κυρίως ανθρωπογενή προέλευση. Αυτό επισημαίνει και η Διακυβερνητική Επιτροπή για τις Κλιματικές Αλλαγές (IPCC), που λειτουργεί υπό την αιγίδα του ΟΗΕ, σε έκθεσή της τον Σεπτέμβρη του 2001. Οι διαρκώς αυξανόμενες εκπομπές αερίων, όπως του διοξειδίου του άνθρακα, του μεθανίου, του υποξειδίου του αζώτου, των βιομηχανικών φθοριούχων κ.ά., οι

οποίες δε περιορίζονται σε τοπικό επίπεδο και δε γνωρίζουν κανενός είδους σύνορο **εντείνοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου κι ανεβάζοντας τη μέση θερμοκρασία του πλανήτη**. Αυτό άλλωστε αποδεικνύει και η παρακάτω Εικόνα 8, όπου απεικονίζεται το διάγραμμα μεταβολής των μέσων επιπέδων συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στη γήινη ατμόσφαιρα τα τελευταία 1000 χρόνια (μπλε καμπύλη, άξονας τιμών αριστερά) σε συνάρτηση με τη διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας αυτής (κόκκινη γραμμή, άξονας τιμών δεξιά) κατά το ίδιο χρονικό διάστημα.



**Εικόνα 8:** Διάγραμμα μεταβολής των επιπέδων συγκέντρωσης του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα της Γης σε συνάρτηση με τη μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας αυτής (Πηγή: <http://el.wikipedia.org>)

Αντίθετα με ότι συνέβη στο παρελθόν (τα προηγούμενα 10.000 χρόνια δεν παρατηρήθηκαν θερμοκρασιακές αλλαγές άνω του 1°C) στον 20ο αιώνα η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας ήταν της τάξεως από 0,4 έως 0,8 °C, γεγονός που κατατάσσει τον 20ο αιώνα σαν τον πιο θερμό της χιλιετίας. **Παγκοσμίως, τα πέντε θερμότερα έτη που έχουν ποτέ καταγραφεί (από το 1850 περίπου όταν κατασκευάστηκαν όργανα που μετρούν με ικανοποιητική ακρίβεια τις θερμοκρασίες) υπήρξαν, με την ακόλουθη σειρά: το 1998, το 2002, το 2003, το 2004 και το 2001.**



**Εικόνα 9:** Μεταβολή κατά έτος της θερμοκρασίας του πλανήτη (Πηγή: Παγκόσμιος Οργανισμός Μετεωρολογίας)

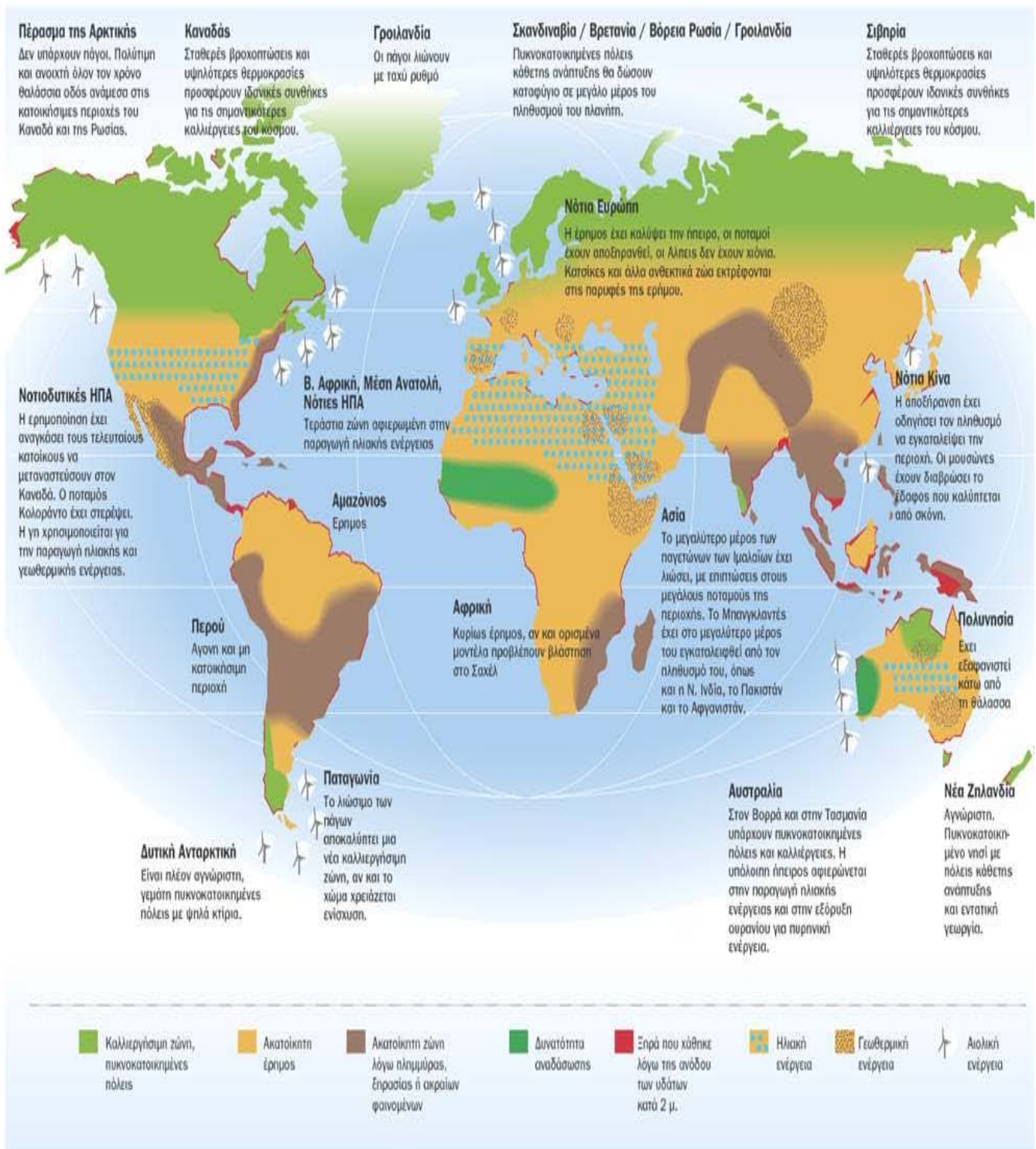


Αυτός ο ρυθμός αύξησης – μέχρι το τέλος του 21<sup>ου</sup> αναμένεται αύξηση έως και 5,8 °C – σύμφωνα με τις προβλέψεις των επιστημόνων είναι αδύνατο να ακολουθηθεί από οργανισμούς και οικοσυστήματα, με αποτέλεσμα ανεπανόρθωτες βλάβες. Θύματα η φύση με εξαφάνιση οικοσυστημάτων (εξαφάνιση αλπικής χλωρίδας στη Ευρώπη, μείωση πλατύφυλλων δασών στην Κίνα, ζημίες στο τροπικό δάσος του Αμαζονίου), αλλά και οι φτωχότεροι του πλανήτη αφού εκτιμάται ότι μέχρι και 5,5 δις. άνθρωποι θα εκτεθούν στην πείνα, ενώ άλλα τρία δισεκατομμύρια θα στερηθούν το πόσιμο νερό.

Παρ' ότι οι ακριβείς μεταβολές θα εξαρτηθούν από το πόσο γρήγορα θα αυξηθεί η θερμοκρασία και από την ποσότητα των πολικών πάγων που θα λιώσουν, αλλά κι από την αντίδραση που θα έχει η ανθρωπότητα απέναντι σε όλα αυτά, μπορούμε να προβλέψουμε κάποια πιθανά σενάρια για το μέλλον. Το μεγαλύτερο πρόβλημα θα είναι ότι πολλοί τόποι όπου σήμερα οι άνθρωποι ζουν και καλλιεργούν την τροφή τους δεν θα είναι πλέον κατοικήσιμοι ούτε καλλιεργήσιμοι. Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας - από τη θερμική διαστολή των ωκεανών, το λιώσιμο των παγετώνων και τις καταιγίδες - θα καλύψει τις σημερινές παράκτιες περιοχές με τουλάχιστον δύο μέτρα νερό αρχικά και πιθανώς πολύ περισσότερο αν λιώσουν οι πάγοι της Γροιλανδίας και τμημάτων της Ανταρκτικής.

Άλλωστε, το παράδειγμα από την τελευταία φορά που ο πλανήτης γνώρισε τόσο μεγάλη άνοδο της θερμοκρασίας, πριν από 55 εκατομμύρια χρόνια, την περίοδο του Πλειστόκαινου – Ηώκαινου, μοιάζει μάλλον εφιαλτικό. Οι ένοχοι τότε ήταν τα κλαθράτα μεθανίου, παγιδευμένες ενώσεις παγωμένου μεθανίου που απελευθερώθηκαν με εκρήξεις από τον ωκεανό. Ο ήδη θερμός πλανήτης θερμάνθηκε κατά 5 ή 6 βαθμούς. Τροπικά δάση άρχισαν να φυτρώνουν στις ελεύθερες από πάγο πολικές περιοχές και η οξειδωση των ωκεανών από το διοξείδιο του άνθρακα οδήγησε σε μαζική εξόντωση της θαλάσσιας ζωής. Η στάθμη της θάλασσας ανέβηκε 100 μέτρα ψηλότερα από τα σημερινά επίπεδα και η έρημος απλώθηκε από τη Νότια Αφρική ως την Ευρώπη.

## Ο ΠΛΑΝΗΤΗΣ ΚΑΤΑ 4 ΒΑΘΜΟΥΣ ΘΕΡΜΟΤΕΡΟΣ



**Εικόνα 10:** Πρόβλεψη του κλίματος της γης και της ανθρώπινης δραστηριότητας, σε περίπτωση αύξησης της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 4° C.

(Πηγή: TO BHMA Science)

## **1.5: Διεθνείς προσπάθειες για την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών**

Αν και τα στοιχεία από τις δεκαετίες του 1960 και 1970 έδειχναν ότι οι συγκεντρώσεις CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα αυξάνονταν σημαντικά, γεγονός που οδήγησε τους κλιματολόγους αρχικά και στη συνέχεια και άλλους επιστήμονες να πιέσουν για δράση, πήρε πολλά χρόνια στη διεθνή κοινότητα για να ανταποκριθεί στο αίτημα αυτό.

Το 1988, δημιουργήθηκε από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας και το Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) μία Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος. Αυτή η ομάδα παρουσίασε μια πρώτη έκθεση αξιολόγησης το 1990, η οποία απεικόνιζε τις απόψεις 400 επιστημόνων. Σύμφωνα με την αναφορά αυτή, το πρόβλημα της αύξησης της θερμοκρασίας ήταν υπαρκτό και όφειλε να αντιμετωπιστεί άμεσα. Τα συμπεράσματα της Διακυβερνητικής Επιτροπής ώθησαν τις κυβερνήσεις να δημιουργήσουν τη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για τις Κλιματικές Μεταβολές (UNFCCC). Σε σχέση με τα δεδομένα για τις διεθνείς συμφωνίες, η διαπραγμάτευση της Σύμβασης ήταν σχετικά σύντομη. Ήταν έτοιμη προς υπογραφή στη Διάσκεψη των Ηνωμένων Εθνών για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (γνωστότερη ως συνάντηση κορυφής για την προστασία της Γης) το 1992 στο Ρίο ντε Τζανέιρο.

Η Σύμβαση - Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος, καθώς και το πρωτόκολλο του Κιότο που ακολούθησε, αποτελούν το μόνο διεθνές πλαίσιο για την καταπολέμηση των κλιματικών αλλαγών.

### **1.5.1: Η Σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος**

Η Σύμβαση-πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την αλλαγή του κλίματος, το πρώτο διεθνές μέτρο με το οποίο επιδιώχθηκε να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα, συνήφθη το Μάιο του 1992 και άρχισε να ισχύει το Μάρτιο του 1994. Επιβάλλει σε όλα τα συμβαλλόμενα μέρη την υποχρέωση να θεσπίσουν εθνικά προγράμματα για τον περιορισμό των εκπομπών των αερίων που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και να υποβάλλουν τακτικές εκθέσεις, ενώ απαιτεί από τις βιομηχανικές συνυπογράφουσες χώρες, σε αντιδιαστολή με τις αναπτυσσόμενες, να επιτύχουν τη σταθεροποίηση των δικών τους εκπομπών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου στα επίπεδα του 1990, μέχρι το έτος 2000. Ο στόχος αυτός, ωστόσο, δεν είναι δεσμευτικός.

Με τη διάκριση ανάμεσα στις **βιομηχανικές** και τις **αναπτυσσόμενες** χώρες, η Σύμβαση – πλαίσιο αναγνωρίζει το γεγονός ότι οι βιομηχανικές χώρες ευθύνονται για το μεγαλύτερο μέρος των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του φαινομένου του

θερμοκηπίου και ότι διαθέτουν επίσης τη θεσμική και χρηματοοικονομική ικανότητα να τις περιορίσουν. Τα συμβαλλόμενα μέρη συναντώνται ετησίως για μία επισκόπηση της προόδου και για τη συζήτηση νέων μέτρων, ενώ έχουν θέσει σε εφαρμογή ορισμένους μηχανισμούς πλανητικής παρακολούθησης και υποβολής εκθέσεων, ώστε να καταγράφονται οι εκπομπές αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Το 1994, ήταν ήδη παραδεκτό ότι οι αρχικές δεσμεύσεις βάσει της Σύμβασης –πλαίσιο δεν επρόκειτο να επαρκέσουν για να αναχαιτιστεί η παγκόσμια αύξηση των εκπομπών αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου. Στις 11 Δεκεμβρίου 1997, οι κυβερνήσεις προχώρησαν ένα βήμα περισσότερο, εγκρίνοντας πρωτόκολλο της Σύμβασης – πλαίσιο στην ιαπωνική πόλη του Κιότο.

### 1.5.2: Το Πρωτόκολλο του Κιότο

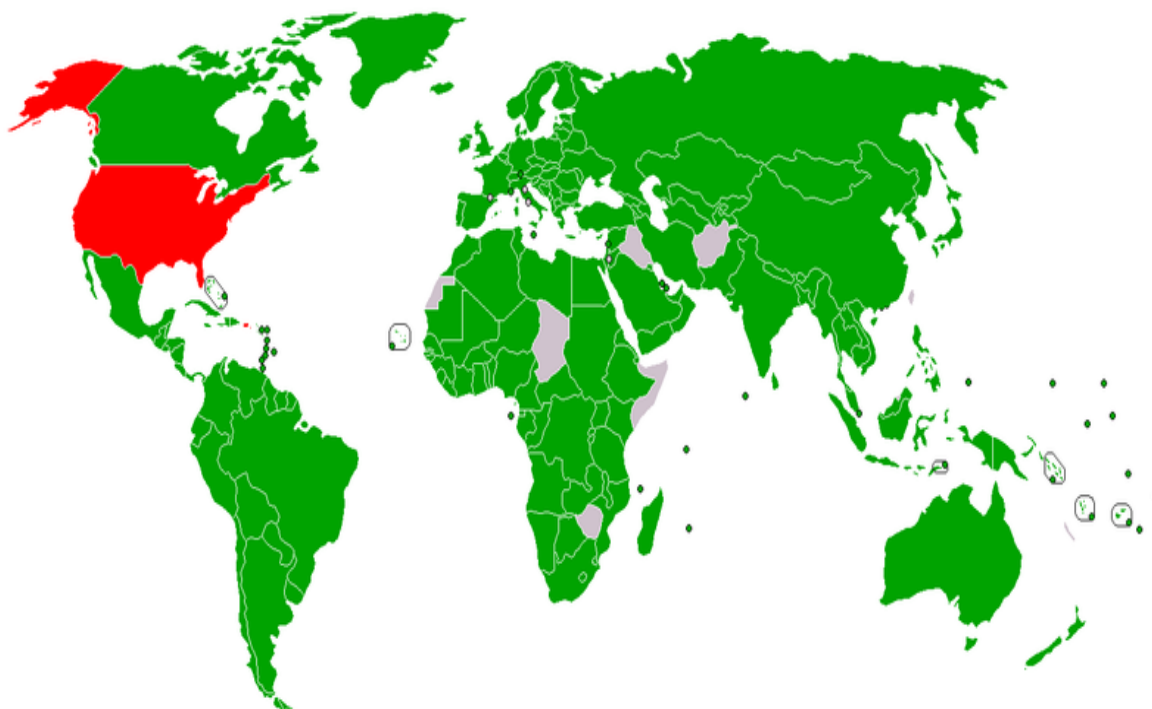
Οι διαπραγματεύσεις για το Πρωτόκολλο του Κιότο ήταν σκληρές, καθώς οι διάφορες χώρες είχαν διαφορετικά συμφέροντα στη διεθνή προσπάθεια επίλυσης του προβλήματος της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Για παράδειγμα, περιοχές που είχαν χαρακτηριστικά ψυχρό κλίμα θα ωφελούνταν από την τάση ανόδου της μέσης θερμοκρασίας, ενώ άλλες περιοχές, οι οποίες ήταν σχετικά άνυδρες, ήταν δυνατόν να δουν την οριακά καλλιεργήσιμη γη τους να μετατρέπεται σε έρημο, γεγονός που θα είχε ως συνέπεια να μειωθεί η ικανότητά τους να παράγουν τρόφιμα.

Κατά συνέπεια, δημιουργήθηκαν πολλά αντίπαλα στρατόπεδα με αποκλίνουσες απόψεις που προσπαθούσαν να τις επιβάλλουν και στα υπόλοιπα συμβαλλόμενα μέρη, κάνοντας το όλο εγχείρημα να φαντάζει ως μία εξίσωση για δυνατούς λύτες. Συγκεκριμένα, τα βασικά στρατόπεδα που δημιουργήθηκαν είναι τα εξής:

- **Ευρωπαϊκή Ένωση:** αποτελείται από 27 μέλη, τα οποία συναντιούνται κατ' ιδίαν για να συμφωνήσουν σχετικά με τις κοινές θέσεις τους και αντιπροσωπεύεται από τη χώρα που έχει την προεδρία.
- **«Λέσχη του Άνθρακα» ("Carbon Club"):** περιλαμβάνει τις χώρες «JUSCANZ» (από τα αρχικά των χωρών Ιαπωνία, ΗΠΑ, Καναδάς, Αυστραλία, Νέα Ζηλανδία στα Αγγλικά), τις χώρες μέλη του ΟΠΕΚ, τη Ρωσία και τη Νορβηγία, στις οποίες γενικά τα συμφέροντά τους θίγονται από το Πρωτόκολλο του Κιότο (είτε επειδή θα πρέπει να μειώσουν την παραγωγή τους είτε επειδή προτείνεται η στροφή προς διαφορετικά καύσιμα) και κατά συνέπεια αντιτίθενται στην καθιέρωση των δικαιωμάτων και στη λήψη αυστηρών μέτρων.
- **Συμμαχία των Μικρών Νησιωτικών Κρατών (AOSIS):** είναι ένας συνασπισμός περίπου 43 μικρών νησιωτικών κρατών, τα οποία είναι ιδιαίτερα ευάλωτα στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Τα κράτη αυτά κινδυνεύουν να

εξαφανιστούν από το χάρτη εξαιτίας του μικρού τους υψομέτρου σε σχέση με το επίπεδο της θάλασσας και επομένως απειλείται άμεσα η ίδια τους η επιβίωση. Οι χώρες της ομάδας αυτής ήταν μάλιστα οι πρώτες που πρότειναν ένα σχέδιο κειμένου κατά τη διάρκεια των διαπραγματεύσεων του πρωτοκόλλου του Κιότο ζητώντας μία μείωση στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα της τάξης του 20% έως το 2005 σε σχέση με τα επίπεδα του 1990.

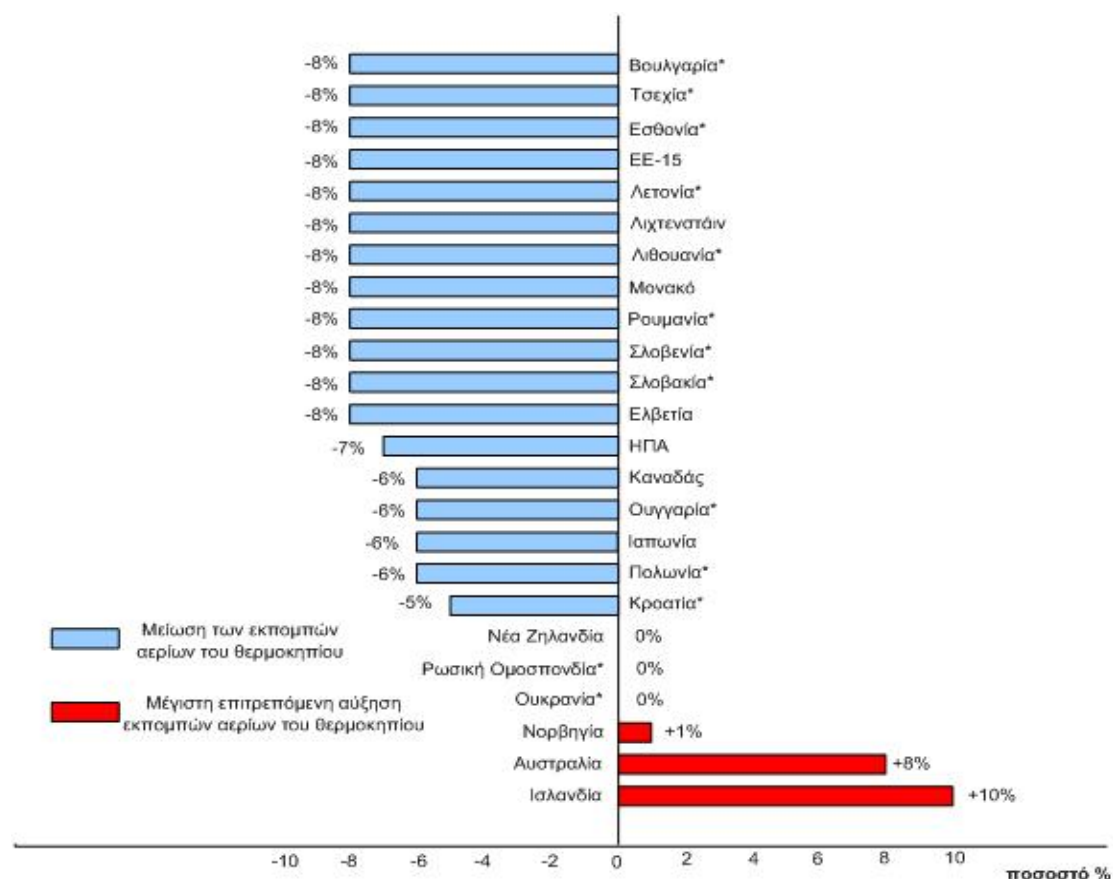
- **Λιγότερο αναπτυγμένες χώρες:** πρόκειται για 48 χώρες, οι οποίες συμμετείχαν όλο και πιο ενεργά στη διαδικασία των διαπραγματεύσεων για την αλλαγή του κλίματος, συχνά για να υπερασπιστούν τα ιδιαίτερα συμφέροντά τους και την εύθραυστη οικονομία τους, όπως για παράδειγμα την παροχή μέτρων για να μπορέσουν να προσαρμοστούν στην αλλαγή του κλίματος και να μην είναι τόσο ευάλωτες.
- **Ομάδα των 77 (G-77):** πρόκειται για εκείνες τις αναπτυσσόμενες χώρες που είναι αναδυόμενες, όπως η Ινδία και η Κίνα, που θεωρούν ότι βρίσκονται σε τροχιά ανάπτυξης και ότι είναι εις βάρος τους να δεσμευτούν να περιορίσουν τις εκπομπές τους.



***Εικόνα 11:*** Συμμετοχή χωρών στο Πρωτόκολλο του Κιότο.  
(Με πράσινο χρώμα δηλώνονται οι χώρες που υπέγραψαν και επικύρωσαν το πρωτόκολλο, με κίτρινο όσες το υπέγραψαν και αναμένεται η επικύρωσή του, με κόκκινο οι χώρες που το υπέγραψαν αλλά δεν το επικύρωσαν και με γκρι χρώμα οι χώρες που δεν έχουν πάρει θέση)

(Πηγή: <http://el.wikipedia.org>)

**Τελικά στις 11 Δεκεμβρίου 1997, και υστέρη από μαραθώνιες διαπραγματεύσεις που κράτησαν 11 ήμερες, υιοθετήθηκε στη διεθνή διάσκεψη του Κιότο στην Ιαπωνία το σχέδιο Πρωτοκόλλου για τις κλιματικές αλλαγές.** Σύμφωνα με τις ρυθμίσεις του Πρωτοκόλλου του Κιότο, οι βιομηχανικές χώρες συνολικά υποχρεούνται να μειώσουν τις εκπομπές των αερίων του φαινομένου του θερμοκηπίου κατά 5,2% κατά μέσο όρο σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, κατά τη διάρκεια της πρώτης «περιόδου δέσμευσης», η οποία καλύπτει τα έτη 2008 έως 2012. Για τις αναπτυσσόμενες χώρες δεν καθορίζονται στόχοι ως προς τις εκπομπές. Αναφέρεται ότι προτιμήθηκε ο καθορισμός πενταετούς περιόδου δέσμευσης αντί ενός έτους στόχου για να εξομαλυνθούν οι ετήσιες διακυμάνσεις των εκπομπών αερίων που οφείλονται σε ανεξέλεγκτους παράγοντες, όπως ο καιρός.



\* Χώρες που διέρχονται μεταβατική περίοδο προς την οικονομία της αγοράς

**Εικόνα 12:** Στόχος περιορισμού (κόκκινο χρώμα) ή μείωσης (γαλάζιο χρώμα) των εκπομπών όπως προβλέπεται στο Παράρτημα Β του Πρωτοκόλλου του Κιότο. Ο στόχος αυτός πρέπει να επιτευχθεί μέσα στην πρώτη περίοδο εμπορίας του συστήματος (περίοδος 2008-2012). Ως έτος αναφοράς θεωρείται το έτος 1990.

(Πηγή: <http://el.wikipedia.org>)



**Τα αέρια που πραγματεύεται το Πρωτόκολλο του Κιότο είναι έξι:**

- διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub> (που αποτελεί το σημαντικότερο αέριο),
- μεθάνιο CH<sub>4</sub>,
- υποξείδιο του αζώτου N<sub>2</sub>O,
- υδροφθοράνθρακες HFC,
- πλήρως φθοριωμένοι υδρογονάνθρακες ή υπερφθοράνθρακες PFC και
- εξαφθοριούχο θείο SF<sub>6</sub>.

Σε όλη τη λογική του Πρωτοκόλλου επιχειρείται να αναπτυχθεί μια διαχείριση των ρύπων του πλανήτη με τον πιο οικονομικά αποδοτικό τρόπο, ώστε να μην επιβαρυνθεί η παγκόσμια οικονομία. Έτσι, το Πρωτόκολλο του Κιότο περιλαμβάνει τρεις ευέλικτους μηχανισμούς:

1. την εμπορία δικαιωμάτων εκπομπών
2. την κοινή εφαρμογή
3. το μηχανισμό καθαρής ανάπτυξης.

Σε αυτή τη συμφωνία, το πρωτεύον δεν είναι τόσο η μείωση των ρύπων, αλλά η εμπορία αυτών. Έτσι, προβλέπεται η «ανταλλαγή» πόντων μόλυνσης. Η γη χωρίζεται σε ζώνες ανάπτυξης με αντίστοιχες επιτρεπτές εκπομπές αερίων. Εάν κάποια από αυτές τις χώρες ξεπεράσει το επιτρεπόμενο όριο, δεν τιμωρείται αφού έχει το δικαίωμα να αγοράσει ρύπους από κάποια άλλη (συνήθως φτωχότερη χώρα) που δεν έχει πιάσει το όριο της! Συνεπώς, μπορεί μια χώρα να συνεχίσει να μολύνει το περιβάλλον, πουλώντας εκτός από ρυπογόνα προϊόντα και περιβαλλοντική ευαισθησία.

Έτσι όμως οι φτωχές χώρες συνεχίζουν να ρυπαίνονται από τους πλούσιους ρυπαντές, ενώ οι εθνικές επιχειρήσεις ενέργειας μετακινούνται σε τρίτες χώρες ή μετατρέπονται σε προβληματικές επιχειρήσεις, που «καταδικάζονται» σε συμμαχίες και εξαγορές από ενεργειακούς κολοσσούς, που δεν διστάζουν να επιβάλουν εκρηκτικές αυξήσεις τιμολογίων, δυσβάσταχτες για τους καταναλωτές και τους πολυπληθείς νεόπτωχους των ευρωπαϊκών μητροπόλεων και της περιφέρειας.

## **1.6: Η κατάσταση στην Ελλάδα**

Η κατάσταση στην Ελλάδα δεν μοιάζει διαφορετική από αυτή που κυριαρχεί παγκοσμίως. Άλλωστε, όπως, ήδη αναφέραμε τα περιβαλλοντικά προβλήματα είναι παγκόσμια, ας δούμε κάποια συνοπτικά στοιχεία για την ενεργειακή κατάσταση στη χώρα μας:

- **4η στη λίστα με τις πλέον εξαρτημένες από το πετρέλαιο χώρες**
- **57% της ενέργειας που παράγεται στη χώρα μας προέρχεται από πετρέλαιο**

- **15 βαρέλια το έτος είναι η κατανάλωση ανά κάτοικο (Ιταλία 11,8 βαρέλια, Γερμανία 11,7 βαρέλια και Βρετανία 10,9 βαρέλια)**
- **5% είναι ο βαθμός διείσδυσης των εναλλακτικών μορφών ενέργειας στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας**
- **39% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας απορροφούν οι μεταφορές**
- **50%-60% του ηλεκτρισμού προέρχεται από τον εθνικό λιγνίτη, ο οποίος ρυπαίνει περισσότερο από το πετρέλαιο**

Εξαιρετικά χαμηλές είναι οι επιδόσεις μας και στον δείκτη ενεργειακής απόδοσης, που μετρά την ορθή αξιοποίηση της ενέργειας σε σχέση με την ποσότητα που καταναλώνεται στην τελική χρήση, και ανέρχεται στο 66,1% της ενέργειας που διατίθεται, ενώ ο αντίστοιχος ευρωπαϊκός μέσος όρος βρίσκεται στο 71,3%.

Εκτός από την περιβαλλοντική επιβάρυνση, η υψηλή εξάρτηση της χώρας από το πετρέλαιο είναι και ο βασικός λόγος που ο πληθωρισμός επηρεάζεται τόσο πολύ από τις υψηλές διεθνείς τιμές του πετρελαίου.

Τέλος, τα τελευταία χρόνια οι κυβερνήσεις και μέρος του επιστημονικού κόσμου υποστηρίζουν την «ρεαλιστική» επιλογή των πυρηνικών, μια που η ενεργειακή ζήτηση αυξάνεται και οι εθνικές πηγές (λιγνίτης) εξαντλούνται. Κι όλα αυτά σε μια χώρα με μεγάλη ηλιοφάνεια και ισχυρούς ανέμους...



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

### **ΟΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

## 2.1: Εισαγωγή - Ορισμός

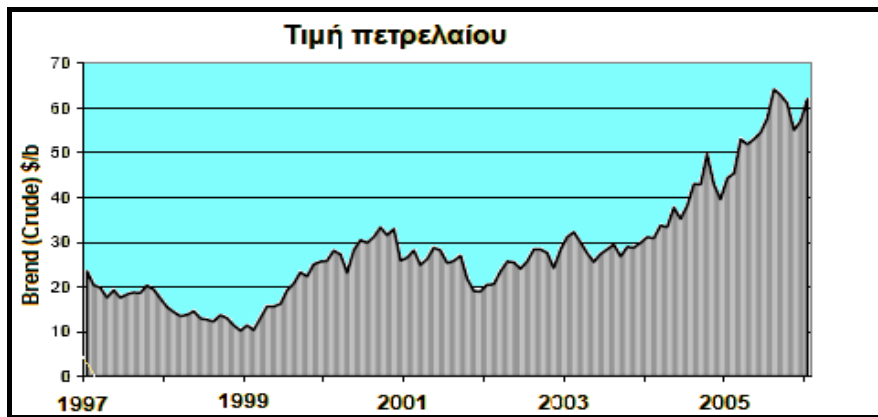
Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάσαμε κάποια από τα σημαντικότερα προβλήματα από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, καθώς και κάποιους από τους τρόπους αντιμετώπισης αυτών των προβλημάτων. Εκτός από τέτοιου τύπου διακρατικές συμφωνίες, πληθαίνουν οι πρωτοβουλίες και σε εθνικό επίπεδο για την μείωση της κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων μέσω πολιτικών εξοικονόμησης ενέργειας.

**Όμως, το μεγαλύτερο, ίσως, όπλο που διαθέτει ο σύγχρονος άνθρωπος στη μάχη για την ενεργειακή του αυτονομία είναι οι λεγόμενες και εναλλακτικές πηγές ενέργειας.** Αυτές επίσης ονομάζονται και «ανανεώσιμες» για να τονισθεί η αντίθεση τους με τα πετρελαιοειδή ή και ήπιες μορφές διότι η χρήση τους δεν αφήνει επιβλαβή κατάλοιπα.

**Πρόκειται για πηγές ενέργειας που εκμεταλλεύονται πρακτικά ανεξάντλητα αποθέματα όπως ο ήλιος (ηλιακή ενέργεια) και η γεωθερμία (η εκμετάλλευση της θερμότητας της γης) ή περιοδικά επαναλαμβανόμενους φυσικούς κύκλους όπως του άνεμου (αιολική ενέργεια) και του νερού (υδροηλεκτρική ενέργεια). Τέλος στην κατηγορία αυτή υπάγεται και η ενεργειακή εκμετάλλευση προϊόντων φυσικών διεργασιών (βιομάζα).**

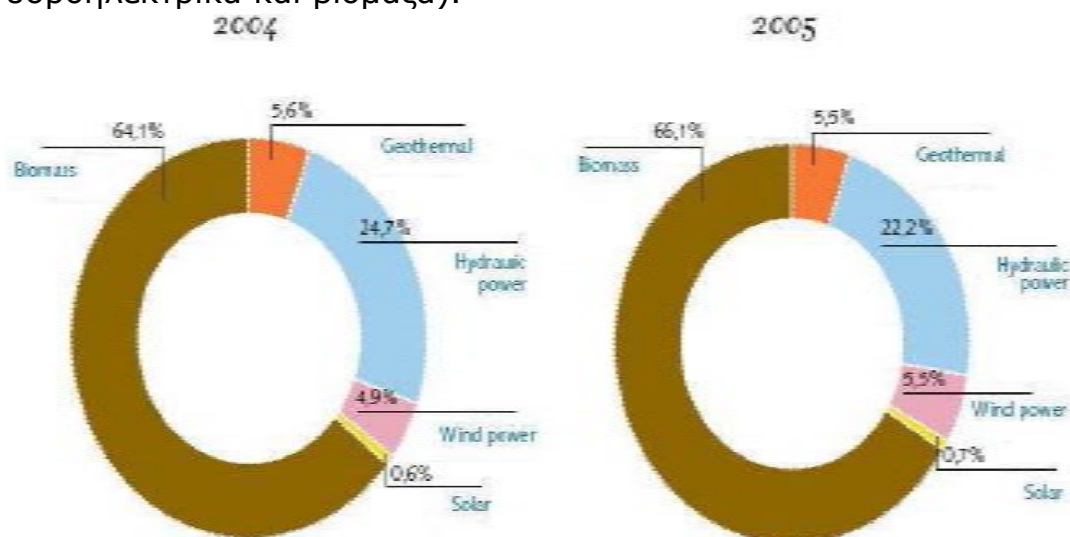
Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) λόγω της δεδομένης ραγδαίας ανόδου της τιμής των συμβατικών καυσίμων, γίνονται μια ακόμα ελκυστικότερη πηγή ενέργειας. Σχεδόν όλες οι μορφές μπορούν να βρουν εφαρμογή τόσο σε μικρή κλίμακα (οικιακές εγκαταστάσεις) όσο και σε μεγαλύτερης κλίμακας έργα (φωτοβολταϊκά πάρκα, αιολικά πάρκα κ.ο.κ).

**Χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση) είτε μετατρεπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια).** Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό απ' τις ΑΠΕ είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής καθώς και πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες που έχουν να κάνουν με τη διατήρηση του παρόντος στάτους κβο στον ενεργειακό τομέα εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρους αυτού του δυναμικού. Ειδικά στην Ελλάδα, που έχει μορφολογία και κλίμα κατάλληλο για νέες ενεργειακές εφαρμογές, η εκμετάλλευση αυτού του ενεργειακού δυναμικού θα βοηθούσε σημαντικά στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας.

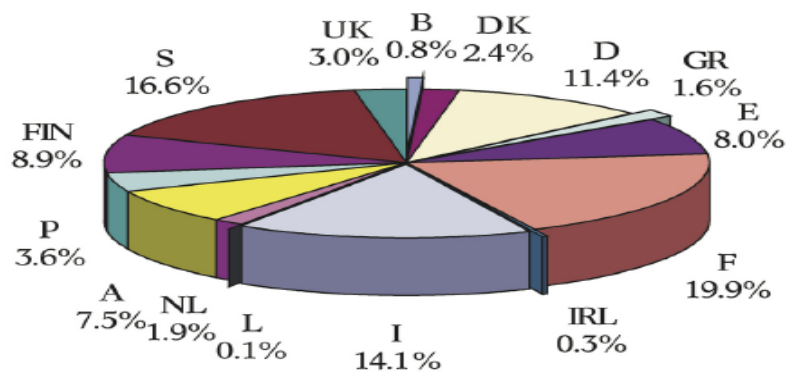


**Εικόνα 13:** Εξέλιξη των τιμών του πετρελαίου (Πηγή: ASPO)

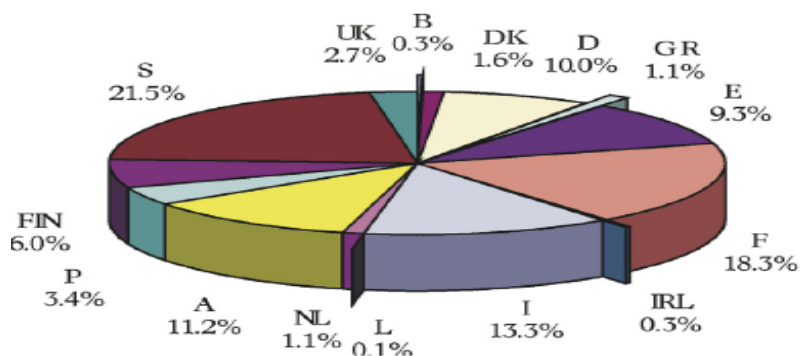
Το ενδιαφέρον για τις ΑΠΕ ανακινήθηκε τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα κυρίως των απαντών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, αλλά και της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση κλασικών πηγών ενέργειας. Ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή, ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές. Σήμερα όμως λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια και, αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα για παραπέρα αξιοποίησή τους. **Το κόστος δε των εφαρμογών ΑΠΕ πέφτει συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται στα ίσα παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια.** Ενδεικτικά, στις Η.Π.Α. ένα 6% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, ενώ ο στόχος για την Ευρωπαϊκή Ένωση είναι το 2010 το 25% της ενέργειας να προέρχεται από ΑΠΕ (κυρίως υδροηλεκτρικά και βιομάζα).



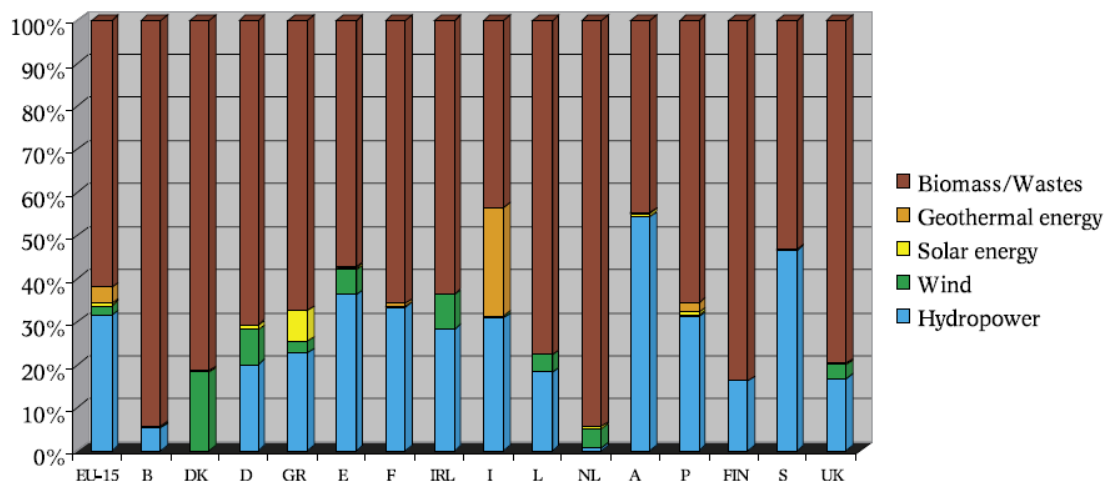
**Εικόνα 14:** Μερίδιο της κάθε πηγής στην πρωτογενή παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, % (Πηγή: <http://europa.eu>)



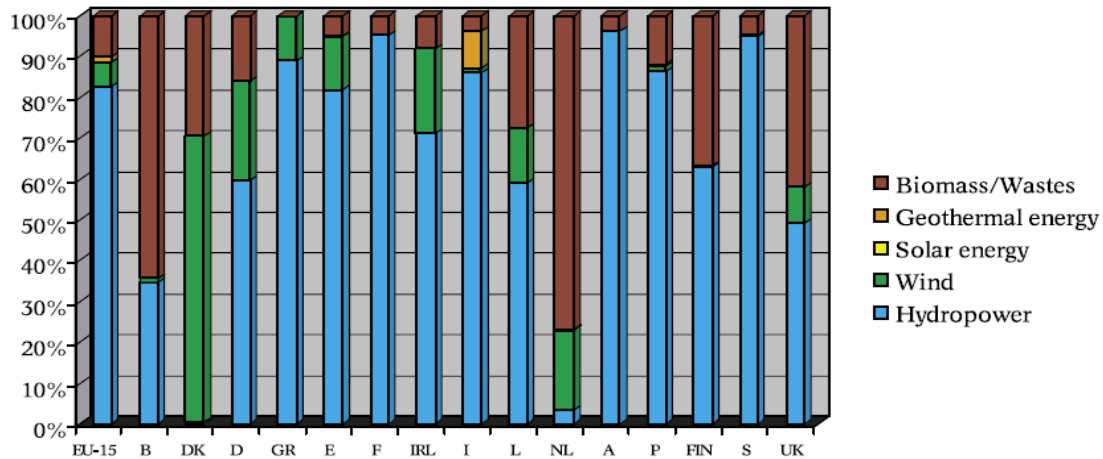
**Εικόνα 15:** Συμμετοχή της κάθε χώρας στην πρωτογενή παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, % για το 2000 (Πηγή: ΕΕ)



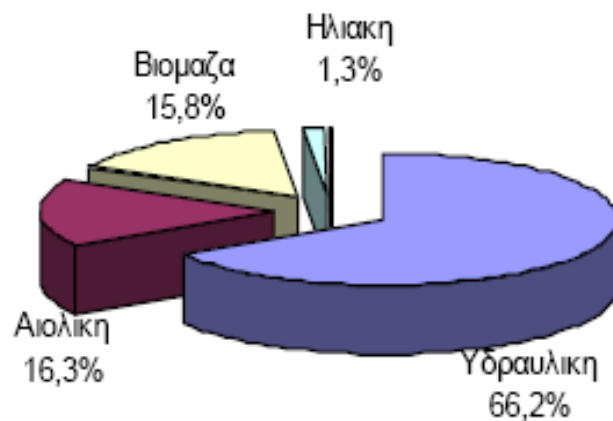
**Εικόνα 16:** Συμμετοχή της κάθε χώρας στην παραγωγή ηλεκτρική ενέργειας από ΑΠΕ, % για το 2000 (Πηγή: ΕΕ)



**Εικόνα 17:** Πρωτογενής παραγωγή ενέργειας ανά πηγή και χώρα, % για το 2000 (Πηγή: ΕΕ)



**Εικόνα 18:** Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά πηγή και χώρα, % για το 2000 (Πηγή: ΕΕ)



**Εικόνα 19:** Ποσοστό στην παραγωγή ηλεκτρισμού ανά είδος ΑΠΕ (2005) (Πηγή: ΕΕ)

## 2.2: Μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Παρόλο που η παρούσα Διπλωματική Εργασία σχετίζεται με την ηλιακή ενέργεια, αξίζει να αφιερωθεί λίγος χώρος στην περιγραφή των πιο σημαντικών και διαδεδομένων μέχρι σήμερα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

### 2.2.1: Ηλιακή ενέργεια

**Η ηλιακή ενέργεια είναι μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας που προέρχεται από τον ήλιο και αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται τη θερμική και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του ήλιου.**

Οι κυριότερες εφαρμογές αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας με τη χρήση μηχανικών μέσων είναι η θερμική και η φωτοβολταϊκή. Στην πρώτη εκμεταλλευόμαστε τη θερμότητα της ακτινοβολίας για να παραχθεί θερμότητα και να ζεστάνουμε κάποιο ρευστό, συνήθως νερό ενώ στη δεύτερη εκμεταλλευόμαστε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο για να μετατρέψουμε μέρος της ενέργειας της ακτινοβολίας αυτής σε ηλεκτρική ισχύ, μέσω της χρήσης φωτοβολταϊκών κυψελών ή συστοιχιών. Αυτή η τεχνολογία εμφανίστηκε στις αρχές του 1970 στα διαστημικά προγράμματα της NASA και έχει καταφέρει να μειώσει το κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού από 300 δολάρια σε 4 δολάρια το Watt.

Μία άλλη εφαρμογή που κερδίζει έδαφος είναι ο σχεδιασμός ηλιακών παθητικών κτιρίων, δηλαδή κτιρίων που εκμεταλλεύονται στο έπακρο τη θερμότητα και το φως του ήλιου για να μειώσουν τις ενεργειακές τους ανάγκες σε θέρμανση, ψύξη και φωτισμό. Τα ηλιακά παθητικά κτίρια αποτελούν μέρος της φιλοσοφίας της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής.

Αν και όλη η γη δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, η ποσότητά της εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση, την ημέρα, την εποχή και τη νεφοκάλυψη. Η έρημος δέχεται περίπου το διπλάσιο ποσοστό ενέργειας από άλλες περιοχές. Αντίστοιχα στο μεγαλύτερο τμήμα της Ελλάδας η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερες από 2700 ώρες το χρόνο. Στη Δυτική Μακεδονία και την Ήπειρο εμφανίζει τις μικρότερες τιμές περίπου 2200 ώρες το χρόνο, ενώ στη Ρόδο και τη Νότια Κρήτη ξεπερνά τις 3100 ώρες το χρόνο.

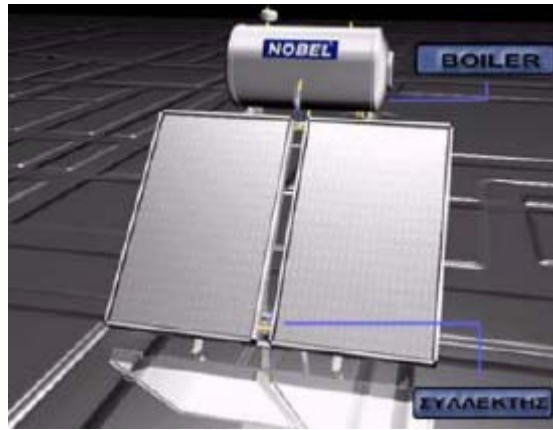


**Εικόνα 20:** Μέση ημερήσια ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην Ελλάδα,  $W/m^2$   
(Πηγή: [www.xlogic.gr](http://www.xlogic.gr))





(α)



(β)

**Εικόνα 21:** (α) Φωτοβολταϊκό πάρκο στην έρημο Σαχάρα  
(Πηγή: [www.i-live.gr](http://www.i-live.gr))  
(β) Τυπικός θερμικός ηλιακός συλλέκτης  
(Πηγή: [www.alexstore.gr](http://www.alexstore.gr))

### 2.2.2: Η Αιολική ενέργεια

**Η αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου.** Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, γιατί η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειάς της γης προκαλεί την μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μία περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας έτσι τους ανέμους. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται «ήπια μορφή ενέργειας» και περιλαμβάνεται στις «καθαρές» πηγές όπως συνηθίζονται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους.

Την αιολική ενέργεια την εκμεταλλεύεται ο άνθρωπος από την αρχαιότητα, αρχικά με τη χρήση ιστίων στα πλοία και στη συνέχεια με την κατασκευή ανεμόμυλων. Σήμερα εκμετάλλευση το αιολικού δυναμικού, γίνεται με τη χρήση ανεμογεννητριών που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου, σε ηλεκτρισμό.

Η σημερινή τεχνολογία βασίζεται σε ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα 2 ή 3 πτερυγίων, με αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύ 200 – 400kW. Όταν εντοπιστεί μια ανεμώδης περιοχή – και εφόσον βέβαια έχουν προηγηθεί οι απαραίτητες μετρήσεις και μελέτες – για την αξιοποίηση του αιολικού της δυναμικού τοποθετούνται μερικές δεκάδες ανεμογεννήτριες, οι οποίες απαρτίζουν ένα «αιολικό πάρκο».



(α)



(β)

**Εικόνα 22:** (α) Ανεμόμυλοι στην Ολλανδία  
(Πηγή: <http://el.wikipedia.org>)  
(β) Αιολικό πάρκο στη Γερμανία  
(Πηγή: <http://el.wikipedia.org>)

Υπολογίζεται ότι στο 25% της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας 5,1 m/sec, σε ύψος 10 μέτρα πάνω από το έδαφος. Όταν οι άνεμοι πνέουν με μεγαλύτερη ταχύτητα, τότε το αιολικό δυναμικό της περιοχής μπορεί να εκμεταλλευτεί και να δημιουργηθούν οικονομικά βιώσιμες εγκαταστάσεις. **Αν υπήρχε δυνατότητα εκμετάλλευσης του συνόλου του αιολικού δυναμικού του πλανήτη, εκτιμάται ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια θα ήταν υπερδιπλάσια από αυτή που θα χρειαζόταν.**

Η τεχνολογία των ανεμογεννητριών είναι από τις πλέον ώριμες και μάλιστα στην Ελλάδα η συνολική εγκατεστημένη ισχύς ξεπερνά τα 750MW. Άλλωστε, η Ελλάδα είναι μια χώρα με μεγάλη ακτογραμμή και τεράστιο πλήθος νησιών. Ως εκ τούτου, οι ισχυροί άνεμοι που πνέουν κυρίως στις νησιωτικές και παράλιες περιοχές προσδίδουν ιδιαίτερη σημασία στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στη χώρα. Το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύει το 13,6% του συνόλου των ηλεκτρικών αναγκών της χώρας.

Το 1982, η ΔΕΗ εγκατέστησε το πρώτο αιολικό πάρκο στην Κύθνο και μετά ακολούθησαν αιολικά πάρκα στην Άνδρο, στην Εύβοια, στη Σάμο, στη Χίο, Λέσβο, Λήμνο και στην Κρήτη. Εκτός από τα αιολικά πάρκα όπου είναι εγκατεστημένες μεγάλες ανεμογεννήτριες ισχύος 80kW - 3MW και τροφοδοτούν απευθείας το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, επίσης, εγκαθίστανται και οι μικρές Α/Γ για εφαρμογές μικρής κλίμακας, κυρίως την ικανοποίηση οικιακών καταναλώσεων.

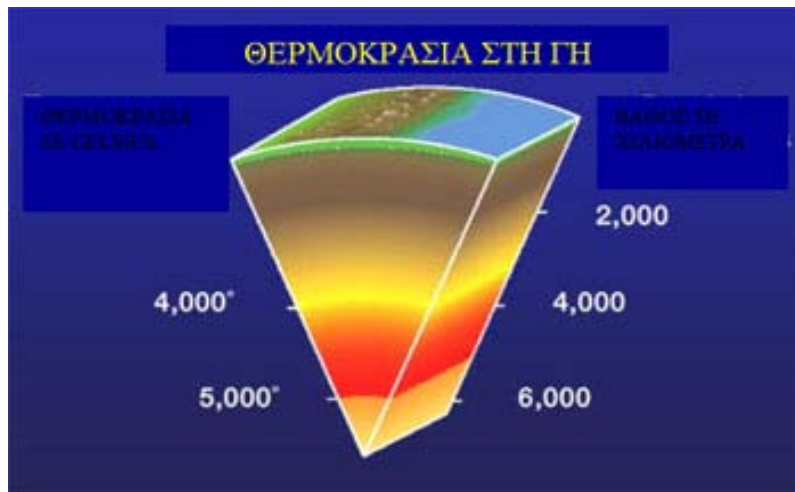


### 2.2.3: Η Γεωθερμική ενέργεια

**Γεωθερμική ενέργεια ή γεωθερμία ονομάζουμε τη φυσική ενέργεια της γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια.** Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται με δύο τρόπους:

- α) Με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με ρυθμό
- β) Με ρεύματα μεταφοράς που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα σύνορα των λιθοσφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων.

Κοντά στην επιφάνεια της γης η γεωθερμική βαθμίδα έχει μέση τιμή περίπου  $300\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{K m}$ , ωστόσο υπάρχουν περιοχές που ονομάζονται γεωθερμικά πεδία όπου η γεωθερμική βαθμίδα ξεπερνά κατά πολύ τον μέσο όρο.



**Εικόνα 23:** Η θερμοκρασία της γης σε σχέση με το βάθος της (Πηγή: [www.boudouri.gr](http://www.boudouri.gr))

Τέτοιες περιοχές στην Ελλάδα είναι τα ηφαιστειακά νησιά του Αιγαίου και περιοχές στη Μακεδονία.

Μεγάλη σημασία για τον άνθρωπο έχει η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για την κάλυψη αναγκών του, καθώς είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Ανάλογα με το θερμοκρασιακό της επίπεδο μπορεί να έχει διάφορες χρήσεις.

i) Η Υψηλής Ενθαλπίας ( $>150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) χρησιμοποιείται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρισμού.

ii) Η Μέσης Ενθαλπίας (80 έως  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) που χρησιμοποιείται για θέρμανση ή και ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων καθώς και μερικές φορές και για την παραγωγή ηλεκτρισμού.

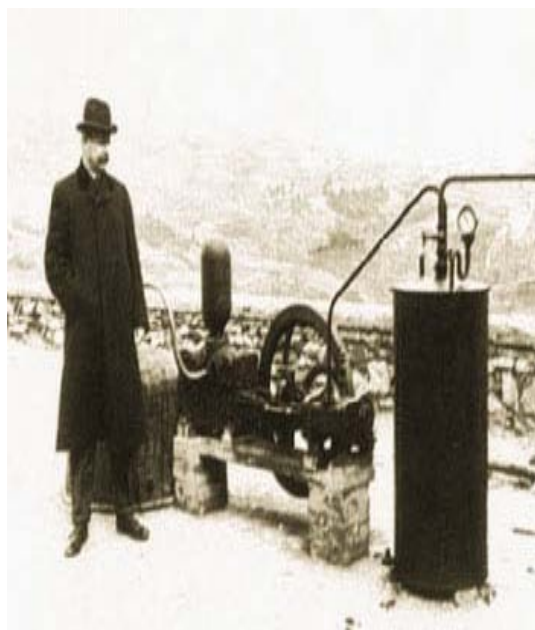
iii) Η Χαμηλής Ενθαλπίας (25 έως  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) που χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων, για θέρμανση θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες, για παραγωγή γλυκού νερού.

Η γεωθερμική ενέργεια αξιοποιείται από γεωθερμικά συστήματα. Ένα τέτοιο σύστημα αποτελείται από τρία κύρια μέρη. Τον εναλλάκτη θερμότητας νερού (γεωεναλλάκτης - κλειστό ή ανοιχτό κύκλωμα),

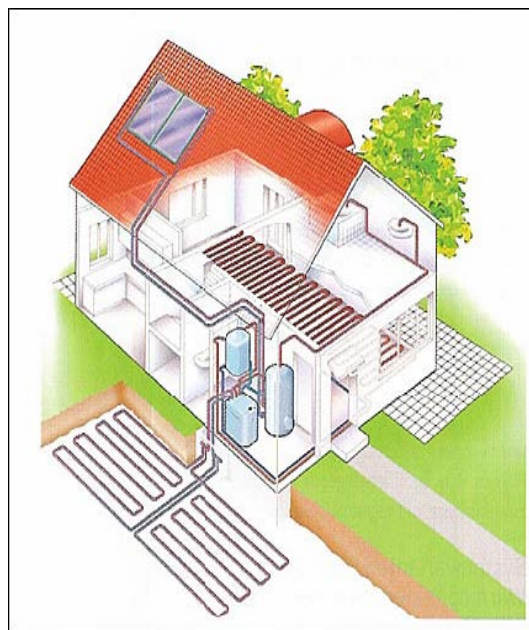
την αντλία θερμότητας και το εσωτερικό σύστημα διανομής της θερμότητας στο κτίριο (αεραγωγοί ή ενδοδαπέδια ή fan coil).

Η πρώτη βιομηχανική εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας έγινε στο Lardarello της Ιταλίας, όπου από τα μέσα του περασμένου αιώνα χρησιμοποιήθηκε ο φυσικός ατμός για να εξατμίσει τα νερά που περιείχαν βορικό οξύ αλλά και να θερμάνει διάφορα κτίρια. Το 1904 έγινε στο ίδιο μέρος η πρώτη παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από τη γεωθερμία (σήμερα παράγονται εκεί 2,5 δισ. kWh/yr). Σπουδαία είναι η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας από την Ισλανδία, όπου καλύπτεται ένα πολύ μεγάλο μέρος των αναγκών της για ηλεκτρική ενέργεια και θέρμανση.

Λόγω κατάλληλων γεωλογικών συνθηκών, ο Ελλαδικός χώρος διαθέτει σημαντικές γεωθερμικές πηγές και των τριών κατηγοριών (υψηλής, μέσης και χαμηλής ενθαλπίας) σε οικονομικά βάθη (100-1500μ). Σε μερικές περιπτώσεις τα βάθη των γεωθερμικών ταμιευτήρων είναι πολύ μικρά, κάνοντας ιδιαίτερα ελκυστική, από οικονομική άποψη, τη γεωθερμική εκμετάλλευση. Ιδιαίτερα τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας είναι διάσπαρτα στη νησιωτική και ηπειρωτική Ελλάδα κι έτσι η συμβολή τους στο ενεργειακό ισοζύγιο μπορεί να γίνει σημαντική.



(α)



(β)

**Εικόνα 24:** (α) Η μηχανή που χρησιμοποιήθηκε στο Lardarello το 1904 κατά την πρώτη πειραματική απόπειρα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμικό ατμό

(Πηγή: [www.boudouri.gr](http://www.boudouri.gr))

(β) Οικία με εγκατεστημένο οριζόντιο σύστημα γεωθερμικής αντλίας  
(Πηγή: Greenpeace)

## 2.2.4: Η Βιομάζα

**Γενικά, ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά, στον όρο βιομάζα εμπεριέχεται οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από το φυτικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, σ' αυτήν περιλαμβάνονται:**

- Οι φυτικές ύλες που προέρχονται είτε από φυσικά οικοσυστήματα, όπως π.χ. τα αυτοφυή φυτά και δάση, είτε από τις ενεργειακές καλλιέργειες (έτσι ονομάζονται τα φυτά που καλλιεργούνται ειδικά με σκοπό την παραγωγή βιομάζας για παραγωγή ενέργειας) γεωργικών και δασικών ειδών, όπως π.χ. το σόργο το σακχαρούχο, το καλάμι, ο ευκάλυπτος κ.ά.

- τα υποπροϊόντα και κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής, όπως π.χ. τα άχυρα, στελέχη αραβόσιτου, στελέχη βαμβακιάς, κλαδοδέματα, κλαδιά δένδρων, φύκη, κτηνοτροφικά απόβλητα, οι κληματίδες κ.ά.

- τα υποπροϊόντα που προέρχονται από τη μεταποίηση ή επεξεργασία των υλικών αυτών, όπως π.χ. τα ελαιοπυρηνόξυλα, υπολείμματα εκκοκκισμού βαμβακιού, το πριονίδι

- το βιολογικής προέλευσης μέρος των αστικών λυμάτων και σκουπιδιών.

Η βιομάζα αποτελεί μία δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας και είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών. Κατ' αυτήν, η χλωροφύλλη των φυτών μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών, χρησιμοποιώντας ως βασικές πρώτες ύλες διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα καθώς και νερό και ανόργανα συστατικά από το έδαφος.

Από τη στιγμή που σχηματίζεται η βιομάζα, μπορεί πλέον κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας. Η βιομάζα αποτελεί μια σημαντική, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατό να συμβάλλει σημαντικά στην ενεργειακή επάρκεια, αντικαθιστώντας τα συνεχώς εξαντλούμενα αποθέματα ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας, φυσικό αέριο κ.ά.). Η χρήση της βιομάζας ως πηγής ενέργειας δεν είναι νέα. Σ' αυτήν, εξάλλου, συγκαταλέγονται τα καυσόξυλα και οι ξυλάνθρακες που, μέχρι το τέλος του περασμένου αιώνα, κάλυπταν το 97% των ενεργειακών αναγκών της χώρας.



(α)



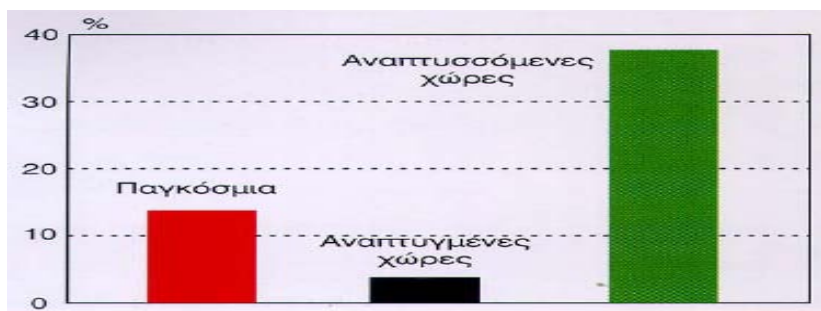
(β)

**Εικόνα 25:** (α) Συσσωματώματα ξύλου (pellets)  
(Πηγή: Greenpeace)

(β) Ενεργειακή φυτεία καλαμιού στην κεντρική Ελλάδα  
(Πηγή: [www.cres.gr](http://www.cres.gr))

**Η βιομάζα που παράγεται κάθε χρόνο στον πλανήτη μας υπολογίζεται ότι ανέρχεται σε 172 δις τόνους ξηρού υλικού, με ενεργειακό περιεχόμενο δεκαπλάσιο της ενέργειας που καταναλίσκεται παγκοσμίως στο ίδιο διάστημα.** Το τεράστιο αυτό ενεργειακό δυναμικό παραμένει κατά το μεγαλύτερο μέρος του ανεκμετάλλευτο, καθώς, σύμφωνα με πρόσφατες εκτιμήσεις, μόνο το 1/7 της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας καλύπτεται από τη βιομάζα και αφορά κυρίως τις παραδοσιακές χρήσεις της (καυσόξυλα κλπ.).

Στην Ελλάδα, τα κατ' έτος διαθέσιμα γεωργικά και δασικά υπολείμματα ισοδυναμούν ενεργειακά με 3 - 4 εκατ. τόνους πετρελαίου, ενώ το δυναμικό των ενεργειακών καλλιεργειών μπορεί, με τα σημερινά δεδομένα, να ξεπεράσει άνετα εκείνο των γεωργικών και δασικών υπολειμμάτων. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί ενεργειακά στο 30 - 40% της ποσότητας του πετρελαίου που καταναλώνεται ετησίως στη χώρα μας. Σημειώνεται ότι 1 τόνος βιομάζας ισοδυναμεί με περίπου 0,4 τόνους πετρελαίου. Εντούτοις, με τα σημερινά δεδομένα, καλύπτεται μόλις το 3% περίπου των ενεργειακών αναγκών της με τη χρήση της διαθέσιμης βιομάζας.



**Εικόνα 26:** Η συμμετοχή της βιομάζας στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας

(Πηγή: [www.cres.gr](http://www.cres.gr))

Η βιομάζα στη χώρα μας χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή, κατά τον παραδοσιακό τρόπο, θερμότητας στον οικιακό τομέα (μαγειρική, θέρμανση), για τη θέρμανση θερμοκηπίων, σε ελαιουργεία, καθώς και, με τη χρήση πιο εξελιγμένων τεχνολογιών, στη βιομηχανία (εκκοκκιστήρια βαμβακιού, παραγωγή προϊόντων ξυλείας, ασβεστοκάμινοι κ.ά.), σε περιορισμένη, όμως, κλίμακα. Παρ' όλα αυτά, οι προοπτικές αξιοποίησης της βιομάζας στη χώρα μας είναι εξαιρετικά ευοίωνες, καθώς υπάρχει σημαντικό δυναμικό, μεγάλο μέρος του οποίου είναι άμεσα διαθέσιμο. Παράλληλα, η ενέργεια που μπορεί να παραχθεί είναι, σε πολλές περιπτώσεις, οικονομικά ανταγωνιστική αυτής που παράγεται από τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

**Δεν θα πρέπει ωστόσο να παραλείψουμε ότι τον τελευταίο καιρό πληθαίνουν οι ανησυχίες για την ενδεχόμενη επίπτωση των ενεργειακών καλλιεργειών στην αποψίλωση των δασικών εκτάσεων και στην αύξηση της τιμής των τροφίμων αφού πολλοί καλλιεργητές στρέφονται σε αυτές (ηλίανθος, ελαιοκράμβη) εγκαταλείποντας τις παραδοσιακές καλλιέργειες. Από την άλλη, αυτές οι καλλιέργειες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με φειδώ καθώς δεν θα πρέπει την ώρα που δισεκατομμύρια κάτοικοι του πλανήτη υποσιτίζονται, εδάφη που θα μπορούσαν να καλλιεργηθούν για να παραχθεί τροφή, να χρησιμοποιούνται για να παραχθούν καύσιμα.**

## **2.2.5: Η Υδραυλική ενέργεια – Τα Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα**

**Η υδραυλική ενέργεια, η ενέργεια του νερού, είναι μια ανανεώσιμη, και αποκεντρωμένη πηγή ενέργειας που υπηρέτησε και υπηρετεί πιστά τον άνθρωπο στο δρόμο της ανάπτυξης.** Πολυάριθμοι υδραυλικοί τροχοί, νερόμυλοι, υδροτριβεία, πριονιστήρια, κλωστούφαντουργεία και άλλοι μηχανισμοί υδροκίνησης συνεχίζουν ακόμη και σήμερα να χρησιμοποιούν τη δύναμη του νερού, συμβάλλοντας σημαντικά στην πρόοδο της τοπικής οικονομίας πολλών περιοχών, με απόλυτα φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο.

Σε πολλά σημεία του ελληνικού χώρου κάποιες παραδοσιακές, αλλά και σύγχρονες εγκαταστάσεις Μικρών Υδροηλεκτρικών Έργων εξακολουθούν να αξιοποιούν την ενέργεια του νερού για την παραγωγή μηχανικού έργου αλλά κυρίως πλέον για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Η αξιοποίηση του μικρού υδροδυναμικού των χιλιάδων μικρών ή μεγαλύτερων υδατορρευμάτων και πηγών της ορεινής Ελλάδος περνά από την υλοποίηση αποκεντρωμένων, αναπτυξιακών μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών πολλαπλής σκοπιμότητας, που μπορούν δηλαδή να λειτουργούν και για την ταυτόχρονη κάλυψη υδρευτικών, αρδευτικών και άλλων τοπικών αναγκών.



**Οι πολύ υψηλοί βαθμοί απόδοσης των υδροτροβίλων, που μερικές φορές υπερβαίνουν και το 90%, και η πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής των υδροηλεκτρικών έργων, που μπορεί να υπερβαίνει και τα 100 έτη, αποτελούν δύο χαρακτηριστικούς δείκτες για την ενεργειακή αποτελεσματικότητα και την τεχνολογική ωριμότητα των μικρών υδροηλεκτρικών σταθμών.**

Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα όπως είναι η δυνατότητα άμεσης σύνδεσης - απόζευξης στο δίκτυο, ή η αυτόνομη λειτουργία τους, η αξιοπιστία τους, η παραγωγή ενέργειας αρίστης ποιότητας χωρίς διακυμάνσεις, η άριστη διαχρονική συμπεριφορά τους, η μεγάλη διάρκεια ζωής, ο προβλέψιμος χρόνος απόσβεσης των αναγκαίων επενδύσεων που οφείλεται στο πολύ χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας και στην ανυπαρξία κόστους πρώτης ύλης, η φιλικότητα προς το περιβάλλον με τις μηδενικές εκπομπές ρύπων και τις περιορισμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, η ταυτόχρονη ικανοποίηση και άλλων αναγκών χρήσης νερού (ύδρευσης, άρδευσης κλπ.), η δυνατότητα παρεμβολής τους σε υπάρχουσες υδραυλικές εγκαταστάσεις κ.α..

Ένας μικρός υδροηλεκτρικός σταθμός μπορεί να αποτελέσει ένα έργο απόλυτα συμβατό με το περιβάλλον, που μπορεί να συμβάλει ακόμη και στη δημιουργία νέων υδροβιοτόπων μικρής κλίμακας στα ανάντη των μικρών Ταμιευτήρων. Το σύνολο των επί μέρους συνιστωσών του έργου μπορεί να ενταχθεί αισθητικά και λειτουργικά στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος, αξιοποιώντας τα τοπικά υλικά με παραδοσιακό τρόπο και αναβαθμίζοντας το γύρω χώρο.



(α)



(β)

**Εικόνα 27:** (α) Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο στην Κίνα  
(Πηγή: [www.mongabay.com](http://www.mongabay.com))

(β) Μικρό Υδροηλεκτρικό Έργο στη Γιτάνη  
([www.ppcr.gr](http://www.ppcr.gr))

### **2.2.6: Θερμική ενέργεια των ωκεανών**

Εδώ γίνεται εκμετάλλευση της θερμικής ενέργειας από τη θερμοκρασιακή διαφορά (πάνω από 20 °C), που υπάρχει μεταξύ διαφοράς στάθμης στους ωκεανούς (όπως των 1000 m), με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τέτοιες συνθήκες υπάρχουν, στις Τροπικές ζώνες, Καραϊβική, στο Μεξικό κλπ. Μετά από πολλά - πάνω από 40 - χρόνια ερευνών, ακόμα η τεχνολογία δεν επιτρέπει την εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων πέρα από την ισχύ των 40 MW.

### **2.2.7: Παλίρροιακή ενέργεια**

Εδώ γίνεται εκμετάλλευση της ενέργειας από τη διαφορά στάθμης παλίρροιας - άμπωτης, με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ειδικά προσαρμοσμένες (στην επιφάνεια της Θάλασσας) διατάξεις στροβιλογεννητριών. Η υπόψη τεχνολογία είναι παρόμοια με αυτή των υδροηλεκτρικών έργων, και συνεπώς απαιτούνται αντίστοιχα υδροηλεκτρικά έργα αλλά κι αντίστοιχη μέριμνα για την αντιμετώπιση των φθοροποιών επιπτώσεων από την αλμυρά του θαλάσσιου νερού, κλπ, που όλα αυτά αυξάνουν την οικονομική επιβάρυνση. Σ' όλα αυτά όμως, αν προστεθεί και το κόστος από τις συχνές εκκινήσεις και τις ανάστροφες των στροβίλων, γίνεται αντιληπτό πόσο υψηλά μπορεί να φτάσει το κόστος της εξεταζόμενης εκμετάλλευσης. Υπάρχουν αρκετά τέτοια έργα (Ιαπωνία, Μεγάλη Βρετανία, Κόλπος της Μάγχης, κλπ) με εγκατεστημένη Ισχύ πολλών MW.

### **2.2.8: Κυματική Ενέργεια**

Εδώ γίνεται εκμετάλλευση της ενέργειας από την ταλάντωση της θαλάσσιας επιφάνειας, με την άντληση - συγκέντρωση της θαλάσσιας μάζας νερού σε ειδικές δεξαμενές, ώστε στη συνέχεια να με την κίνηση των Υδροστρόβιλων - Γεννητριών να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια. Τέτοιες μονάδες παραγωγής υπάρχουν αρκετές στον κόσμο (Ιαπωνία, Καναδάς, Μ. Βρετανία, Βόρεια θάλασσα, κλπ).

## **2.3: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΑΠΕ**

Αν και θα μπορούσαμε να αναπτύξουμε αυτή την παράγραφο για την κάθε μορφή - πηγή ξεχωριστά, θα ξεφεύγαμε πολύ από τα όρια της παρούσης εργασίας, έτσι θα αναφερθούμε σε κάποια από αυτά ενδεικτικά.

### **2.3.1: Πλεονεκτήματα**

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους εξαντλήσιμους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Είναι γεωγραφικά διεσπαρμένες και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες μεταφοράς ενέργειας.
- Δίνουν τη δυνατότητα επιλογής της κατάλληλης μορφής ενέργειας που είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες του χρήστη (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών έως αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή), επιτυγχάνοντας ορθολογικότερη χρησιμοποίηση των ενεργειακών πόρων.
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος, το οποίο επιπλέον δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των ΑΠΕ διατίθενται σε μικρά μεγέθη και έχουν μικρή διάρκεια κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας, με επαναλαμβανόμενα συστήματα σε πολλές περιπτώσεις.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ είναι εντάσεως εργασίας, δημιουργώντας πολλές θέσεις εργασίας ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση επενδύσεων που στηρίζονται στη συμβολή των ΑΠΕ (π.χ. θερμοκηπιακές καλλιέργειες με γεωθερμική ενέργεια).
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

### **2.3.2: Μειονεκτήματα**

- Το διεσπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος, να μεταφερθεί και να αποθηκευθεί.
- Έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας και συνεπώς για μεγάλες ισχύεις απαιτούνται συχνά εκτεταμένες εγκαταστάσεις.
- Παρουσιάζουν συχνά διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητά τους που μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας απαιτώντας την



εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών ή γενικά δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης.

- Η χαμηλή διαθεσιμότητά τους συνήθως οδηγεί σε χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσής τους.
- Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές των συμβατικών καυσίμων είναι ακόμη υψηλό.
- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.
- Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.
- Η κατασκευή τους συχνά είναι επιζήμια στη χλωρίδα, την πανίδα και το φυσικό τοπίο της περιοχής.
- Στην περίπτωση της βιομάζας δεσμεύονται μεγάλες καλλιεργούμενες εκτάσεις, που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για την καλλιέργεια τροφίμων.
- Κάποια από τα βαρέα μέταλλα και αντιψυκτικά ηλιακών συλλεκτών που χρησιμοποιούνται, είναι αρκετά τοξικά.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

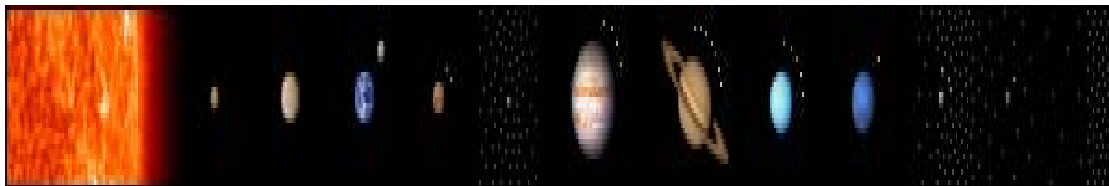
### **Ο ΗΛΙΟΣ ΚΑΙ Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ**

### 3.1: Ο Ήλιος

Ο Ήλιος είναι ο αστέρας του ηλιακού μας συστήματος. Είναι δε το λαμπρότερο σώμα του ουρανού. Η φωτεινότητά του είναι τέτοια ώστε κατά την διάρκεια της ημέρας, όταν είναι πάνω από τον ορίζοντα, να μην επιτρέπει λόγω της έντονης διάχυσης του φωτός σε άλλα ουράνια σώματα να εμφανίζονται (με εξαίρεση την Σελήνη και σπανιότερα την Αφροδίτη).

Σύμφωνα με την αρχαία ελληνική μυθολογία, υπήρξε γιος του Τιτάνα Υπερίωνος (κατά τους Όμηρο, Ησίοδο). Φοίβος, φωτοβόλος δηλαδή, ήταν η προσωινυμία του Ηλίου, η ίδια με του θεού Απόλλωνα. Κατά την εξέλιξη του αρχαίου Ελληνικού πολιτισμού, οι ηλιακές ιδιότητες αποδόθηκαν στον θεό Απόλλωνα.

Στη σύγχρονη εποχή γνωρίζουμε πως ο Ήλιος είναι το κοντινότερο στην Γη άστρο. **Η σημασία του Ήλιου στην εξέλιξη και την διατήρηση της ζωής στην Γη είναι καίρια, καθώς με τη θεμελιώδη διαδικασία της φωτοσύνθεσης προσφέρει την απαραίτητη ενέργεια για την ανάπτυξη των ζωντανών οργανισμών και διατηρεί την επιφανειακή θερμοκρασία της Γης σε ανεκτά για τη ζωή επίπεδα.** Το φως του ήλιου και η θερμότητα που εκπέμπει ευνόησαν την ανάπτυξη των ζωντανών οργανισμών στον πλανήτη μας. Επιπλέον η ανομοιόμορφη θέρμανση της γης από τον ήλιο είναι η γενεσιουργός αιτία των περισσότερων κλιματικών φαινομένων. Είναι γεγονός λοιπόν ότι δίχως ένα αστέρι με τις προδιαγραφές του ήλιου στην άμεση γειτονία μας δεν θα υπήρχε ζωή στον πλανήτη μας, τουλάχιστον με την μορφή που την γνωρίζουμε.



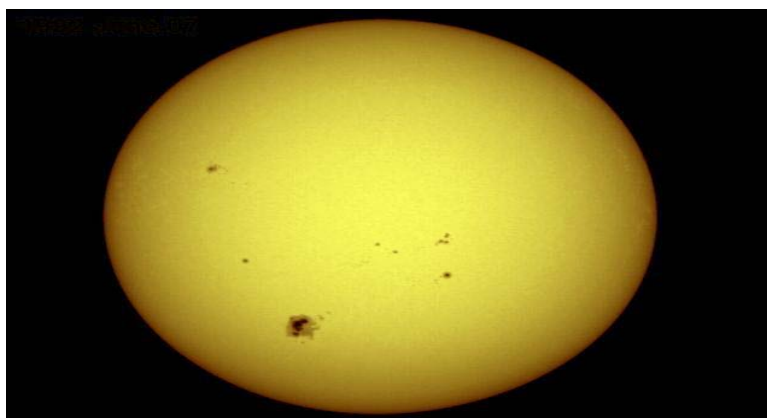
**Εικόνα 28:** Το ηλιακό σύστημα  
(Πηγή: <http://el.wikipedia.org>)

#### 3.1.1: Τα χαρακτηριστικά του Ήλιου

Ο Ήλιος είναι ένας αστέρας της Κύριας Ακολουθίας, φασματικού τύπου G2 V, έχει δηλαδή μεγαλύτερη μάζα και θερμοκρασία απ' ότι ένα μέσο αστέρι αλλά σημαντικά μικρότερα από έναν μπλε γίγαντα. Ο χρόνος ζωής ενός αστέρα G2 της Κύριας Ακολουθίας είναι περί τα 10 δισεκατομμύρια έτη· η ηλικία του Ηλίου εκτιμάται στα 5 δισεκατομμύρια. Ο Ήλιος ακολουθεί μία τροχιά περί τον Γαλαξία μας σε μία απόσταση 25.000 με 28.000 έτη φωτός από το κέντρο του Γαλαξία, ολοκληρώνοντας μία περιφορά σε 226

εκατομμύρια έτη περίπου. Γύρω από τον Ήλιο έχουν τις τροχιές του οι 8 γνωστοί πλανήτες (η Γη είναι ο τρίτος πλανήτης από τον Ήλιο) με τους δορυφόρους τους, καθώς και άλλα σώματα όπως αστεροειδείς και κομήτες, αυτό που καλούμε Ηλιακό Σύστημα.

Επιμελημένες μετρήσεις έδειξαν ότι το σχήμα του Ηλίου είναι σχεδόν μία τέλεια σφαίρα με μέση διάμετρο 1.392.000 km (109 γήινες διαμέτροι) με μία πλάτυνση περί τα 9 εκατομμυριοστά, η οποία οφείλεται κυρίως στη βαρύτητα του πλανήτη Δία. Η δε μέση τιμή απόστασης από τη Γη είναι 149.504.312 km.



**Εικόνα 28:** Ο Ήλιος  
(Πηγή: <http://el.wikipedia.org>)

<b>Διάμετρος</b>	$1,392 \cdot 10^3$ km
<b>Επιφάνεια</b>	$6,09 \cdot 10^{12}$ km <sup>2</sup>
<b>Όγκος</b>	$1,41 \cdot 10^{18}$ km <sup>3</sup>
<b>Μάζα</b>	$1,9891 \cdot 10^{30}$ kg
<b>Μέση πυκνότητα</b>	$1,408$ gr/cm <sup>3</sup>
<b>Θερμοκρασία</b>	επιφάνεια: 5780 K στέμμα: $5 \cdot 10^5$ K πυρήνας: $13,6 \cdot 10^6$ K
<b>Μέση απόσταση από τη Γη</b>	$149,6 \cdot 10^9$ m
<b>Μέση απόσταση από κέντρο Γαλαξία</b>	$2,5 \cdot 10^{17}$ km
<b>Τροχιακή ταχύτητα</b>	217 km/s
<b>Τροχιακή περίοδος</b>	$2,26 \cdot 10^8$ έτη
<b>Περίοδος περιστροφής</b>	κέντρο: 25 ημέρες πόλοι: 35 ημέρες
<b>Φωτεινότητα</b>	$3,83 \cdot 10^{26}$ W

**Πίνακας 2:** Βασικά χαρακτηριστικά του ήλιου  
(Πηγή: [www.physics4u.gr](http://www.physics4u.gr))

### 3.1.2: Η σύσταση του Ήλιου

Ο Ήλιος αποτελείται κατά 74% από υδρογόνο, κατά 25% από ήλιο και 1% από άλλα στοιχεία. Το υδρογόνο αποτελεί το κύριο καύσιμο για τις θερμοπυρηνικές αντιδράσεις που παράγουν την ενέργεια που ακτινοβολεί, ενώ το ήλιο προέρχεται κυρίως από τα προϊόντα της πυρηνικής σύντηξης του υδρογόνου.

Ο Ήλιος δεν έχει σαφή επιφάνεια όπως έχουν οι γήινοι πλανήτες. Η πυκνότητα των αερίων μειώνεται σε συνάρτηση με την ακτίνα του Ηλίου με ένα νόμο αντιστρόφου τετραγώνου. Η ακτίνα του Ηλίου μετριέται από το κέντρο του άστρου έως τη φωτόσφαιρα, έξω από την οποία δεν λαμβάνει χώρα η πυρηνική σύντηξη. Οι συνθήκες όμως στο κέντρο του Ηλίου όπως και σε οποιοδήποτε άλλο αστέρα είναι κάθε άλλο παρά κανονικές καθώς η θερμοκρασία εδώ φθάνει τους 20 εκατομμύρια βαθμούς Κελσίου.

### 3.1.3: Η ηλιακή ενέργεια

Ο Ήλιος είναι μια τεράστια σφαίρα από διάφορα αέρια κυρίαρχα των οποίων είναι το υδρογόνο και το ήλιο. Η θερμοκρασία που επικρατεί στον Ήλιο είναι τόσο μεγάλη ώστε να εξαερώνονται ακόμη και τα μέταλλα. **Η ποσότητα ενέργειας που παράγεται είναι τεράστια. Έχει προσδιοριστεί πως σε κάθε δευτερόλεπτο ο Ήλιος εκπέμπει τόση ενέργεια όση θα έδινε μια έκρηξη 4 δισεκατομμυρίων βομβών υδρογόνου των 100 μεγατόνων η κάθε μία!** Δηλαδή περίπου μερικές εκατοντάδες δισεκατομμύρια τρισεκατομμυρίων κιλοβατώρες! Συγκριτικά αν αυτό το χρέωνε η ΔΕΗ θα έπρεπε ο ελληνικός λαός να πληρώνει τον ετήσιο προϋπολογισμό της Ελλάδας για 10.000 τρισεκατομμύρια χρόνια! Και όλα αυτά για ένα μόνο δευτερόλεπτο, ενώ ο Ήλιος εκπέμπει εδώ και 5 δισεκατομμύρια χρόνια και θα συνεχίσει τουλάχιστον για άλλα τόσα.

Η ενέργεια του προέρχεται κατά 90% από την θερμοπυρηνική αντίδραση σύντηξης του υδρογόνου σε ήλιο που πραγματοποιείται στον πυρήνα του και μόλις κατά 10% από άλλες αντιδράσεις. Κατά τη σύντηξη δύο πυρήνων υδρογόνου (πρωτονίων) παράγεται δευτέριο, και ακολουθεί ένωση του δευτερίου με έναν ακόμα πυρήνα υδρογόνου για να δώσει ήλιο-3. Το ήλιο-3 μετατρέπεται τότε σε ένα σταθερό πυρήνα ηλίου-4 μέσα από διάφορες διαδικασίες. Το ήλιο-4 είναι πολύ σταθερό και γενικά αποτελεί το τέλος της αλυσίδας. Λόγω λοιπόν της διαφοράς μάζας ανάμεσα στα αντιδρώντα στοιχεία και το παραγόμενο ήλιο εκλύονται νετρίνα και φωτόνια και αυτά αποτελούν τον λεγόμενο ηλιακό άνεμο.

### 3.1.4: Ο θάνατος του Ήλιου

Η μάζα του Ηλίου δεν είναι τέτοια ώστε να τον οδηγήσει σε κατάσταση καινοφανούς ή υπερκαινοφανούς. Ωστόσο εκτιμάται πως σε 4 με 5 δισεκατομμύρια έτη, με την εξάντληση των αποθεμάτων υδρογόνου και τη μεταστοιχείωσή τους σε ήλιο και κατόπιν σε βαρύτερα στοιχεία, θα αρχίσει να διαστέλλεται σχηματίζοντας έναν κόκκινο γίγαντα. Αυτό θα συμβεί διότι η πίεση από την σύντηξη των βαρύτερων στοιχείων είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του υδρογόνου, έτσι για να εξισορροπηθεί με την βαρύτητα θα μεγαλώσει ο όγκος του Ηλίου.

Αν και είναι πιθανόν η έκταση του κόκκινου γίγαντα να περιέχει την τροχιά της Γης, πρόσφατες έρευνες υποστηρίζουν πως η διαδικασία επέκτασης σε κόκκινο γίγαντα θα προωθήσει τη Γη σε απομακρυσμένη τροχιά, αποτρέποντας την εξάχνωσή της. Μετά τη φάση του κόκκινου γίγαντα, ο Ήλιος θα γίνει ένας άσπρος νάνος, ο οποίος θα ψύχεται για τα επόμενα 5 δισεκατομμύρια έτη.



**Εικόνα 29:** Πρόβλεψη της εικόνας του Ήλιου σε 7 δις χρόνια (Πηγή: ΕΘΝΟΣ)

### 3.2: Η δομή του Ήλιου

Ο ήλιος έχει διάφορα στρώματα, το πιο εσωτερικό του είναι ο **πυρήνας**, που είναι περίπου 400.000 χλμ σε διάμετρο και περιέχει περίπου το 60% της μάζας του ήλιου και λιγότερο από το 2% τον όγκο του. Εδώ πραγματοποιείται η πυρηνική τήξη, η θερμοκρασία φθάνει τους 15.000.000 βαθμούς Kelvin, η πίεση 250 δισεκατομμύρια ατμόσφαιρες και η πυκνότητα του είναι 150 φορές μεγαλύτερη του νερού.

Το επόμενο στρώμα από τον πυρήνα, είναι η **ζώνη της ακτινοβολίας**. Ένας σφαιρικός φλοιός με πάχος το 40% της ηλιακής ακτίνας και η θερμοκρασία της είναι περίπου 2 έως 8.000.000 K. Είναι ένα στρώμα μέσω του οποίου η ενέργεια του πυρήνα, με τη μορφή ακτινοβολίας, μεταφέρεται μέσα από διαδοχικές απορροφήσεις και εκπομπές των φωτονίων με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και τα ιόντα της ζώνης ακτινοβολίας. Τα φωτόνια αφού συνέχεια συγκρούονται φτάνουν με τυχαίο τρόπο μέχρι την επιφάνεια. Οι επιστήμονες θεωρούν ότι χρειάζονται, αυτά τα

φωτόνια, περίπου 20 εκατομμύρια έτη για να ταξιδέψουν αυτήν την απόσταση.

Στο επόμενο στρώμα που είναι το **μεταφοράς**, το πάχος φθάνει στο 15% της ακτίνας του ήλιου και επικρατούν θερμοκρασίες της τάξεως των 2.000.000 K. Είναι εκεί όπου οι πυρήνες του υδρογόνου και τα βαρύτερα στοιχεία συνδυάζονται με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια για να σχηματίσουν τα ουδέτερα άτομα ή ιόντα. Η παρουσία των οποίων είναι σε θέση να απορροφήσουν τα φωτόνια. Η μεταφορά πλέον της ενέργειας προς τα εξωτερικά στρώματα, γίνεται κυρίως με ανοδικά ρεύματα ύλης ενώ στο τέλος της ζώνης μεταφοράς πάλι έχουμε εκπομπές και απορροφήσεις φωτονίων. Στον ήλιο, νομίζουμε ότι αυτό το στρώμα είναι αρμόδιο για το σχηματισμό των μαγνητικών πεδίων, και έτσι αυτό έχει επιπτώσεις στη χρωμόσφαιρα και στη δραστηριότητα της κορώνας, αλλά οι λεπτομέρειες είναι ακόμα αβέβαιες.

Τα εξωτερικά στρώματα του Ήλιου υφίστανται διαφορετική περιστροφή: στον Ισημερινό η επιφάνεια κάνει μια περιστροφή κάθε 25.4 ημέρες. Πλησίον των πόλων είναι 36 ημέρες. Αυτή η παράξενη συμπεριφορά οφείλεται στο γεγονός ότι ο Ήλιος δεν είναι στερεός σαν τη Γη. Παρόμοια φαινόμενα συναντούμε και στους αεριώδεις πλανήτες. Η διαφορετική περιστροφή φτάνει μέχρι το εσωτερικό του Ήλιου, αλλά ο πυρήνας του στρέφεται σαν να είναι στερεό σώμα.

Η δομή της ατμόσφαιρας του ήλιου μας είναι γνωστή. Πρώτα συναντάμε στο εσωτερικό της, την **φωτόσφαιρα**, αυτό το φωτεινό επιφανειακό στρώμα που βρίσκεται μεταξύ της αδιαφανούς ζώνης μεταφοράς και της χρωμόσφαιρας. Αυτό το λαμπρό ορατό στρώμα, έχει μέσο πάχος μόνο 2.000 χιλιόμετρα και από το οποίο η περισσότερη ενέργεια ακτινοβολείται στο διάστημα. Ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα της φωτόσφαιρας είναι η κοκκώδης υφή, που καλείται φωτοσφαιρική κοκκίαση. Το φαινόμενο οφείλεται σε ανοδικά ρεύματα θερμών αερίων.

Η θερμοκρασία της φωτόσφαιρας είναι περίπου 6.000 βαθμοί K στο βαθύτερο σημείο της και 4.000 βαθμοί K κοντά στην επιφάνεια. Από τις ηλιακές κηλίδες είμαστε σε θέση να ανιχνεύσουμε πόσο γρήγορα ο ήλιος περιστρέφεται. Κατά ένα ενδιαφέροντα τρόπο περιστρέφεται γρηγορότερα στον ισημερινό και πιο αργά στους πόλους, το γιατί κανένας δεν ξέρει. Έχει προταθεί εν τούτοις, ότι η διαφορετική περιστροφή οφείλεται στη γρήγορη περιστροφή του πυρήνα του ήλιου.

H <sub>2</sub>	He	O <sub>2</sub>	C	Fe	S	Ne	N	Si	Mg
73,46	24,85	0,77	0,29	0,16	0,12	0,12	0,10	0,06	0,05

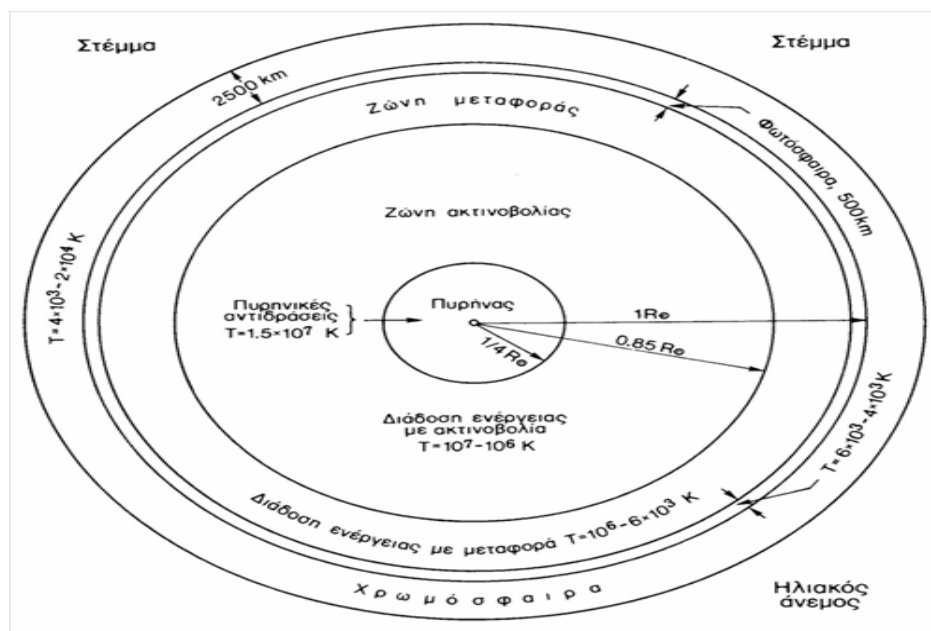
**Πίνακας 3:** Η Σύνθεση της φωτόσφαιρας κατά μάζα (%)

(Πηγή: <http://el.wikipedia.org>)

Την **χρωμόσφαιρα** την βλέπουμε με λαμπρό κόκκινο χρώμα σε περιόδους έκλειψης ηλίου και ανυψώνεται επάνω από τη φωτόσφαιρα μερικές χιλιάδες χιλιόμετρα. Η θερμοκρασία της είναι μεταξύ 4.000 βαθμών K (στην περιοχή που βρίσκεται πλησιέστερα στη φωτόσφαιρα) έως 50.000 βαθμούς K. Η έντονη άνοδος στη θερμοκρασία οφείλεται στην πυκνότητα του υλικού που μειώνεται εκθετικά με το ύψος.

Πάνω από τη χρωμόσφαιρα βρίσκεται το εντυπωσιακό **στέμμα** (κορώνα) και στο φάσμα της βρίσκουμε μερικές λαμπρές γραμμές, που προέρχονται από έντονα ιονισμένα άτομα στοιχείων. Η χρωμόσφαιρα που είναι η εξωτερική στιβάδα της ατμόσφαιράς του ήλιου εκτείνεται σε απόσταση 3,5 εκατομμυρίων χιλιομέτρων. Η υψηλή θερμοκρασίας του στέμματος, είναι η αιτία της εκπομπής ακτινών - X από εκεί. Η θερμοκρασία της ανεβαίνει από 500.000 K έως και 2.000.000 βαθμούς K.

Και τέλος ο **ηλιακός άνεμος**, που είναι ηλιακή ακτινοβολία μαζί με έντονο ρεύμα πρωτονίων, ηλεκτρονίων και πυρήνων ηλίου, που εκτοξεύονται από την ατμόσφαιρα με ταχύτητες εκατοντάδων χιλιομέτρων το δευτερόλεπτο. Τα σωματίδια αυτά ταξιδεύουν κατά μήκος των ανοικτών μαγνητικών γραμμών του στέμματος.



**Εικόνα 30:** Η ηλιακή δομή  
(Πηγή: [www.astronomia.gr](http://www.astronomia.gr))

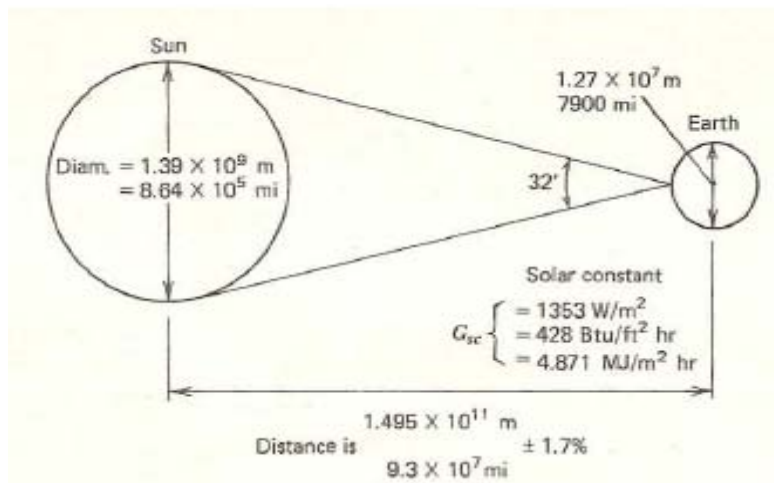
### 3.3: Η ηλιακή ακτινοβολία

#### 3.3.1: Ορισμός – Ηλιακή σταθερά

Ηλιακή ακτινοβολία ονομάζεται το σύνολο της ενέργειας που ακτινοβολείται από τον ήλιο και φτάνει σε μια οριζόντια επιφάνεια

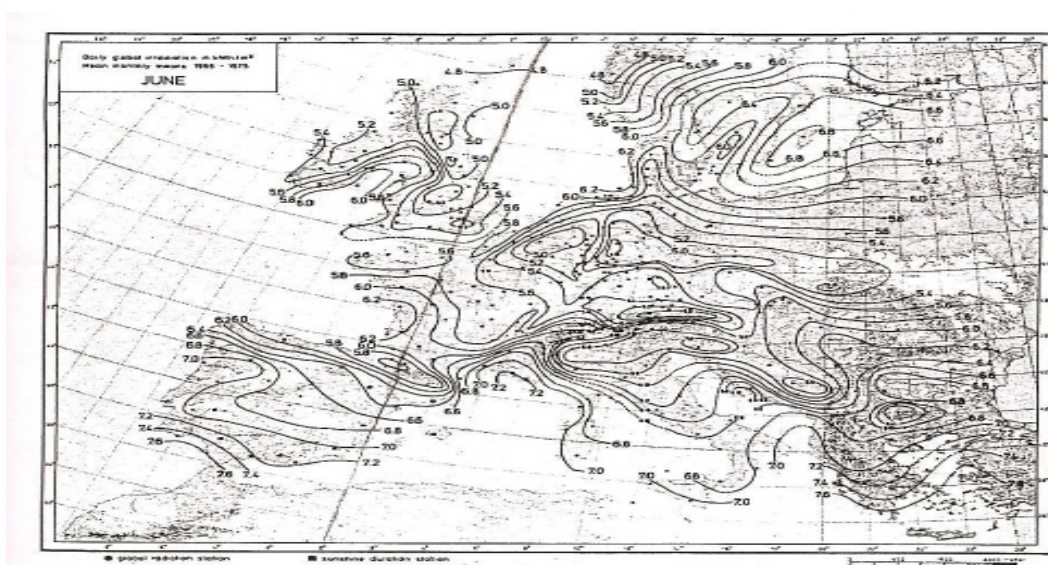


εμβαδού  $1 \text{ m}^2$  σε μια τυχαία χρονική στιγμή και συνήθως εκφράζεται σε  $\text{W/m}^2$ .

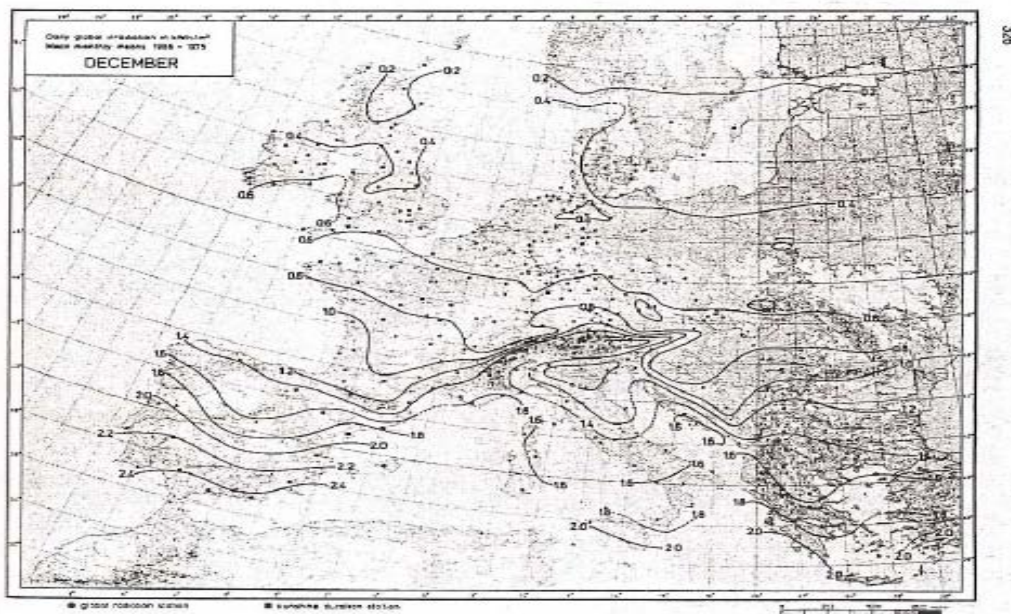


**Εικόνα 31:** Γεωμετρικές διαστάσεις ήλιου – γης  
(Πηγή: Κίμων Αντωνόπουλος, 2004)

Η ηλιακή ακτινοβολία μεταβάλλεται με την εποχή του έτους, το γεωγραφικό πλάτος αλλά και την ώρα της ημέρας. Η ηλιακή ακτινοβολία το χειμώνα είναι πολύ μικρότερη απ' ό,τι το καλοκαίρι. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι ο ημερήσιος ηλιακός χρόνος μικραίνει τους χειμερινούς μήνες. Η τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας για το μήνα Δεκέμβριο στη κεντρική Ευρώπη είναι μόλις το 10% της αντίστοιχης τιμής του Ιουνίου. Για τη βελτιστοποίηση της αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας σε βόρειες περιοχές απαιτείται η χρήση της σε εφαρμογές με έντονη ζήτηση κατά την καλοκαιρινή περίοδο. Η συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα είναι δύσκολη.

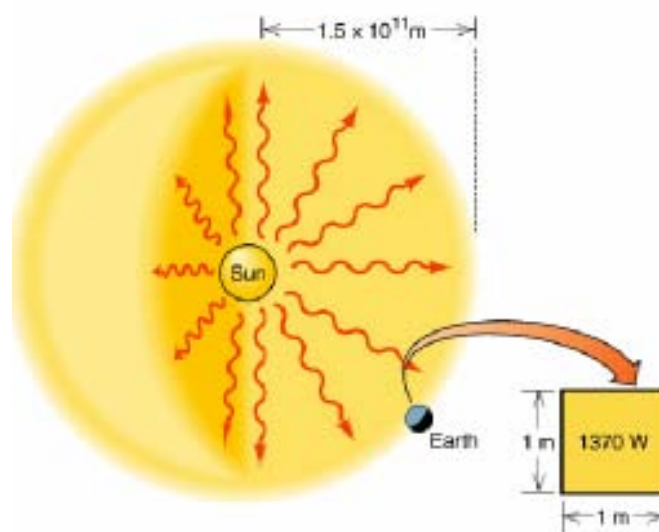


**Εικόνα 32:** Ηλιακή ακτινοβολία στην Ευρώπη το καλοκαίρι  
(Πηγή: Αρθούρος Ζερβός, 2006)



**Εικόνα 33:** Ηλιακή ακτινοβολία στην Ευρώπη το χειμώνα  
(Πηγή: Αρθούρος Ζερβός, 2006)

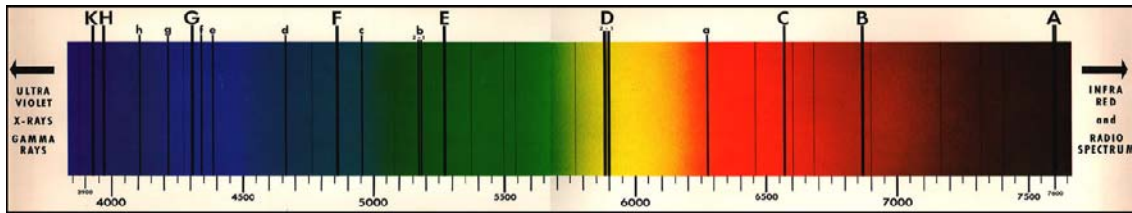
Η τροχιά της γης περί τον ήλιο είναι τέτοια ώστε η απόσταση μεταξύ τους να μεταβάλλεται ετησίως κατά περίπου 3,3%, από την μέση απόσταση ήλιου – γης. **Ηλιακή σταθερά,  $G_{sc}$** , ονομάζεται η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου που δέχεται εκτός ατμόσφαιρας από τον ήλιο η μονάδα επιφάνειας κάθετης στη διεύθυνση διάδοσης της ακτινοβολίας, όταν η απόσταση γης – ήλιου λαμβάνει τη μέση τιμή της. Η ηλιακή σταθερά είναι  $G_{sc}=1353 \text{ W/m}^2$ .



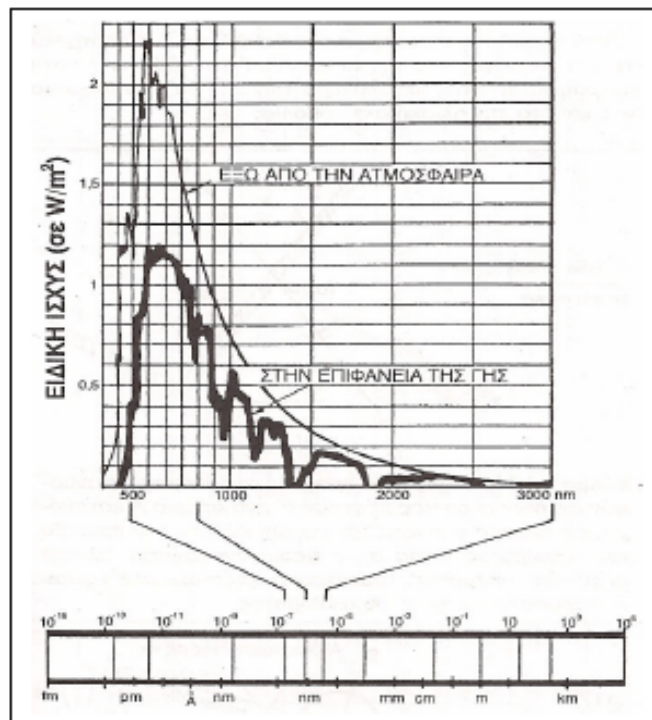
**Εικόνα 34:** Η ηλιακή σταθερά  
(Πηγή: [www.physics4u.gr](http://www.physics4u.gr))

### 3.3.2: Συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας

Με μια καλή προσέγγιση, ο ήλιος συμπεριφέρεται σαν μια τέλεια πηγή εκπομπής ακτινοβολίας (μέλαν σώμα) σε μια θερμοκρασία κοντά στους 5800K. Είναι ένα συνεχές φάσμα από 200 περίπου nm (υπεριώδης) μέχρι 3000 περίπου nm (υπέρυθρη ακτινοβολία) με αιχμή γύρω στα 500 nm. Τα κενά στη καμπύλη που αφορά την επιφάνεια της γης δείχνουν τις χαρακτηριστικές περιοχές απορρόφησης των αερίων της ατμόσφαιρας.



**Εικόνα 35:** Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και οι γραμμές απορρόφησης διαφόρων στοιχείων του ηλίου (Πηγή: [www.coseti.org](http://www.coseti.org))



**Εικόνα 36:** Κατανομή της ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας (Πηγή: Βαζαίος Ευθύμιος, 1984)

Η ακτινοβολία που πέφτει σε ένα συλλέκτη πάνω από την ατμόσφαιρα της γης, γνωστή σαν "extraterrestrial radiation", αποτελείται αποκλειστικά και μόνο από ακτινοβολία που ταξιδεύει σε μια ευθεία γραμμή από τον ήλιο.

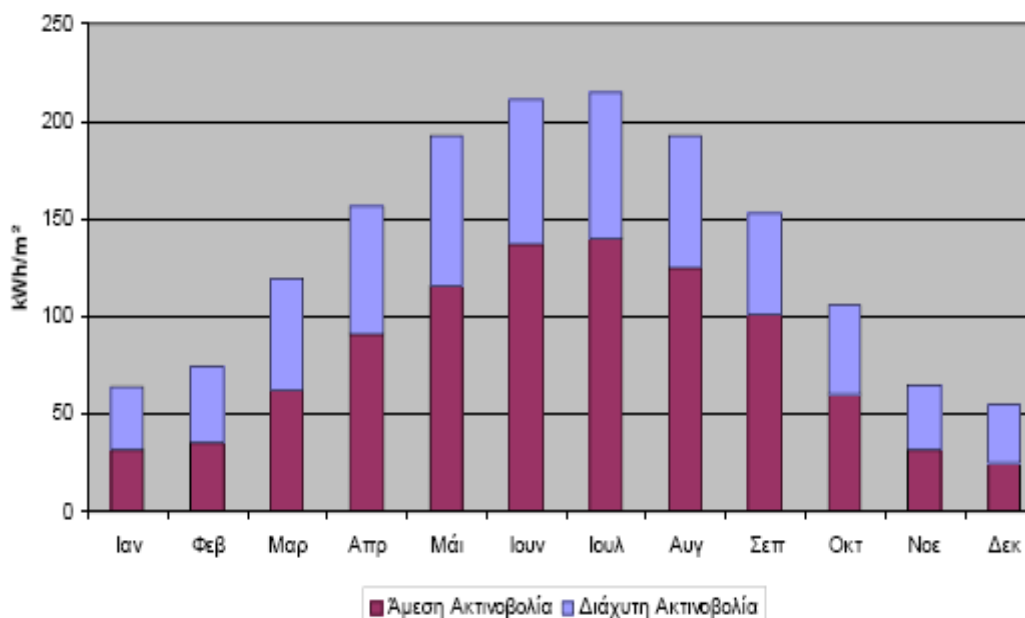
Όταν η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της γης επιδέχεται κάποιες μετατροπές αλληλεπιδρώντας με διάφορα

συστατικά της. Κάποια από αυτά, όπως τα σύννεφα, την αντανακλούν. Άλλα, όπως το όζον, το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα την απορροφούν. Οι σταγόνες του νερού και τα αιωρούμενα σωματίδια σκόνης προκαλούν σκέδαση. Το αποτέλεσμα όλων αυτών των διαδικασιών είναι η αποσύνθεση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε ένα δέκτη στην επιφάνεια της γης σε καθαρά διαφοροποιούμενα συστατικά.

Η «απευθείας» ή «ακτινική» ακτινοβολία (Direct or Beam radiation), προσπίπτει κατευθείαν στην επιφάνεια του συλλέκτη χωρίς αντανάκλαση ή διασπορά.

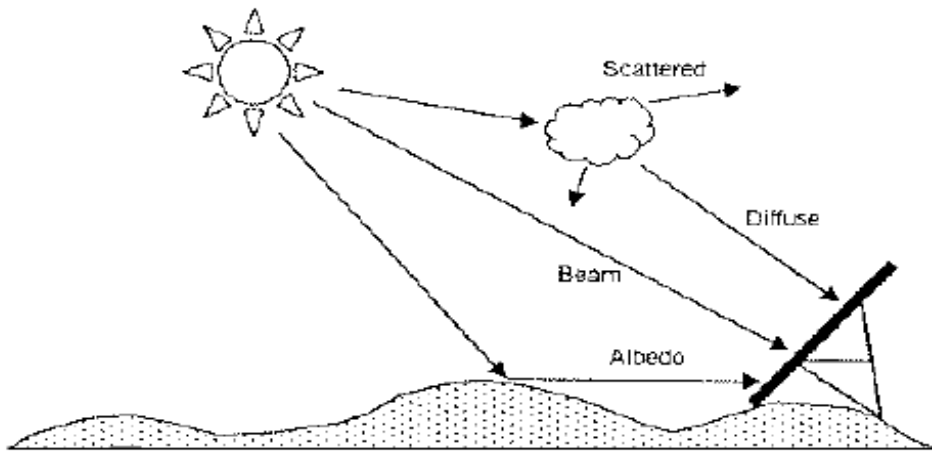
Η «διάχυτη» ακτινοβολία (Diffuse radiation), είναι όλη η υπόλοιπη ακτινοβολία που προέρχεται από αυτήν που διαχέεται στην ατμόσφαιρα.

Η ολική ακτινοβολία που πέφτει σε μια επιφάνεια είναι το άθροισμα των παραπάνω και είναι γνωστή σαν «συνολική» ακτινοβολία (Global radiation).



**Εικόνα 37:** Μηνιαία Άμεση και Διάχυτη Ακτινοβολία (Αθήνα)  
(Πηγή: ΚΑΠΕ)

Επί πλέον, όταν ο συλλέκτης εγκαθίσταται με κλίση προς το οριζόντιο επίπεδο, όπως και συνηθίζεται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μεγαλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας, προστίθεται και ένα μικρό σχετικά ποσοστό προερχόμενο από ανάκλαση σε παρακείμενα αντικείμενα (Albedo radiation). Το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας, προέρχεται από την ακτινική ακτινοβολία, σημαντική είναι όμως και η συμβολή της διάχυτης.



**Εικόνα 38:** Οι συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας  
(Πηγή: Ευγενία Μεχλήρη, 2007)

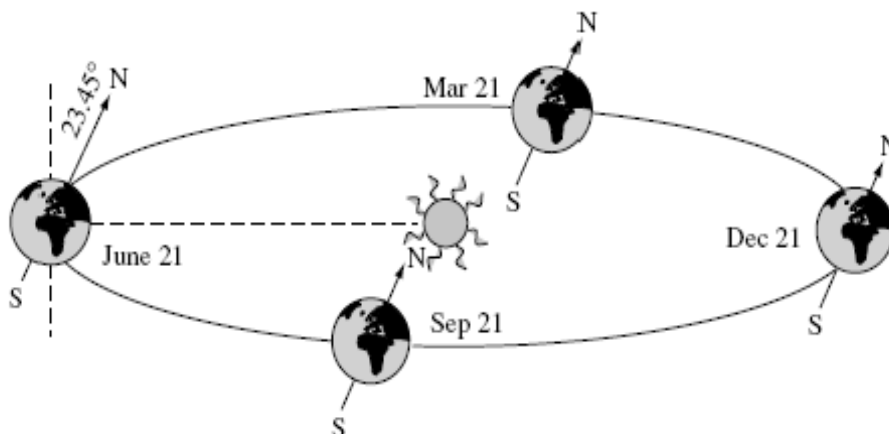
### 3.3.3: Οι βασικές γωνίες

Η γη περιστρέφεται μια φορά την ημέρα γύρω απ' τον άξονα της, ο οποίος περιστρέφεται γύρω από τον ήλιο διατηρώντας μια σταθερή γωνία,  $23,45^\circ$ . Αυτή η γωνία είναι υπεύθυνη για το ότι ο ήλιος φαίνεται ψηλότερα στον ουρανό το καλοκαίρι απ' ότι το χειμώνα. Επίσης εξαιτίας της γωνίας αυτής είναι μεγαλύτερη η διάρκεια της ημέρας το καλοκαίρι.

Η γωνία που σχηματίζεται από το επίπεδο του ισημερινού και την ευθεία που ενώνει το κέντρο της γης με αυτό του ήλιου ονομάζεται **ηλιακή απόκλιση  $\delta$**  και φαίνεται στο σχήμα 1-2. Η ηλιακή απόκλιση δίνεται από τον τύπο

$$\delta = 23,45 \sin\left(\frac{360(240+n)}{365}\right) \quad (3.1)$$

όπου  $n$  είναι η ημέρα του έτους που μας ενδιαφέρει. Οι γωνίες βόρεια του ισημερινού θεωρούνται θετικές και αυτές νότια αρνητικές.



**Εικόνα 39:** Η τροχιά της γύρω από τον ήλιο  
(Πηγή: Antonio Luque, Steven Hegedus, 2002)



Σε μια συγκεκριμένη περιοχή μπορούμε να ορίσουμε τη θέση του ήλιου χρησιμοποιώντας δυο γωνίες που θα αναφέρονται η μια στο οριζόντιο και η άλλη στο κάθετο επίπεδο. Η **ηλιακή γωνία ζενίθ**  $\theta_{zs}$  είναι η γωνία μεταξύ του κάθετου άξονα και της κατεύθυνσης της ακτινοβολίας του ήλιου. Και η γωνία **ηλιακού αζιμούθιου**  $\psi_s$  είναι αυτή μεταξύ της νότιας διεύθυνσης και της προβολής της ακτινοβολίας του ήλιου στο οριζόντιο επίπεδο. Η συμπληρωματική γωνία της γωνίας ζενίθ ονομάζεται **ηλιακό ύψος**  $\gamma_s$ . Σε κάθε δεδομένη στιγμή οι συντεταγμένες του ήλιου σε κάποιο σημείο με **γεωγραφικό πλάτος**  $\varphi$ , δίνονται από τις εξισώσεις:

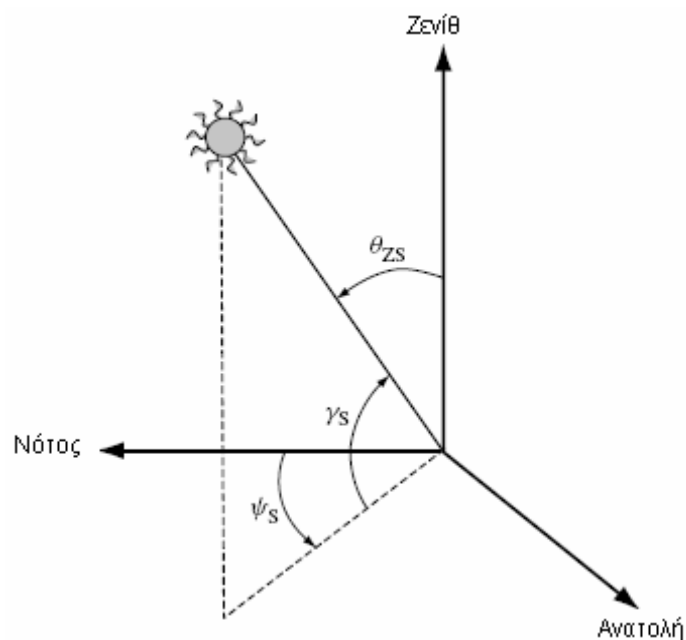
$$\cos\theta_{zs} = \sin\delta\sin\varphi + \cos\delta\cos\varphi\cos\omega = \sin\gamma_s \quad (3.2)$$

$$\cos\psi_s = \pm \frac{\sin\gamma_s \sin\varphi - \sin\delta}{\cos\gamma_s \cos\varphi} \quad (3.3)$$

(όπου το "+" είναι για το βόρειο ημισφαίριο και το "-" για το νότιο ημισφαίριο)

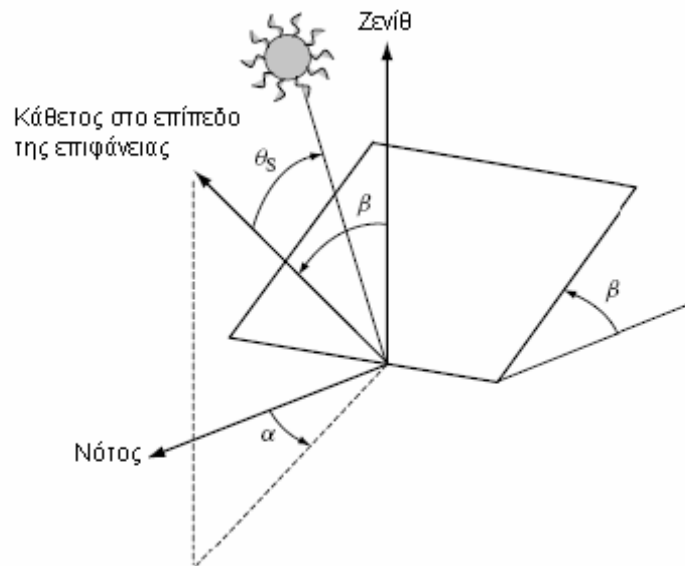
Όπου για την **ωριαία ταχύτητα**  $\omega$  ισχύει:

$$\omega = 0,25(\text{min από ηλιακό μεσημέρι}) \quad (3.4)$$



**Εικόνα 40:** Η θέση του ήλιου σε σχέση με κάποιο σημείο στη γη  
(Πηγή: Antonio Luque, Steven Hegedus, 2002)

Οι εξισώσεις (3.2) και (3.3) μας δίνουν τις γωνίες  $\theta_{zs}$  και  $\psi_s$  για μια οριζόντια επιφάνεια. Ωστόσο είναι πιο πρακτικό σε κάποιες περιπτώσεις να γνωρίζουμε τη θέση του ήλιου σε σχέση με κεκλιμένες επιφάνειες. Η θέση μιας επιφάνειας μπορεί να περιγραφεί από την **κλίση της**  $\beta$  και από το **αζιμούνθιο**  $\alpha$ .



**Εικόνα 41:** Θέση επιφάνειας και γωνία πρόσπτωσης των ακτινών  $\theta_s$   
(Πηγή: Antonio Luque, Steven Hegedus, 2002)

Η γωνία πρόσπτωσης μεταξύ της ηλιακής ακτινοβολίας και της καθέτου στην επιφάνεια για περιοχές του βορείου ημισφαιρίου δίνεται από τη σχέση:

$$\cos\theta_s = \sin\delta\sin\varphi\cos\beta - \sin\delta\cos\varphi\sin\beta\cos\alpha + \cos\delta\cos\varphi\cos\beta\cos\omega + \cos\delta\sin\varphi\sin\beta\cos\alpha\cos\omega + \cos\delta\sin\alpha\sin\omega\sin\beta \quad (3.5)$$

Έτσι, μπορούμε σε κάθε περίπτωση να υπολογίσουμε την ηλιακή ακτινοβολία με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$G = G_{sc} * \cos\theta_s \quad (3.6)$$

### 3.3.4: Κατανομή της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

Η γη ακτινοβολεί όση ενέργεια έχει λάβει, δημιουργώντας μια κατάσταση ενεργειακής ισορροπίας σε θερμοκρασία κατάλληλη για τη διατήρηση της ζωής. Περίπου το 30% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ανακλάται απευθείας στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας χωρίς αλλαγή του μήκους κύματος. Ένα ποσοστό της τάξης του 47% απορροφάται από την ατμόσφαιρα και την επιφάνεια της γης, προκαλεί ανύψωση της θερμοκρασίας και στη συνέχεια επανακτινοβολείται στο διάστημα, ενώ το υπόλοιπο 23% γίνεται η κινητήρια δύναμη των ανέμων, των ρευμάτων, των κυμάτων, διαμορφώνει το κλίμα και προκαλεί τον υδρολογικό κύκλο. Τελικά και αυτή η ενέργεια επανακτινοβολείται στο διάστημα. Τέλος ένα μικρό ποσοστό, περίπου 0,02% του συνολικού ποσού εισέρχεται στο βιολογικό σύστημα με τη φωτοσύνθεση. Ένα μικρό ποσοστό της ενέργειας που αποθηκεύεται σαν χημική ενέργεια στα φυτά και στους ιστούς των ζώων, με την πάροδο εκατομμυρίων ετών και κάτω από ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες μετασχηματίζεται σε κάρβουνο και πετρέλαιο, σχηματίζοντας το απόθεμα των ορυκτών καυσίμων.

### 3.4: Όργανα μέτρησης στις ηλιακής ακτινοβολίας

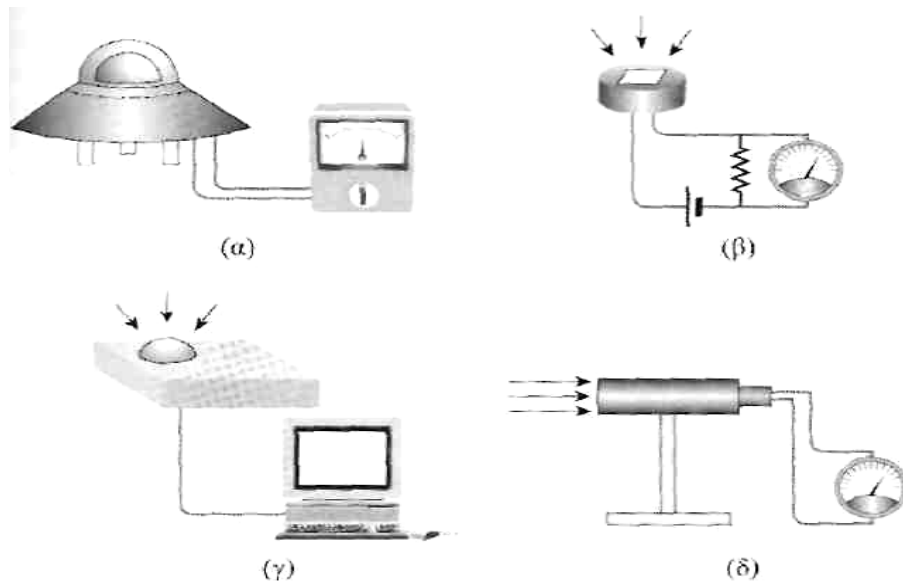
Τα όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη είναι οι θερμικοί αισθητήρες (Thermal detectors), των οποίων η ένδειξη οφείλεται στη θέρμανση της φωτιζόμενης (μαύρης) επιφάνειας, μιας πλάκας από ορισμένο υλικό και στους αισθητήρες ηλεκτρονικής διέγερσης, στους οποίους η μέτρηση οφείλεται στις ενεργειακές μεταβάσεις των ηλεκτρονίων του υλικού, κατά την απορρόφηση φωτονίων. Η δεύτερη είναι οι αισθητήρες ηλεκτρονικής διέγερσης (Quantum detectors) των οποίων η αρχή λειτουργίας βασίζεται είτε στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, δηλαδή την εκπομπή ηλεκτρονίων από την επιφάνεια ενός μετάλλου είτε στη διέγερση ηλεκτρονίων από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, στην περίπτωση των ημιαγωγών.

#### 3.4.1: Θερμικοί ανιχνευτές (Thermal detectors)

Για μεγαλύτερη ευαισθησία των θερμικών αισθητήρων, φροντίζουμε η μάζα της πλάκας που απορροφά την ακτινοβολία να είναι μικρή, ώστε μικρά ποσά απορροφούμενης ενέργειας να προκαλούν μεγάλη μεταβολή στη θερμοκρασία της. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν α) το πυρανόμετρο, β) ο πυροηλεκτρικός κρύσταλλος και γ) τα βολόμετρα

- **Πυρανόμετρο:** Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο. Η ακτινοβολία που προσπίπτει, στην ενεργό επιφάνεια (μαύρη), απορροφούμενη θερμαίνει την πλάκα αυτή. Έτσι, δημιουργείται διαφορά θερμοκρασιών μεταξύ της εκτεθειμένης στο φως και μιας άλλης στο εσωτερικό η οποία παραμένει σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.
- **Πυροηλεκτρικός κρύσταλλος:** Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην τροποποίηση της διπολικής ηλεκτρικής ροπής διηλεκτρικών υλικών, που ονομάζονται πυροηλεκτρικά (πυροηλεκτρικό φαινόμενο). Η αύξηση της θερμοκρασίας του πυροηλεκτρικού υλικού οδηγεί σε εμφάνιση ηλεκτρίσης, δηλαδή, πόλωσης του υλικού λόγω θέρμανσης του. Χαρακτηρίζεται από σταθερή απόκριση (Ampere/Watt), σε ευρεία περιοχή μηκών κύματος, δηλαδή, απόκριση ανεξάρτητη του μήκους κύματος, λ κι αυτό τον καθιστά ιδανικό για καταγραφή φασμάτων, στην περιοχή ευαισθησίας του.
- **Βολόμετρα:** Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στη μεταβολή της ηλεκτρικής αντίστασης ενός υλικού, με την θερμοκρασία του, λόγω απορρόφησης της ενέργειας της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Για αυξημένη απόκριση του αισθητήρα, το υλικό του πρέπει να χαρακτηρίζεται από υψηλή απορροφητικότητα της ακτινοβολίας,





**Εικόνα 42:** α) Πυρανόμετρο, (β) Φωτοδίοδος, (γ) Φασματοραδιόμετρο, (δ) Πυροηλεκτρικός κρύσταλλος (Πηγή: Ι.Ε.Φραγκιαδάκης, 2006)

### 3.4.2: Αισθητήρες ηλεκτρονικής διέγερσης (Quantum detectors)

Σε αυτή τη κατηγορία συγκαταλέγονται δύο υποκατηγορίες αισθητήρων. Οι αισθητήρες που βασίζονται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο (τα φωτοκύτταρα και οι φωτοπολλαπλασιαστές) και οι αισθητήρες που βασίζονται στη φωτοαγωγιμότητα του υλικού (οι φωτοαγωγοί ή φωτοαντιστάσεις, οι φωτοδιόδους και τα φωτοβολταϊκά στοιχεία). Τέλος σε αυτή τη κατηγορία εντάσσονται και ο φασματογράφος και το φασματοραδιόμετρο.

- **Οι φωτοδιόδους κενού ή φωτοκύτταρα:** Αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια (άνοδος και κάθοδος) ενσωματωμένα σε μια διάταξη υψηλού κενού. Η κάθοδος, πάνω στην οποία προσπίπτει το φως, αποτελείται από υλικό χαμηλού έργου εξόδου των φωτοηλεκτρονίων. Η άνοδος βρίσκεται σε ορισμένο ηλεκτρικό δυναμικό σε σχέση με την κάθοδο συλλέγοντας τα φωτοηλεκτρόνια. Η διάταξη χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά μικρό χρόνο απόκρισης.
- **Οι φωτοπολλαπλασιαστές:** Στην περίπτωση ακτινοβολιών χαμηλής έντασης, χρησιμοποιούνται σύνθετες διατάξεις, που αποτελούνται από συνδυασμό πολλών φωτοδίοδων σε σειρά (κάθοδος - αντικάθοδος - άνοδος). Η κάθοδος και οι αντικάθοδοι είναι επιχρισμένες από υλικό χαμηλού έργου εξόδου. Η κάθοδος, ειδικά διαμορφωμένη, αποτελεί το παράθυρο «εισόδου» της ακτινοβολίας δημιουργώντας εσωτερικά τα αρχικά ηλεκτρόνια (φωτοηλεκτρόνια). Τα φωτοηλεκτρόνια επιταχυνόμενα προσπίπτουν στην πρώτη αντικάθοδο, παράγοντας το καθένα, ανάλογα με το υλικό και

την εφαρμοζόμενη ηλεκτρική τάση, μερικά δευτερογενή ηλεκτρόνια κ.ο.κ..

- **Φωτοαγωγοί ή φωτοαντιστάσεις:** Είναι ημιαγωγοί, ενδογενείς ή προσμείξεων, οι οποίοι εμφανίζουν έντονη φωτοαγωγιμότητα. Δηλαδή, η απορρόφηση φωτός στο ημιαγωγικό υλικό διεγείρει ηλεκτρόνια από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, αυξάνοντας την ηλεκτρική αγωγιμότητα του ημιαγωγού.
- **Φωτοδίοδος ημιαγωγών:** Είναι μια δίοδος επαφής ημιαγωγών, που όταν φωτίζεται στο εσωτερικό της παράγονται επιπλέον ζεύγη ηλεκτρονίου-οπής, τα οποία διαχωριζόμενα από το πεδίο επαφής, συμβάλλουν στη δημιουργία αυξημένου ηλεκτρικού ρεύματος (στο κύκλωμα περιλαμβάνονται: η ηλεκτρική πηγή, η δίοδος και μια αντίσταση).
- **Φασματογράφος:** Πρόκειται για διάταξη με την οποία αναλύεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μιας πηγής (ηλεκτρομαγνητικό φάσμα). Η ανάλυση βασίζεται στη χρήση είτε πρίσματος είτε οπτικών φραγμάτων (ανάκλασης ή διέλευσης).
- **Φασματοραδιόμετρο – Φασματοφωτόμετρο:** Είναι ένα φασματοσκόπιο εφοδιασμένο με μηχανισμούς κίνησης, ώστε το φάσμα να σαρώνεται σ' όλο το λειτουργικό εύρος μηκών κύματος και να καταγράφεται σε ηλεκτρονική «μνήμη». Ο χρόνος καταγραφής του ηλιακού φάσματος είναι 1-2 min. Στο σημείο εισόδου του φασματογράφου τοποθετείται μια «σφαίρα ολοκλήρωσης», προκειμένου η προσπίπτουσα ακτινοβολία να καταγράφεται ανεξάρτητα από τη γωνία πρόσπτωσης.

### 3.5: Το ηλιακό δυναμικό

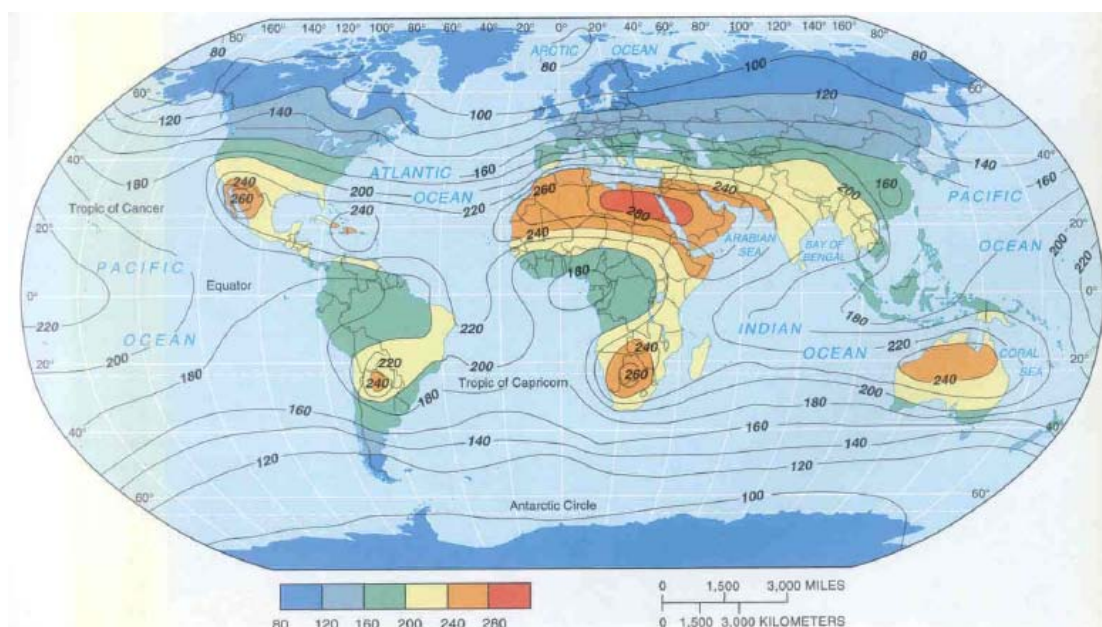
Ηλιακό δυναμικό ονομάζεται το ποσό της τεχνικά εκμεταλλεύσιμης ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει σε κάθε τόπο. Όπως, προαναφέραμε το ηλιακό δυναμικό ενός τόπου επηρεάζεται από τις συντεταγμένες του τόπου, το υψόμετρό του και τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν εκεί.

Χρησιμοποιώντας χοντρικές εκτιμήσεις για τις διάφορες περιοχές του πλανήτη, το διαθέσιμο ηλιακό δυναμικό παρουσιάζεται στον πίνακα 4 και συσχετίζεται με την παρούσα και την μελλοντική παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας. Η εκτίμηση αυτή δεν παίρνει υπόψη της τους τεχνολογικούς, οικονομικούς και κοινωνικούς περιορισμούς, εκτός από τη διαθεσιμότητα του εδάφους, όπου γίνονται δυο διαφορετικές παραδοχές.

Παράμετρος	Ενέργεια Exajoules
Ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης με τιμή 1,37 kW/m <sup>2</sup>	5,5x10 <sup>6</sup>
Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία από την ατμόσφαιρα προς το διάστημα με 0,3 kW/m <sup>2</sup>	1,6x10 <sup>6</sup>
Ηλιακή ακτινοβολία εν δυνάμει αξιοποιήσιμη με τιμή 1,0 kW/m <sup>2</sup>	3,9x10 <sup>6</sup>
Λόγος της εν δυνάμει αξιοποιήσιμης ηλιακής ακτινοβολίας προς την σημερινή παγκόσμια πρωτογενή κατανάλωση ενέργειας (402 Exajoules)	~9.000

**Πίνακας 4:** Εκτίμηση ετήσιου θεωρητικού ηλιακού δυναμικού (Πηγή: Αρθούρος Ζερβός, 2006)

Το ηλιακό δυναμικό που παρουσιάζεται στον πίνακα 4 είναι παραπάνω από αρκετό για να καλύψει ακόμη και τις εκτιμώμενες ενεργειακές ανάγκες του πλανήτη πολύ αργότερα και από το 2100. Άρα η συνεισφορά της ηλιακής ενέργειας δεν πρόκειται να περιορισθεί από την διαθεσιμότητα της πηγής. Οι άλλοι παράγοντες που θα καθορίσουν το κατά πόσο θα εφαρμοσθεί η ηλιακή ενέργεια σε μεγάλη κλίμακα σε ένα μακροπρόθεσμο ορίζοντα: η διαθεσιμότητα αποδοτικής και χαμηλού κόστους τεχνολογίας καθώς και η διαθεσιμότητα αποδοτικών ενεργειακών τεχνολογιών αποθήκευσης για τον ηλεκτρισμό.



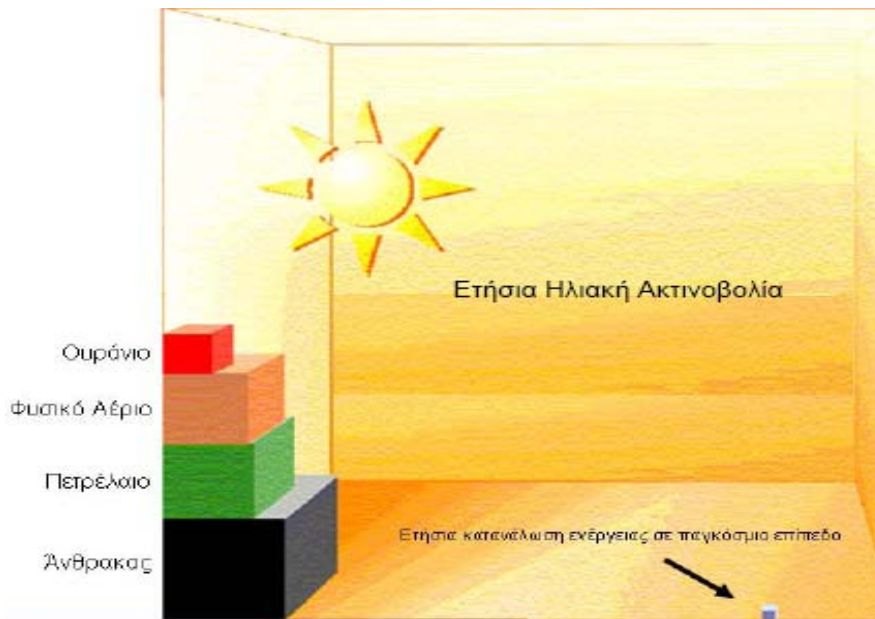
**Εικόνα 43:** Μέση ετήσια ηλιακή ακτινοβολία στο έδαφος (W/m<sup>2</sup>) (Πηγή: W.R. Christopherson, 2000)

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

## **ΤΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

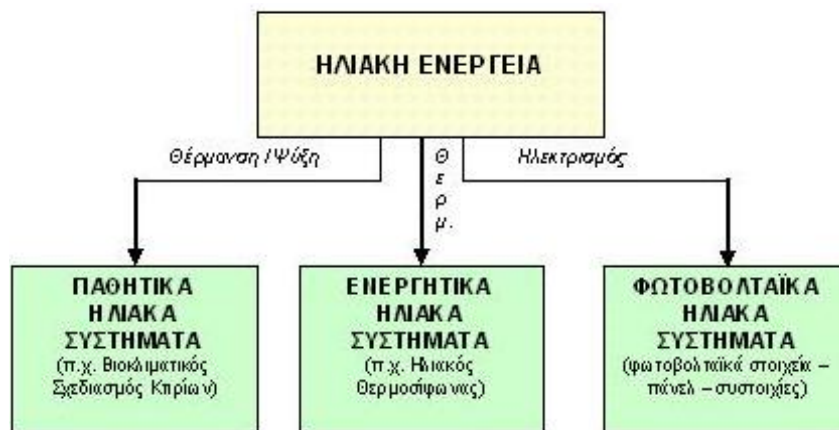
## 4.1: Εισαγωγή

Όπως, περιγράψαμε και παραπάνω, η ηλιακή ενέργεια είναι πρακτικά μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, την οποία δεν εκμεταλλευόμαστε ακόμα στο βαθμό που θα μπορούσαμε. Αυτό άλλωστε, επισημαίνεται και στην παρακάτω Εικόνα 44, όπου ο ήλιος παρουσιάζεται ως ανεξάντλητη πηγή σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα.



**Εικόνα 44:** Σχηματική αναπαράσταση των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων – ηλιακής ενέργειας (Πηγή: ΚΑΠΕ)

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Για ευκολία παρουσιάζουμε τα τρία κύρια ηλιακά συστήματα στο παρακάτω σχεδιάγραμμα (εικόνα 45).



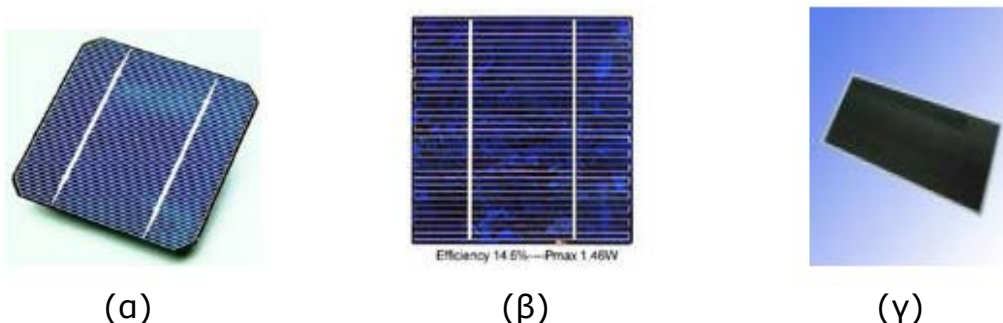
**Εικόνα 45:** Απεικόνιση των τρόπων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας

(Πηγή: <http://el.wikipedia.org>)

## 4.2: Τα φωτοβολταϊκά συστήματα

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα πάνελ (ή πλαίσια, ή όπως λέγονται συχνά στο εμπόριο, «κρύσταλλα») φωτοβολταϊκών στοιχείων (ή «κυψελών», ή «κυττάρων»), μαζί με τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην επιθυμητή μορφή.

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι συνήθως τετράγωνο, με πλευρά 120 - 160mm. Δυο τύποι πυριτίου χρησιμοποιούνται για την δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων: το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο, ενώ το κρυσταλλικό πυρίτιο διακρίνεται σε μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό. Το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο παρουσιάζουν τόσο πλεονεκτήματα, όσο και μειονεκτήματα, και κατά τη μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται η αξιολόγηση των ειδικών συνθηκών της εφαρμογής (κατεύθυνση και διάρκεια της ηλιοφάνειας, τυχόν σκιάσεις κλπ) ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη τεχνολογία.



(α)

(β)

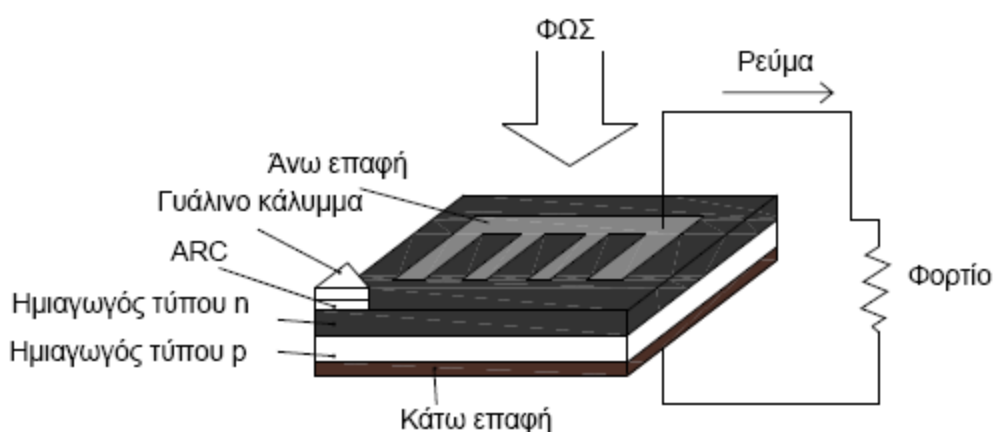
(γ)

**Εικόνα 46:** Στοιχεία από (α) μονοκρυσταλλικό, (β) πολυκρυσταλλικό, (γ) άμορφο πυρίτιο

(Πηγή: [www.helapco.gr](http://www.helapco.gr))

Στο εμπόριο διατίθενται φωτοβολταϊκά πάνελ – τα οποία δεν είναι παρά πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους, επικαλυμμένα με ειδικές μεμβράνες και εγκιβωτισμένα σε γυαλί με πλαίσιο από αλουμίνιο – σε διάφορες τιμές ονομαστικής ισχύος, ανάλογα με την τεχνολογία και τον αριθμό των φωτοβολταϊκών κυψελών που τα αποτελούν. Έτσι, για παράδειγμα, ένα πάνελ 36 κυψελών μπορεί να έχει ονομαστική ισχύ 70 - 85 W, ενώ μεγαλύτερα πάνελ μπορεί να φτάσουν και τα 200 W ή και παραπάνω.

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια φωτοβολταϊκή συστοιχία είναι συνεχούς ρεύματος (DC), και για το λόγο αυτό οι πρώτες χρήσεις των φωτοβολταϊκών αφορούσαν εφαρμογές DC τάσης: κλασικά παραδείγματα είναι ο υπολογιστής τσέπης («κομπιουτεράκι») και οι δορυφόροι. Με την προοδευτική αύξηση όμως του βαθμού απόδοσης, δημιουργήθηκαν ειδικές συσκευές – οι αναστροφείς (inverters) - που σκοπό έχουν να μετατρέψουν την έξοδο συνεχούς τάσης της Φ/Β συστοιχίας σε εναλλασσόμενη τάση. Με τον τρόπο αυτό, το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι σε θέση να τροφοδοτήσει μια σύγχρονη εγκατάσταση (κατοικία, θερμοκήπιο, μονάδα παραγωγής κλπ) που χρησιμοποιεί κατά κανόνα συσκευές εναλλασσόμενου ρεύματος (AC).



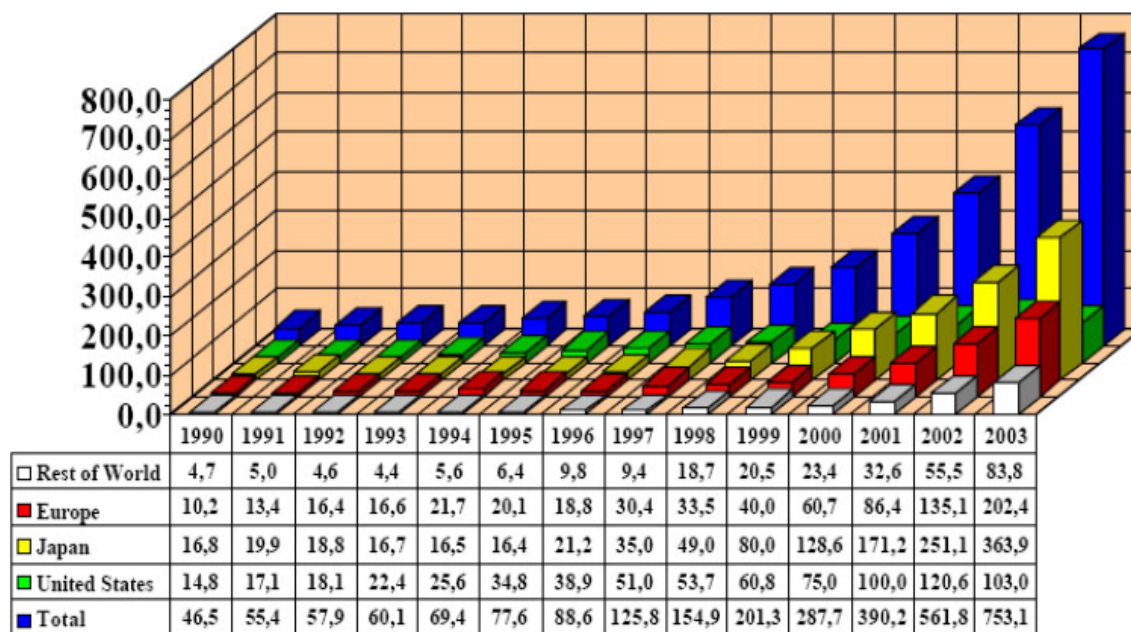
**Εικόνα 47:** Σχηματικό παράδειγμα λειτουργίας απλού φωτοβολταϊκού στοιχείου  
(Πηγή: Καράμπαμπας Γεώργιος, 2008)

Στην σημερινή εποχή ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου βρίσκεται στο 13 - 15%, ο οποίος, συγκρινόμενος με την απόδοση άλλου συστήματος (συμβατικού, αιολικού, υδροηλεκτρικού κλπ.), παραμένει ακόμη αρκετά χαμηλός. Αυτό σημαίνει ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα καταλαμβάνει μεγάλη επιφάνεια προκειμένου να αποδώσει την επιθυμητή ηλεκτρική ισχύ. Ωστόσο, η απόδοση ενός δεδομένου συστήματος μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών σε ηλιοστάτη. Οι προϋποθέσεις αξιοποίησης των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα είναι από τις καλύτερες στην Ευρώπη, αφού η συνολική



ενέργεια που δέχεται κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας στην διάρκεια ενός έτους κυμαίνεται από 1400 - 1800 kWh.

Τέλος, τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι η ταχύτερα αναπτυσσόμενη ενεργειακή τεχνολογία και βιομηχανία καθώς οι ρυθμοί ανάπτυξης τους ξεπερνούν το 30% την τελευταία εξαετία. Πρωτοπόρα χώρα σε αυτό το τομέα είναι η Ιαπωνία με παραγωγή 300 MW το 2004. Ενδεικτικά η Ελλάδα είχε την ίδια περίοδο 1,3 MW.



**Εικόνα 48:** Παραγωγή φωτοβολταϊκών συστημάτων κατά έτος κατά τη διάρκεια 1990 - 2003, σε MW  
(Πηγή: Στέλιος Ψωμάς, 2005)

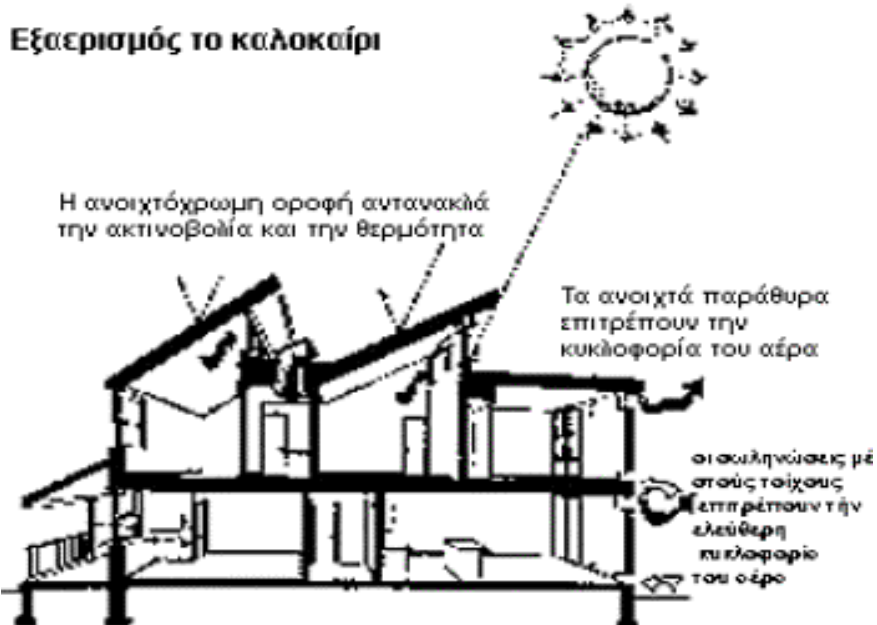
### 4.3: Τα παθητικά ηλιακά συστήματα

**Τα παθητικά ηλιακά συστήματα στα κτίρια αξιοποιούν την ηλιακή ενέργεια για θέρμανση των χώρων το χειμώνα, καθώς και για παροχή φυσικού φωτισμού. Έτσι, συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν υπό μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο.**

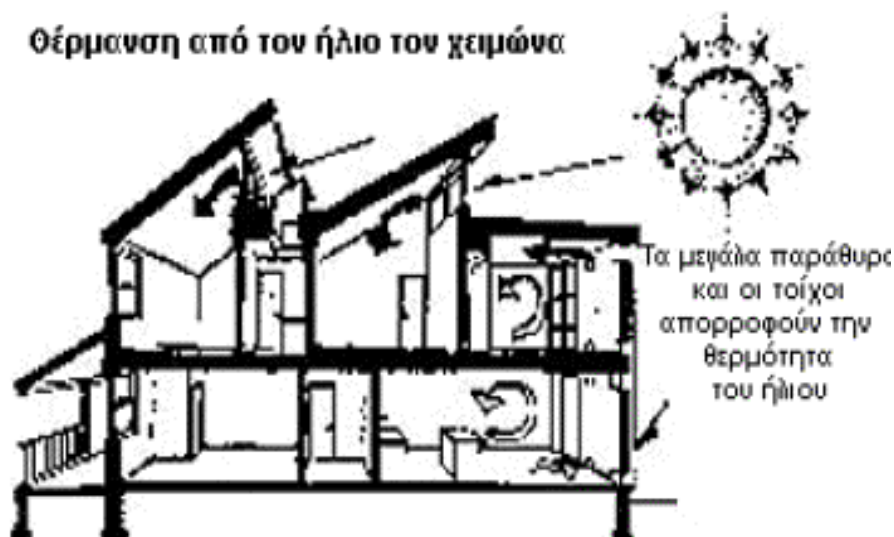
Ο όρος «παθητικό» υποδηλώνει τεχνολογία απλή και εκμετάλλευση της ενέργειας που ενυπάρχει στο συγκεκριμένο τόπο, σε συνεργασία με αρχιτεκτονικές συνιστώσες. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα, είναι συστήματα που για την συλλογή, αποθήκευση και διανομή της ενέργειας δεν χρησιμοποιούν βοηθητικές συσκευές για την μεταφορά του αποθηκευτικού ή τελικά θερμαινόμενου ρευστού. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα συνήθως αποτελούν αναγκαίο τμήμα του συστήματος στο οποίο θα προσφερθεί η ενέργεια (π.χ. παράθυρο ή τοίχος Trombe σε ένα κτίριο) και χρησιμοποιούνται για να θερμάνουν καθώς επίσης και να δροσίσουν τα κτίρια φυσικά.



**Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου** και ειδικότερα, στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της προκύπτουσας θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου που καλύπτεται από το υλικό. Όλα τα παθητικά ηλιακά συστήματα πρέπει να έχουν προσανατολισμό περίπου νότιο, ώστε να υπάρχει ηλιακή πρόσπτωση στα ανοίγματα κατά τη μεγαλύτερη διάρκεια της ημέρας το χειμώνα.



**Εικόνα 49:** Εξαερισμός παθητικά ηλιακού κτιρίου το καλοκαίρι  
(Πηγή: [www.ea.gr](http://www.ea.gr))



**Εικόνα 50:** Θέρμανση παθητικά ηλιακού κτιρίου το χειμώνα  
(Πηγή: [www.ea.gr](http://www.ea.gr))

Σε γενικές γραμμές, τα αρχιτεκτονικά και δομικά στοιχεία που ρυθμίζουν τη θερμική συμπεριφορά ενός κτιρίου είναι:

- Τα γυάλινα ανοίγματα και ο εξοπλισμός τους
- Οι τοίχοι θερμικής αποθήκευσης που λειτουργούν ως συλλέκτες θερμότητας
- Τα προσαρτημένα θερμοκήπια
- Οι προσαρτημένες ηλιακές καμινάδες
- Η εφαρμογή κατάλληλης γεωμετρίας σκιάστρων
- Η δημιουργία ενεργειακής σκεπής
- Τα κατάλληλα δομικά στοιχεία (μονώσεις, χρώματα, κονιάματα, υαλοπίνακες, στοιχεία τοιχοποιίας)
- Η διαμόρφωση του εξωτερικού περιβάλλοντος χώρου (βλάστηση)

Όταν σε ένα κτίριο η ροή της θερμότητας γίνεται με φυσικό τρόπο, δηλαδή μέσω αγωγής, μεταφοράς και ακτινοβολίας και η ηλιακή ενέργεια συνεισφέρει πάνω από το μισό της ολικής εξωτερικής ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση, το κτίριο θεωρείται σαν ηλιακή παθητική κατασκευή. Τα παθητικά συστήματα συνεισφέρουν θετικά στις θερμικές απαιτήσεις του κτιρίου σε ψυχρό καιρό, ενώ σε θερμές περιόδους, αποτρέπουν τη διείσδυση του θερμού εξωτερικού αέρα και περιορίζουν τα εσωτερικά κέρδη, ώστε να εξασφαλίζουν αποδεκτές θερμικές καταστάσεις για τους ενοίκους. Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας τους από θερμική άποψη, χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

**A.** Συστήματα άμεσου ή απευθείας ηλιακού κέρδους:

1. Κατάλληλη θερμική μάζα (χρήση υλικών υψηλής θερμοχωρητικότητας), σε συνδυασμό με συστήματα θερμικής προστασίας (θερμομόνωση κελύφους, διπλοί υαλοπίνακες) και την απαιτούμενη ηλιοπροστασία για τους καλοκαιρινούς μήνες
2. Κατάλληλα προσανατολισμένα ανοίγματα

**B.** Συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους:

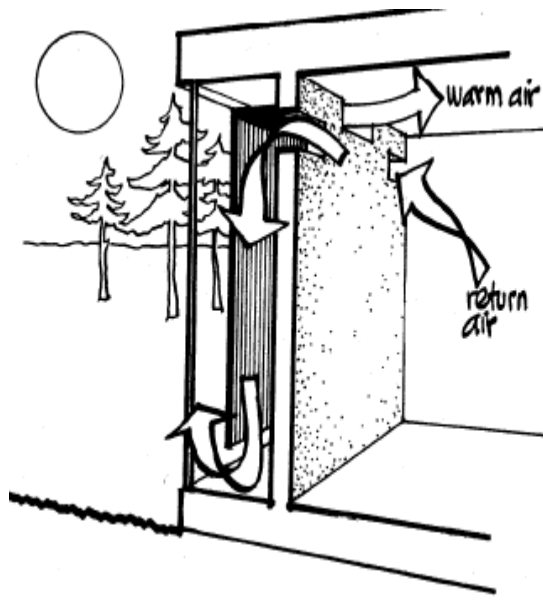
1. Ηλιακοί τοίχοι οι οποίοι αποτελούνται από τοιχοποιία συνδυαζόμενη με υαλοστάσιο που τοποθετείται εξωτερικά. Μπορεί να πρόκειται για αμόνωτο τοίχο – τοίχος ηλιακής συλλογής και θερμικής αποθήκευσης - ή θερμομονωμένο τοίχο με θυρίδες - θερμοσιφωνικό πανέλο. Στην κατηγορία αυτή είναι:
  - Τοίχοι μάζας Trombe
  - Τοίχος Barra Constantini
  - Τοίχοι νερού
  - Θερμοσιφωνικό πανέλο
  - Οροφή νερού
2. Στα συστήματα αυτά ανήκουν και οι χώροι θερμικής αποθήκευσης:
  - Θερμοκήπια, προσαρτημένα στη νότια όψη του κτηρίου
  - Ηλιακά αίθρια

Γ. Συστήματα απομονωμένου ηλιακού κέρδους, όπου η συλλέκτρια επιφάνεια της ηλιακής ενέργειας, διαχωρίζεται από το χώρο της θερμικής αποθήκευσης. Πρόκειται για μικτά συστήματα που ονομάζονται υβριδικά και βασίζονται στη φυσική ροή κάποιου ρευστού (π.χ. του αέρα). Σε αυτά τα συστήματα, χρησιμοποιούνται κάποια απλά μηχανικά μέσα για την μεταφορά της θερμότητας (π.χ. ανεμιστήρες).



(α)

**Εικόνα 51:** (α) Τοίχος νερού (Πηγή: [www.builditsolar.com](http://www.builditsolar.com))



(β)

(β) Τοίχος trombe (Πηγή: [www.builditsolar.com](http://www.builditsolar.com))

Ενώ το δυναμικό των παθητικών ηλιακών συστημάτων θέρμανσης και ψύξης είναι πολύ μεγάλο, οι εφαρμογές στην Ελλάδα είναι πολύ λίγες. Μέχρι σήμερα αριθμούν λίγες εκατοντάδες. Το μεγαλύτερο ποσοστό αποτελείται από ιδιωτικά κτίρια του οικιακού τομέα ενώ σε δεύτερη βαθμίδα μεγέθους ακολουθούν τα εκπαιδευτικά κτίρια. Οι υπόλοιπες εφαρμογές καλύπτουν άλλες χρήσεις. Τα περισσότερα κτίρια έχουν κτισθεί στην Κρήτη, ενώ τα υπόλοιπα εντοπίζονται στη Μακεδονία (κυριότερα στη Θεσσαλονίκη και τα περίχωρά της) και στην Αττική.

Η κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα αποτελεί το 30% περίπου της συνολικής τελικής κατανάλωσης σε εθνικό επίπεδο. Υπάρχει δε, σοβαρή αυξητική τάση η οποία οφείλεται κατά κύριο λόγο στο μεγάλο ρυθμό εγκατάστασης κλιματιστικών συσκευών. Συγχρόνως πρέπει να σημειωθεί ότι ο κτιριακός τομέας συμμετέχει με 40% στην εκπομπή του CO<sub>2</sub> σε εθνικό επίπεδο. Συνεπώς μια πολιτική μείωσης του CO<sub>2</sub> από πλευράς πολιτείας θα πρέπει να αντιμετωπίσει κατά κύριο λόγο τον κτιριακό τομέα. Μία τέτοια πολιτική δημιουργεί συνεπώς πολύ θετικές προϋποθέσεις για τη διεύρυνση της εφαρμογής τους.

#### 4.4: Τα ενεργητικά (θερμικά) ηλιακά συστήματα

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα χρησιμοποιούν τους συλλέκτες και τη δεξαμενή αποθήκευσης ως χωριστές συνιστώσες και η μεταφορά της ενέργειας γίνεται με τη βοήθεια κάποιας αντλίας του συστήματος.

Ένα θερμικό ηλιακό σύστημα συλλέγει, αποθηκεύει και διανέμει την ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιώντας είτε κάποιο υγρό, είτε αέρα ως ρευστό μεταφοράς της θερμότητας των συλλεκτών. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση νερού οικιακής χρήσης, για τη θέρμανση και ψύξη χώρων, για βιομηχανικές διεργασίες, για αφαλάτωση, για διάφορες αγροτικές εφαρμογές, για θέρμανση πισινών κλπ.

Η «καρδιά» ενός ενεργητικού ηλιακού συστήματος είναι ο ηλιακός συλλέκτης. Οι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται συνήθως στην οροφή ενός κτιρίου με νότιο προσανατολισμό και κλίση  $30^{\circ}$  –  $60^{\circ}$  ως προς τον ορίζοντα, ώστε να μεγιστοποιηθεί το ποσό της ακτινοβολίας που συλλέγεται ετησίως.

Οι συλλέκτες αυτοί περιλαμβάνουν μια μαύρη, συνήθως επίπεδη μεταλλική επιφάνεια, η οποία απορροφά την ακτινοβολία και θερμαίνεται. Πάνω από την απορροφητική επιφάνεια βρίσκεται ένα διαφανές κάλυμμα, συνήθως από γυαλί ή πλαστικό, το οποίο παγιδεύει τη θερμότητα. Σε επαφή με την απορροφητική επιφάνεια τοποθετούνται λεπτοί σωλήνες μέσα στους οποίους διοχετεύεται κάποιο υγρό, που απάγει τη θερμότητα και τη μεταφέρει, με τη βοήθεια μικρών αντλιών σε μια μεμονωμένη δεξαμενή αποθήκευσης. Το πιο απλό και διαδεδομένο ενεργητικό ηλιακό σύστημα της εποχής μας είναι ο ηλιακός θερμοσίφωνας.



**Εικόνα 52:** Ο ηλιακός θερμοσίφωνας  
(Πηγή: <http://el.wikipedia.org>)

#### **4.4.1: Εφαρμογές των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων**

Με τη βοήθεια παραβολικών ανακλαστικών δίσκων, η ηλιακή ακτινοβολία μπορεί να συγκεντρωθεί στο εστιακό σημείο 600 έως 2000 φορές περισσότερο από τη συνήθη και η θερμοκρασία να ανέλθει στους 800<sup>ο</sup> έως 1500<sup>ο</sup> C. Η θερμότητα που συλλέγεται με τις παραπάνω μεθόδους χρησιμοποιείται για την παραγωγή υπέρθερμου ατμού, ο οποίος κινεί μια ηλεκτρογεννήτρια. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να παράγουμε και ηλεκτρική ενέργεια, με τη χρήση ενεργητικών ηλιακών συστημάτων.

Πέρα από την οικιακή χρήση που είναι και η πιο διαδεδομένη σήμερα, ενεργητικά ηλιακά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε απαιτείται θερμότητα χαμηλής θερμοκρασιακής στάθμης. Έτσι η χρήση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ψύξης, για τον κλιματισμό χώρων και για άλλες εφαρμογές, εμφανίζεται ως μια από τις πολλά υποσχόμενες προοπτικές, λόγω της αυξημένης ηλιακής ακτινοβολίας ακριβώς την εποχή που απαιτούνται τα ψυκτικά φορτία.

Μια άλλη εφαρμογή που έχει εξαπλωθεί στην ευρωπαϊκή αγορά, ενώ σταδιακά μπαίνει και στη χώρα μας, είναι ο συνδυασμός παραγωγής ζεστού νερού και θέρμανσης χώρων με ενεργητικά ηλιακά συστήματα. Η χρήση των συστημάτων αυτών στις ελληνικές κλιματολογικές συνθήκες, για τη θέρμανση χώρων, θεωρείται τεχνικά και οικονομικά αποδοτική, αν συνδυαστεί με την κατάλληλη μελέτη/κατασκευή του κτιρίου (καλή μόνωση, εκμετάλλευση των παθητικών ηλιακών ωφελειών κλπ) και τη συνεργασία του χρήστη. Μπορεί να εξοικονομήσει συμβατική ενέργεια σε νέα ή παλιά κτίρια, στα οποία έχουν ληφθεί όλα τα εφικτά μέτρα για την ελαχιστοποίηση των απωλειών και τη μεγιστοποίηση της οικονομικότητας της εγκατάστασης.

Τέλος, στην ευρωπαϊκή αγορά αρχίζει να εισχωρεί ο ηλιακός κλιματισμός, δηλαδή η χρήση της ηλιακής ενέργειας, όχι μόνο για το συνδυασμό παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων, αλλά και ο κλιματισμός τους κατά τη θερινή περίοδο. Η χρήση των συστημάτων αυτών στις ελληνικές κλιματολογικές συνθήκες, θεωρείται τεχνικά και οικονομικά αποδοτική, δεδομένων των αρκετά υψηλών απαιτήσεων για κλιματισμό, σε συνδυασμό με την ταυτόχρονα υψηλή, δωρεάν ηλιακή ενέργεια. Τέτοιες εγκαταστάσεις επιδρούν θετικά στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας μας, καθώς η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας ενός συστήματος ηλιακού κλιματισμού είναι από 90% - 97% χαμηλότερη ενός συμβατικού κλιματιστικού συστήματος. Αυτή η εφαρμογή θα μας απασχολήσει διεξοδικότερα στο επόμενο Κεφάλαιο.

#### **4.4.2: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις και οφέλη από τη χρήση των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων**

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται κωδικοποιημένα τα περιβαλλοντικά θέματα που σχετίζονται με τα θερμικά ηλιακά συστήματα και τα μέτρα αντιμετώπισης ανεπιθύμητων καταστάσεων που μπορούν να εφαρμοστούν.

Περιβαλλοντικά θέματα Θερμικών Ηλιακών Συστημάτων		
Θετικές επιδράσεις	Επιπτώσεις	Προτάσεις
Αποφυγή εκπομπών CO <sub>2</sub> .	Κατασκευαστικές δραστηριότητες.	Εφαρμογή καλών πρακτικών τοποθέτησης. Αποκατάσταση του χώρου. Αποφυγή εγκατάστασης σε ευαίσθητες περιοχές.
Απουσία θορύβου.	Αισθητική ένταξη.	Κατάλληλη χωροθέτηση.
	Χρήση γης (μεγάλες εφαρμογές).	Κατάλληλη χωροθέτηση.
	Επιπτώσεις σε οικοσυστήματα και ειδικά ορνιθοπανίδα.	Κατάλληλη χωροθέτηση (αποφυγή χωροθέτησης σε ευαίσθητες περιοχές ή περιοχές ειδικού ενδιαφέροντος).
	Υδάτινοι πόροι.	Ύπαρξη κατάλληλων περιορισμών. Μη εκτενής χρήση των υφιστάμενων πόρων. Χρήση βελτιωμένων τεχνολογιών.
	Θέματα ασφάλειας (π.χ. διαρροές κατά τη λειτουργία).	Εφαρμογή υπαρχόντων κανόνων ασφάλειας.

**Πίνακας 5:** Περιβαλλοντικά θέματα θερμικών ηλιακών συστημάτων (Πηγή: ΥΠΑΝ & ΚΑΠΕ)

Εξάλλου η προώθηση της χρήσης των θερμικών ηλιακών συστημάτων συνοδεύεται από ποικίλα οφέλη. Ορισμένα από τα σημαντικότερα, σύμφωνα με τις θέσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης Κατασκευαστών είναι:

- Μεγαλύτερη ενεργειακή αυτονομία και προβλεψιμότητα των εξόδων ενός νοικοκυριού για κατανάλωση ενέργειας
- Προστασία του περιβάλλοντος και μείωση των εκπομπών του CO<sub>2</sub>
- Οικονομικά οφέλη από την εξοικονόμηση ενέργειας
- Ελάττωση της ενεργειακής εξάρτησης από άλλες χώρες και από τις συμβατικές πηγές καυσίμων
- Δημιουργία νέων θέσεων εργασίας

#### 4.5: Οι ηλιακοί συλλέκτες

Ο ηλιακός συλλέκτης είναι ειδικής μορφής εναλλάκτης θερμότητας, που απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία και μεταφέρει την ενέργεια στο εργαζόμενο μέσο, το οποίο διαπερνά τον συλλέκτη και όπως προαναφέραμε αποτελεί την καρδιά κάθε ηλιακού συστήματος θέρμανσης. Η ιδιορρυθμία του έγκειται κυρίως στο ότι μεταφέρει ενέργεια μορφής ακτινοβολίας από πολύ μακρινή πηγή (ήλιος) σε ρευστό. Υπάρχουν διάφορα είδη ηλιακών συλλεκτών, από τα οποία θα παρουσιάσουμε δύο από τα σημαντικότερα.



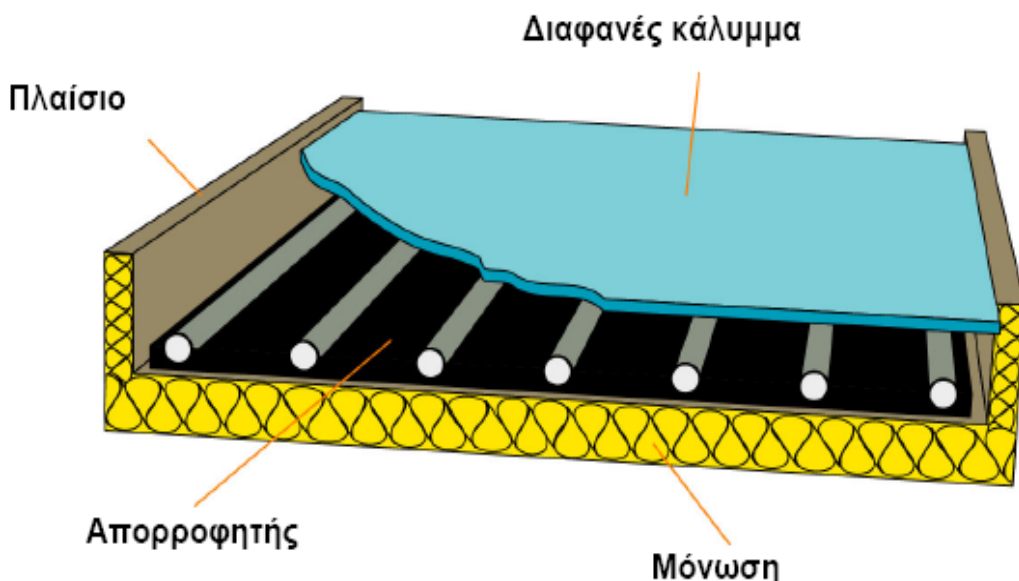
#### 4.5.1: Επίπεδοι συλλέκτες

Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή συλλέκτη για οικιακά ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού. Η λειτουργία ενός επίπεδου συλλέκτη επηρεάζεται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Ηλιακούς παράγοντες πχ ένταση ακτινοβολίας, γωνία κλίσης συλλέκτη κ.α.
- Συνθήκες περιβάλλοντος πχ θερμοκρασία περιβάλλοντος, ταχύτητα ανέμου κ.α.
- Συνθήκες λειτουργίας πχ θερμοκρασία εργαζόμενου μέσου, θερμικές ιδιότητες του ρευστού, προσανατολισμός του συλλέκτη
- Κατασκευή συλλέκτη

Ένας επίπεδος ηλιακός συλλέκτης αποτελείται από τα εξής μέρη:

1. Το διαφανές κάλυμμα, που μπορεί να αποτελείται από ένα, δύο ή και περισσότερες διαφανείς πλάκες από γυαλί ή πλαστικό
2. Την φωτοαπορροφητική πλάκα που απορροφά την ηλιακή ενέργεια η οποία είναι μια ειδικά επεξεργασμένη μεταλλική επιφάνεια ή βαμμένη με ειδική βαφή
3. Τους σωλήνες που είναι σε επαφή με την απορροφητική πλάκα μέσα στους οποίους κυκλοφορεί το ρευστό που απάγει τη θερμική ενέργεια από την απορροφητική πλάκα
4. Το περίβλημα που συνήθως είναι μεταλλικό ή πλαστικό, το οποίο ενοποιεί την κατασκευή και προστατεύει το συλλέκτη από τις συνθήκες περιβάλλοντος
5. Την μόνωση στην πίσω και στις πλάγιες πλευρές του συλλέκτη



**Εικόνα 53:** Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης  
(Πηγή: ΚΑΠΕ)

#### 4.5.2: Συλλέκτες κενού

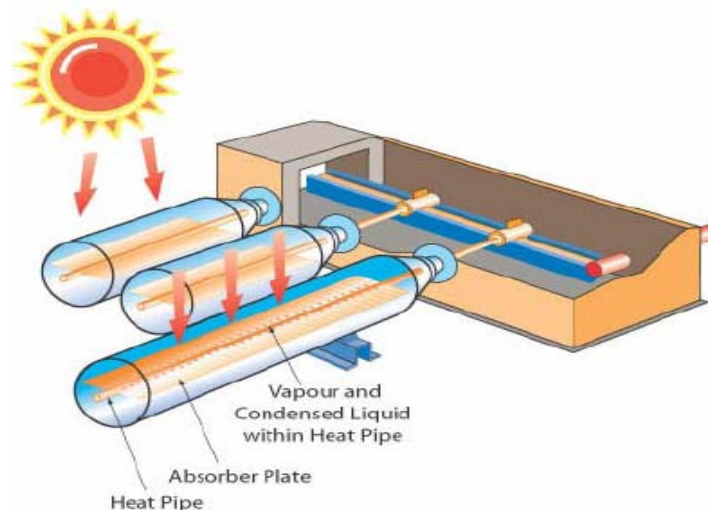
Οι συλλέκτες αυτοί αποτελούνται από ένα σύστημα με αρθρωτούς σωλήνες, στο κέντρο των οποίων βρίσκεται λεπτός μεταλλικός αγωγός με απορροφητική επιφάνεια. Λόγω των συνθηκών κενού, οι απώλειες θερμότητας με συναγωγή μειώνονται. Οι συλλέκτες με σωλήνες κενού είναι η μόνη ουσιαστική εναλλακτική πρόταση στον επίπεδο συλλέκτη. Η πιο γνωστή εκδοχή τους ήταν παλαιότερα οι σωλήνες κενού μονού τοιχώματος οι οποίοι, παρά τις αναμφίβολα μεγαλύτερες επιδόσεις τους στις υψηλές θερμοκρασίες, δεν κατάφεραν ποτέ να επικρατήσουν, κυρίως λόγω συχνών προβλημάτων αξιοπιστίας (π.χ. η μη διατήρηση του κενού) και υψηλού κόστους.

- Ιδιότητες
  - Πολύ υψηλό κόστος
  - Όχι απώλειες θερμότητας λόγω μεταφοράς
  - Υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας
  - Ιδανικοί για ψυχρά κλίματα
  - Εξαιρετικά ευαίσθητοι
  - Πολύπλοκη εγκατάσταση

- Εφαρμογές

Δεν συνιστώνται σε οικιακές εφαρμογές, αφού το καλοκαίρι η θερμοκρασία στο εσωτερικό τους ξεπερνά τους 3000C. Κυρίως χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου απαιτούνται θερμοκρασίες άνω των 800C, όπως:

- Ηλιακός κλιματισμός
- Βιομηχανικές εφαρμογές (αποστείρωση)
- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



**Εικόνα 54:** Συλλέκτης κενού  
(Πηγή: ΚΑΠΕ)

Παρά τις όποιες προσπάθειες ανάπτυξης νέων τύπων, ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης εξακολουθεί να κυριαρχεί στην αγορά. Στην Ευρώπη για παράδειγμα το 95% των συλλεκτών που τοποθετήθηκαν



το 2004 είναι επίπεδοι. Το γεγονός αυτό δεν είναι βέβαια σε αντίφαση με τις συνεχείς προσπάθειες βελτίωσης της ποιότητας και της απόδοσης του. Οι προσπάθειες αυτές εστιάζονται κατά κύριο λόγο στα παρακάτω σημεία, τα οποία χαρακτηρίζουν και τις σημερινές τεχνολογικές τάσεις:

- Στη γενίκευση της χρήσης της επιλεκτικής επιφάνειας η οποία αποτελεί προϋπόθεση για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων σε γενικής φύσης εφαρμογές.
- Στη σταδιακή επικράτηση των ενιαίων απορροφητικών επιφανειών (full face absorber) οι οποίες, όταν ο συλλέκτης είναι σωστά σχεδιασμένος, επιτρέπουν σημαντική μείωση των θερμικών απωλειών λόγω της μείωσης της κυκλοφορίας του αέρα στο εσωτερικό του συλλέκτη και της καλύτερης εκμετάλλευσης της διαθέσιμης επιφάνειας παραθύρου.
- Στην εισαγωγή νέων τεχνολογιών συγκόλλησης με διαφορετικούς βαθμούς αποτελεσματικότητας (soldering, laser).
- Στη βελτίωση της εν γένει ποιότητας του συλλέκτη, συμπεριλαμβανομένης της αισθητικής του.
- Στη χρήση μονωτικών υλικών που είναι φιλικά προς το περιβάλλον και ικανοποιούν τις σχετικές νομοθετικές απαιτήσεις.

	Σύνολο	Επίπεδοι	Κενού	%
AT	182.594	180.000	2.594	1,4%
CH	31.067	29.903	1.164	3,7%
CZ	8.500	8.100	400	4,7%
DE	750.000	675.000	75.000	10,0%
DK	20.000	19.000	1.000	5,0%
IE	2.000	1.200	800	40,0%
MT	4.215	4.083	132	3,1%
SE	20.058	17.498	2.560	12,8%
SK	5.500	4.950	550	10,0%
<b>EU</b>	<b>1.586.184</b>	<b>939.734</b>	<b>84.200</b>	<b>5,3%</b>

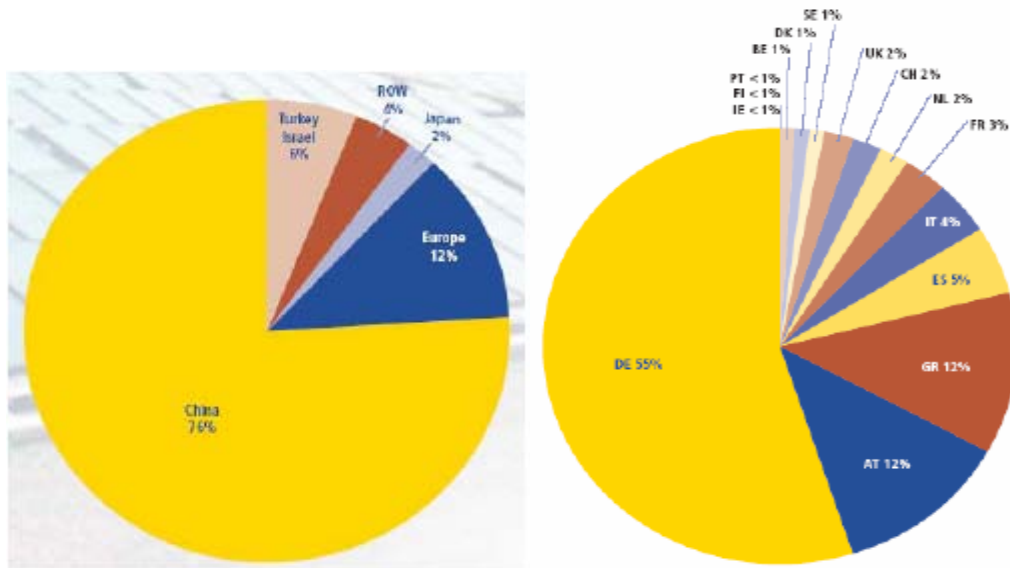
**Πίνακας 6:** Κατανομή ευρωπαϊκής αγοράς ανάλογα με τύπο συλλέκτη (έτος 2004, σε m<sup>2</sup>)  
(Πηγή: ESIF)

#### 4.6: Η αγορά των θερμικών ηλιακών συστημάτων

Υπολογίζεται ότι είναι σε λειτουργία σήμερα στον κόσμο περίπου 115.000.000 m<sup>2</sup> θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες, κατανεμημένοι όπως φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 55, ενώ η αγορά εκτιμάται ότι ανέρχεται σε 18.000.000 m<sup>2</sup> το χρόνο με ετήσιο ρυθμό αύξησης για την περίοδο 2003-2004 περίπου 20%.

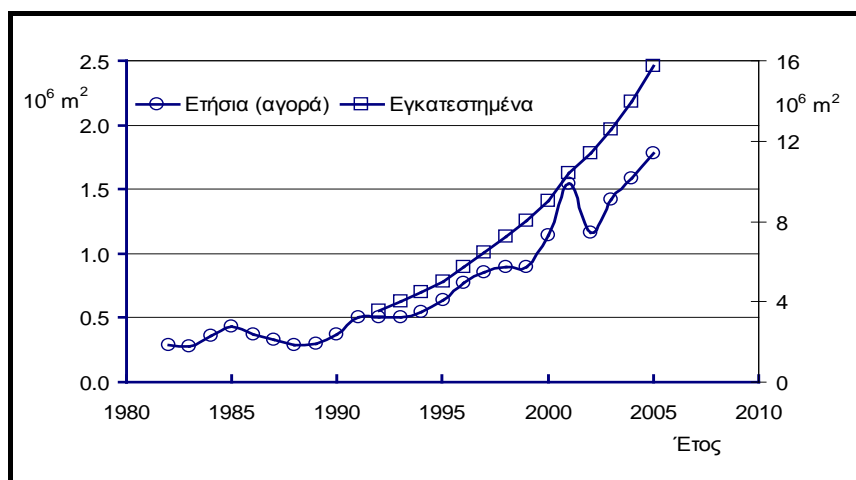
Τα στοιχεία αναδεικνύουν μεγάλες διαφορές από χώρα σε χώρα με την Ευρώπη να μην αποτελεί σημαντική αγορά, σε σύγκριση με χώρες όπως η Κίνα, το Ισραήλ ή ακόμα η Τουρκία. Η

Κίνα αποτελεί μια ιδιότυπη περίπτωση με μια πολύ μεγάλη αγορά που εξηγείται από το μέγεθος του πληθυσμού της αλλά και από την διαρκώς αυξανόμενη διείσδυση των θερμικών ηλιακών.



**Εικόνα 55:** Κατανομή θερμικών ηλιακών συλλεκτών παγκοσμίως και στην Ευρώπη  
(Πηγή: Στέλιος Ψωμάς, 2005)

Στην Ευρώπη, στα τέλη του 2004, υπήρχαν σε λειτουργία περίπου 14.000.000 m<sup>2</sup> θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες οι οποίοι αντιστοιχούν σε 9.525 MW<sub>th</sub> και παράγουν πάνω από 8 GWh το χρόνο. Και στην Ευρώπη παρατηρήθηκε μια σημαντική ανάκαμψη της αγοράς τα τελευταία χρόνια (αύξηση κατά 12% την περίοδο 2003-2004). Πρέπει να τονιστεί ότι το μέγεθος της αγοράς των θερμικών ηλιακών στην Ευρώπη, παρά την αύξησή του, παραμένει πολύ χαμηλό σε σχέση με το στόχο που είχε τεθεί από την «Λευκή Βίβλο» (100.000.000 m<sup>2</sup> ή 70.000 MW<sub>th</sub> για το 2010 ), στόχος ο οποίος είναι εξαιρετικά αμφίβολο εάν μπορεί να επιτευχθεί.



**Εικόνα 56:** Η αγορά των θερμικών ηλιακών στην Ευρώπη  
(Πηγή: SARASIN BANK)

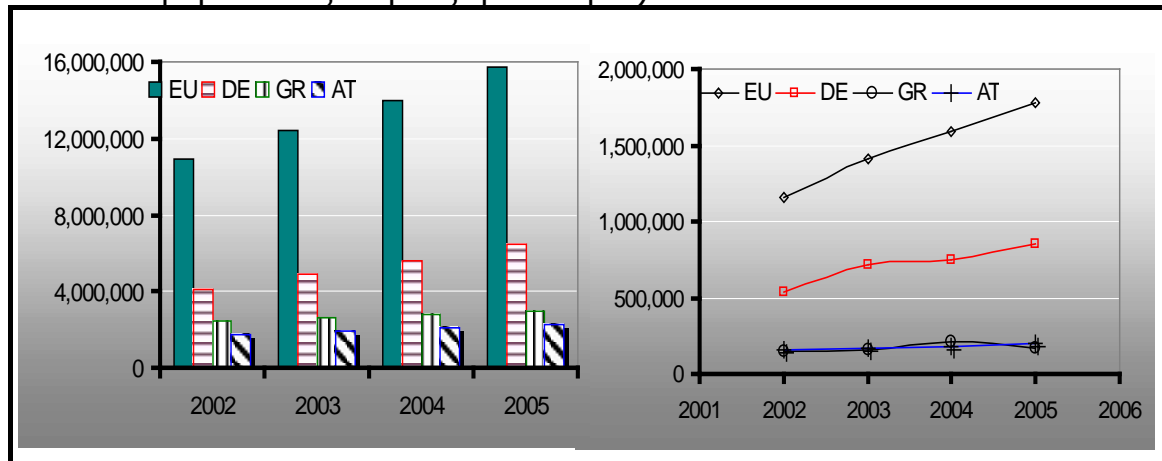
	2004	2002	2003	2004	2005	2004 Επίπεδοι	2004 Σωλ.Κενού	2003- 2004
AT	2,085,488	153,050	166,920	182,594	200,000	180,000	2,594	9%
BE	48,249	4,943	9,047	14,700	18,000	-	-	62%
CH	352,460	26,431	26,820	31,067	35,000	29,903	1,164	16%
CY	450,200	30,000	30,000	30,000	30,000	-	-	0%
CZ	43,400	6,000	7,000	8,500	10,000	8,100	400	21%
DE	5,604,000	540,000	720,000	750,000	850,000	675,000	75,000	4%
DK	315,730	13,000	19,000	20,000	22,000	19,000	1,000	5%
EE	570	50	150	250	300	-	-	67%
ES	420,366	66,000	70,000	90,000	150,000	-	-	29%
FI	11,980	1,110	2,000	2,000	2,000	-	-	0%
FR	274,100	27,000	38,900	52,000	75,000	-	-	34%
GR	2,826,700	152,000	161,000	215,000	170,000	-	-	34%
HU	4,250	500	1,000	1,500	1,500	-	-	50%
IE	7,290	875	1,200	2,000	3,000	1,200	800	67%
IT	444,285	45,000	50,000	58,000	70,000	-	-	16%
LT	1,650	300	400	500	600	-	-	25%
LU	11,500	1,200	1,500	1,700	2,000	-	-	13%
LV	1,650	300	400	500	600	-	-	25%
MT	15,360	2,500	3,000	4,215	5,700	4,083	132	41%
NL	283,508	30,000	27,686	26,300	27,000	-	-	-5%
PL	102,520	18,000	26,220	33,000	35,000	-	-	26%
PT	144,950	5,500	6,000	10,000	13,500	-	-	67%
SE	185,769	15,260	19,255	20,058	25,000	17,498	2,560	4%
SI	97,600	1,200	1,100	1,800	2,000	-	-	64%
SK	56,750	4,500	5,000	5,500	6,000	4,950	550	10%
UK	168,920	17,500	22,000	25,000	30,000	-	-	14%
<b>EU</b>	<b>13,959,245</b>	<b>1,162,219</b>	<b>1,415,598</b>	<b>1,586,184</b>	<b>1,784,200</b>	<b>939,734</b>	<b>84,200</b>	<b>12%</b>

**Πίνακας 7:** Η ευρωπαϊκή αγορά θερμικών ηλιακών ανά χώρα  
(Πηγή: ESIF)

Πιο συγκεκριμένα αναλυτικά στοιχεία ανά ευρωπαϊκή χώρα δίνονται στον παραπάνω Πίνακα 7. Από τα στοιχεία αυτά προκύπτουν τα ακόλουθα βασικά συμπεράσματα:

- Υπάρχουν πολύ μεγάλες διαφορές από χώρα σε χώρα, διαφορές που δεν μπορούν να εξηγηθούν μόνο από τις κλιματικές συνθήκες (χαρακτηριστική είναι η σύγκριση μεταξύ Ιταλίας και Γερμανίας ή Αυστρίας).
- Οι διαφορές από χώρα σε χώρα δείχνουν επίσης ότι υπάρχουν μεγάλα περιθώρια για περαιτέρω διείσδυση των θερμικών ηλιακών (ειδικότερα στις χώρες όπου αυτή παραμένει χαμηλή).
- Καθοριστικός παράγοντας είναι η επίδραση των εθνικών πολιτικών, με χαρακτηριστικότερα παραδείγματα τη Γερμανία (ενισχυτικά μέσα εδώ και πολλά χρόνια) και, πρόσφατα, την Ισπανία (αναθέρμανση της αγοράς λόγω μιας πιο επιθετικής πολιτικής τα τελευταία χρόνια).
- Παρατηρείται μια δυναμική είσοδος νέων αγορών (Γαλλία, Ισπανία), παράλληλά με ένα κορεσμό πιο παραδοσιακών

αγορών, όπως για παράδειγμα η Ελλάδα ή η Αυστρία (για διαφορετικούς λόγους η κάθε μια).



**Εικόνα 57:** Οι τρεις μεγαλύτερες χώρες στην ευρωπαϊκή αγορά (αριστερά εν λειτουργία συλλέκτες, δεξιά ετήσιες πωλήσεις, σε m<sup>2</sup>) (Πηγή: ESIF)

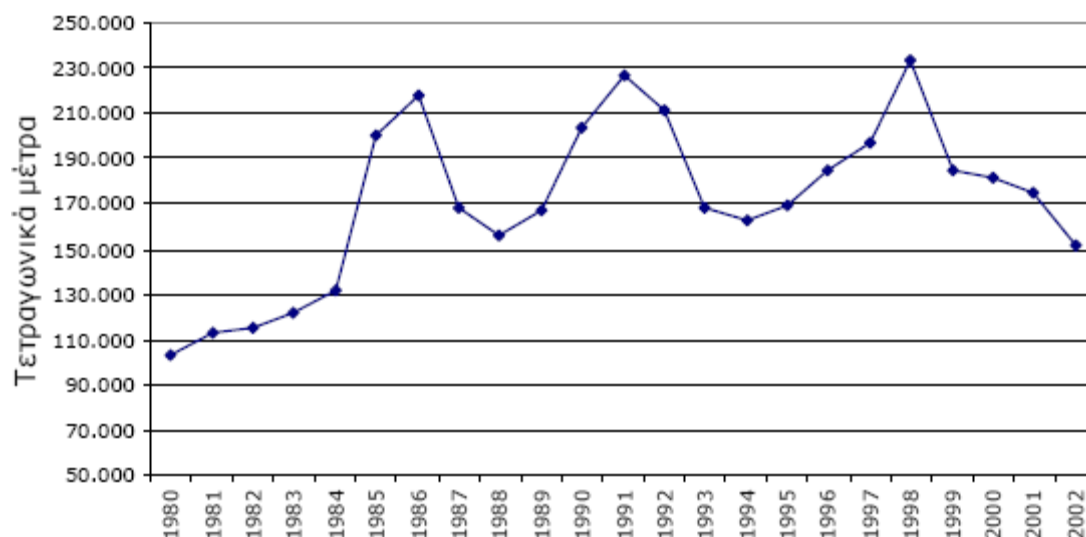
Μια πιο προσεκτική ανάγνωση των στοιχείων αναδεικνύει ότι τρεις χώρες (Ελλάδα, Γερμανία, Αυστρία) κυριαρχούν στην ευρωπαϊκή αγορά. Τρεις χώρες (Ελλάδα, Αυστρία, Γερμανία), συγκεντρώνοντας το 68% των νέων εγκαταστάσεων και το 75% των εν λειτουργία συστημάτων. Η στασιμότητα που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια σε Ελλάδα, Αυστρία αντισταθμίζεται από την αύξηση στη Γερμανία και τις άλλες αναδυόμενες αγορές. Έτσι η Ελλάδα με 20% των εγκατεστημένων εν λειτουργία συλλεκτών έχει μόνο το 9,5% της αγοράς (εκτιμήσεις για 2005), ενώ αντίστροφα η Ισπανία με μόλις 3% των ήδη εγκατεστημένων έχει αναπτύξει μια πολύ δυναμική αγορά (8,5% των ετησίων πωλήσεων), βασιζόμενη κυρίως στο λεγόμενο «μοντέλο της Βαρκελώνης». Στη Βαρκελώνη (και σύντομα και σε άλλες ισπανικές πόλεις), η νομοθεσία επιβάλλει τη χρήση ηλιακών συστημάτων σε νέα κτίρια καθώς και σε μεγάλα κτίρια στη φάση της ανακαίνισης, ενώ δίνεται και επιδότηση 210 € ανά τετραγωνικό μέτρο συλλέκτη.

Η ESIF εκτιμά πως το τεχνικό δυναμικό των ηλιοθερμικών συστημάτων στην Ευρώπη ανέρχεται σε 1,4 δις m<sup>2</sup> συλλεκτών, τα οποία μπορούν να παράξουν 682 TWh ετησίως (682 δις KWh). Αυτό ισοδυναμεί με το 6% της τελικής ενεργειακής κατανάλωσης στην ΕΕ ή το 30% των εισαγωγών πετρελαίου της ΕΕ από τη Μέση Ανατολή. Ο στόχος που έχει θέσει η ESIF, για τη χώρα μας είναι η εγκατάσταση περίπου 10.000.000 m<sup>2</sup> συλλεκτών ως το 2015 (περιλαμβανομένων των συστημάτων για θέρμανση και κλιματισμό). Ο στόχος αυτός (περίπου 1 m<sup>2</sup> ηλιακών συλλεκτών για κάθε κάτοικο) θα μπορούσε να συνεισφέρει στην αποφυγή της έκλυσης τουλάχιστον 4.000.000 τόνων CO<sub>2</sub> ετησίως.

Στην Ελλάδα, η ανάπτυξη της αγοράς ηλιοθερμικών συστημάτων γνώρισε πολλά скаμπανεβάσματα την τελευταία εικοσαετία, ανάλογα με το καθεστώς ενίσχυσης που ίσχυε (ή

καταργούνται) κάθε περίοδο. Σήμερα υπάρχουν περίπου 1.000.000 ηλιακά συστήματα εγκατεστημένα στη χώρα μας.

### ΠΩΛΗΣΕΙΣ ΗΛΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΓΟΡΑ



**Εικόνα 58:** Πωλήσεις ηλιακών συλλεκτών στην Ελλάδα  
(Πηγή: ΕΒΗΕ)

Τα ηλιοθερμικά συστήματα στην Ελλάδα παράγουν περίπου 1,1 δις κιλοβατώρες (KWh) ετησίως και αποσοβούν την έκλυση 1.200.00 τόνων CO<sub>2</sub>. Η παραγόμενη ενέργεια ποικίλλει ανά γεωγραφική περιοχή και ανά εφαρμογή. Ο παρακάτω Πίνακας 8 δείχνει τις τυπικές τιμές κατά περίπτωση.

KWh/m <sup>2</sup> /έτος	Βόρεια Ελλάδα	Κεντρική Ελλάδα	Κρήτη
Κατοικίες	350	400	450
Τριτογενής τομέας	400	450	500
Βιομηχανία	450	500	550

**Πίνακας 8:** Κατανομή των ηλιακών συλλεκτών ανά περιοχή και παραγωγικό τομέα  
(Πηγή: ΕΒΗΕ)

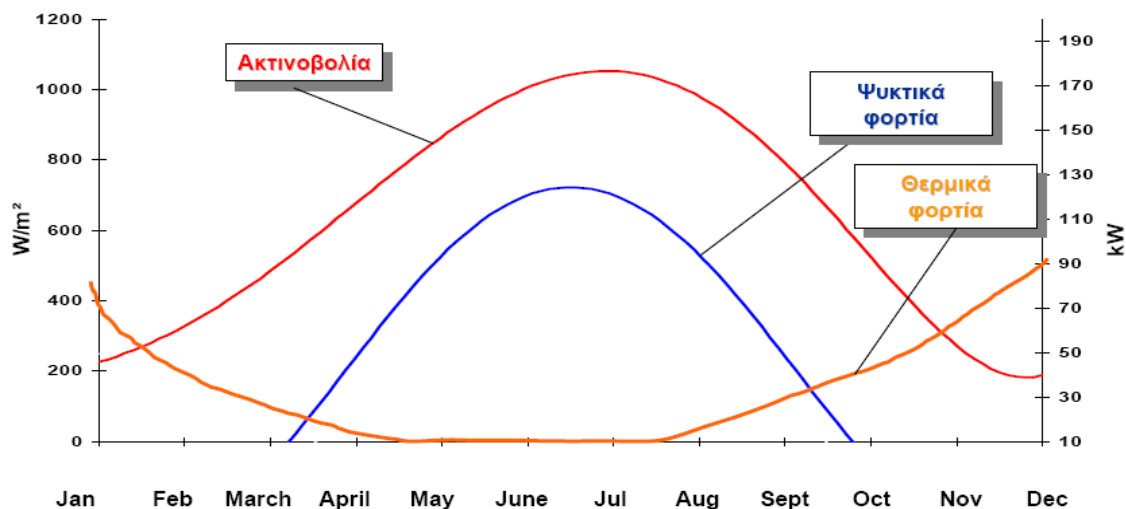
# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

## **ΗΛΙΑΚΟΣ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΣ**

## 5.1: Εισαγωγή

Ο κλιματισμός επαγγελματικών και οικιακών χώρων αποτελεί πλέον αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας. Η αυξανόμενη απαίτηση θερμικής άνεσης, αλλά και οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες που έχουν εμφανιστεί τα τελευταία χρόνια, έχουν οδηγήσει σε ραγδαία αύξηση της εγκατάστασης μονάδων κλιματισμού σε κτίρια. Η εκτεταμένη χρήση αυτών των μονάδων κλιματισμού, ιδιαίτερα το καλοκαίρι και κυρίως κατά τις μεσημβρινές ώρες οδηγεί σε μια ζήτηση αιχμής της ηλεκτρικής ενέργειας, που δημιουργεί προβλήματα στην παραγωγή και την τροφοδοσία της. Παράλληλα, καθώς ένα συντριπτικό ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται από την καύση ορυκτών καυσίμων, η αύξηση της κατανάλωσης συνεπάγεται αύξηση της παραγωγής CO<sub>2</sub> και σειράς άλλων ρύπων.

Ιδιαίτερα, κατά τη διάρκεια του θέρους η ζήτηση για ηλεκτρισμό αυξάνει λόγω της ευρείας χρήσης συστημάτων κλιματισμού, που αυξάνουν την αιχμή του ηλεκτρικού φορτίου, προκαλώντας σημαντικά προβλήματα στο ηλεκτρικό σύστημα εφοδιασμού. Συγχρόνως οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου αυξάνονται, από την ενεργειακή παραγωγή ή από τη διαρροή των ψυκτικών ρευστών, ενισχύοντας το φαύλο κύκλο της κλιματικής αλλαγής, όπως περιγράψαμε και στο πρώτο κεφάλαιο.



**Εικόνα 59:** Σύμπτωση ψυκτικών αναγκών και ηλιακής ενέργειας κατά τη διάρκεια του έτους (Πηγή: TECSOL)

Η δυνατότητα «παραγωγής» ψύξης και κλιματισμού με τη βοήθεια της ενέργειας από τον ήλιο έχει προσελκύσει την προσοχή των ανθρώπων από τα πρώτα χρόνια ανάπτυξης της ηλιακής τεχνολογίας. Η ανάγκη του κλιματισμού, ιδιαίτερα στις περιοχές με έντονη ζέστη και ηλιοφάνεια έχουν οδηγήσει τους ερευνητές να βρουν τρόπους ώστε να συνδυαστούν οι δύο παραπάνω παράγοντες προς όφελος των ανθρώπων.

Τα τελευταία χρόνια έχει υπάρξει δραστηριοποίηση από πλευράς έρευνας και πιλοτικών/επιδεικτικών εφαρμογών που έχει αναδείξει τον ηλιακό κλιματισμό ως μια λύση αξιόπιστη, πρακτικά εφαρμόσιμη, περιβαλλοντικά φιλική και κατάλληλη για μια χώρα όπως η Ελλάδα, που είναι μία από τις μεγαλύτερες αγορές ηλιακών συστημάτων στην Ευρώπη, κυρίως για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Το μεγάλο πλεονέκτημα μιας τέτοιας εγκατάστασης είναι ότι η ζήτηση για κλιματισμό συμπίπτει χρονικά με τη διαθεσιμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας και επομένως παρουσιάζεται μεγαλύτερη απόδοση όταν υπάρχει και μεγαλύτερη ανάγκη. Οι εγκαταστάσεις συμβάλλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας και στη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> αλλά και άλλων ρυπογόνων ουσιών, καθώς λειτουργούν με αβλαβή ρευστά όπως το νερό ή διαλύματα αλάτων. Επιπλέον, από οικονομική άποψη, καθώς η τιμή των συμβατικών καυσίμων καλπάζει, τα ηλιακά συστήματα γίνονται όλο και πιο ελκυστικά.

Στα ηλιοβοηθούμενα συστήματα κλιματισμού (SAC) η ηλιακή θερμότητα απαιτείται για να οδηγήσει στη διαδικασία ψύξης. Κατά την τελευταία δεκαετία οι τεχνολογίες SAC έχουν αποδειχθεί αποδοτικές και αξιόπιστες. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν αβλαβή ψυκτικά υδατικά διαλύματα, και πολύ λιγότερη πρωτογενή ενέργεια από τα συμβατικά συστήματα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν, είτε ως αυτόνομα συστήματα είτε με το συμβατικό εναλλασσόμενο ρεύμα, για να βελτιώσουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα. Επιπλέον συνεργάζονται με τις ήδη υπάρχουσες συμβατικές εγκαταστάσεις εσωτερικού χώρου.

Τα εγκατεστημένα συστήματα SAC μέχρι τώρα μπορούν να ταξινομηθούν σε:

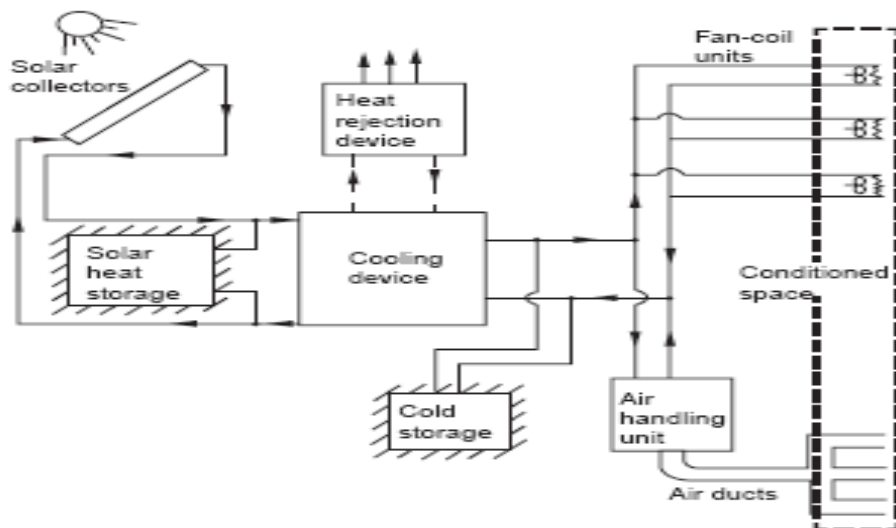
- **Κλειστά συστήματα:** θερμικά οδηγούμενοι ψύκτες, που παρέχουν το νερό ψύξης, που στη σειρά του είτε χρησιμοποιείται σε μονάδες διαχείρισης αέρα, είτε διανέμεται μέσω δικτύου νερού για να ενεργοποιήσει τις αποκεντρωμένες εγκαταστάσεις κλιματισμού δωματίων. Οι τεχνικά ώριμες μηχανές είναι ψύκτες απορρόφησης (οι πιο συνήθεις) ή ψύκτες προσρόφησης (μερικές εκατοντάδες μηχανές παγκοσμίως, αλλά αυξανόμενου ενδιαφέροντος για τα συστήματα SAC).
- **Ανοικτά συστήματα:** επιτρέποντας τον πλήρη κλιματισμό με την παροχή του δροσισμένου και αφυγρασμένου αέρα σε συνθήκες άνεσης. Το ψυκτικό μέσο είναι ψεκαζόμενο νερό, που έρχεται σε άμεση επαφή με τον αέρα του χώρου. Τα περισσότερα κοινά συστήματα είναι συστήματα ψύξης «desiccant» που χρησιμοποιούν έναν αφυγραντικό περιστρεφόμενο τροχό από ροφητή στερεής φάσης.



## 5.2: Ένα τυπικό σύστημα ηλιακού κλιματισμού

Μεταξύ των διάφορων θερμικών εφαρμογών της ηλιακής ενέργειας, ο κλιματισμός είναι μια από τις πιο σύνθετες, τόσο στη σύλληψη όσο και στην κατασκευή. Αυτός είναι κι ένας από τους λόγους για τους οποίους η χρησιμοποίησή του δεν είναι τόσο διαδεδομένη όσο η θέρμανση του νερού, καθώς δεν είναι εύκολο να συλλεχθεί, να αποθηκευτεί, και να διανεμηθεί η ηλιακή θερμότητα. Η ενέργεια πρέπει να μετατραπεί σε κρύο με τη βοήθεια μιας συσκευής ικανής να αποσπά θερμότητα σε χαμηλή θερμοκρασία από το σύστημα και να την εξάγει στην υψηλότερη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα. Με θερμοδυναμικούς όρους, απαιτείται μια λειτουργία άντλησης θερμότητας.

Ένα σχηματικό διάγραμμα ενός πλήρους ηλιακού συστήματος κλιματισμού παρουσιάζεται στην Εικόνα 60. Παρουσιάζει τα διαφορετικά συστατικά τα οποία είναι κοινά στα περισσότερα τέτοια συστήματα.



**Εικόνα 60:** Σχηματική απεικόνιση ενός συστήματος ηλιακού κλιματισμού

(Πηγή: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com))

Ένα ρευστό μεταφοράς θερμότητας θερμαίνεται στους ηλιακούς συλλέκτες σε μια θερμοκρασία αρκετά παραπάνω από του περιβάλλοντος και χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει μια κλιματιστική συσκευή – ένα τύπο αντλίας θερμότητας. Το ρευστό μεταφοράς θερμότητας μπορεί να είναι αέρας, νερό, ή ένα άλλο ρευστό. Μπορεί να αποθηκευτεί, παραμένοντας ζεστό για χρήση κατά τη διάρκεια των ημερών χωρίς ηλιοφάνεια. Η αποσπώμενη θερμότητα από τη διαδικασία του κλιματισμού και από την ηλιακή ενέργεια απορρίπτεται στο περιβάλλον χρησιμοποιώντας αέρα περιβάλλοντος ή νερό από έναν πύργο ψύξης.

Η κλιματιστική συσκευή μπορεί να παραγάγει το φαινόμενο του κλιματισμού σε διάφορους διαφορετικούς τρόπους. Μπορεί να παράγει κρύο νερό που μπορεί να διανεμηθεί μέσω μονάδων ανεμιστήρων ή να χρησιμοποιηθεί για να δροσίσει τον αέρα, ο οποίος έπειτα διανέμεται μέσω των αεραγωγών. Το κρύο νερό μπορεί να αποθηκευτεί για χρήση, ακόμα κι όταν δεν είναι η κλιματιστική συσκευή σε λειτουργία. Εναλλακτικά, η μηχανή μπορεί να δροσίσει τον αέρα απευθείας.





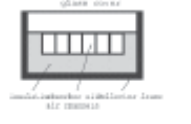
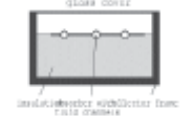
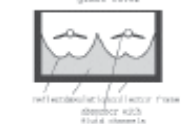
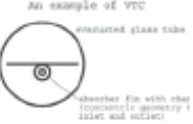
Οι ηλιακοί συλλέκτες αποτελούν σημαντικό μέρος κάθε ηλιακού συστήματος ψύξης, καθότι μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα μιας θερμοκρασίας κατάλληλης για την τροφοδότηση της κλιματιστικής συσκευής. Οι συλλέκτες ποικίλλουν στον τύπο από τα χαμηλής θερμοκρασίας επίπεδα πιάτα στους περιπλοκότερους υψηλής θερμοκρασίας σωλήνες κενού ή τους συγκεντρωτικούς συλλέκτες. Στα συστήματα ηλιακού κλιματισμού, η διαφορά στη λειτουργία των ηλιακών συλλεκτών σε σχέση με τα ηλιακά συστήματα ζεστού νερού χρήσης είναι το υψηλό επίπεδο θερμοκρασίας, στο οποίο πρέπει να παρασχεθεί η χρήσιμη θερμότητα. Για τους θερμοκίνητους ψύκτες η θερμοκρασία αναγέννησης είναι συνήθως άνω των 80°C με ελάχιστη τιμή 60°C. Για τα συστήματα ψύξης DEC (desiccant), η θερμοκρασία αναγέννησης είναι από 55°C ως και 90°C. Λόγω των υψηλών παροχών στο κύκλωμα θέρμανσης, η ιδανική στρωμάτωση στην αποθήκευση ζεστού νερού είναι δύσκολο να επιτευχθεί και έτσι η θερμοκρασία επιστροφής στον ηλιακό συλλέκτη είναι σχετικά υψηλή. Αυτό προκαλεί μερικούς περιορισμούς στην επιλογή του τύπου συλλεκτών.

Συνεπώς, οι τυποποιημένοι επίπεδοι συλλέκτες και οι ηλιακοί συλλέκτες αέρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με μέγιστο όφελος στα συστήματα DEC. Στις διατάξεις που χρησιμοποιούν ψύκτη προσρόφησης ή απορρόφησης μονής βαθμίδας, η χρήση επίπεδων συλλεκτών επιλεκτικής επιφάνειας περιορίζεται σε περιοχές με υψηλή ηλιακή ακτινοβολία. Για τις άλλες περιοχές και για ψύκτες που απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες αναγέννησης, χρησιμοποιούνται συλλέκτες υψηλής απόδοσης, π.χ. συλλέκτες σωλήνων κενού. Από τα σταθερά συστήματα συλλεκτών, οι υψηλότερες θερμοκρασίες μπορούν να επιτευχθούν με συλλέκτες σωλήνων κενού, χρησιμοποιώντας οπτική συγκέντρωση. Αυτή αποτελεί ενδιαφέρουσα επιλογή για τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού που χρησιμοποιούν υψηλής απόδοσης ψύκτες απορρόφησης (διπλής βαθμίδας).

Οι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες που διατίθενται στην αγορά παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 9. Τα συστήματα υψηλών θερμοκρασιών όπως οι παραβολικοί συλλέκτες με σύστημα παρακολούθησης του ηλίου δε λαμβάνονται υπόψη.

Η αυξανόμενη ζήτηση για τον κλιματισμό τα τελευταία έτη, ιδιαίτερα στα καυτά και υγρά κλίματα, έχουν επιβάλει μια σημαντική

αύξηση της ζήτησης για τους τις πρωταρχικές πηγές ενέργειας. Σε αυτά τα πλαίσια και ιδιαίτερα τις καυτές θερινές ημέρες βρισκόμαστε όλο και πιο συχνά σε καταστάσεις, όπου η ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια υπερσκελίζει αυτή της παραγωγής, φτάνοντας έτσι σε μια διαδικασία ελεγχόμενων ή μη διακοπών ρεύματος για να μπορέσει το σύστημα να λειτουργήσει. Με την κατάλληλη τεχνολογία, ο ηλιακός κλιματισμός μπορεί να βοηθήσει, να ανακουφίσει (και γιατί όχι;) να αποβάλει αυτό το πρόβλημα.

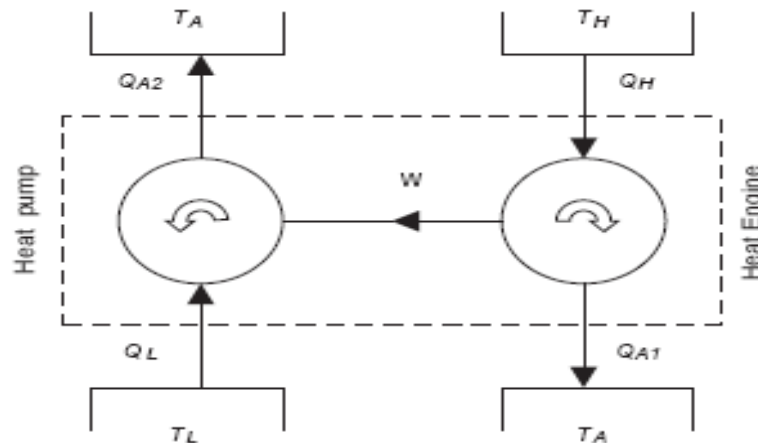
Τύπος συλλεκτών	Ηλιακός συλλέκτης αέρα	Επίπεδος συλλέκτης	Σταθερός παραβολικός σύνθετος συλλέκτης	Συλλέκτης Σωλήνων Κενού
Σύντμηση	(Solar Air Collector) SAC	(Flat-Plate Collector) FPC	(Stationary Parabolic Compound Collector) CPC	Evacuated Tube Collector ETC: 1. Evacuated Tube with Heat Pipe EHP (με σωλήνα θερμότητας) 2. Evacuated Tube with Direct Flow EDF (απ'ευθείας ροής) 3. Sydney-type Evacuated Tube with Concentrator Reflector SYC (τύπος Sydney με συγκεντρωτικό ανακλαστήρα)
				
				
Αρχή λειτουργίας	Άμεση θέρμανση του αέρα	Θέρμανση υγρού (νερό, νερό-γλυκόλη) Συγκέντρωση ακτινοβολίας χωρίς παρακολούθηση	Θέρμανση υγρού (νερό, νερό-γλυκόλη)	Γυάλινος σωλήνας κενού για μείωση των θερμικών απωλειών
Κύρια εφαρμογή	Προθέρμανση του αέρα προσαγωγής	Παραγωγή ζεστού νερού χρήσης	Παραγωγή ζεστού νερού οικιακής και βιομηχανικής χρήσης	Παραγωγή ζεστού νερού οικιακής και βιομηχανικής χρήσης
Κύρια εφαρμογή στον ηλιακό κλιματισμό	Ανοικτά συστήματα ψύξης, π.χ. συστήματα ψύξης DEC	Συστήματα ψύξης DEC θερμοκίνητοι ψύκτες μιας βαθμίδας	Θερμοκίνητοι ψύκτες μιας βαθμίδας	Θερμοκίνητοι ψύκτες μιας βαθμίδας θερμοκίνητοι ψύκτες διπλής βαθμίδας (SYC)

**Πίνακας 9:** Τύποι ηλιακών συλλεκτών που χρησιμοποιούνται στον ηλιακό κλιματισμό  
(Πηγή: Σεμινάριο ηλιακού κλιματισμού, ΚΑΠΕ)

### 5.3: Θερμοδυναμικές αρχές

Σε σχέση με τις διάφορες επιλογές για τα συστήματα άντλησης θερμότητας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον ηλιακό κλιματισμό, πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας τις θερμοδυναμικές αρχές μιας τροφοδοτούμενης με θερμότητα κλιματιστικής συσκευής. Χαρακτηριστικά, το σύστημα λειτουργεί μεταξύ των δεξαμενών θερμότητας σε τρία επίπεδα θερμοκρασιών:  $T_L$ , η χαμηλή

θερμοκρασία του ψυχόμενου μέσου, η  $T_H$ , η υψηλή θερμοκρασία που παρέχεται από την πηγή ηλιακής θερμότητας και η  $T_A$ , η ενδιάμεση θερμοκρασία του περιβάλλοντος που χρησιμεύει ως ένας «νεροχύτης» για την απόρριψη θερμότητας. Η συσκευή κλιματισμού μπορεί να περιγραφεί με βασικούς θερμοδυναμικούς όρους ως συνδυασμός μιας μηχανής θερμότητας και μιας αντλίας θερμότητας, όπως απεικονίζεται και στην Εικόνα 61.



**Εικόνα 61:** Θερμοδυναμική περιγραφή μιας τροφοδοτούμενης με θερμότητα κλιματιστικής συσκευής (Πηγή: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com))

Η πρώτη λαμβάνει θερμότητα  $Q_H$  από την υψηλή (ηλιακή) δεξαμενή θερμότητας  $T_H$ , απορρίπτοντας ένα μέρος της θερμότητας στο «νεροχύτη»  $T_A$ , και μετατρέπει το υπόλοιπο σε μηχανικό έργο  $W$ . Η δεύτερη δέχεται το έργο της αντλίας θερμότητας  $Q_L$  από τη χαμηλής θερμοκρασίας δεξαμενή  $T_L$  στο «νεροχύτη»  $T_A$ . Σύμφωνα με το δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής, τα καλύτερα αποτελέσματα αυτής της μηχανής επιτυγχάνονται όταν και οι δύο κυκλικές συσκευές είναι αντιστρέψιμες και λειτουργούσες στο όριο Carnot. Υπό αυτές τις βέλτιστες συνθήκες, ο θερμικός συντελεστής της απόδοσης (COP) της συσκευής υπολογίζεται ως:

$$\text{COP} = \frac{Q_L}{Q_H} = \frac{T_L (T_H - T_A)}{T_H (T_A - T_L)} \quad (5.1)$$

Όπως συμπεραίνουμε από την εξίσωση (5.1), η απόδοση ενός θερμοκίνητου ψύκτη είναι ιδιαίτερα εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία της πηγής θερμότητας, με τα καλύτερα αποτελέσματα να επιτυγχάνονται με την υψηλότερη  $T_H$ . Ο τύπος ηλιακού συλλέκτη που χρησιμοποιείται για να παρέχει τη θερμότητα επιβάλλει έναν περιορισμό στον COP. Έτσι, με τους κοινούς επίπεδους συλλέκτες, η θερμότητα λαμβάνεται σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες. Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες φθάνουν στις υψηλότερες θερμοκρασίες αλλά είναι ακριβότεροι και πιο σύνθετοι να λειτουργήσουν λόγω της ανάγκης τους να «ακολουθούν» τον ήλιο. Ένα άλλο συμπέρασμα από την εξίσωση (5.1) είναι ότι η απόδοση βελτιώνεται με την πτώση

της απορριπτόμενης θερμότητας θερμοκρασίας  $T_A$ . Από αυτήν την σκοπιά, η απόρριψη θερμότητας με την υδρόψυξη προτιμάται από αυτήν με την αερόψυξη.

## 5.4: Συστήματα κλειστού κύκλου

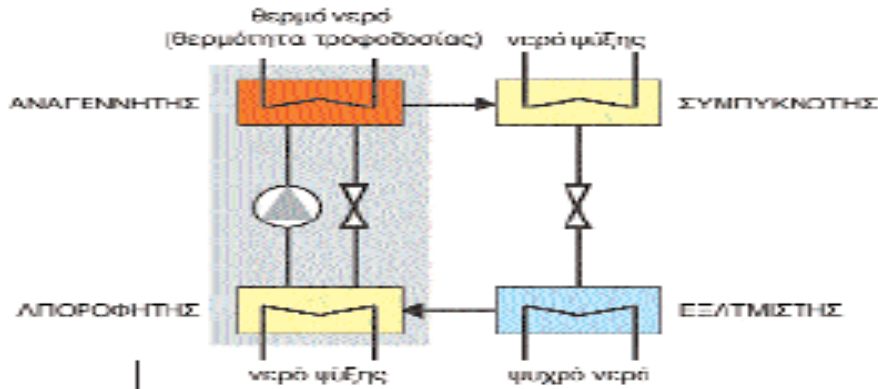
Μετά από τη ενεργειακή κρίση της δεκαετίας του '70, που είχε ως αποτέλεσμα να στραφεί το ενδιαφέρον περισσότερων ερευνητών στην ηλιακή ενέργεια, έχουν υπάρξει διάφορες προσπάθειες να κατασκευαστούν ηλιακά συστήματα ψύξης με τη βοήθεια μιας μηχανής ηλιακής θερμότητας που οδηγεί μια αντλία θερμότητας. Οι πρώτες ποίκιλαν από μηχανές Stirling έως μηχανές Rankine που χρησιμοποιούν τα οργανικά ρευστά, ενώ οι τελευταίες ήταν συμβατικές κλιματιστικές συσκευές συμπίεσης ατμού με κοινά ψυκτικά. Αυτές οι προσπάθειες γενικά δεν υπερέβησαν τις εργαστηριακές δοκιμές.

Η εμπειρία έχει δείξει ότι τα καταλληλότερα για την ηλιακή ψύξη συστήματα κλειστού κύκλου είναι βασισμένα στους κύκλους απορρόφησης (ψύκτες απορρόφησης), οι οποίοι εξαλείφουν τη μηχανική αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο μερών της μηχανής.

### 5.4.1: Οι ψύκτες απορρόφησης

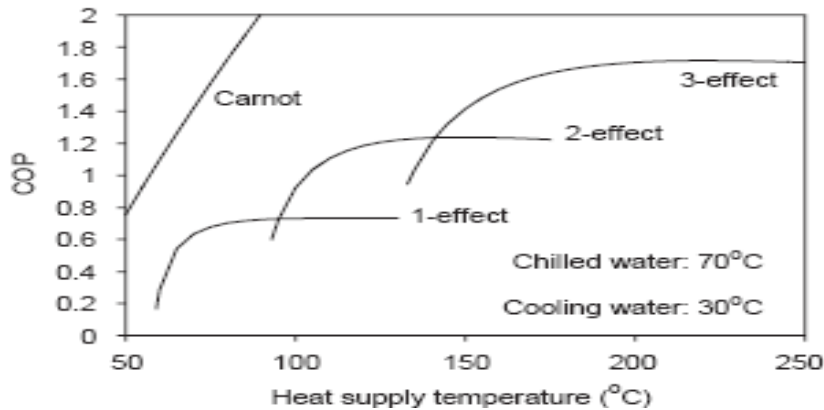
Οι **ψύκτες απορρόφησης** είναι οι πιο διαδεδομένοι ψύκτες παγκοσμίως. Η θερμική συμπίεση του ψυκτικού μέσου επιτυγχάνεται με τη χρήση υγρού διαλύματος ψυκτικού μέσου/ροφητικού υλικού και πηγή θερμότητας, αντικαθιστώντας με αυτόν τον τρόπο την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ενός μηχανικού συμπιεστή. Για ψυχρό νερό άνω των  $0^{\circ}\text{C}$ , όπως απαιτείται στον κλιματισμό, τυπικά χρησιμοποιείται ένα υγρό διάλυμα  $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$ , με το νερό ως ψυκτικό μέσο. Τα περισσότερα συστήματα χρησιμοποιούν εσωτερική αντλία για το διάλυμα, καταναλώνοντας όμως μικρή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Στη λειτουργία του ψύκτη απορρόφησης  $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$ , η κρυστάλλωση του διαλύματος πρέπει να αποφευχθεί με εσωτερικό έλεγχο της θερμοκρασίας απόρριψης θερμότητας στην μηχανή.

Η ψύξη βασίζεται στην εξάτμιση του ψυκτικού μέσου (νερό) στον εξατμιστή σε πολύ χαμηλές πιέσεις. Το ατμοποιημένο ψυκτικό μέσο απορροφάται στον απορροφητή, αραιώνοντας το διάλυμα  $\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$  (για να καταστεί η διαδικασία απορρόφησης αποδοτική, απαιτείται ψύξη σε αυτό το στάδιο της διεργασίας). Το διάλυμα αντλείται συνεχώς στον αναγεννητή (γεννήτρια ατμού), όπου επιτυγχάνεται η αναγέννηση του διαλύματος χρησιμοποιώντας θερμότητα (θερμότητα αναγέννησης/τροφοδοσίας), π.χ. ζεστό νερό από ηλιακά. Το ψυκτικό μέσο στη συνέχεια, συμπυκνώνεται στο συμπυκνωτή και κυκλοφορεί με τη βοήθεια μιας στραγγαλιστικής/εκτονωτικής βαλβίδας πάλι στον εξατμιστή.



**Εικόνα 62:** Σχηματική απεικόνιση ενός ψύκτη απορρόφησης (Πηγή: Σεμινάριο ηλιακού κλιματισμού, ΚΑΠΕ)

Η ονομαστική ψυκτική ικανότητα των ψυκτών απορρόφησης είναι της τάξης αρκετών εκατοντάδων kW. Τροφοδοτούνται κυρίως μέσω κεντρικής θέρμανσης, απορριπτόμενης θερμότητας ή θερμότητας συμπαραγωγής. Η απαιτούμενη θερμοκρασία της θερμικής πηγής είναι συνήθως πάνω από 80°C για τις μηχανές μονής βαθμίδας ενώ ο COP είναι της τάξης του 0,6 έως 0,8. Μηχανές διπλής βαθμίδας με δύο στάδια συμπίεσης, απαιτούν θερμοκρασία άνω των 140°C, αλλά ο COP μπορεί να πετύχει τιμές μέχρι και 1,2 και οι μηχανές τριπλής βαθμίδας που είναι ακόμα υπό ανάπτυξη, αλλά κοντά στην αγορά, περίπου 1,7.



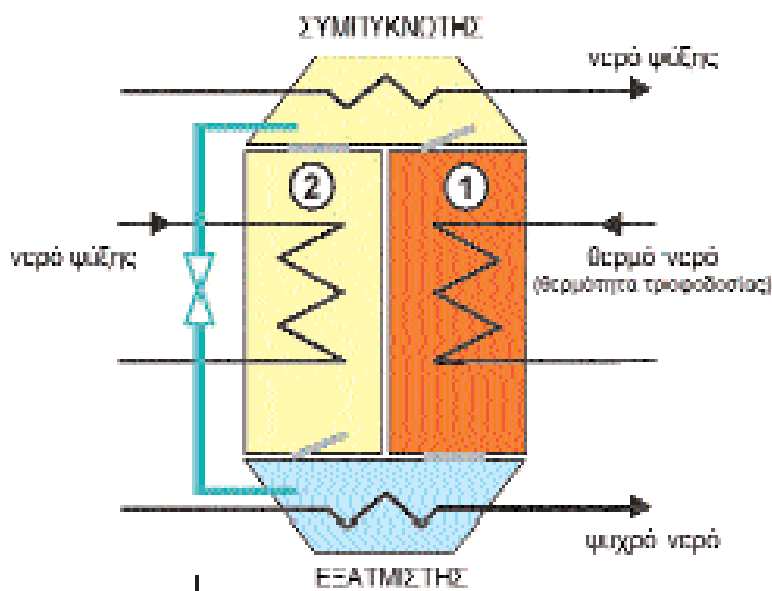
**Εικόνα 63:** Ο COP σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία ανεφοδιασμού ηλιακής θερμότητας για μονής, διπλής, και τριπλής βαθμίδας ψύκτες απορρόφησης LiBr/νερού (Πηγή: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com))

#### 5.4.2: Οι ψύκτες προσρόφησης

Εκτός, όμως από τους ψύκτες απορρόφησης, χρησιμοποιούνται και οι ψύκτες προσρόφησης. Στην περίπτωση των **ψυκτών προσρόφησης**, αντί υγρού διαλύματος χρησιμοποιούνται στερεά πώδη ροφητικά υλικά. Τα διαθέσιμα στην αγορά συστήματα

χρησιμοποιούν νερό ως ψυκτικό μέσο και silica gel ως ροφητικό υλικό.

Οι ψύκτες αποτελούνται από δύο χώρους ροφητικού υλικού (που αναφέρονται ως 1 και 2 στην παρακάτω Εικόνα 64), έναν εξατμιστή κι ένα συμπυκνωτή. Ενώ το ροφητικό υλικό στο πρώτο διαμέρισμα αναγεννάται χρησιμοποιώντας ζεστό νερό από εξωτερική πηγή θερμότητας, π.χ. τον ηλιακό συλλέκτη, το ροφητικό υλικό στο διαμέρισμα 2 (προσροφητικό υλικό) προσροφά τους υδρατμούς που εισάγονται από τον εξατμιστή. Αυτός ο χώρος πρέπει να ψυχθεί προκειμένου να επιτραπεί συνεχής προσρόφηση. Το νερό στον εξατμιστή περνά στην αέρια φάση, θερμαινόμενο από το εξωτερικό κύκλωμα νερού. Στην πραγματικότητα, εδώ παράγεται η χρήσιμη ψυκτική ισχύς. Εάν η ψυκτική ικανότητα μειωθεί σε μια ορισμένη τιμή λόγω της πλήρωσης του ροφητικού υλικού στον προσροφητή, οι θάλαμοι αντιστρέφουν τη λειτουργία τους. Μέχρι σήμερα, μόνο κάποιοι Ασιάτες κατασκευαστές παράγουν ψύκτες προσρόφησης.



**Εικόνα 64:** Σχηματικό διάγραμμα ενός ψύκτη προσρόφησης  
(Πηγή: Σεμινάριο ηλιακού κλιματισμού, ΚΑΠΕ)

Υπό τυπικές συνθήκες λειτουργίας με θερμοκρασία αναγέννησης περίπου  $80^{\circ}\text{C}$ , τα συστήματα επιτυγχάνουν COP περίπου 0,6, αλλά είναι αδύνατον να λειτουργήσουν ακόμη και σε θερμοκρασίες αναγέννησης της τάξης των  $60^{\circ}\text{C}$ . Η ψυκτική τους ικανότητα κυμαίνεται από 50 έως 500 kW.

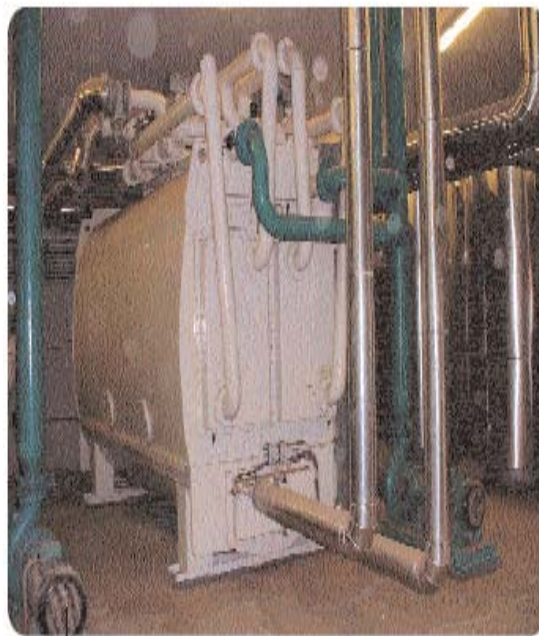
Δεν υπάρχει περιορισμός στη θερμοκρασία απόρριψης θερμότητας, καθώς δεν υφίσταται κανένας κίνδυνος κρυστάλλωσης. Δεν υπάρχει εσωτερική αντλία διαλύματος και ως εκ τούτου η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται είναι ελάχιστη. Μειονεκτήματα αυτού του τύπου των ψυκτών είναι ο συγκριτικά μεγάλος όγκος και το βάρος τους. Επιπλέον, λόγω του μικρού



αριθμού παραγομένων μονάδων, η τιμή των ψυκτών προσρόφησης παραμένει υψηλή. Υπάρχει, όμως, μεγάλη δυνατότητα, στις επόμενες γενιές των ψυκτών προσρόφησης, για βελτίωση των εναλλακτών θερμότητας στα διαμερίσματα προσροφητών και κατά συνέπεια αναμένεται αξιοσημείωτη μείωση του όγκου και του βάρους τους.



(α)



(β)

**Εικόνα 65:** (α) Ψύκτης απορρόφησης ψυκτικής ισχύος 125 kW  
Ξενοδοχείο Belroy Palace στην Ισπανία (Πηγή: ESIF)

(β) Ψύκτης προσρόφησης ψυκτικής ισχύος 350 kW  
Βιομηχανία ΣΑΡΑΝΤΗΣ ΑΕ  
(Πηγή: Σεμινάριο ηλιακού κλιματισμού, ΚΑΠΕ)

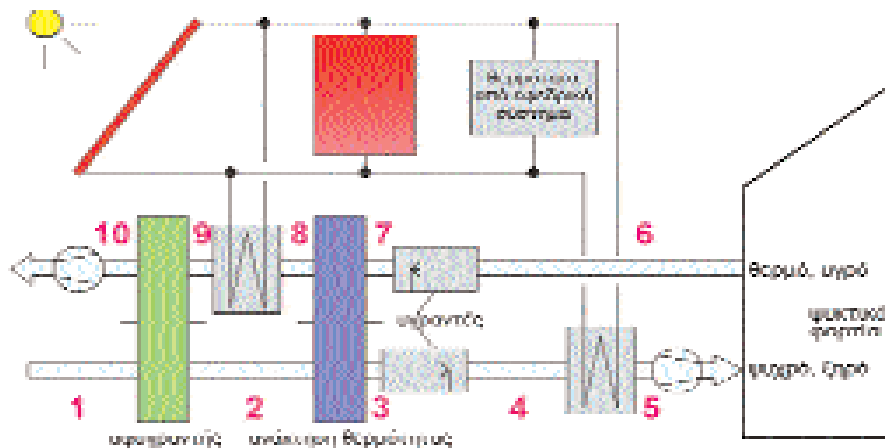
## 5.5: Συστήματα ανοικτού κύκλου

Τα συστήματα ψύξης ανοικτού κύκλου (desiccant) χρησιμοποιούν νερό ως ψυκτικό μέσο, σε άμεση επαφή με τον αέρα. Ο θερμοκίνητος ψυκτικός κύκλος είναι συνδυασμός εξατμιστικής ψύξης με αφύγρανση αέρα μέσω ξηραντικού/αφυγραντικού υλικού, δηλαδή υγροσκοπικού υλικού. Για το σκοπό αυτό, μπορούν να χρησιμοποιηθούν υγρά ή στερεά υλικά. Ο όρος «ανοικτός» χρησιμοποιείται για να δείξει ότι το ψυκτικό μέσο απορρίπτεται από το σύστημα αφού παράσχει την ψύξη και νέα ποσότητα ψυκτικού μέσου εισάγεται, μέσω ενός ανοιχτού βρόγχου. Επομένως, μόνο το νερό είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ως ψυκτικό μέσο, δεδομένου ότι υπάρχει άμεση επαφή με την ατμόσφαιρα. Η διαδεδομένη τεχνολογία που εφαρμόζεται σήμερα χρησιμοποιεί περιστρεφόμενους τροχούς αφυγραντικού υλικού, εφοδιασμένους είτε με silica gel, είτε με χλωριούχο λίθιο ως ροφητικό υλικό.



### 5.5.1: Ψύξη στερεού μέσου ανοικτού κύκλου με περιστρεφόμενους τροχούς

Τα βασικά μέρη ενός συστήματος ηλιακής ψύξης DEC, παρουσιάζονται στην παρακάτω Εικόνα 66. Η βασική διαδικασία παροχής κλιματιζόμενου αέρα μπορεί να περιγραφεί ως εξής:



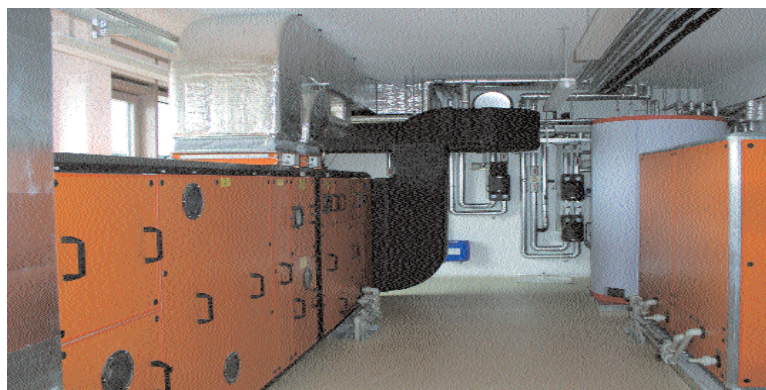
**Εικόνα 66:** Σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος ψύξης DEC  
(Πηγή: Σεμινάριο ηλιακού κλιματισμού, ΚΑΠΕ)

- **Περίπτωση ψύξης:** Ο θερμός και υγρός νωπός αέρας (1) εισάγεται στον αργά περιστρεφόμενο τροχό αφύγρανσης και αφυδατώνεται με την προσρόφηση της υγρασίας (1-2). Δεδομένου ότι ο αέρας θερμαίνεται από τη θερμότητα προσρόφησης, οδηγείται στον τροχό ανάκτησης θερμότητας (2-3), με συνέπεια να επιτυγχάνεται σημαντική πρόψυξη του ρεύματος νωπού αέρα. Στη συνέχεια, ο αέρας υγραίνεται και ψύχεται περαιτέρω από έναν ελεγχόμενο υγραντή (3-4), σύμφωνα με την επιθυμητή θερμοκρασία και υγρασία του αέρα παροχής. Το ρεύμα αέρα απόρριψης υγραίνεται (6-7) κοντά στο σημείο κορεσμού του για να εκμεταλλευτεί την μέγιστη δυνατότητα ψύξης, προκειμένου να επιτευχθεί μια αποδοτική ανάκτηση θερμότητας (7-8). Τέλος, το ροφητικό υλικό του τροχού πρέπει να αναγεννηθεί (9-10) με τη χρήση θερμότητας σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες (της τάξης των 50 - 75°C), επιτρέποντας έτσι συνεχή λειτουργία αφύγρανσης.
- **Περίπτωση θέρμανσης:** Σε περιόδους με χαμηλές απαιτήσεις σε θέρμανση, μπορεί να αρκεί ανάκτηση θερμότητας από το ρεύμα αέρα απόρριψης και ανταλλαγή ενθαλπίας χρησιμοποιώντας έναν τρόπο ταχείας περιστροφής του τροχού αφύγρανσης. Σε περίπτωση αυξημένης ζήτησης σε θέρμανση, διοχετεύεται θερμότητα από τους θερμικούς ηλιακούς συλλέκτες και, εάν είναι απαραίτητο, από μια εφεδρική πηγή θερμότητας (4-5). Επίπεδοι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες μπορούν να εφαρμοστούν ως πηγή θέρμανσης στα συστήματα

ηλιακής ψύξης DEC. Το ηλιακό σύστημα μπορεί να αποτελείται από συλλέκτες υγρού και δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού, για καλύτερη εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Αυτή η διάταξη απαιτεί πρόσθετο εναλλάκτη θερμότητας νερού/αέρα (8-9), για να συνδεθεί το ηλιακό σύστημα με το σύστημα αέρα. Μια εναλλακτική λύση, που οδηγεί σε χαμηλότερο πάγιο κόστος, είναι η άμεση τροφοδότηση της θερμότητας αναγέννησης από ηλιακούς συλλέκτες αέρα. Σε περιπτώσεις ακραίων συνθηκών όπως π.χ. σε παράκτιες περιοχές της Μεσογείου, απαιτείται ειδικός σχεδιασμός του τροχού αφύγρανσης. Εδώ, λόγω της υψηλής υγρασίας του περιβαλλοντικού αέρα, μια τυποποιημένη διάταξη του ψυκτικού κύκλου αφύγρανσης δεν είναι ικανή να μειώσει την υγρασία σε επίπεδο αρκετά χαμηλό, ώστε να επιτρέψει τη χρήση άμεσης εξατμιστικής ψύξης. Πιο σύνθετες διατάξεις κεντρικών κλιματιστικών μονάδων DEC, που χρησιμοποιούν για παράδειγμα διαφορετικό τροχό ενθαλπίας ή πρόσθετους ψύκτες αέρος τροφοδοτούμενους με ψυχρό νερό, μπορούν να δώσουν λύση σε τέτοιου είδους προβλήματα.





### 5.5.2: Ψύξη υγρού μέσου ανοικτού κύκλου

Μια νέα καινοτομική προσέγγιση, είναι τα συστήματα ψύξης DEC που χρησιμοποιούν υγρό διάλυμα νερού/χλωριούχου λιθίου ως υλικό ρόφησης. Αυτός ο τύπος συστημάτων παρουσιάζει διάφορα πλεονεκτήματα όπως υψηλότερα ποσοστά αφύγρανσης αέρα στις ίδιες θερμοκρασίες αναγέννησης σε σχέση με τα συστήματα ψύξης DEC στερεού μέσου, και δυνατότητα υψηλής ενεργειακής αποθήκευσης με αποθήκευση μάζας του συμπυκνωμένου διαλύματος. Η τεχνολογία αυτή αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη επιλογή για περαιτέρω αύξηση της εκμετάλλευσης των θερμικών ηλιακών συστημάτων κλιματισμού.



**Εικόνα 67:** Σύστημα ψύξης υγρού μέσου DEC σε κτίριο στο Freiburg (Πηγή: Σεμινάριο ηλιακού κλιματισμού, ΚΑΠΕ)

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα Πίνακας επισκόπησης των πιο κοινών τεχνολογιών ηλιακού κλιματισμού.

Μέθοδος	Κλειστού Κύκλου		Ανοικτού Κύκλου	
Ψυκτικός κύκλος	Κλειστός ψυκτικός κύκλος		Ψυκτικό μέσο (νερό) είναι σε επαφή με τον αέρα	
Αρχή	Ψυχρό νερό υπό εξάτμιση		Αφύγρανση του αέρα και ψύξη με εξάτμιση	
Φάση υλικού ρόφησης	Στερεό	Υγρό	Στερεό	Υγρό
				
Τυπικά ζεύγη υλικών	νερό - silica gel	νερό - βρωμιούχο λίθιο αμμωνία - νερό	νερό - silica gel νερό - χλωριούχο ασβέστιο	νερό - χλωριούχο ασβέστιο, νερό - χλωριούχο λίθιο
Τεχνολογία διαθέσιμη στην αγορά	Ψύκτης προσρόφησης	Ψύκτης απορρόφησης	DEC	Κοντά στην εισαγωγή στην αγορά
Τυπική ψυκτική ικανότητα (kW)	50 - 430 kW	15 kW - 5 MW	20 kW - 350 kW (ανά μονάδα)	
Τυπικό COP	0,5 - 0,7	0,6 - 0,75 (απλής βαθμίδας)	0,5 - > 1	> 1
Θερμοκρασία αναγέννησης	60 - 90 °C	80 - 110 °C	45 - 95 °C	45 - 70 °C
Ηλιακοί συλλέκτες	Συλλέκτες κενού, επίπεδοι συλλέκτες	Συλλέκτες κενού, επίπεδοι συλλέκτες	Επίπεδοι συλλέκτες, συλλέκτες αέρος	Επίπεδοι συλλέκτες, συλλέκτες αέρος

**Πίνακας 10:** Επισκόπηση τεχνολογιών ηλιακού κλιματισμού  
(Πηγή: Σεμινάριο ηλιακού κλιματισμού, ΚΑΠΕ)

## 5.6: Παραδείγματα καλής εφαρμογής ηλιακού κλιματισμού στην Ελλάδα

Αν και οι εγκαταστάσεις ηλιακού κλιματισμού στην Ελλάδα είναι ελάχιστες, υπάρχουν παραδείγματα αρκετά ικανοποιητικής λειτουργίας συστημάτων ηλιακού κλιματισμού. Στην παρούσα εργασία θα αρκεστούμε στην περιγραφή δύο περιπτώσεων. Της αποθήκης καλλυντικών ΣΑΡΑΝΤΗΣ ΑΕ στα Οινόφυτα Βοιωτίας και στο Ξενοδοχείο Rethimno Village στο Ρέθυμνο.

### 5.6.1: ΣΑΡΑΝΤΗΣ Α.Ε.

Το έργο λέγεται «ΦΩΤΟΝΙΟ» και αφορά στην εγκατάσταση κεντρικού συστήματος κλιματισμού κάνοντας χρήση ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση ή την ψύξη των νέων κτιρίων και αποθηκών καλλυντικών της επιχείρησης Σαράντης Α.Ε.. Ο κλιματιζόμενος χώρος είναι 22.000 m<sup>2</sup> (130.000 m<sup>3</sup>). Το πεδίο ηλιακών επιλεκτικών συλλεκτών συνολικής έκτασης 2.700 m<sup>2</sup> κατασκευάστηκε εξολοκλήρου στην Ελλάδα από τη SOLE Α.Ε..

Το συνολικό κόστος επένδυσης ανήλθε στα 1.305.943 Ευρώ, 50% από το οποίο χρηματοδοτήθηκε από το Εθνικό Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας (ΕΠΕ) (του Ελληνικού Υπουργείου Ανάπτυξης). Στο έργο έχει απονεμηθεί το βραβείο "Energy Globe Award 2001" σαν η Τρίτη καλύτερη επένδυση για τη βιώσιμη

ενέργεια στον κόσμο, στο έτος 2001 και έχει βραβευθεί από το ΚΑΠΕ ως η καλύτερη επένδυση για εξοικονόμηση ενέργειας στην Ελλάδα για το έτος 1999.

Οι συνολικές ανάγκες ψύξης του κτιρίου είναι περίπου 2.700.000 kWh ετησίως. Οι ηλιακοί συλλέκτες παρέχουν ζεστό νερό θερμοκρασίας 70-75 °C σε δύο ψύκτες προσρόφησης και λειτουργούν με συντελεστή απόδοσης 60%. Οι δύο ψύκτες προσρόφησης χρησιμοποιούν το ζεστό νερό ως πηγή ενέργειας και παράγουν ψυχρό νερό θερμοκρασίας 8-10 °C. Οι ψύκτες προσρόφησης δεν χρειάζονται κινούμενα εξαρτήματα και χρησιμοποιούν ελάχιστη ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία των αντλιών κενού (1,5kW). Η χρήσιμη ψυκτική ισχύς είναι 350kW για κάθε έναν και 700kW για το σύνολο. Για την κάλυψη του φορτίου αιχμής, έχουν εγκατασταθεί τρεις συμβατικοί ηλεκτρικοί ψύκτες 350kW ο καθένας. Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου οι ηλιακοί συλλέκτες συχνά παράγουν ζεστό νερό 55°C, το οποίο κυκλοφορεί άμεσα στις τοπικές κλιματιστικές μονάδες (fan coils) του κτιρίου. Οι συμβατικοί λέβητες επικουρούν τον τομέα συλλεκτών σε περίπτωση συννεφιάς. Το ψυχρό νερό (κατά τη θερινή περίοδο) και το ζεστό νερό (κατά τη χειμερινή περίοδο) κατευθύνονται στην τοπική μονάδα κλιματισμού όπου ψύχουν ή θερμαίνουν αντίστοιχα τον αέρα περιβάλλοντος.

#### **Τεχνικά αποτελέσματα έργου:**

**Περίοδος αναφοράς:** 12 μήνες

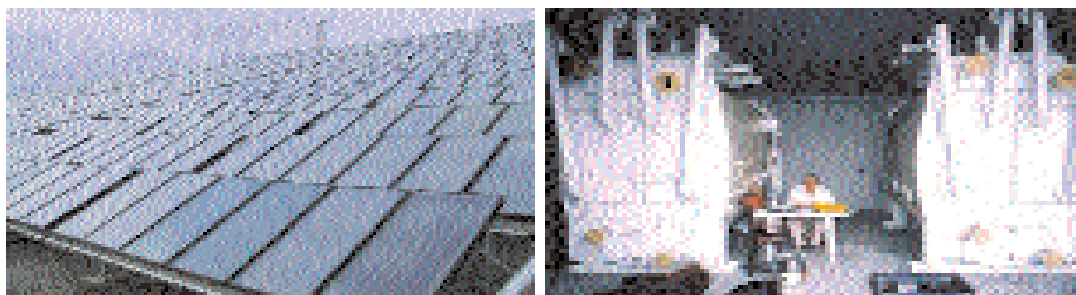
**Παραγωγή ενέργειας από το ηλιακό σύστημα:** 1.719MWh,

**Ψύξη:** 1.090 MWh, **Θέρμανση:** 629MWh,

**Συνολικό Ενεργειακό Φορτίο:** 614 MWh,

**Ηλιακή κάλυψη:** 66%

**Μείωση CO<sub>2</sub>:** 5.125 tn/έτος.



**Εικόνα 68:** Οι ηλιακοί συλλέκτες και οι ψυκτικές μηχανές στο εργοστάσιο ΣΑΡΑΝΤΗΣ Α.Ε. στα Οινόφυτα  
(Πηγή: Σεμινάριο ηλιακού κλιματισμού, ΚΑΠΕ)

#### **5.6.2: Rethimno Village Hotel**

Το Rethimno Village Hotel βρίσκεται στο Ρέθυμνο της Κρήτης, στη νότια Ελλάδα. Είναι τουριστικό συγκρότημα χωρητικότητας 170 κλινών και έχει πληρότητα 100% το καλοκαίρι και 45% το χειμώνα. Η εγκατάσταση χρησιμοποιεί επίπεδους συλλέκτες (επιλεκτικής

επιφάνειας, 448 m<sup>2</sup>) για τον κεντρικό κλιματισμό (ψύξη και θέρμανση) και επίσης συλλέκτες πολυπροπυλενίου 199 m<sup>2</sup> που τροφοδοτούν ζεστό νερό για τη θέρμανση της πισίνας. Ο σχεδιασμός, η προμήθεια και η εγκατάσταση αυτού του συστήματος έγιναν από τη SOLE A.E..

Η συνολική κλιματιζόμενη επιφάνεια είναι 3.000 m<sup>2</sup>, ενώ το συνολικό πάγιο κόστος είναι 264.123 Ευρώ. Το έργο επιχορηγήθηκε 50% από το Εθνικό Επιχειρησιακό Πρόγραμμα για την Ενέργεια. Στο πρόγραμμα έχει απονεμηθεί από το ΚΑΠΕ βραβείο ως η καλύτερη επένδυση εξοικονόμησης ενέργειας για το έτος 2000.

Οι ηλιακοί συλλέκτες τροφοδοτούν ένα ψύκτη απορρόφησης με ζεστό νερό θερμοκρασίας 70-75 °C που λειτουργεί με συντελεστή απόδοσης 60%. Ο ψύκτης απορρόφησης χρησιμοποιεί το ζεστό νερό ως πηγή ενέργειας και παράγει ψυχρό νερό θερμοκρασίας 8-10°C. Το μέσο ψύξης είναι επίσης νερό (αντί του φρέοντος ή της αμμωνίας). Ο ψύκτης απορρόφησης χρησιμοποιεί ελάχιστη ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία της αντλίας κενού (0,5 kW). Η ισχύς του είναι 105 kW. Ένας λέβητας (φυσικού αερίου) 600 kW αντικαθιστά τους συλλέκτες όταν υπάρχει συννεφιά ή όποτε υπάρχει ανάγκη για κλιματισμό κατά τη διάρκεια της νύχτας. Κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου οι ηλιακοί συλλέκτες παράγουν ζεστό νερό 55°C, το οποίο κυκλοφορεί άμεσα στις τοπικές κλιματιστικές μονάδες. Ο ίδιος λέβητας αντικαθιστά τους συλλέκτες σε περίπτωση συννεφιάς. Το ψυχρό νερό (κατά τη θερινή περίοδο) και το ζεστό νερό (κατά τη χειμερινή περίοδο) κατευθύνεται στην τοπική μονάδα κλιματισμού όπου ψύχουν ή θερμαίνουν τον αέρα περιβάλλοντος.

#### **Τεχνικά αποτελέσματα έργου:**

**Περίοδος αναφοράς:** 12 μήνες

**Παραγωγή ενέργειας από το ηλιακό σύστημα:** 651 MWh

**Συνολικό ενεργειακό φορτίο:** 1.498 MWh

**Ηλιακή κάλυψη:** 43%

**Εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας:** 651 MWh.

**Μείωση της παραγωγής CO<sub>2</sub>:** 1.095 kg.



**Εικόνα 69:** Οι ηλιακοί συλλέκτες στο Rethimno Village Hotel  
(Πηγή: Σεμινάριο ηλιακού κλιματισμού, ΚΑΠΕ)

Όνομα	Τόπος	Τυπολογία κτιρίου	Ισχύς (kWc)	Τεχνολογία	Τύπος συλλέκτη	Συλλεκτική επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	Έτος εκκίνησης	Ετήσια ηλιακή απόδοση	Ενεργειακό φορτίο	Μείωση kg CO <sub>2</sub> /έτος
Σαράντης ΑΕ	Οινόφυτα, Βοιωτία	Αποθήκη ετοιμών βιομηχανίας καλλυντικών	700	Προσρόφηση	Επιλεκτικής βαφής επίπεδος	2.700	1999	1.283 MWh 49% ηλιακή κάλυψη	2.614 MWh	5.124.596
Αμερικάνικο Κολλέγιο περίοδος αναφοράς: 1έτος	Αθήνα, Αττική	Εκπαιδευτικό κτίριο	168	Απορρόφηση	Σωλήνες κενού	(net) 615	1984	-----	-----	2,4 ΤΠΠ/περίοδο θέρμανσης 5.400 kWh καθαρή ηλεκτ. Ενέργεια ανά περίοδο θέρμανσης
			7	Θερμοσυμπίεση ατμών	Σωλήνες κενού	(net) 30	1988	-----	-----	4.860 kWh <sub>el</sub> and 1,2 toe (July 1988-July 1990)
Κέντρο Ερευνών Δημόκριτος	Αθήνα, Αττική	Εργαστήριο Ηλιακών	35,2	Απορρόφηση	Επιλεκτικής βαφής επίπεδος	160	2003	-----	-----	Στοιχεία μη διαθέσιμα
Λεντζάκης ΑΕ	Ρέθυμνο, Κρήτη	Ξενοδοχείο	105	Απορρόφηση	Επιλεκτικής βαφής επίπεδος	448	2002	576 MWh ηλιακή κάλυψη: 57.5%	1.1001 MWh	1.070.361
Αφοί Κουτρουλή (Rethymno Village)	Ρέθυμνο, Κρήτη	Ξενοδοχείο	105	Απορρόφηση	Επιλεκτικής βαφής επίπεδος	450	2000	651 MWh ηλιακή κάλυψη: 61%	1.067 MWh	1.094.972

**Πίνακας 11:** Υπάρχουσες εφαρμογές SAC στην Ελλάδα (Πηγή: [www.tuc.gr](http://www.tuc.gr))

## 5.7: Δυνατότητες εφαρμογών SAC στο Μεσογειακό χώρο

Οι ακόλουθοι τομείς παρουσιάζουν εξαιρετικό ενδιαφέρον για εφαρμογές SAC:

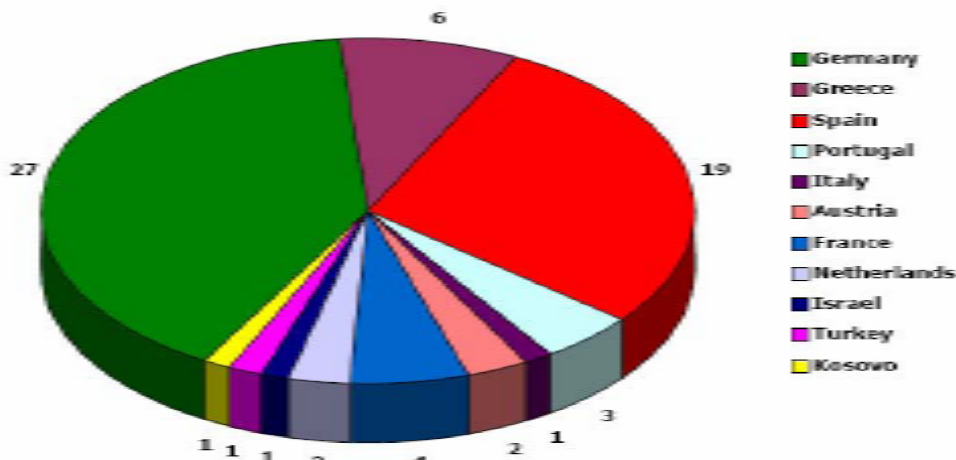
- **Βιομηχανίες:** Η ηλιακή ψύξη είναι ιδιαίτερα συμβατή με τις ανάγκες για φίλο - περιβαλλοντικό προφίλ των επιχειρήσεων. Σε μια πρώτη προσπάθεια προώθησης ηλιακών συστημάτων ψύξης, οι βιομηχανίες θα μπορούσαν να γίνουν ο κυριότερος χρήστης - στόχος. Στις βιομηχανίες το ηλιακό σύστημα δεν θα προκαλέσει υψηλό κόστος, λόγω του ότι οι μεγάλες επιφάνειες που απαιτούνται για την εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών είναι εύκολα διαθέσιμες. Η εγκατάσταση του ηλιακού κλιματισμού θα μειώσει τα peak του ηλεκτρικού φορτίου, που είναι σημαντικό καθ' όλη τη διάρκεια του έτους, εφόσον το ηλιακό σύστημα ψύξης λειτουργεί αδιάλειπτα.
- **Κτίρια γραφείων:** Η εφαρμογή αυτή είναι ευρέως γνωστή δεδομένου ότι σχεδόν 60 ηλιακά συστήματα ψύξης έχουν εγκατασταθεί σε Ευρωπαϊκά κτίρια μέχρι σήμερα. Τα δημόσια κτίρια γραφείων θα μπορούσαν να ωφεληθούν από υψηλές επιχορηγήσεις για ηλιακό κλιματισμό. Το φορτίο δροσισμού αντιστοιχεί αρκετά καλά στην ηλιακή παραγωγή, εντούτοις οι



σχεδιαστές πρέπει να λάβουν υπόψη τις διακοπές κατά τη διάρκεια Ιουλίου ή και Αύγουστου, καθιστώντας την επένδυση σε ηλιακό κλιματισμό οικονομικά λιγότερο ελκυστική. Στο μέλλον, αυτά τα κτήρια θα δώσουν πιθανές εφαρμογές σε συνδυασμό με τεχνικές βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής.

- **Ξενοδοχεία:** Στην περιοχή της Μεσογείου η κατανάλωση ενέργειας των συστημάτων κλιματισμού στα ξενοδοχεία, αποτελεί το 45-55% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, ανάλογα με την τυπολογία κτιρίου, μεγέθους φορτίων και δόμησης κατασκευής. Η υψηλή κατανάλωση ενέργειας για κλιματισμό στα ξενοδοχεία και το υψηλό επίπεδο της ηλιακής ακτινοβολίας στις μεσογειακές χώρες θεωρούνται ως ουσιαστικά ευνοϊκοί όροι για τη διείσδυση των ηλιακών τεχνολογιών ψύξης στον τομέα του τουρισμού. όπως είναι προφανές η αιχμή του φορτίου εμφανίζεται ταυτόχρονα με την αιχμή της ηλιακής ακτινοβολίας. Επιπλέον, μετά από την εγκατάσταση SAC τα ξενοδοχεία θα γίνονται ελκυστικότερα στο αυξανόμενο μερίδιο του περιβαλλοντικά ευαίσθητου τουρισμού.

Δημόσια κτίρια, νοσοκομεία, αθλητικά κέντρα έχουν επίσης σημαντικές δυνατότητες για εφαρμογή συστημάτων SAC.



**Εικόνα 70:** Κατανομή των έργων ηλιακού κλιματισμού στην Ευρώπη (Πηγή: [www.tuc.gr](http://www.tuc.gr))

## 5.8: Οικονομική αξιολόγηση των SAC

Τα περισσότερα, από τα μέχρι σήμερα, υλοποιημένα προγράμματα είναι ερευνητικά και επιδεικτικά και απαιτήθηκαν επιπρόσθετες ενέργειες κατά τον προγραμματισμό και τον σχεδιασμό τους. Η εφαρμογή ενός συστήματος ηλιακού κλιματισμού απαιτεί καλύτερη τεχνική κατάρτιση σε σύγκριση με την εφαρμογή ενός συμβατικού κλιματιστικού. Αυτό προκύπτει αφ' ενός από την πρόσθετη θερμική ηλιακή εγκατάσταση, και αφετέρου από τις αυξημένες τεχνικές απαιτήσεις των διατάξεων επανάψυξης (re-



cooling). Επίσης, το κόστος μέρους του εξοπλισμού είναι ακόμα υψηλό, αφού η παραγωγή των ειδικών εξαρτημάτων, όπως π.χ. οι ψύκτες προσρόφησης, απέχουν ακόμη πολύ από το επίπεδο της βιομηχανικής παραγωγής μεγάλης κλίμακας. Συνοψίζοντας, οι πάγιες δαπάνες των συστημάτων αυτών είναι αρκετά πιο υψηλές από τις αντίστοιχες των συμβατικών. Αυτό ισχύει σε μικρότερο βαθμό για τα συστήματα ψύξης DEC καθώς το κόστος για το σύστημα εξαερισμού υπολογίζεται στο ηλιακό αλλά και στο συμβατικό σύστημα. Το επιπλέον κόστος των συλλεκτών αντισταθμίζεται μερικά από την απουσία ψύκτη, στις συμβατικές διατάξεις.

Από την άλλη, το λειτουργικό κόστος ενός συστήματος ηλιακού κλιματισμού αναμένεται να είναι αρκετά πιο χαμηλό από το αντίστοιχο ενός συμβατικού. Αυτό ισχύει όταν σε συγκεκριμένο κτίριο η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αιχμής προκαλείται από συμβατικό ψύκτη συμπίεσης και εφ' όσον υπάρχει ειδική χρέωση για τέτοιου είδους καταναλώσεις.

Αν και μια οικονομική αξιολόγηση με πιο μεγάλη ακρίβεια ενός συστήματος ηλιακού κλιματισμού εξαρτάται κάθε φορά από τη συγκεκριμένη περίπτωση, γενικά το ετήσιο κόστος, (δηλαδή το πλήρες κόστος συμπεριλαμβανομένου του ανηγμένου αρχικού κεφαλαίου, του λειτουργικού κόστους, του κόστους συντήρησης κλπ.) ενός συστήματος ηλιακού κλιματισμού παραμένει υψηλότερο από το αντίστοιχο κόστος ενός συμβατικού.

Για τα συστήματα ψύξης DEC, αναμένεται ότι με σχετικά χαμηλή μείωση στο κόστος των εξαρτημάτων (σχεδόν μέσα στα πλαίσια των διαπραγματεύσεων με τους διανομείς), αυτοί οι τύποι συστημάτων ηλιακού κλιματισμού μπορούν να είναι οικονομικά ανταγωνιστικοί με τα αντίστοιχα συστήματα σε ορισμένες εφαρμογές (π.χ. λήψη 100% νωπού αέρα).

Τα συστήματα που χρησιμοποιούν θερμοκίνητους ψύκτες απαιτούν βελτίωση της οικονομικής απόδοσής τους. Αναμένονται αξιοσημείωτες μειώσεις του κόστους των ψυκτών προσρόφησης και των συλλεκτών κενού, παράλληλα όμως απαιτούνται ενέργειες για την αύξηση της απόδοσής (COP) τους. Η αυξανόμενη εμπειρία και κατάρτιση όλων των παραγόντων της αγοράς των θερμοκίνητων συστημάτων ψύξης (κατασκευαστές, σχεδιαστές, εγκαταστάτες κ.λπ.) ενδέχεται να οδηγήσει σε περαιτέρω μείωση του κόστους τους. Λαμβάνοντας υπόψη λοιπόν, τα παραπάνω, τα συστήματα μπορούν βαθμιαία να φτάσουν σε κόστη κοντά σε αυτά των συμβατικών. Πάντα όμως πλεονεκτούν στην εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας, συμβάλλοντας έτσι στην επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων.

## **5.9: Συμπεράσματα**

Αν και υπάρχει μια μεγάλη δυνητική αγορά τα διαθέσιμα συστήματα ηλιακής ψύξης δεν είναι άμεσα ανταγωνιστικά, σε

οικονομικό επίπεδο, με τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού, κυρίως λόγω του υψηλού πάγιου κόστους τους και των χαμηλών τιμών των συμβατικών καυσίμων. Η μείωση του κόστους των επιμέρους εξαρτημάτων (ηλιακοί συλλέκτες, ψύκτες, κλπ.) με παράλληλη βελτίωση της απόδοσής τους, θα αλλάξει εντυπωσιακά την κατάσταση, έστω κι αν είναι ακόμα δύσκολο να προβλεφθεί η χρονική στιγμή που αυτές οι ηλιακές τεχνολογίες θα είναι ανταγωνιστικές.

Η σύγκριση μιας ηλιακής τεχνολογίας με κάποια συμβατική μπορεί να γίνει μόνο αν τα περιβαλλοντικά και κοινωνικά κόστη (με εξωτερικά κόστη, κόστη διανομής και έμμεσα κόστη) συμπεριλαμβάνονται σε κάθε περίπτωση. Επιπλέον, πρέπει να ληφθεί υπόψη η αδυναμία πρόβλεψης της τιμής των συμβατικών καυσίμων για μεγάλη χρονική περίοδο. Γενικά, για τις τεχνολογίες εκμετάλλευσης ηλιακής ενέργειας μπορούμε να διακρίνουμε ότι:

- το κόστος τους μειώνεται καθώς εισάγονται στη μαζική παραγωγή
- είναι ήδη τεχνικά ώριμες για να ικανοποιήσουν τις καταναλωτικές ανάγκες
- είναι φιλικότερες προς το περιβάλλον σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω κρίνεται αναγκαία η ύπαρξη επενδυτικών κι άλλων κινήτρων, καθώς σε πολλές χώρες οι διαθέσιμες επιχορηγήσεις καθιστούν την επένδυση ελκυστικότερη.

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6**

## **ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗ (ADSORPTION)**

## 6.1: Ορισμός – Εισαγωγή

**Προσρόφηση** είναι η συσσώρευση των ατόμων ή των μορίων στην επιφάνεια ενός υλικού. Αυτή η διαδικασία δημιουργεί ένα φιλμ της προσροφημένης ουσίας (τα μόρια ή τα άτομα που συσσωρεύονται) στην επιφάνεια του προσροφητικού υλικού. Συμβαίνει, δηλαδή, η συσσώρευση διαλυμένων μορίων στη διεπιφάνεια, συνήθως στερεού - υγρού και στερεού - αερίου, με αποτέλεσμα την κατανομή των μορίων μεταξύ στερεού και ρευστού. Για να αυξηθεί η συσσώρευση της διαλυμένης ουσίας ανά μονάδα επιφάνειας ροφητικού υλικού χρησιμοποιούνται πορώδη υλικά με μεγάλη εσωτερική επιφάνεια.

Η προσρόφηση είναι παρούσα σε πολλά φυσικά, βιολογικά, και χημικά συστήματα, και χρησιμοποιείται ευρέως στις βιομηχανικές εφαρμογές όπως ο ενεργοποιημένος ξυλάνθρακας, οι συνθετικές ρητίνες, και ο καθαρισμός νερού.

Στην περίπτωση που η προσρόφηση οφείλεται στις ελκτικές μοριακές δυνάμεις Van der Waals ονομάζεται φυσική προσρόφηση (physisorption), χαρακτηρίζεται από χαμηλή ενέργεια και παρατηρείται περισσότερο στις χαμηλές θερμοκρασίες. Στην φυσική προσρόφηση τα προσροφούμενα μόρια κινούνται ελεύθερα στην επιφάνεια του προσροφητικού υλικού χωρίς κάποιο συγκεκριμένο σημείο συγκράτησής τους και η συγκράτηση είναι αντιστρεπτή. Στην περίπτωση που δημιουργείται χημικός δεσμός μεταξύ των μορίων της προσροφούμενης ουσίας και της επιφάνειας προσρόφησης, τότε συμβαίνει η χημική προσρόφηση (chemisorption), που χαρακτηρίζεται από υψηλή ενέργεια, παρατηρείται στις υψηλές θερμοκρασίες και είναι μη αντιστρεπτή. Η φυσική προσρόφηση είναι κατάλληλη για διεργασίες αναγέννησης, ενώ η χημική προσρόφηση καταστρέφει τη χωρητικότητα του ροφητικού υλικού. Οι κυριότερες διαφορές μεταξύ φυσικής και χημικής προσρόφησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 12.

Παράμετρος	Φυσιο-ρόφηση	Χημειο-ρόφηση
Θερμότητα ρόφησης ( $\Delta H$ )	Μικρή <10 Kcal/mol	Μεγάλη >100 Kcal/mol
Εκλεκτικότητα	Μη εκλεκτική	Εξαιρετικά εκλεκτική
Φύση της ροφημένης φάσης	Μονο/πολυ-στιβαδιακή/	Μονοστιβαδιακή
Επίδραση θερμοκρασίας	Σημαντική σε χαμηλές	Σημαντική
Δυνάμεις ρόφησης	Μη μεταφορά ηλεκτρονίων	Μεταφορά ηλεκτρονίων
Αντιστρεψιμότητα	Μη ενεργοποιημένη /αντιστρέψιμη	Ενεργοποιημένη /μη αντιστρέψιμη

**Πίνακας 12:** Διαφορές φυσικής και χημικής προσρόφησης  
(Πηγή: Encyclopedia of Separation Technology, Vol. 1, 1997)

Η προσρόφηση μορίων μπορεί να παρασταθεί ως μια χημική αντίδραση:



όπου A το προσρόφημα, B το προσροφητικό υλικό (προσροφητής) και AB η ένωση προσρόφησης.

Εάν η προσρόφηση είναι αντιστρεπτή, όπως είναι η προσρόφηση πολλών ουσιών από τον ενεργό άνθρακα, τα μόρια των διαλυμένων ουσιών συνεχίζουν να συγκεντρώνονται στην επιφάνεια, έως ότου η ταχύτητα της αντίδρασης προσρόφησης εξισωθεί με την ταχύτητα της αντίστροφης αντίδρασης εκρόφησης (desorption), οπότε επέρχεται κατάσταση δυναμικής ισορροπίας. Σε σταθερές συνθήκες, παραπέρα αύξηση της συγκέντρωσης της προσροφούμενης ουσίας στην επιφάνεια του προσροφητικού ή μείωση της συγκέντρωσης του διαλύματος δεν συμβαίνει.

Η προσρόφηση είναι παρούσα σε πολλά φυσικά, βιολογικά, και χημικά συστήματα, και χρησιμοποιείται ευρέως στις βιομηχανικές εφαρμογές όπως ο ενεργοποιημένος ξυλάνθρακας, οι συνθετικές ρητίνες, και ο καθαρισμός νερού.

## 6.2: Ιστορικά στοιχεία

Η διαδικασία της προσρόφησης ήταν γνωστή από τις βιβλικές εποχές και εμφανιζόταν στη χρήση στερεών υλικών για την απομάκρυνση ουσιών από αέρια ή υγρή φάση. Χρησιμοποιήθηκε από τους πρώτους αιώνες κιόλας προσροφητικός άνθρακας κοκάλων για τον αποχρωματισμό της ζάχαρης, ενώ έχουμε χρήση και κατά τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο όπου ενεργός άνθρακας τοποθετήθηκε στο πεδίο της μάχης για την απομάκρυνση των χημικών αερίων.

Στα πρώτα χρόνια του 19<sup>ου</sup> αιώνα η ψύξη με προσρόφηση ήταν ιδιαίτερα δημοφιλής, αργότερα με την ανακάλυψη των φθινών ηλεκτρικών μηχανικών συμπιεστών που μετά από την μαζική παραγωγή τους έγιναν ιδιαίτερα ελκυστικοί η τεχνολογία αφέθηκε ως ξεπερασμένη. Στο παραπάνω βοήθησε και πάρα πολύ η ανακάλυψη των χλωροφθορανθράκων (CFCs) γύρω στο 1930. Οι μηχανές ρόφησης (sorption) βέβαια έχουν πατενταριστεί και βρίσκονται στην βιβλιογραφία από το 1909 και εμπορικά διατέθηκαν το 1920. Πρώτη φορά από τον Miller έχουμε μια έρευνα πάνω στο θέμα της προσρόφησης με σκοπό την ψύξη με ζεύγος πηκτώματος πυριτίου/διοξειδίου του θείου (silica gel/sulfur dioxide) ως προσροφητή/προσροφούμενου.

Το ενδιαφέρον για τα συστήματα προσρόφησης άρχισε να αυξάνει, ξανά κατά την διάρκεια της πετρελαϊκής κρίσης την δεκαετία του 70 όπου και οδήγησε σε ένα ενδιαφέρον για την έλλειψη ενέργειας και αργότερα την δεκαετία του 90 εξαιτίας των οικολογικών προβλημάτων που συνδέθηκαν με την χρήση CFCs και HCFCs. Τέτοια ψυκτικά όταν ελευθερώνονταν στην ατμόσφαιρα κατέστρεφαν το όζον και συνεισφέρονε στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Ακόμα με την αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης παγκοσμίως έγινε ακόμα πιο επιτακτική σήμερα η ανάγκη τέλειαις και σωστής διαχείρισης των ενεργειακών αποθεμάτων, όπως και η

αξιοποίηση των πράσινων πηγών ενέργειας. Ως εκ τούτου μηχανές που μπορούν να ανακτήσουν πηγές θερμότητας πολύ χαμηλού επιπέδου, όπως οι μηχανές προσρόφησης μπορούν να αποτελέσουν ενδιαφέρουσα εναλλακτική για μια σοφότερη ενεργειακή διαχείριση.

### **6.3: Βασικές αρχές προσρόφησης**

Η διαδικασία της προσρόφησης γίνεται σε τέσσερα στάδια:

1. μεταφορά στη μάζα του υγρού
2. μεταφορά με διάχυση στο επιφανειακό στρώμα
3. μεταφορά στους πόρους
4. προσρόφηση

Η μεταφορά στη μάζα του υγρού, είναι η μετακίνηση της οργανικής ύλης που επρόκειτο να προσροφηθεί μέσω της μάζας του υγρού στο επιφανειακό στρώμα του υγρού. Η μεταφορά με διάχυση στο επιφανειακό στρώμα αφορά τη μεταφορά με διάχυση της οργανικής ύλης μέσω του σταθερού επιφανειακού στρώματος του υγρού στην είσοδο των πόρων του προσροφητικού υλικού. Η μεταφορά στους πόρους αφορά την μεταφορά της οργανικής ύλης που πρόκειται να προσροφηθεί μέσω των πόρων με συνδυασμό μοριακής διάχυσης μέσω του υγρού των πόρων και/ή από διάχυση κατά μήκος της επιφάνειας του προσροφητικού υλικού. Η προσρόφηση αφορά την επαφή του υλικού που πρόκειται να προσροφηθεί με το προσροφητικό υλικό. Μπορεί να γίνει στην εξωτερική επιφάνεια του προσροφητικού υλικού και στην εσωτερική επιφάνεια των πόρων, στους μακροπόρους, στους μεσοπόρους, στους μικροπόρους και στους υπομικροπόρους. Οι προσροφητικές δυνάμεις είναι: φορτία ανόμοιων ηλεκτροστατικών δυνάμεων, σημειακά φορτία, αλληλεπιδράσεις διπόλου - διπόλου, σημειακά φορτία ουδέτερων ειδών, δυνάμεις London ή Van der Waals, ομοιοπολικοί δεσμοί και δεσμοί υδρογόνου.

Το πιο αργό στάδιο αναφέρεται ως βαθμός περιορισμού. Αν η φυσική προσρόφηση είναι η κύρια μέθοδος προσρόφησης, ένα από τα στάδια μεταφοράς με διάχυση θα είναι αυτό που θα ρυθμίζει το βαθμό μεταφοράς, γιατί η φυσική προσρόφηση είναι γρήγορη. Επίσης η φυσική προσρόφηση στην εξωτερική επιφάνεια ενός σωματιδίου βασίζεται στις δυνάμεις Van der Waals. Η χημική προσρόφηση χαρακτηρίζεται από το σχηματισμό χημικών δεσμών μεταξύ των ιόντων ή των μορίων του διαλύματος και της επιφάνειας των σωματιδίων. Τέλος, η προσρόφηση που βασίζεται στην ανταλλαγή ιόντων είναι μία χημική διεργασία, στην οποία το θετικό ή αρνητικό φορτίο της επιφάνειας των σωματιδίων εξουδετερώνεται από ιόντα ετερόνυμου φορτίου.

## 6.4: Τα προσροφητικά υλικά

### 6.4.1: Χαρακτηριστικά και γενικές απαιτήσεις

Τα προσροφητικά υλικά χρησιμοποιούνται συνήθως υπό μορφή σφαιρικών σβόλων, ράβδων ή μονόλιθων με υδροδυναμικές διαμέτρους μεταξύ 0,5 και 10 χιλιοστών. Πρέπει να έχουν υψηλή αντίσταση τριβής, υψηλή θερμική σταθερότητα και μικρές διαμέτρους πόρων, τα οποία οδηγούν στην υψηλότερη εκτεθειμένη περιοχή επιφάνειας και ως εκ τούτου υψηλή ικανότητα επιφάνειας για την προσρόφηση. Οι προσροφητές πρέπει επίσης να έχουν μια ευδιάκριτη δομή πόρων που επιτρέπει τη γρήγορη μεταφορά των αεριοδών ατμών.

Οι περισσότεροι βιομηχανικοί προσροφητές χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- Ενώσεις που περιέχουν οξυγόνο. Είναι υδρόφιλες και πολικές. Σε αυτές περιλαμβάνονται υλικά όπως το πήκτωμα πυριτίου και οι ζεόλιθοι.
- Ενώσεις βασισμένες στον άνθρακα. Είναι υδροφοβικές και μη πολικές. Σε αυτές περιλαμβάνονται υλικά όπως ο ενεργός άνθρακας και ο γραφίτης.
- Ενώσεις βασισμένες στα πολυμερή. Είναι πολικές ή μη πολικές λειτουργικές ομάδες σε μια πορώδη πολυμερή μήτρα.

Παρακάτω θα αναπτύξουμε τα τρία κυριότερα είδη προσροφητών, δηλαδή το ζεόλιθο, το silica gel και τον ενεργό άνθρακα.

### 6.4.2: Ο ζεόλιθος

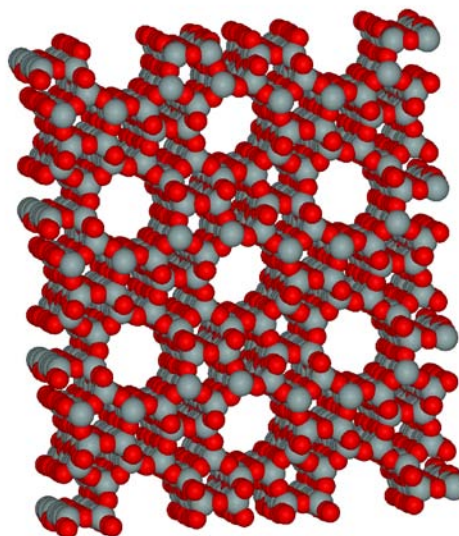
Οι φυσικοί ζεόλιθοι ανήκουν στα λεγόμενα βιομηχανικά ορυκτά. Χρησιμοποιούνται στη φυσική τους μορφή, ή μετά από εμπλουτισμό, είτε σαν πρώτες ύλες είτε σαν πρόσθετα σε μεγάλη ποικιλία εφαρμογών. Σημειώνεται ότι τα βιομηχανικά ορυκτά συνήθως είναι μίγματα ορυκτών και σπάνια είναι καθαρά ορυκτά. Στη φύση βρίσκονται περίπου 40 - 50 τύποι ζεόλιθων οι οποίοι είναι μικρο - πορώδη ένυδρα αργιλοπυριτικά ορυκτά (aluminium silicates). Οι κρύσταλλοι των ζεόλιθων έχουν ανοικτή δομή στην οποία μπορεί να προσδεθεί ένα εύρος από ιόντα όπως  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  και άλλα. Το όνομά τους προκύπτει από τα αρχαία Ελληνικά, από τα συνθετικά Ζέω = βράζω και Λίθος = πέτρα. Αυτό διότι όταν θερμαίνεται χάνει άμεσα όλο το νερό του υπό μορφή φυσαλίδων ή ατμών, δίνοντας έτσι την εντύπωση ότι βράζει. Ο όρος εισήχθη για πρώτη φορά το 18ο αιώνα από το Σουηδό μεταλλειολόγο Axel Fredrik Cronstedt, ο οποίος πρώτος παρατήρησε το φαινόμενο αυτό. Στα Βαλκάνια πλούσια σε κοιτάσματα ζεόλιθου είναι η Βουλγαρία και αρκετές περιοχές της Βόρειας Ελλάδας και των Κυκλάδων. Δεδομένου ότι τα κατιόντα των ζεόλιθων  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  είναι γενικά προσδεμένα σε αυτούς με χαλαρούς δεσμούς και μπορούν



εύκολα να αντικαθίστανται από άλλα όταν έρχονται σε επαφή με τα διαλύματα τους, η κύρια ιδιότητα των ζεόλιθων είναι η μεγάλη τους ιοντοανταλλακτική ικανότητα και λόγω αυτής, μπορεί να φιλτράρουν π.χ. το νερό δεσμεύοντας μέταλλα και οργανικές ενώσεις.



(α)



(β)

**Εικόνα 71:** (α) Ένας τύπος ζεόλιθου (Πηγή: <http://wikipedia.org>)

(β) Η μικροπορική μοριακή δομή ενός τύπου ζεόλιθου

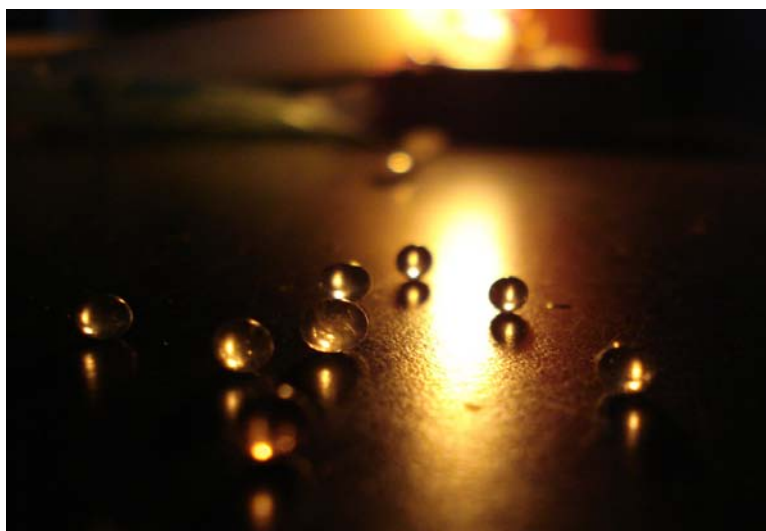
(Πηγή: <http://wikipedia.org>)

### 6.4.3: Το silica gel

Το silica gel είναι μια κοκκώδης, πορώδης κρυσταλλική μορφή οξειδίου του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ). Παρά το όνομα "gel" (δηλ. "ζελέ") είναι ένα στερεό, το οποίο παρουσιάζει εξαιτίας της πορώδους μορφής του πολύ υψηλό λόγο επιφάνειας προς μάζα, ο οποίος υπολογίζεται μέχρι και  $800 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ . Εξαιτίας αυτής της ιδιότητας απορροφάει το νερό εύκολα, και έτσι μπορεί να λειτουργεί ως αφυγραντικό με εξαιρετικές ιδιότητες για την προσρόφηση υγρασίας από τον περιβάλλοντα αέρα. Η ύπαρξη του υλικού αυτού και των ιδιοτήτων του είχε καταγραφεί ήδη από τον 17ο αιώνα ως επιστημονικό παράδοξο. Χρησιμοποιήθηκε στον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο για την απορρόφηση των δηλητηριωδών ατμών και αερίων στις μάσκες χημικού πολέμου.

Η συνθετική του παρασκευή κατοχυρώθηκε από τον καθηγητή Walter A. Patrick στο πανεπιστήμιο Johns Hopkins στη Βαλτιμόρη του Maryland το 1919. Το silica gel παράγεται σήμερα πρακτικά μόνο συνθετικά συνήθως σε μορφή μικρών σφαιριδίων με γενικά ακανόνιστη εξωτερική επιφάνεια. Στην καθημερινή πράξη το silica gel χρησιμοποιείται ως απορροφητής της υγρασίας και για αυτό το σκοπό τοποθετείται στο εσωτερικό της συσκευασίας προϊόντων ή εξαρτημάτων (κυρίως ηλεκτρονικών κυκλωμάτων) ευπαθών σε υγρασία, σε ικανές ποσότητες μέσα σε διαπερατούς από τον αέρα πλαστικούς φακέλους (κατασκευασμένους από συνθετικό ύφασμα).

Το silica gel χρησιμοποιείται επίσης για να ξηράνει τον αέρα στα βιομηχανικά συστήματα συμπιεσμένου αέρα. Ο αέρας από την έξοδο των συμπιεστών διατρέχει μια πλάκα καλυμμένη με silica gel το οποίο προσροφά την υγρασία από τον αέρα, αποτρέποντας ζημιές στα όργανα που χρησιμοποιούν τον συμπιεσμένο αέρα λόγω της συμπύκνωσης ή της υγρασίας. Επίσης το silica gel χρησιμοποιείται αρκετές φορές για τον έλεγχο της σχετικής υγρασίας στον εσωτερικό χώρο ενός μουσείου ή μιας βιβλιοθήκης. Αφού έχει απορροφήσει υγρασία, το silica gel μπορεί να αναγεννηθεί με θέρμανση σε 120° - 150° C για τουλάχιστον τρεις ώρες. Το silica gel ως υλικό δεν είναι τοξικό, ούτε εύφλεκτο και γενικά είναι χημικά αδρανές. Παρόλα αυτά, συνηθίζεται να εμποτίζεται με μάλλον τοξικές χημικές προσμίξεις, οι οποίες λειτουργούν ως δείκτες ποσοστού προσρόφησης υγρασίας. Ένας συνήθης τέτοιος δείκτης σε ποσοστό 2% κ.μ. είναι το χλωριούχο κοβάλτιο (cobalt(II)chloride). Χωρίς προσροφηθείσα υγρασία το silica gel με χλωριούχο κοβάλτιο, έχει το χαρακτηριστικό μπλε χρώμα των αλάτων του κοβαλτίου, με προσροφηθείσα υγρασία το silica gel με χλωριούχο κοβάλτιο, παίρνει ροζ χρώμα.



**Εικόνα 72:** Χάντρες από silica gel  
(Πηγή: <http://wikipedia.org>)

#### **6.4.4: Ο ενεργός άνθρακας**

Ο ενεργός άνθρακας είναι μια ιδιαίτερα πορώδης, άμορφη στερεά ουσία απαρτιζόμενη από μικροκρυστάλλους με ένα δικτυωτό πλέγμα από γραφίτη. Συνήθως φτιάχνεται σε μικρούς σβόλους ή σε σκόνη. Είναι μη πολικό και φτηνό. Ένα από τα κύρια μειονεκτήματά του είναι ότι είναι εύφλεκτος. Ένα γραμμάριο ενεργού άνθρακα μπορεί να «έχει» μια περιοχή επιφάνειας παραπάνω από 500 μ<sup>2</sup>, με 1500 μ<sup>2</sup> όντας εύκολα επιτεύξιμο.

Ο ενεργός άνθρακας παράγεται από διάφορες ανθρακούχες πρώτες ύλες, όπως ανθρακίτη, πετρελαϊκό κωκ, βιτουμένιο, τύρφη και ξύλο, με κατεργασία που περιλαμβάνει δύο στάδια:

**α)** Την απανθράκωση, δηλαδή θέρμανση σε κατάλληλη θερμοκρασία (<700 °C), με απουσία αέρα, για την απομάκρυνση των περιεχόμενων οργανικών ενώσεων, και

**β)** Την ενεργοποίηση ή οξειδωση, δηλαδή την ταυτόχρονη θέρμανση (800 – 900 °C) και επίδραση οξειδωτικών αερίων (υδρατμών και CO<sub>2</sub>), για την ανάπτυξη της πορώδους δομής του.

Ο ενεργός άνθρακας χρησιμοποιείται σε δύο μορφές:

**α)** Ως κοκκώδης ενεργός άνθρακας (GAC), σε στρώματα σταθερά και ρευστοποιημένα.

**β)** Ως σκόνη ενεργού άνθρακα (PAC), με μέγεθος κόκκων 10-50μm, που προστίθεται στο νερό στην δεξαμενή καθίζησης.

Ο κορεσμένος ενεργός άνθρακας δεν απορρίπτεται, αλλά αναγεννάται με διάφορες μεθόδους. Η αναγέννηση εφαρμόζεται κυρίως για τον GAC που είναι ακριβότερο προϊόν. Ο PAC είναι 2-3 φθηνότερος από τον GAC και δεν αναγεννάται, ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με υδράσβεστο. Αν χρησιμοποιηθεί μόνος του, μπορεί να αναγεννηθεί, αλλά με μεγάλες απώλειες. Διαβρέχεται δύσκολα και δεν απομακρύνει μικρές ποσότητες ρυπαντών, αν δεν προστεθεί σε μεγάλη ποσότητα.



**Εικόνα 73:** Ο ενεργός άνθρακας  
(Πηγή: <http://wikipedia.org>)

Ο ενεργός άνθρακας δεν δεσμεύει καλά ορισμένες χημικές ουσίες, συμπεριλαμβανομένων των αλκοολών, τις γλυκόλες, την αμμωνία, τα ισχυρά οξέα και βάσεις, μέταλλα και περισσότερο τα ανόργανα, όπως το λίθιο, το νάτριο, ο σίδηρος, ο μόλυβδος, το αρσενικό, το φθόριο, και το βορικό οξύ. Ο ενεργός άνθρακας προσροφά το ιώδιο πολύ καλά και στην πραγματικότητα ο αριθμός

ιωδίου, mg/g, χρησιμοποιείται ως ένδειξη της συνολικής περιοχής επιφάνειας.

Ο ενεργός άνθρακας μπορεί να χρησιμοποιηθεί τη βελτίωση της προσροφητικής ικανότητας μερικών ανόργανων ενώσεων (όπως και για μερικές «προβληματικές» οργανικές) όπως το σουλφίδιο υδρογόνου ( $H_2S$ ), η αμμωνία ( $NH_3$ ), η φορμαλδεΰδη ( $HCOH$ ), τα ραδιοϊσότοπα ιώδιο-131 ( $^{131}I$ ) και ο υδράργυρος (Hg).

## 6.5: Η θεωρία της πιθανότητας προσρόφησης

Ο Polanyi ήταν ο πρώτος που περιέγραψε την προσρόφηση μιας ουσίας σε έναν προσροφητή με μαθηματικές εξισώσεις και έκτοτε η θεωρία του χρησιμοποιείται ως βάση. Χαρακτηριστικό μέγεθος αυτής είναι η ενέργεια πιθανότητας προσρόφησης (adsorption potential energy) και συμβολίζεται με το Ελληνικό γράμμα  $\epsilon$ .

Η θεωρία της πιθανότητας προσρόφησης βασίζεται επάνω στην πιθανή ενεργειακή κατανομή στην επιφάνεια του προσροφητή η οποία είναι ένα θεωρητικό μοντέλο που περιγράφει την πολλών στρωμάτων μορίων προσρόφηση. Στο μοντέλο αυτό η θερμοδυναμική σκοπιά υιοθετήθηκε από πολύ νωρίς. Ο Polanyi θεώρησε ότι η παράγωγος της ενέργειας πιθανότητας προσρόφησης  $\epsilon$  είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας υπό σταθερό όγκο δηλ.,

$$\left(\frac{\partial \epsilon}{\partial T}\right)_{V^s} = 0 \quad (6.1)$$

Θεωρώντας επίσης ότι το προσροφούμενο υλικό δεν είναι συμπιεστό (άρα η ενέργεια που χρειάζεται να σχηματιστεί το υγρό φιλμ παραλείπεται στην επιφάνεια) κι ότι το αέριο είναι τέλειο μπορούμε να εκφράσουμε την ενέργεια πιθανότητας προσρόφησης σε μια απόσταση  $l$  μέσα στον προσροφητή,

$$\epsilon_l = RT \ln \left(\frac{p_0}{p}\right) \quad (6.2)$$

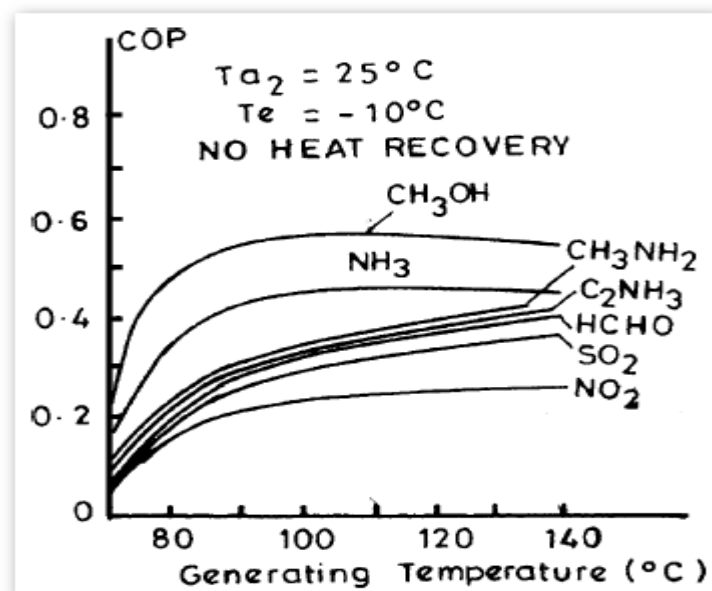
Όπου  $P_0$  είναι η πίεση κορεσμού που αναλογεί στην συγκεκριμένη θερμοκρασία και  $P$  είναι η πίεση που ασκεί ο προσροφημένος ατμός του προσροφούμενου. Προφανώς είναι  $\epsilon_{\max}$  στην επιφάνεια του προσροφητή και  $\epsilon_{\min} = 0$  σε απόσταση  $l_{\max}$  μέσα στο σώμα του προσροφητή. Η (6.2) έδωσε το έναυσμα για τη δημιουργία των μοντέλων ισορροπίας.

## 6.6: Οι ισόθερμες εξισώσεις της προσρόφησης

Όπως είδαμε και παραπάνω υπάρχει μια συνεχής κίνηση από την υγρή στην αέρια φάση και από την αέρια στην υγρή φάση του προσροφούμενου εντός του προσροφητή ανάλογα με το αν

θερμαίνουμε ή ψύχουμε. Η συνεχής αυτή κίνηση πρέπει να περιγραφεί με κάποιο μοντέλο που θα μας επιτρέψει να πραγματοποιήσουμε λογαριασμούς και ισοζύγια ώστε να μελετήσουμε αργότερα τους κύκλους που υλοποιούν την ψύξη με προσρόφηση. Βέβαια πολλές προσπάθειες έχουν γίνει με θεωρητικές, ημι-θεωρητικές αλλά και εμπειρικές σχέσεις, αλλά ούτε περιγράφουν κι όλες όλα τα ζεύγη το ίδιο καλά ούτε ισχύουν όλες για οποιαδήποτε συνθήκη πίεσης και θερμοκρασίας.

Αυτά τα μοντέλα λοιπόν προσφέρουν την αναγκαία ματιά στην συμπεριφορά του προσροφητικού για κάθε ένα προσροφούμενο, αυτό επιτρέπει την αξιολόγηση του εκάστοτε ζεύγους για εφαρμογές ψύξης. Είναι δε συγκεκριμένα αναγκαία για την δημιουργία των διαγραμμάτων P-T-X (Θερμοκρασίας, Πίεσης, Ποσοστού προσροφούμενου ανά μονάδα μάζας προσροφητή) τα οποία είναι απαραίτητα για την εκτίμηση του COP του μελετώμενου κύκλου. Η Εικόνα 74 δείχνει τα αποτελέσματα μιας παρόμοιας χρήσης για διάφορα προσροφούμενα με προσροφητή ενεργό άνθρακα.



**Εικόνα 74:** Διάγραμμα διάφορων προσροφούμενων με προσροφητή ενεργό άνθρακα  
(Πηγή: [www.mhχανologos.com](http://www.mhχανologos.com))

Η γενική εξίσωση του ισοζυγίου είναι της μορφής

$$X = f(P, T) \quad (6.3)$$

με

$$\left(\frac{\partial X}{\partial T}\right)_P < 0 \quad \text{και} \quad \left(\frac{\partial X}{\partial P}\right)_T > 0 \quad (6.4)$$

Η παράμετρος  $X$  δίνει την συγκέντρωση του προσροφούμενου μέσα στο προσροφητικό ανά μονάδα μάζας προσροφητικού (kg adsorbate/kg adsorbent). Οι δύο παράγωγοι της εξίσωσης (6.4) μας

λένε ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας η συγκέντρωση του προσροφούμενου φθίνει ενώ με την άνοδο της πίεσης αυξάνει. Η όλη ιδέα συνεπώς βασίζεται στην διατύπωση μιας εξίσωσης του τύπου (6.3) συναρτήσεως της πίεσης και της θερμοκρασίας. Στη βιβλιογραφία είναι αναπτυγμένα κυρίως τα παρακάτω μοντέλα.

### 6.6.1: Το μοντέλο του Langmuir

Το μοντέλο που παρουσίασε ο Langmuir βασίζεται σε κλασικό μοντέλο κινητικής ισορροπίας ρυθμών προσρόφησης και απομάκρυνσης του προσροφούμενου από τον προσροφητή και το οποίο είναι μονοστρωματικό. Η παρακάτω εξίσωση συσχετίζει ισοθερμοκρασιακά τον προσροφούμενο όγκο του προσροφούμενου με την πίεση,

$$V = V_0 \left( \frac{bP}{1 + bP} \right) \quad (6.5)$$

Όπου  $V_0$  είναι προφανώς η μέγιστη συγκέντρωση του προσροφούμενου στον προσροφητή. Η σταθερά  $b$  δίνεται από την σχέση,

$$b = \frac{K}{\sqrt{T}} \exp \left( \frac{h_{sg}}{RT} \right) \quad (6.6)$$

Όπου  $h_{sg}$  είναι η ενθαλπία προσρόφησης ή απομάκρυνσης ανάλογα με το στάδιο του κύκλου. Στον παρακάτω Πίνακα 13 δίνονται κάποιες χαρακτηριστικές τιμές για τα πιο γνωστά ζεύγη.

Adsorbent/adsorbate	$h_{sg}$ (MJ/kg)
Silica gel/water	2.8
Synthetic zeolite/water	4.2
Natural zeolite/water	3.3
Activated alumina/water	3.0
Activated carbon/methanol	1.40
Activated carbon/ammonia	0.942
Activated carbon/ethanol	0.944

**Πίνακας 13:** Τιμές  $h_{sg}$  για διάφορα ζεύγη προσροφητή / προσροφούμενου

(Πηγή: [www.mhkanologos.com](http://www.mhkanologos.com))

Το μεγαλύτερο πρόβλημα αυτής της έκφρασης είναι ότι περιέχει πάρα πολλές υπεραπλουστεύσεις με αποτέλεσμα πλέον να μιλάμε για ιδεατή και όχι πραγματική προσρόφηση. Συνεπώς δεν μπορούμε να έχουμε αποτελέσματα για τις πραγματικές διεργασίες. Μια από αυτές τις υπεραπλουστεύσεις είναι η θεώρηση μονοστρωματικής προσρόφησης.

### 6.6.2: Το μοντέλο του Freundlich

Το μοντέλο του Freundlich λαμβάνει υπόψη την επίδραση της πίεσης στον όγκο του προσροφητή που έχει απορροφηθεί και υποθέτει εκθετική αύξηση αυτού υπό σταθερή πίεση. Έτσι λαμβάνουμε την εξίσωση,

$$V = KP^{1/n} \quad (6.7)$$

στη συνέχεια γραμμικοποιώντας την έχουμε,

$$\ln V = \ln K + 1/n \ln P \quad (6.8)$$

Το μεγαλύτερο πρόβλημα με την παραπάνω έκφραση είναι ότι δεν μειώνεται σε γραμμική σε πολύ μεγάλες ή πολύ μικρές περιοχές συγκεντρώσεων και έχει βρεθεί ότι αδυνατεί να εκφράσει μεγάλη μερίδα πειραματικών δεδομένων. Οι σταθερές  $K$  και  $n$  είναι πολύ δύσκολο να βρεθούν μέσα από πειραματικά δεδομένα και λόγω της αρχικής υπόθεσης της σταθερής θερμοκρασίας πρέπει να βρεθούν για κάθε μια ξεχωριστή θερμοκρασία.

Όμως οι Sakoda και Suzuki χρησιμοποίησαν το παραπάνω μοντέλο και περιέγραψαν επιτυχώς ισοζύγια για θερμοκρασίας κάτω των 393K. Θεώρησαν επίσης ότι ο ρυθμός προσρόφησης θα μπορούσε να περιγραφεί ως εξής:

$$\frac{dV}{dt} = [15(D_o/r^2) \exp(-E_a/RT)][V_{eq} - V] \quad (6.9)$$

Ο όρος  $D_o \exp(-E_a/RT)$ , ονομάζεται σταθερά επιφανειακής προσρόφησης παρατηρήθηκε ότι είναι σταθερός και γύρω στο 0,02-0,2.

Η εξίσωση αυτή δίνει εν τέλη σωστά αποτελέσματα μόνο γύρω από την περιοχή κορεσμού του προσροφούμενου ενώ δίνει και πολύ καλά αποτελέσματα κατά τις έρευνες με ηλεκτρονικό υπολογιστή.

### 6.6.3: Το μοντέλο Brunauer et al

Το μοντέλο αυτό είναι ένα βελτιωμένο μοντέλο που στηρίζεται στο μοντέλο Langmuir. Η βελτίωση από το μοντέλο Langmuir είναι ότι θεωρήθηκε πολυδιάστατο μοντέλο προσρόφησης, το οποίο και αντιπροσωπεύει την πραγματικότητα. Δίνεται από την εξίσωση,

$$\frac{P/P_s}{V(1 - P/P_s)} = \frac{1}{V_o C} + \frac{(C - 1)}{V_o C} (P/P_s) \quad (6.10)$$



Το μεγαλύτερο πρόβλημα του συγκεκριμένου μοντέλου είναι ότι ενώ πρόκειται για μια εξίσωση που δίνει πάρα πολύ καλά αποτελέσματα με μη πορώδη υλικά και μακρόπορα δεν δίνει καλά για μικρόπορα.

#### 6.6.4: Το μοντέλο Dubinin – Radushkevich – Polanyi (D-R)

Η θεωρία γεμίματος των μικρόπορων υλικών βασίζεται στην θεωρία του Polanyi και έχει αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμη στο πεδίο της ηλιακής ψύξης. Είναι η πιο ευπροσάρμοστη εξίσωση με τα πιο καλά αποτελέσματα (συγκρινόμενα με τα πειραματικά) μέχρι στιγμής. Δίνεται στην εξίσωση,

$$V = V_0 \exp \left( -D \left( \frac{T}{\beta} \ln \left( \frac{P_s}{P} \right) \right)^2 \right) \quad (6.11)$$

Η εξίσωση αυτή δίνει μια εκτίμηση της ποσότητας που θα προσροφηθεί από τον προσροφητή σε οποιαδήποτε θερμοκρασία και πίεση. Όπου  $P_s$  είναι η πίεση κορεσμού ανάλογα με την φάση στην οποία βρισκόμαστε, απομάκρυνση ή προσρόφησης και λαμβάνει την τιμή της πίεσης ατμοποίησης ή της πίεσης συμπύκνωσης αντίστοιχα. Οι σταθερές  $V_0$ ,  $D$  (σταθερά που χαρακτηρίζει το μέγεθος και την κατανομή των μικροπόρων στον προσροφητή),  $\beta$  (ονομάζεται και σταθερά συνεκτικότητας) μπορούν να εξαχθούν εύκολα από πειραματικά δεδομένα. Επισημαίνεται ότι παρόλο που η  $V_0$  ( $X_0$  αν είναι αδιαστατοποιημένη με την μάζα του προσροφητή) θεωρείται σταθερή πραγματικά δεν είναι, υπάρχει μια μικρή απόκλιση όπως έχουν δείξει έρευνες επάνω στο θέμα. Βέβαια η σταθερή θεώρηση δίνει αποδεκτά αποτελέσματα για την ηλιακή ψύξη.

Η κατανομή που θεωρήθηκε για να περιγράψει την προσρόφηση είναι μια κατανομή Gauss που πολλές φορές θα την δούμε να διατυπώνεται και σε άλλη μια παρόμοια που δίνεται στην εξίσωση,

$$x = x_0 \exp \left( -k \left( \frac{\varepsilon}{\beta} \right)^2 \right) \quad (6.12)$$

Η (6.12) είναι απολύτως όμοια με την (6.11) μόνο που σε αυτήν:

- a) Αντικαταστήσαμε την θερμοκρασία, την σταθερά των αερίων και το λογάριθμο με την ενέργεια της πιθανότητας προσρόφησης.
- b) Διαιρέσαμε με την πυκνότητα του προσροφητικού στην εκάστοτε θερμοκρασία  $\rho(T)$  και με την μάζα του προσροφητή (αδιαστατοποίηση).
- c) Συγκεντρώσαμε τις σταθερές εκτός από την  $\beta$  σε μια νέα  $\kappa$ .

Επίσης την συναντάμε και στην μορφή της παρακάτω εξίσωσης που εκφράζεται σε όγκο και με μια σταθερά  $B$  που εκφράζει την μικροδομή του προσροφητή,

$$V = V_0 \exp \left[ - \left( \frac{B}{\beta^2} \right) \epsilon^2 \right] \quad (6.13)$$

### 6.6.5: Το μοντέλο Dubinin – Astakhov – Polanyi (D-A)

Το τελευταίο μοντέλο και το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο είναι μια παραλλαγή της εξίσωσης (6.11). Ο Astakhov σκέφτηκε ότι αφαιρώντας την δεύτερη δύναμη και τοποθετώντας μια άλλη θα μπορούσε να περιγράψει καλύτερα την προσρόφηση. Έτσι καταλήγουμε στην εξίσωση (6.14) που δίνει και τα καλύτερα αποτελέσματα από όλες τις προηγούμενες, ενώ οι ερευνητές στην συντριπτική πλειοψηφία τους την χρησιμοποιούν.

$$V = V_0 \exp \left( - D \left( \frac{T}{\beta} \ln \left( \frac{P_s}{P} \right) \right)^n \right) \quad (6.14)$$

Όπου πλέον το  $n$  είναι η χαρακτηριστική εκθετική σταθερά που εξαρτάται όχι μόνο από τον προσροφητή αλλά και από το προσροφούμενο.

Παρόλα αυτά η εξίσωση δεν βελτιώθηκε όσον αφορά την απόκλιση της στους μικρούς και μεγάλους λόγους των πιέσεων και συνεπώς έχουμε και πάλι ένα όριο στην χρησιμοποίηση της (6.14) που δίνεται από την ανίσωση,

$$5 < P_s/P \leq 10 \quad (6.15)$$

Να σημειωθεί ότι υπάρχει αντίστοιχη σχέση της D-A με την (6.12) και η οποία δεν είναι πλέον μια κατανομή Gauss αλλά στην βιβλιογραφία συσχετίζεται με αυτήν της Weibull και είναι η

$$x = x_0 \exp \left( - \left( \frac{\epsilon}{E} \right)^n \right) \quad (6.16)$$

Σε αυτήν αντικαταστάθηκε η σταθερά  $\kappa$  και  $\beta_2$  με μια σταθερά  $E$  που στην βιβλιογραφία την συναντάτε ως χαρακτηριστικό έργο προσρόφησης (characteristic adsorption work).

Adsorption pair	$x_0$	$E(\text{kJ/mol})$	$n$
JAACF-methanol	0.342	6.703	1.346
SYACF-methanol	0.606	3.904	0.904
NTACF-methanol	0.602	7.674	1.272

**Πίνακας 14:** Χαρακτηριστικές τιμές της σταθεράς  $E$   
(Πηγή: [www.mhxnologos.com](http://www.mhxnologos.com))

## 6.7: Παράγοντες που επηρεάζουν την ισορροπία της προσρόφησης

Ορισμένα σημαντικά χαρακτηριστικά του προσροφητικού και του διαλύματος της προσροφούμενης ουσίας επηρεάζουν την ισορροπία της προσρόφησης ως εξής:

- α)** Η ειδική επιφάνεια του προσροφητικού (επιφάνεια ανά μονάδα μάζας), και ειδικότερα το κλάσμα της που είναι δυνατόν να προσεγγιστεί από την προσροφούμενη ουσία. Η κάλυψη της επιφάνειας με μόρια ήδη προσροφημένων ουσιών μειώνει την προσροφητική ικανότητα του προσροφητικού.
- β)** Η κατανομή μεγέθους των πόρων του προσροφητικού και το μέγεθος των μορίων της προσροφούμενης ουσίας. Συγκεκριμένα, μεγάλος όγκος μικροπόρων (διαμέτρου  $< 2$  nm), συνεπάγεται μεγάλη επιφάνεια μικροπόρων και σχετίζεται με μεγάλη προσροφητική ικανότητα μικρών μορίων. Αντίθετα, μεγάλος όγκος μακροπόρων (διαμέτρου  $> 50$  nm) συνεπάγεται μεγάλη προσροφητική ικανότητα μεγάλων μορίων.
- γ)** Οι ιδιότητες της επιφάνειας του προσροφητικού και της προσροφούμενης ουσίας μπορούν να επηρεάσουν την προσρόφηση. Για παράδειγμα, ορισμένοι ερευνητές απέδειξαν ότι η οξειδωση της επιφάνειας του ενεργού άνθρακα με διάφορα οξειδωτικά, όπως υδατικό διάλυμα χλωρίου, προκαλεί ελάττωση της προσρόφησης αρωματικών ενώσεων (φαινολών, βενζολίου κ.ά.). Επίσης η προσρόφηση χημικών ουσιών

προσδίδει αρνητικό επιφανειακό φορτίο στον ενεργό άνθρακα, και επομένως μειώνει την προσροφητική του ικανότητα. Αντίθετα, η εκρόφηση των χημικών ουσιών με την επίδραση αλκαλικού διαλύματος, μειώνει το αρνητικό φορτίο της επιφάνειας του ενεργού άνθρακα και επαναφέρει την προσροφητική του ικανότητα. Το pH του διαλύματος, επίσης, επηρεάζει το επιφανειακό φορτίο του προσροφητικού και των μορίων της προσροφούμενης ουσίας.

- δ)** Η χημική συνάφεια της προσροφούμενης ουσίας με το νερό και με το προσροφητικό επηρεάζει την προσρόφηση. Για παράδειγμα, η προσρόφηση μιας ουσίας σε ενεργό άνθρακα, που είναι υδρόφοβο προσροφητικό, είναι μεγαλύτερη όσο μικρότερη είναι η διαλυτότητα της ουσίας στο νερό. Η παρουσία υδρόφιλων ομάδων ωθεί το μόριο προς το νερό, ενώ η παρουσία υδρόφοβων ομάδων προς τον ενεργό άνθρακα. Η ταυτόχρονη παρουσία και των δύο ομάδων έχει ως αποτέλεσμα την προσρόφηση του υδρόφοβου τμήματος του μορίου, ενώ το υδρόφιλο εκτείνεται στο νερό. Η χημική συνάφεια ασθενών οργανικών οξέων ή βάσεων προς τον ενεργό άνθρακα επηρεάζεται από το pH του διαλύματος. Σε τιμές του pH όπου τα μόρια βρίσκονται σε ιονισμένη μορφή ευνοείται η διάλυσή τους στο νερό, ενώ σε pH όπου βρίσκονται σε ουδέτερη μορφή ευνοείται η προσρόφησή τους από τον ενεργό άνθρακα. Αντίθετα, στην περίπτωση πιο υδρόφιλων προσροφητικών υλικών, όπως η ενεργή αλουμίνα και ο ενεργός βωξίτης, ευνοείται η προσρόφηση πιο υδρόφιλων και ευδιάλυτων στο νερό ουσιών.
- ε)** Η παρουσία ανόργανων αλάτων στο νερό μπορεί, επίσης, να επιδράσει στην προσρόφηση ορισμένων ουσιών θετικά, λόγω της δημιουργίας συμπλόκων των κατιόντων με τις οργανικές ουσίες σε ανιονική μορφή, τα οποία προσροφούνται ευκολότερα (π.χ. κατιόντα ασβεστίου με ανιόντα φουλβικού οξέος σε ενεργό άνθρακα). Ανόργανα άλατα σιδήρου, μαγγανίου και ασβεστίου ή ιζήματα μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά την προσρόφηση με την καθίζησή τους στην επιφάνεια του προσροφητικού. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται προεπεξεργασία για την απομάκρυνσή τους.

## **6.8: Πλεονεκτήματα της μεθόδου της προσρόφησης έναντι της απορρόφησης**

Η μέθοδος της προσρόφησης παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με την απορρόφηση, παρόλο που έχει χρησιμοποιηθεί σε λιγότερες περιπτώσεις παγκοσμίως. Κάποια από αυτά τα πλεονεκτήματα θα περιγράψουμε παρακάτω. Αυτά είναι άλλωστε που μας οδήγησαν στην επιλογή ενός συστήματος προσρόφησης για μελέτη στην συγκεκριμένη Διπλωματική Εργασία.

1. Ο κύκλος προσρόφησης εκκινεί με χαμηλότερη θερμοκρασία (γύρω στους 40 °C) σε σχέση με αυτόν της απορρόφησης (πάνω από 100 °C).
2. Συνάρτηση του σημείου 1 είναι ο κύκλος προσρόφησης να αποδίδει ικανοποιητικούς COP σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.
3. Η προσρόφηση είναι λιγότερο ευάλωτη σε θερμοκρασιακές διακυμάνσεις, εν αντιθέσει με την απορρόφηση η οποία απαιτεί αυστηρή ρύθμιση στις θερμοκρασίες και τις πιέσεις λειτουργίας της.
4. Συναρτήσει του σημείο 3 ο κύκλος προσρόφησης καλύπτει μεγαλύτερες θερμοκρασιακές διαφορές.
5. Λόγω της λειτουργίας της σε μικρές θερμοκρασίες, στην προσρόφηση χρησιμοποιούνται ευρέως επίπεδοι συλλέκτες, γεγονός το οποίο μειώνει το κόστος κατασκευής μιας προσροφητικής μηχανής καθώς οι επίπεδοι συλλέκτες είναι αρκετά φθηνότεροι από τους συγκεντρωτικούς που χρησιμοποιούνται στην απορρόφηση.
6. Επίσης στις προσροφητικές μηχανές δεν χρειάζονται ψυκτικοί πύργοι σε αντίθεση με τις απορροφητικές μηχανές.
7. Τέλος, ο κύκλος προσρόφησης λειτουργεί χωρίς ηλεκτρική ενέργεια, ενώ αυτός της προσρόφησης χρειάζεται ηλεκτρική ενέργεια για την αντλία κυκλοφορίας του υγρού διαλύματος.

Συνεπώς εύκολα διαπιστώνει κανείς ότι οι προσροφητικοί κύκλοι λειτουργούν σε πολύ πιο ευνοϊκές συνθήκες, είναι οικονομικότεροι και φιλικότεροι στο περιβάλλον από τους απορροφητικούς κύκλους.

## **6.9: Κύκλοι υλοποίησης της προσρόφησης**

Ο ψυκτικός κύκλος με προσρόφηση μπορεί να υλοποιηθεί με διάφορους τρόπους και μάλιστα αρκετούς. Οι διαφορές των διάφορων κύκλων έγκεινται κυρίως στον τρόπο με τον οποίο θα πετύχουμε την θέρμανση και ψύξη της προσροφητικής τράπεζας, στο αν υπάρχει αναθέρμανση, αν υπάρχει ανάκτηση μάζας και άρα θερμότητας, αν έχουμε δώσει βαρύτητα στην μείωση της πολύ δαπανηρής από πλευράς απωλειών θερμικής σύζευξης κλπ. Έτσι, οι βασικοί κύκλοι προσρόφησης είναι:

- Βασικός – απλός κύκλος

- Κύκλος με ανάκτηση μάζας άρα και θερμότητας (mass recovery cycle)
- Πολυβάθμιος κύκλος (multistage cycle)
- Κλιμακωτός κύκλος (cascade cycle)
- Κύκλος Κύματος – Αναγέννησης (thermal wave cycle)
- Υβριδικοί και νέοι κύκλοι

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7**

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ**

**ΚΥΚΛΟΥ ΠΡΟΣΡΟΦΗΣΗΣ**

## 7.1: Εισαγωγή

Όπως είδαμε και στην Εικόνα 70 στο Κεφάλαιο 5, τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού δεν χρησιμοποιούνται ακόμα ευρέως, καθιστώντας έτσι τα κατασκευασμένα συστήματα σχεδόν πειραματικά. Αυτό έχει περιορισμούς και στην κατεύθυνση που θα ακολουθήσουμε κι εμείς στην παρούσα Διπλωματική Εργασία καθώς στη βιβλιογραφία – παρόλα τα σημαντικά ευρήματα των τελευταίων χρόνων – δεν υπάρχει ακόμα μεγάλη γκάμα δημοσιεύσεων για προσροφητικά συστήματα. Παρόλα αυτά τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει κάποιες σοβαρές μελέτες κι εργασίες, πάνω και στις οποίες θα βασιστούμε.

Σε αυτό το Κεφάλαιο θα περιγράψουμε τον κύκλο που θα χρησιμοποιήσουμε για την αριθμητική προσομοίωση της εργασίας μας. Συγκεκριμένα, θα περιγράψουμε το σύστημα πάνω στο οποίο θα πραγματοποιήσουμε την αριθμητική προσομοίωση, τις μεταβολές ανά φάση λειτουργίας του κύκλου, τις αριθμητικές σχέσεις που μας βοηθούν στην επίλυσή του και το τι αυτές εκφράζουν ποιοτικά. Στην συνέχεια θα εξάγουμε με την βοήθεια ενός **κώδικα JAVA** αριθμητικά αποτελέσματα για τα ζητούμενα και στην συνέχεια θα ακολουθήσουν τα συμπεράσματα γι' αυτή την επιλογή μας. Στην τελευταία ενότητα αυτού του Κεφαλαίου θα συγκρίνουμε τα δικά μας αποτελέσματα με εγκαταστάσεις κύκλου προσρόφησης που έχουν χρησιμοποιηθεί από άλλους συναδέλφους στο ΕΜΠ.

Στην παρούσα Εργασία θα ασχοληθούμε με ένα υβριδικό σύστημα που συνδυάζει ψύξη και θέρμανση. Το συγκεκριμένο σύστημα, θα μελετηθεί για τους μήνες από Απρίλιο μέχρι Οκτώβριο. Με βάση τη γεωγραφική θέση της Ελλάδας και τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτή την περίοδο δεν θα μελετήσουμε την περίπτωση της θέρμανσης.

Το μελετώμενο σύστημα εφαρμόζεται σε μια εξοχική κατοικία στη νήσο Θήρα. Πρόκειται για ένα ενιαίο, ισόγειο ορθογώνιο οίκημα  $A_k=200 \text{ m}^2$  που φιλοξενεί από τον Απρίλιο μέχρι τον Οκτώβριο 6 άτομα και δεν καλύπτεται καμία ώρα και μέρα από οποιαδήποτε τύπου σκιά. Επιζητούμε η κάλυψη για ζεστό νερό να είναι 100% από τους ηλιακούς συλλέκτες. Η κατανάλωση ζεστού νερού ανά ένοικο και ημέρα θεωρείται  $V_z = 0,05(m^3 / d \cdot \text{enoiko})$ . Τέλος η δεξαμενή αποθήκευσης θερμού νερού χρήσης έχει όγκο  $0.075(m^3 / m^2_{\text{ΣΥΛΛΕΚΤΗ}})$ .

Για την συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας θα χρησιμοποιήσουμε επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες μαύρου χρώματος με ένα τζάμι. Στον παρακάτω Πίνακα 15 παρουσιάζονται διάφορα στοιχεία των διάφορων τύπων επίπεδων ηλιακών συλλεκτών. Εμείς χρησιμοποιούμε συλλέκτη τύπου I.



ΤΥΠΟΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	FR( $\tau_a$ )	FR UL(W/m <sup>2</sup> C)
I	ΜΑΥΡΟ ΧΡΩΜΑ 1 ΤΖΑΜΙ	0,82	7,5
II	ΜΑΥΡΟ ΧΡΩΜΑ ΤΖΑΜΙΑ/ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ 1 ΤΖΑΜΙ	2 0,75	5
III	ΣΩΛΗΝΕΣ ΚΕΝΟΥ	0,45	1,25
IV	ΠΛΑΣΤΙΚΟΣ ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΧΩΡΙΣ ΤΖΑΜΙ ΚΑΙ ΜΟΝΩΣΗ	0,86	21,5

**Πίνακας 15:** Είδη και στοιχεία επίπεδων συλλεκτών  
(Πηγή: Βαζαίος Η. Ε., Αθήνα 1984)

**Θα μελετήσουμε το σύστημα για ψύξη και για θέρμανση ζεστού νερού χρήσης.** Συγκεκριμένα πρόκειται για ένα ηλιακό θερμαντή και ψύκτη που λειτουργεί με σύστημα ζεύγους **silica gel / αιθανόλης με νερό ως ψυκτικό μέσο** (HTF). Το συγκεκριμένο ζεύγος προσροφητή / προσροφούμενου μέσου δεν συναντάται αρκετά συχνά στην ελληνική βιβλιογραφία, αλλά και γενικότερα. Έτσι μελετάμε την συμπεριφορά ενός τέτοιου ζεύγους στα Ελληνικά δεδομένα.

**Η αριθμητική επίλυση του προβλήματος θα γίνει σε ωριαία βάση.** Συγκεκριμένα η μέση ημέρα κάθε μήνα χωρίζεται σε 5 δίωρες ζώνες από τις 8.00 – 18.00 και μελετά σε κάθε ζώνη και ώρα τα ζητούμενα στοιχεία. Η χρονική διάρκεια επιλέχτηκε για να υπάρχει κοινό σημείο αναφοράς για όλους τους μήνες (π.χ. η χρονική διάρκεια ημέρας τον Ιούλη δεν είναι ίδια με τη χρονική διάρκεια ημέρας του Απρίλη). Με αυτόν τον τρόπο μελετάμε τη συνολική συμπεριφορά του μηχανισμού για ένα μήνα, την συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

## 7.2: Ο επιλεγόμενος ηλιακός συλλέκτης

Στην Ενότητα 4.5.1, δώσαμε μια σύντομη περιγραφή των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών. Πριν προχωρήσουμε στην περιγραφή του επιλεγόμενου μηχανισμού και των μερών που τον απαρτίζουν, πρέπει σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε κάποια χαρακτηριστικά μεγέθη των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών, τα οποία μας απασχολούν στους υπολογισμούς παρακάτω, καθώς και κάποιες εξισώσεις που περιγράφουν τη λειτουργία τους. Η επιλογή του κατάλληλου συλλέκτη είναι μια βασική διαδικασία καθώς είναι αυτός που «εκκινεί» όλο τον κύκλο.

### 7.2.1: Θεωρία επίπεδου συλλέκτη

**Η σχέση ισολογισμού της ενέργειας στο συλλέκτη**, δηλαδή ο καταμερισμός της ενέργειας σε ωφέλιμη και σε θερμικές και οπτικές απώλειες είναι η παρακάτω:

$$Q = F_R A [G_T(t_a) - U_L(T_i - T_a)] \quad (7.1)$$

όπου,

**Q**: η ωφέλιμη θερμική ισχύς (W)

**F<sub>R</sub>**: ο συντελεστής θερμικής απολαβής του συλλέκτη

**A**: η συλλεκτική επιφάνεια (m<sup>2</sup>)

**t**: ο συντελεστής διαπερατότητας του διαφανούς καλύμματος

**a**: ο συντελεστής απορρόφησης του απορροφητήρα

**G<sub>T</sub>**: η ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας (W/m<sup>2</sup>)

**U<sub>L</sub>**: ο συντελεστής θερμικών απωλειών (W/m<sup>2</sup>°C)

**T<sub>i</sub>**: η θερμοκρασία του ρευστού στην είσοδο του συλλέκτη (°C)

**T<sub>a</sub>**: η θερμοκρασία του περιβάλλοντος (°C)

Στην παραπάνω εξίσωση έχει γίνει η παραδοχή ότι η θερμοκρασία του απορροφητήρα είναι ίση με τη θερμοκρασία εισαγωγής του ρευστού στο συλλέκτη. Αυτό στην πραγματικότητα δε συμβαίνει, καθώς είναι απαραίτητο η θερμοκρασία του απορροφητήρα να είναι μεγαλύτερη, για να γίνεται η μεταφορά θερμότητας από τον απορροφητήρα στο ρευστό. Η παραδοχή γίνεται γιατί η θερμοκρασία αυτή είναι άγνωστη, σε αντίθεση με τη θερμοκρασία εισαγωγής του ρευστού στο συλλέκτη που είναι γνωστή. Η εξίσωση αφορά τη στιγμιαία απόδοση του συλλέκτη, οπότε εξαρτάται από τις μετεωρολογικές και λειτουργικές συνθήκες κάθε στιγμής. Στον υπολογισμό ωστόσο της μακροχρόνιας απόδοσης ενός ηλιακού συστήματος αρκούν οι μέσες μηνιαίες τιμές.

Το γινόμενο  $G_T(t_a)$  είναι η απορροφούμενη ακτινοβολία, δηλαδή η διαφορά της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και των οπτικών απωλειών. Οι συντελεστές  $t$  και  $a$  εξαρτώνται από τα υλικά του συλλέκτη και τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο συντελεστής  $F_R$  ισούται με το λόγο της πραγματικής αποδιδόμενης ισχύος προς τη θερμική ισχύ που θα αποδιδόταν αν ο απορροφητήρας είχε τη θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στο συλλέκτη. Είναι συνάρτηση της παροχής του ρευστού στο συλλέκτη και του τρόπου κατασκευής του απορροφητήρα. Ο συντελεστής  $U_L$  εξαρτάται από τη κατασκευή του συλλέκτη και ειδικότερα από την πλευρική και πίσω μόνωση του, το υλικό και τον αριθμό των διαφανών καλυμμάτων, τη θερμοκρασία και τη θερμική εκπομπή του απορροφητήρα. Επιπλέον εξαρτάται από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και την ταχύτητα του ανέμου.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη του συλλέκτη μετρώνται με δοκιμές σε σταθερές συνθήκες λειτουργίας, οπότε προκύπτουν σταθερές τιμές για διευκόλυνση των υπολογισμών, παρόλο που τα

χαρακτηριστικά αυτά είναι συνάρτηση μεταβαλλόμενων παραγόντων. Οι δοκιμές γίνονται με ηλιοφάνεια και στο ηλιακό μεσημέρι με τις ακτίνες του ηλίου να προσπίπτουν κάθετα στη συλλεκτική επιφάνεια. Το γινόμενο  $(\tau\alpha)$  αντικαθίσταται με το γινόμενο  $(\tau\alpha)_\eta$ , που αφορά κάθετη πρόσπτωση.

Ο βαθμός απόδοσης ισούται με το λόγο τη ωφέλιμης ισχύος  $Q$  προς την ισχύ τη ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην συλλεκτική επιφάνεια  $G_{TA}$ . Δηλαδή:

$$\eta = Q/G_{TA} = F_R(\tau\alpha)_\eta - F_{RU_L}(T_i - T_a)/G_T \quad (7.2).$$

### 7.2.2: Ο λόγος $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_\eta$

Το γινόμενο  $(\tau\alpha)$  εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και μπορεί να διαφέρει σημαντικά από το ίδιο γινόμενο για κάθετη πρόσπτωση. Η μέση μηνιαία τιμή του λόγου  $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_\eta$  για συλλέκτη με ένα τζάμι αντίστοιχα και για κλίση από  $0^\circ$  έως  $90^\circ$  φαίνεται στον πίνακα 2.2. Οι τιμές αφορούν όλη τη χώρα και ισχύουν για νότιο προσανατολισμό, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για προσανατολισμό με απόκλιση μέχρι και  $15^\circ$  από το νότο. Για κλίση συλλέκτη  $40-45^\circ$ , που αφορά στις περισσότερες εφαρμογές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τιμές 0,93 για ένα τζάμι και 0,91 για δύο τζάμια, για όλο το χρόνο.

	$0^\circ$	$10^\circ$	$20^\circ$	$30^\circ$	$40^\circ$	$50^\circ$	$60^\circ$	$70^\circ$	$80^\circ$	$90^\circ$
<b>Ιαν</b>	0,79	0,85	0,88	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,94	0,93
<b>Φεβ</b>	0,84	0,88	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93	0,91
<b>Μαρ</b>	0,88	0,91	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93	0,91	0,89	0,86
<b>Απρ</b>	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93	0,92	0,90	0,88	0,84	0,78
<b>Μαϊ</b>	0,93	0,94	0,94	0,93	0,92	0,90	0,88	0,84	0,78	0,71
<b>Ιουν</b>	0,94	0,94	0,93	0,92	0,91	0,86	0,81	0,81	0,75	0,67
<b>Ιουλ</b>	0,94	0,94	0,94	0,93	0,92	0,90	0,87	0,82	0,76	0,68
<b>Αυγ</b>	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93	0,92	0,89	0,86	0,81	0,74
<b>Σεπ</b>	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,93	0,92	0,90	0,88	0,83
<b>Οκτ</b>	0,86	0,89	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93	0,92	0,89
<b>Νοε</b>	0,80	0,85	0,89	0,92	0,94	0,94	0,95	0,95	0,94	0,93
<b>Δεκ</b>	0,77	0,83	0,88	0,91	0,93	0,94	0,95	0,95	0,95	0,94

**Πίνακας 16:** Η μέση μηνιαία τιμή του λόγου  $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_\eta$  για συλλέκτη με ένα τζάμι και για κλίση  $0^\circ - 90^\circ$   
(Πηγή: Βαζαίος Η. Ε., Αθήνα 1984)

### 7.2.3: Κλίση του συλλέκτη

Επιπρόσθετα υπενθυμίζουμε, ότι το γεωγραφικό πλάτος για τη νήσο Θήρα είναι περίπου  $\phi=38^\circ$ . Στο πρόβλημα θέλουμε μέγιστη ενέργεια κατά τους θερινούς μήνες, άρα επιλέγουμε κλίση επιπέδου  $15^\circ$ , άρα  $\beta=\phi-15^\circ=23^\circ$ , με βέλτιστο αζιμούθιο επιφάνειας  $\gamma=0^\circ$ , για το βόρειο ημισφαίριο.

### 7.2.4: Επιλεγόμενες τιμές στο πρόβλημά μας

Τα μεγέθη αυτά τα επιλέγουμε από διάφορους πίνακες, σαν τους Πίνακες 15 και 16.

$$F_R U_L = 7,5$$

$$U_L = 9,1(W/m^2C)$$

$$F_R = 0,8$$

$$F_R (\tau\alpha)_n = 0,81$$

$$F_R'' / F_R = 0,8$$

$$(\overline{\tau\alpha}) / (\tau\alpha)_n = 0,93$$

$$m = 0,004(kgr/sec)$$

$$Ac = 4(m^2).$$

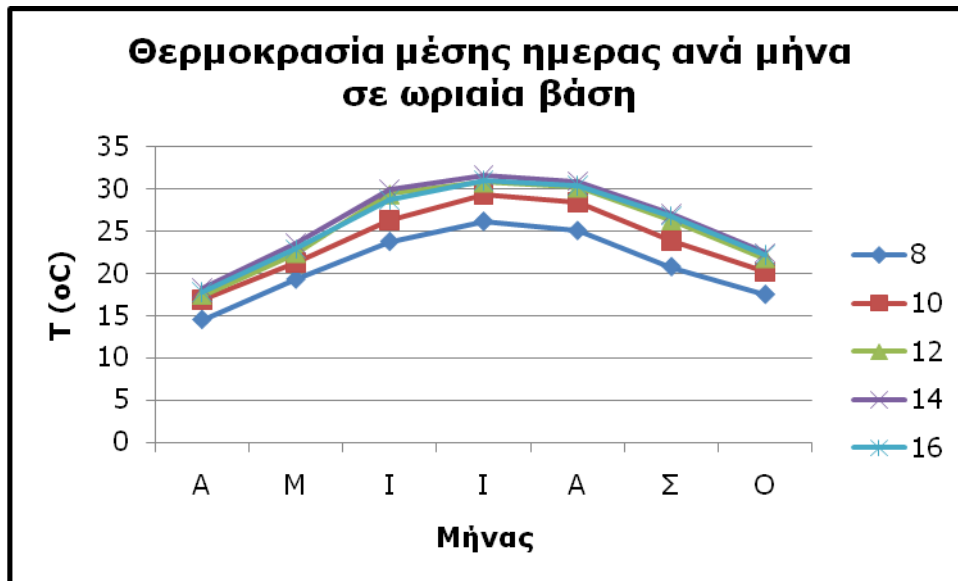
### 7.3: Μετεωρολογικά δεδομένα για τη νήσο Θήρα

Για την αριθμητική επίλυση του προβλήματος χρειαζόμαστε κάποια στοιχεία τα οποία εξαρτώνται από τα μετεωρολογικά δεδομένα και τη γεωγραφική θέση της νήσου Θήρας. Αυτά συγκεκριμένα είναι η ατμοσφαιρική θερμοκρασία  $T_a$ , η θερμοκρασία νερού δικτύου  $T_{dik}$ , καθώς και η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας  $G_T$  ανά ώρα. Τα δεδομένα αυτά τα βρίσκουμε εύκολα από την ΕΜΥ, το Αστεροσκοπείο Αθηνών και από διάφορες δημοσιευμένες μελέτες. Έτσι έχουμε:

#### ▪ Ατμοσφαιρική θερμοκρασία

ώρα/ °C	Μήνας						
	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο
8.00	14,5	19,3	23,8	26,2	25,1	21,8	17,5
10.00	16,8	21,2	26,2	29,3	28,4	23,8	20,1
12.00	17,4	22,4	29,4	30,8	30,2	26,3	21,8
14.00	18,2	23,5	29,9	31,6	30,9	27	22,4
16.00	17,8	22,9	28,7	31	30,4	26,8	22,2

**Πίνακας 17:** Ωριαίες θερμοκρασίες της μέσης ημέρας ανά μήνα και ώρα (Πηγή: ΕΜΥ)



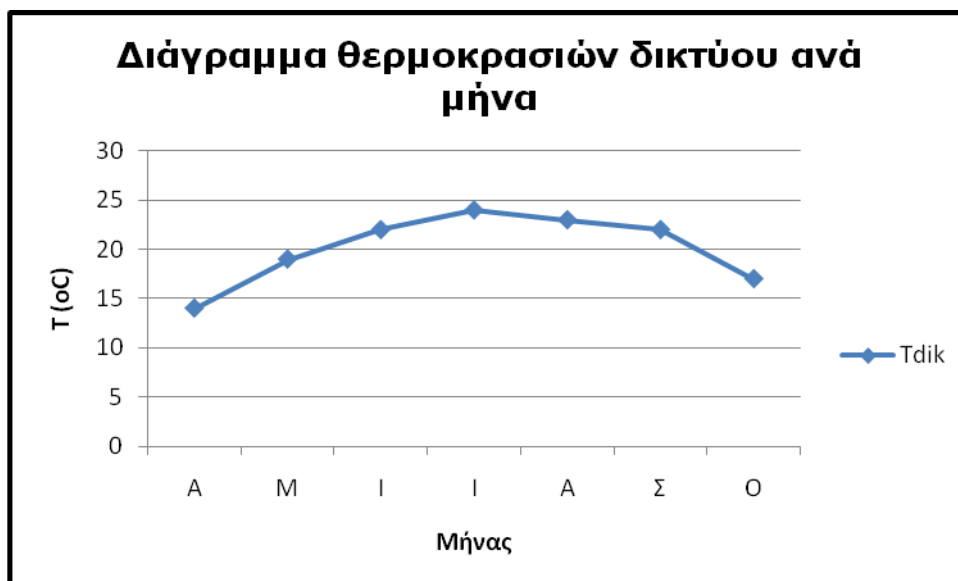
**Εικόνα 75:** Διάγραμμα ωριαίων θερμοκρασιών της μέσης ημέρας ανά μήνα και ώρα

▪ **Θερμοκρασία νερού δικτύου**

Σε αυτό το σημείο κάνουμε την παραδοχή ότι η θερμοκρασία του νερού στο δίκτυο είναι σταθερή κατά τη διάρκεια του μήνα, γεγονός που προφανώς δεν ισχύει, αλλά μας διευκολύνει στους υπολογισμούς χωρίς να μεταβάλλει ποιοτικά τα αποτελέσματά μας.

Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο
14	19	22	24	23	22	17

**Πίνακας 18:** Θερμοκρασία νερού δικτύου  $T_{dik}$  για την περιοχή της Θήρας (Πηγή: Κακούρης Ηρακλής, 2003)



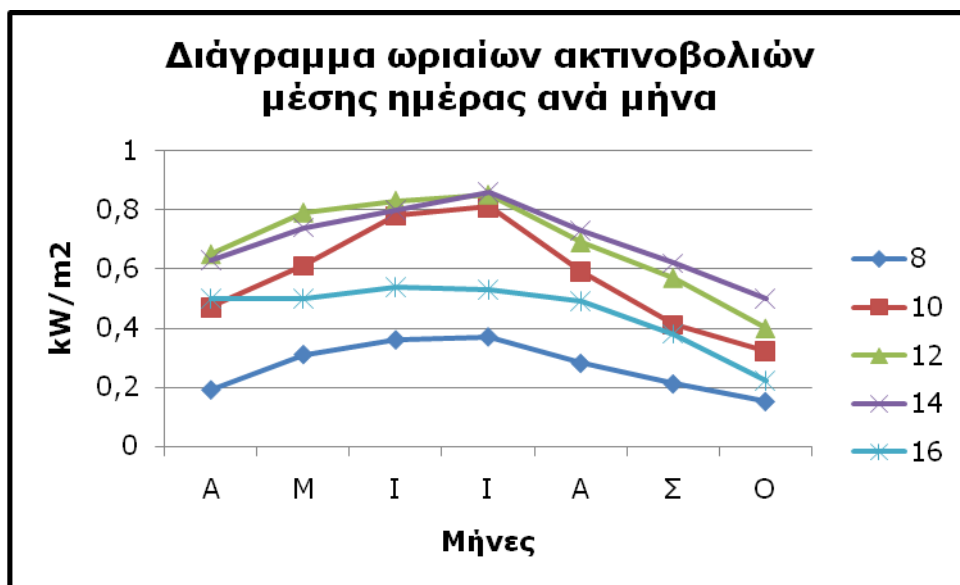
**Εικόνα 76:** Διάγραμμα θερμοκρασιών νερού δικτύου ανά μήνα

▪ **Ηλιακή ακτινοβολία ανά ώρα**

Στην περίπτωση ανά ώρα μελέτης του συστήματος η ακτινοβολία ανά ώρα δίνεται από στοιχεία που συλλέγουμε από το Αστεροσκοπείο Αθηνών κι αφορούν την ωριαία ηλιακή ακτινοβολία μέσης μέρας ανά μήνα σε kW/m<sup>2</sup>. Με βάση αυτά τα στοιχεία κι αφού αναχθούν στη χρονική διάρκεια που εξετάζουμε παίρνουμε την επιθυμητή ακτινοβολία.

ώρα/ kW/m <sup>2</sup>	Μήνας						
	A	M	I	I	A	Σ	O
8.00	0,19	0,31	0,36	0,37	0,28	0,21	0,15
10.00	0,47	0,61	0,78	0,81	0,59	0,41	0,32
12.00	0,65	0,79	0,83	0,85	0,69	0,57	0,40
14.00	0,63	0,74	0,8	0,82	0,73	0,62	0,50
16.00	0,50	0,50	0,54	0,53	0,49	0,38	0,22

**Πίνακας 19:** Ωριαίες ακτινοβολίες μέσης μέρας ανά μήνα  
(Πηγή: Αστεροσκοπείο Αθηνών)



**Εικόνα 77:** Διάγραμμα ωριαίων ακτινοβολιών μέσης ημέρα ανά μήνα και ώρα

**7.4: Υπολογισμός μέσων θερμικών φορτίων**

Στην παρούσα Εργασία θα ασχοληθούμε με τον υπολογισμό των θερμικών φορτίων που έχουν σχέση με τη θέρμανση νερού. Έτσι, ισχύει ότι το συνολικό θερμικό φορτίο  $L$  για κάθε μήνα είναι άθροισμα της ενέργειας που απαιτείται για να αποκτήσει το νερό την επιθυμητή θερμοκρασία και των απωλειών του δικτύου. Δηλαδή:

$$L = Q_W + Q_P \quad (7.3).$$

όπου,  $Q_w$  το μέσο μηνιαίο φορτίο για θέρμανση νερού και  $Q_p$  οι απώλειες του δικτύου.

**Το μέσο μηνιαίο φορτίο για θέρμανση νερού  $Q_w$**  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Q_w = N \cdot V_z \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_w - T_m) \quad (7.4)$$

όπου,

**N:** ο αριθμός των ημερών του μήνα

**$V_z$ :** η μέση ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού (lt)

**P:** η πυκνότητα του νερού (1kg/lt)

**$C_p$ :** η ειδική θερμότητα του νερού (4190 J/kg°C)

**$T_w$ :** η θερμοκρασία του ζεστού νερού (°C)

**$T_m$ :** η θερμοκρασία του κρύου νερού (°C)

Το γινόμενο  $N \cdot V_z \cdot \rho$  αντιπροσωπεύει την μηνιαία κατανάλωση  $M$  σε kg. Έτσι η σχέση (7.4) μπορεί να γραφτεί κι ως εξής:

$$Q_w = M \cdot C_p \cdot (T_w - T_m) \quad (7.5)$$

Ο υπολογισμός των απωλειών του δικτύου είναι απαραίτητος, κυρίως σε μεγάλες εγκαταστάσεις όπου φτάνουν και το 30% του συνολικού φορτίου. Σε τέτοια δίκτυα υπάρχει ανακυκλοφορία του νερού με κυκλοφορητή, λόγω της μεγάλης απόστασης δεξαμενής και υποδοχέων, ώστε να υπάρχει πάντα διαθέσιμο νερό. **Οι απώλειες  $Q_p$**  υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$Q_p = N \cdot t \cdot \Sigma(U_d \cdot l_d) \quad \text{ή} \quad Q_p = N \cdot t \cdot U_M \cdot L \quad (7.6)$$

όπου,

**N:** ο αριθμός των ημερών του μήνα

**T:** ο ημερήσιος χρόνος χρήσης του δικτύου (s)

**$U_d$ :** ο συντελεστής απωλειών σωλήνα με διάμετρο  $d$  (W/m)

**$l_d$ :** το μήκος σωλήνων με διάμετρο  $d$  (m)

**$U_M$ :** ο μέσος συντελεστής απωλειών σωλήνα (W/m)

**L:** το συνολικό μήκος σωλήνων (m)

Στην προκειμένη περίπτωση θεωρούμε ότι οι απώλειες είναι σταθερές καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου και ίσες με 10%. Άρα η σχέση (7.3) γίνεται τελικά:

$$L = 1,1 \cdot N \cdot V_z \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_w - T_m) \quad (7.7)$$

## **7.5: Υπολογισμός απαιτούμενης επιφάνειας ηλιακών συλλεκτών**

Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε την απαιτούμενη επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών. Γι' αυτό μας τον σκοπό θα χρησιμοποιήσουμε

τη μέθοδο καμπυλών  $f$ , η οποία στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιείται καταχρηστικά, για λόγους ευκολίας. Συγκεκριμένα χρησιμοποιούμε μόνο το δεδομένο της παραγωγής ζεστού νερού, γνωρίζοντας ότι αυτό περιέχει σφάλμα. Στη συνέχεια θα αναφέρουμε κάποια στοιχεία για τη μέθοδο καμπυλών  $f$ .

Έτσι, έχουμε ότι το κλάσμα  $f$  του μηνιαίου θερμικού φορτίου που καλύπτεται από την ηλιακή ενέργεια δίνεται από

$$f = 1.029 \cdot Y - 0.065 \cdot X - 0.245 \cdot Y^2 + 0.0018 \cdot X^2 + 0.0215 \cdot Y^3 \quad (7.8)$$

Τα  $X$ ,  $Y$  είναι αδιάστατες μεταβλητές που υπολογίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$X = F_R U_L \frac{F_R'}{F_R} \cdot (T_{ref} - \bar{T}_a) \cdot \Delta \tau \cdot \frac{A_c}{L} \quad (7.9)$$

$$Y = F_R (\tau \alpha)_n \cdot \frac{F_R'}{F_R} \cdot \frac{(\overline{\tau \alpha})}{(\tau \alpha)_n} \cdot \bar{H}_T \cdot N \cdot \frac{A_c}{L} \quad (7.10)$$

Διόρθωση για την τιμή του  $X$  έχουμε την (7.11) διότι το νερό χρησιμοποιείται μόνο για οικιακές εργασίες και όχι θέρμανση.

$$\frac{x_c}{x} = \frac{11,6 + 1,18 \cdot T_w + 3,86 \cdot T_m - 2,32 \cdot \bar{T}_a}{100 - \bar{T}_a} \quad (7.11)$$

όπου  $N$  είναι το πλήθος των ημερών κάθε μήνα,  $\Delta \tau$  η διάρκεια του μήνα σε δευτερόλεπτα,  $T_{ref}$  είναι η θερμοκρασία αναφοράς,  $T_m$  η θερμοκρασία του νερού δικτύου,  $T_a$  η μηνιαίως μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος. Έτσι έχουμε:  $T_w = 60^\circ C$ ,  $T_{ref} = 100^\circ C$ , ενώ η  $T_m$  δίνεται κι αυτή από τον Πίνακα 18.

### 7.5.1: Μέθοδος καμπυλών $f$

Η μέθοδος καμπυλών  $f$  αναπτύχθηκε από τους Αμερικανούς Klein, Beckman και Duffie και δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα με μικρές αποκλίσεις από αυτά που υπολογίζονται με τη λεπτομερή μέθοδο. Χρησιμοποιείται τόσο για συστήματα θέρμανσης χώρου όσο και για συστήματα παραγωγής ζεστού νερού. Μπορεί ακόμα να χρησιμοποιηθεί για συστήματα θέρμανσης χώρου συγχρόνως με την παραγωγή ζεστού νερού.

Η ακρίβεια των υπολογισμών με τη μέθοδο αυτή είναι αρκετά μεγάλη, δεδομένου ότι η απόκλιση της σε σχέση με το λεπτομερή υπολογισμό για το ετήσιο ποσοστό κάλυψης από τον ήλιο του ολικού φορτίου, είναι περίπου 2%. Σε σχέση με πραγματικά στοιχεία απόδοσης ηλιακών εγκαταστάσεων σε οικίες η απόκλιση είναι περίπου 8%. Η σπουδαιότητα της μεθόδου είναι σαφής, καθώς εξοικονομεί χρόνο και χρήμα, σε σχέση με τη λεπτομερή μέθοδο, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και στις περιπτώσεις που δεν υπάρχουν ωριαία μετεωρολογικά στοιχεία για ένα τόπο.

Η μέθοδος αφορά στον καθορισμό του ποσοστού του ολικού φορτίου που καλύπτεται από τον ήλιο, μέσω των καμπυλών  $f$ .



## 7.6: Υπολογισμός πιέσεων συμπυκνώσεως και ατμοποίησης

Σε αυτό το σημείο υπολογίζουμε και τις πιέσεις συμπύκνωσης  $P_c$  και ατμοποίησης  $P_e$  για την αιθανόλη με τη βοήθεια της εξίσωσης Antoine:

$$\log P = A - B/(T + C) \quad (7.12)$$

όπου,

$$A=8,20417$$

$$B=1642,89$$

$$C=230,30.$$

Ως αποτέλεσμα έχουμε  $P_c=0,0107$  bar και  $P_e=0,0076$  bar.

## 7.7: Περιγραφή του επιλεγόμενου για την εργασία μηχανισμού

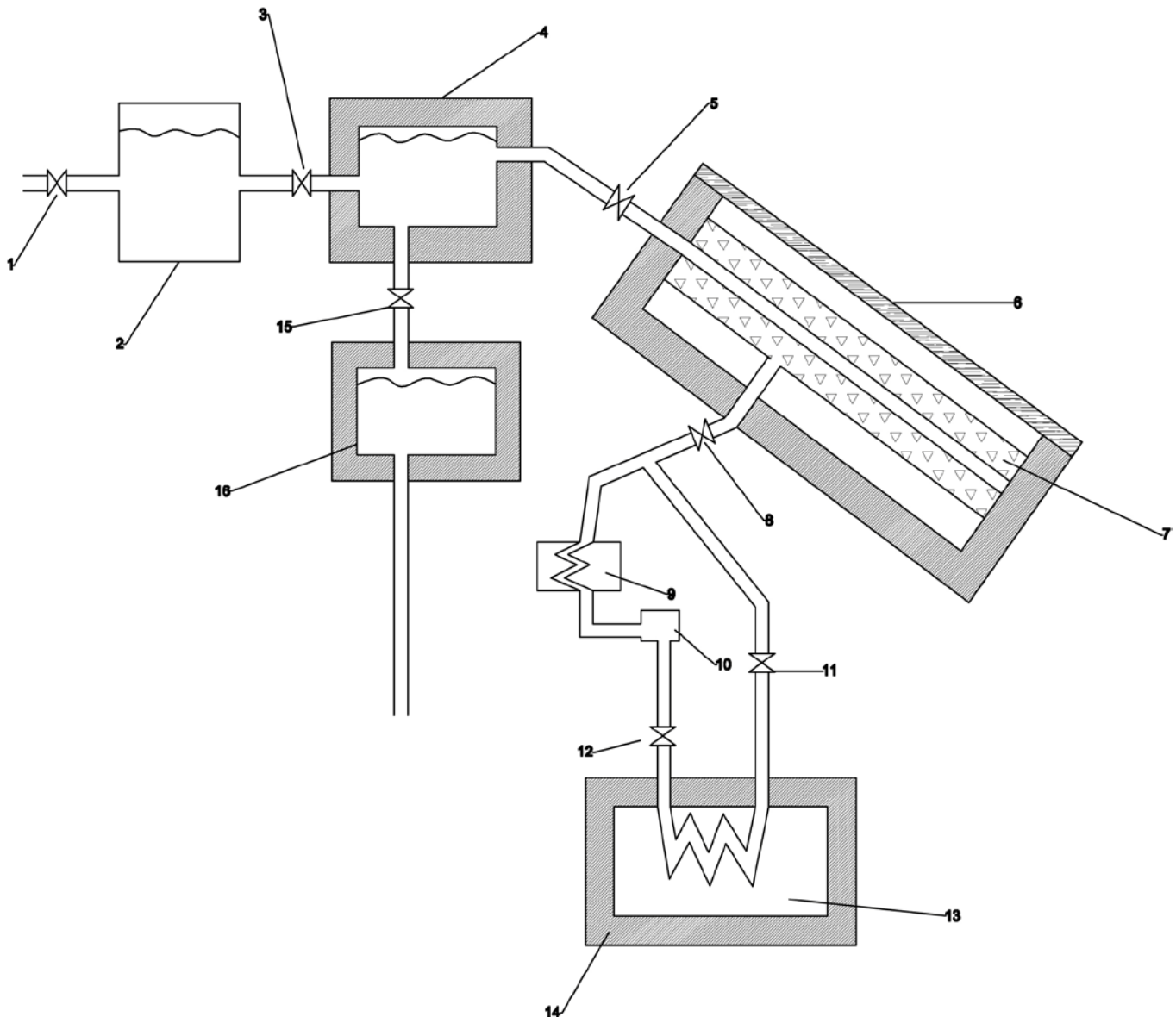
Όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω το μελετώμενο σύστημα είναι ένα υβριδικό σύστημα που λειτουργεί με χρήση επίπεδων ηλιακών συλλεκτών και προσροφητικής τράπεζας, με νερό ως ψυκτικό μέσο. Τα συστήματα αυτού του τύπου έχουν εξαιρετικό ενδιαφέρον καθώς μπορούν να συνδυάσουν ψύξη, θέρμανση και ζεστό νερό χρήσης. Ένα τέτοιο σύστημα θα μελετήσουμε κι εμείς βασιζόμενοι κυρίως σε μελέτες και σε εφαρμογές που έχουν γίνει στην Ασία και κυρίως στο Πανεπιστήμιο της Σαγκάης. Στην παρακάτω Εικόνα 78 μπορούμε να δούμε τα μέρη που απαρτίζουν το σύστημά μας.

### 7.7.1: Περιγραφή των μερών που απαρτίζουν τον μηχανισμό

Στον μηχανισμό που της Εικόνας 78 παρατηρούμε τα παρακάτω μέρη:

- 1) Ρυθμιστική βαλβίδα
- 2) Δεξαμενή νερού
- 3) Ρυθμιστική βαλβίδα
- 4) Δεξαμενή τροφοδότησης της προσροφητικής τράπεζας
- 5) Ρυθμιστική βαλβίδα
- 6) Ηλιακός συλλέκτης
- 7) Προσροφητική τράπεζα
- 8) Ρυθμιστική βαλβίδα
- 9) Συμπυκνωτής
- 10) Δοχείο συλλογής ψυκτικού
- 11) Ρυθμιστική βαλβίδα
- 12) Ρυθμιστική βαλβίδα

- 13) Ατμοποιητής
- 14) Δοχείο ατμοποιητή – Ψυκτικός θάλαμος
- 15) Ρυθμιστική βαλβίδα
- 16) Δεξαμενή συλλογής ζεστού νερού χρήσης



**Εικόνα 78:** Σχηματική διάταξη του μηχανισμού αριθμητικής προσομοίωσης της εργασίας

### 7.7.2: Περιγραφή λειτουργίας του μηχανισμού

Η περιγραφή της λειτουργίας του μηχανισμού θα γίνει με βάση τον σχεδιαζόμενο μηχανισμό της Εικόνας 78. Στην Εικόνα τα μεγέθη των απαρτιζόμενων μερών δεν σχεδιάζονται με το φυσικό τους μέγεθος, ούτε είναι σχεδιασμένα υπό κάποια αναλογία. Είναι σχεδιασμένα με σκοπό την εύκολη κατανόηση της Εικόνας. Στο

μηχανισμό μας το νερό δικτύου εισέρχεται στο κύκλωμα μέσω της βαλβίδας νερού 7.

Η προσροφητική τράπεζα 7 θερμαίνεται μέσω του ηλιακού συλλέκτη 6, ανεβάζοντας έτσι τη θερμοκρασία της τράπεζας σε  $T_{g1}$ , δηλαδή στην θερμοκρασία που ξεκινά η διαδικασία της απομάκρυνσης ψυκτικού μέσου από την προσροφητική τράπεζα. Επίσης, αυξάνεται η πίεση σε  $P_c$ . Η μεταβολή είναι ισόογκη. Σε αυτό το στάδιο οι βαλβίδες 5 και 8 παραμένουν κλειστές **(μεταβολή 1 – 2)**.

Όταν η θερμοκρασία φτάσει σε  $T_{g1}$ , ανοίγει η βαλβίδα 8 και ξεκινά η απομάκρυνση του ψυκτικού μέσου από την προσροφητική τράπεζα προς τον συμπυκνωτή. Αφού περάσει από τον συμπυκνωτή 9 το ψυκτικό συμπυκνώνεται και συλλέγεται στο δοχείο συλλογής του 10, αποβάλλοντας τη λανθάνουσα θερμότητά του, φτάνοντας στη θερμοκρασία συμπυκνωτή  $T_c$ . Εκεί έχουμε 100% υγρό ψυκτικό όπου είναι έτοιμο να εξέλθει προς την στραγγαλιστική βαλβίδα. **(μεταβολή 2 – 5)**.

Στη συνέχεια, το ψυκτικό μέσο εξερχόμενο από τον συμπυκνωτή ρέει μέσω της ανοιχτής βαλβίδας 12 στον ατμοποιητή 13 **(μεταβολή 5 – 6)**.

Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται έως ότου η θερμοκρασία στην προσροφητική τράπεζα να φτάσει σε  $T_{g2}$ , όπου είναι και η θερμοκρασία τέλους απομάκρυνσης ψυκτικού από την προσροφητική τράπεζα. Η πίεση παραμένει σταθερή  $P_c$ . Επισημαίνεται ότι η απομάκρυνση είναι ισχυρά ενδόθερμη για αυτό άλλωστε και θερμαίνουμε. **(μεταβολή 2 – 3)**.

Στη συνέχεια οι βαλβίδες 8 και 12 κλείνουν και ανοίγει η βαλβίδα 5, μέσω της οποίας διέρχεται νερό από τη δεξαμενή 4, μέσω ενός σωλήνα στο εσωτερικό της προσροφητικής τράπεζας μεταξύ των δύο στρωμάτων silica gel, δεσμεύοντας την θερμοκρασία της προσροφητικής τράπεζας απομακρύνοντας την πίσω στην δεξαμενή. Μετά ανοίγουμε την βαλβίδα 3 για να ξαναγεμίσουμε τη δεξαμενή 4. Με αυτή τη διαδικασία η προσροφητική τράπεζα ψύχεται έως θερμοκρασία  $T_{a1}$ , που είναι η θερμοκρασία εκκίνησης της προσρόφησης **(μεταβολή 3 – 4)**.

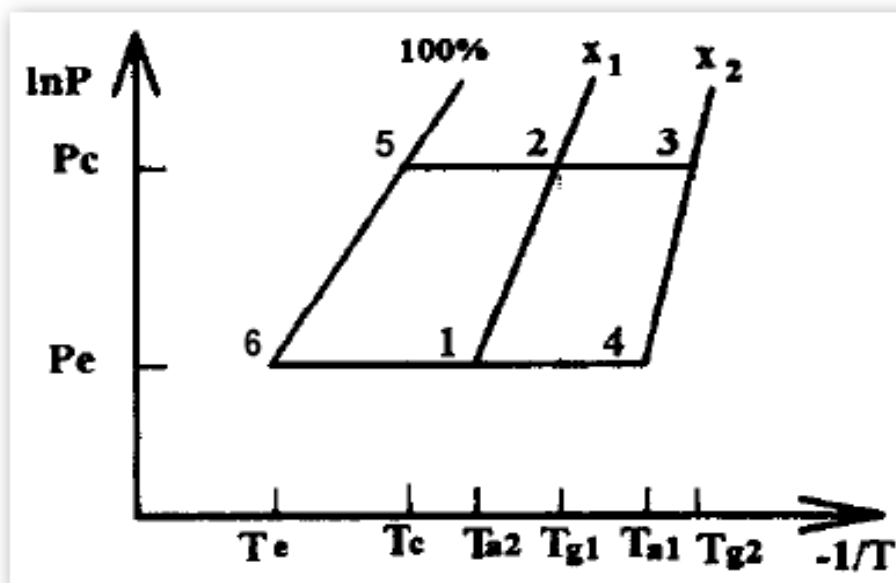
Σε αυτό το σημείο μπορούμε να αναφέρουμε ότι το ζεστό νερό που έχει επιστρέψει στη δεξαμενή 4 από την προσροφητική τράπεζα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο τρόπους. Τις μέρες με χαμηλή ηλιοφάνεια να χρησιμοποιηθεί εκ νέου για τη θέρμανση της προσροφητικής τράπεζας ή να χρησιμοποιηθεί ως ζεστό νερό χρήσης. Συγκεκριμένα και όταν η θερμοκρασία στη δεξαμενή 4 φτάσει ένα επιτρεπτό και αναμενόμενο όριο (πχ τους 50 °C), η βαλβίδα 15 ανοίγει και το νερό ρέει προς την κάτω δεξαμενή 16 για οικιακή χρήση. Στην περίπτωση μας κάνουμε την παραδοχή ότι συμβαίνει πάντα το δεύτερο.

Όταν η θερμοκρασία φτάσει  $T_{a1}$  τότε οι βαλβίδες 11 και 8 ανοίγουν και αρχίζει η προσρόφηση του ψυκτικού από την τράπεζα

ατμοποιώντας το ψυκτικό που υγροποιήθηκε κατά τη διαδικασία της απομάκρυνσης παράγοντας έτσι το ψυκτικό αποτέλεσμα (**μεταβολή 6 - 1**).

Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να πέσει η θερμοκρασία στην προσροφητική τράπεζα στο κατώτατο σημείο της στη θερμοκρασία  $T_{a2}$ , όπου είναι η θερμοκρασία τέλους της προσρόφησης. Η συγκεκριμένη μεταβολή είναι ισόθλιπτη υπό πίεση ατμοποίησης  $P_e$  (**μεταβολή 4 - 1**). Η ανοιχτή βαλβίδα  $\delta$ , επιτρέπει και στο υγρό ψυκτικό που υπάρχει στον ατμοποιητή να ατμοποιηθεί, με αποτέλεσμα την παραγωγή του ψυκτικού αποτελέσματος, λόγω της έλξης του από την τράπεζα. Αυτό συμβαίνει διότι η προσρόφηση είναι ισχυρά εξώθερμη διαδικασία.

Οι μεταβολές εντός των παρενθέσεων απεικονίζονται στο παρακάτω σχήμα και περιγράφουν τον θερμοδυναμικό κύκλο του μελετώμενου μηχανισμού. Η ποσότητα  $X_1$ , αναφέρεται στη συγκέντρωση στο τέλος της προσρόφησης και στην αρχή της απομάκρυνσης, ενώ η ποσότητα  $X_2$  αναφέρεται στη συγκέντρωση στο τέλος της απομάκρυνσης και στην αρχή της προσρόφησης. Ισχύει πάντα  $X_1 > X_2$ .



**Εικόνα 79:** Θερμοδυναμικός κύκλος του μηχανισμού

## 7.8: Ενεργειακή ανάλυση κατά την θέρμανση της τράπεζας

Η προδιδόμενη θερμότητα από τους συλλέκτες συνεισφέρει στην άνοδο της θερμοκρασίας του ΗΤΦ, το οποίο με την άφιξη του εντός της 5 θερμαίνει το υλικό της τράπεζας, το silica gel, τα εμφυτεύματα του και την αισθάνολη μέχρι ενός σημείου. Έτσι το ισοζύγιο ενέργειας στην 8 και στους συλλέκτες είναι:

$$Q_u = \int_{T_{a2}}^{T_{g2}} M_w C_w dT + \int_{T_{a2}}^{T_{g2}} (M_m C_{pm} + M_a C_{pa}) dT + \int_{T_{a2}}^{T_{g1}} X_{conc} M_a C_{pl} dT + \int_{T_{g1}}^{T_{g2}} h_d M_a dX + \int_{T_{g1}}^{T_{g2}} X(T, P_c) M_a C_{pl} dT \quad (7.13)$$

Παρακάτω αναλύουμε τι πρεσβεύει ποσοτικά ο κάθε όρος της εξίσωσης (7.13).

- Ο όρος  $\int_{T_{a2}}^{T_{g2}} M_w C_w dT$  αντιπροσωπεύει την θερμότητα που προσδίδεται στο ΗΤΦ – νερό.
- Ο όρος  $\int_{T_{a2}}^{T_{g2}} (M_m C_{pm} + M_a C_{pa}) dT$  αντιπροσωπεύει την θερμότητα που απορροφά η μάζα του δοχείου  $M_m$  και του προσροφητή  $M_a$ .
- Ο όρος  $\int_{T_{a2}}^{T_{g1}} X_{conc} M_a C_{pl} dT$  αντιπροσωπεύει την θερμότητα που απορροφά το προσροφητικό υλικό από  $P_e$  σε  $P_c$ .
- Ο όρος  $\int_{T_{g1}}^{T_{g2}} h_d M_a dX$  είναι η λανθάνουσα θερμότητα που απορροφά το προσροφούμενο υλικό κατά το στάδιο της απομάκρυνσης.
- Ο όρος  $\int_{T_{g1}}^{T_{g2}} X(T, P_c) M_a C_{pl} dT$  είναι η θερμότητα που απορροφά το προσροφούμενο υλικό που παραμένει στον προσροφητή και δεν απομακρύνεται.

Η λανθάνουσα θερμότητα απομάκρυνσης είναι:

$$H_d = \int_{T_{g1}}^{T_{g2}} h_d M_a dX = \int_{T_{g1}}^{T_{g2}} h_d M_a \frac{dX}{dT} dT \quad (7.144).$$

Η θερμότητα προσρόφησης  $h_d$  είναι μια συνάρτηση του  $X$  και δίνεται από την:

$$h_d = RA \frac{T}{T_c} \quad (7.15).$$

Η δε ποσότητα του προσροφούμενου είναι:

$$X = X_o \exp \left[ -k \left( \frac{T}{T_s} - 1 \right)^n \right] \quad (7.16)$$

Στις παραπάνω εξισώσεις έχουμε:  
 $C_{pm}$ : θερμοχωρητικότητα του προσροφητή  
 $C_{pa}$ : θερμοχωρητικότητα του προσροφούμενου  
 $C_{pi}$ : θερμοχωρητικότητα του προσροφούμενου στην υγρή φάση  
**A**: σταθερά Clausius – Clapeyron  
**R**: σταθερά των αερίων.

Κατά την έναρξη της διαδικασίας το νερό εισόδου έχει την θερμοκρασία του νερού δικτύου  $T_m$ . Η θερμοκρασία στην οποία θα καταλήξει το νερό είναι και η μέγιστη του συστήματος άρα είναι και ίση με την  $T_{g2}$ . Οι απώλειες που θα έχουμε εξαρτώνται από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T_a$ . Η  $Q_u$  είναι ίση με την ωφέλιμη ηλιακή ακτινοβολία και ισούται με:

$$Q_u = F_R \cdot A_c \cdot n_s \cdot [H_t - U_L \cdot (T_{g2} - T_a)] \quad (7.17)$$

Σημειώνεται ότι μετά την πρώτη ψύξη η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής  $\delta$  δεν είναι πλέον  $T_m$  λόγω της θερμότητας που αποβάλλεται από τα δομικά στοιχεία της τράπεζας και γενικά του δοχείου άρα η εξίσωση (7.12) γίνεται

$$Q_u = F_R \cdot A_c \cdot n_s \cdot [H_t - U_L \cdot (T_{g2} - T_{a2})] \quad (7.18)$$

Αντικαθιστούμε την  $T_a$  με την  $T_{a2}$  η οποία είναι μεγαλύτερη μερικούς βαθμούς όπως βλέπουμε από τα αποτελέσματα του υπολογιστικού μέρους. Στην εξίσωση έχουμε δύο αγνώστους την  $T_{g2}$  και  $T_{a2}$ .

## 7.8: Ενεργειακή ανάλυση κατά την ψύξη της τράπεζας

Κατά τη ψύξη το θερμό νερό απομακρύνεται από την δεξαμενή. Στη θέση του έρχεται ένα ποσό πολύ ψυχρότερο από το δίκτυο με σκοπό να αναπληρώσει το έλλειμμα και να ψύξει την τράπεζα. Η αισθητή θερμότητα του προσροφητή, της δεξαμενής και η θερμότητα που εκλύει η προσρόφηση προκαλούν άνοδο της θερμοκρασίας του νερού σε αυτήν. Το φορτίο που συναλλάσσεται κατά την ψύξη της δεξαμενής δίνεται από:

$$Q_c = \int_{T_{a2}}^{T_{g2}} (M_m C_{pm} + M_a C_{pa}) dT + \int_{T_{a1}}^{T_{g2}} X_{dil} M_a C_{pl} dT + \int_{T_{a2}}^{T_{a1}} h_a M_a dX + \int_{T_{a2}}^{T_{a1}} X(T, P_e) M_a C_{pl} dT \quad (7.19)$$

- Ο όρος  $\int_{T_{a1}}^{T_{g2}} X_{dil} M_a C_{pl} dT$  αντιπροσωπεύει την θερμότητα που πρέπει να δώσει το προσροφητικό υλικό ώστε να οδεύσει από  $P_c$  σε  $P_e$ .
- Ο όρος  $\int_{T_{a2}}^{T_{a1}} h_a M_a dX$  είναι η λανθάνουσα θερμότητα που εξωτερικεύει το προσροφούμενο κατά την προσρόφηση.

- Ο όρος  $\int_{T_{a2}}^{T_{a1}} X(T, P_e) M_a C_{pl} dT$  είναι η αισθητή θερμότητα που εξωτερικεύει το προσροφούμενο κατά την προσρόφηση. Η δε λανθάνουσα θερμότητα προσρόφησης μπορεί να δοθεί από την εξίσωση:

$$H_a = \int_{T_{a2}}^{T_{a1}} h_a M_a dX = \int_{T_{a2}}^{T_{a1}} h_a M_a \frac{dX}{dT} dT \quad (7.20)$$

$$h_a = RA \frac{T}{T_e} \quad (7.21)$$

Η  $Q_c$  μπορεί να υπολογιστεί και από τον παρακάτω τύπο, όπου και μας δίνει και το φορτίο που δεσμεύει το HTF κατά την ψύξη.

$$Q_c = M_w C_w \cdot (T_{a2} - T_m) \quad (7.22).$$

## 7.9: Υπολογισμός ψυκτικής απόδοσης κύκλου

Το ψυκτικό που έχει απομακρυνθεί συμπυκνώνεται στον συμπυκνωτή και διέρχεται δια του ατμοποιητή όπου και παράγεται το ψυκτικό αποτέλεσμα η ποσότητα του οποίου μας δίνεται από την:

$$Q_{ref} = \Delta X \cdot M_a \cdot L_e \quad (7.23)$$

Η ποσότητα  $\Delta X$  είναι:

$$\Delta X = X_{conc} - X_{dil} \quad (7.24)$$

Από την (6.23) έχουμε:

$$X_{conc} = X_o \exp \left[ -k \left( \frac{T_{a2}}{T_s} - 1 \right)^n \right] \quad (7.25)$$

$$X_{dil} = X_o \exp \left[ -k \left( \frac{T_{g2}}{T_s} - 1 \right)^n \right] \quad (7.26)$$

Όπου

$L_e$ : η λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης,

$X_{conc}$ : η ποσότητα του ψυκτικού πριν την απομάκρυνση

$X_{dil}$ : η ποσότητα μετά από αυτήν που παραμένει στον προσροφητή.

$T_s$ : είναι η θερμοκρασία κορεσμού της ουσίας.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ένα ποσό του ψυκτικού αποτελέσματος θα χρησιμοποιηθεί για να ψύξει το ψυκτικό από  $T_c$ - $T_{ev}$  το οποίο δίνεται από:

$$Q_{cc} = M_a \cdot \Delta X \cdot C_{pl} \cdot (T_c - T_e) \quad (7.27)$$

Ορίζοντας και το ποσό αναγέννησης της προσροφητικής τράπεζας

$$Q_{reg} = Q_u - Q_{water} \quad (7.28)$$

Λαμβάνουμε το  $COP$  του κύκλου και το ηλιακό  $COP$

$$COP_{cycle} = \frac{Q_{ref} - Q_{cc}}{Q_{reg}} \quad (7.29)$$

$$COP_{solar} = \frac{Q_{ref} - Q_{cc}}{Q_{reg} + Q_{water}} \quad (7.30).$$

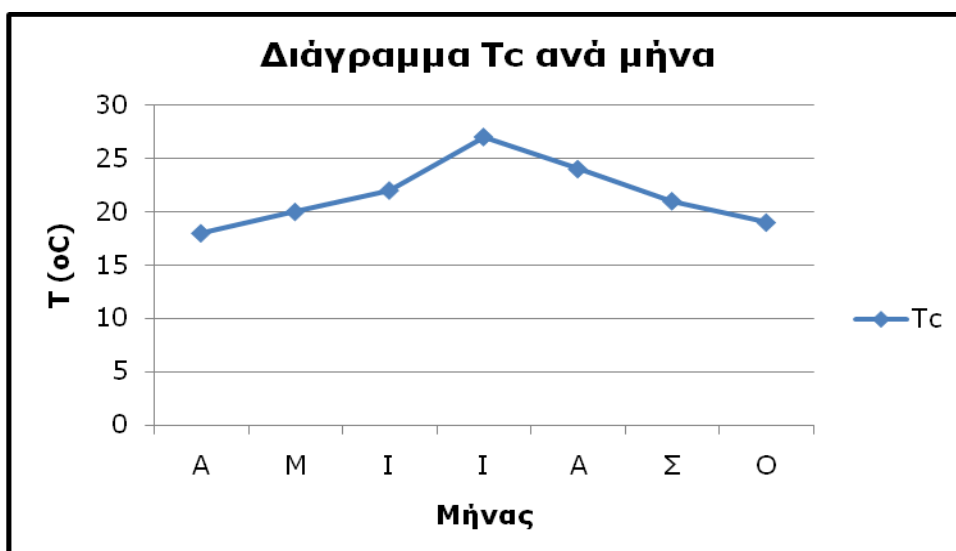
## 7.10: Αριθμητικά δεδομένα

Στην παρούσα παράγραφο θα δώσουμε τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιούμε για την αριθμητική επίλυση του προβλήματος.

- Προσοφητής – silica gel  
 $M_a = 30(kgr) \quad C_{pa} = 1070(J / kgrK)$
- Εμφυτεύματα ατσαλιού στην προσοφητική τράπεζα  
 $M_m = 10(kgr) \quad C_{pm} = 902(J / kgrK)$
- Νερό – HTF στην δεξαμενή ανά φάση (θέρμανση-ψύξη)  
 $M_w = 245 / 2 = 122.5(kgr) \quad C_w = 4180(J / kgrK) \quad T_o = T_w diktyou$
- Προσοφούμενο μέσο - Αιθανόλη  
 $M_{eth} = 10(kgr) \quad X_o = 0,268(kgr / kgr) \quad k = 13,29 \quad n = 1,33 \quad A = 4413$   
 $L_e = 855(kJ.kgr) \quad C_{pl} = 2428(J / kgrK) \quad \rho_{eth} = 789(kgr / m^3)$   
 $P_{min} = 0,02(bar) \quad T_{max} = 120(^{\circ}C) \quad T_s = 15(^{\circ}C)$
- Συμπύκνωση: Θα γίνεται πάντα στην θερμοκρασία του εδάφους. Η θερμοκρασία του εδάφους για κάθε μήνα στην περιοχή τη Θήρας, δίνεται από τον παρακάτω Πίνακα 19.

A	M	I	I	A	Σ	Ο
18	20	22	27	24	21	19

**Πίνακας 20:** Θερμοκρασία εδάφους και συμπυκνώσεως  $T_c$  για την περιοχή της Θήρας (Πηγή: Κακούρης Ηρακλής, 2003)



**Εικόνα 80:** Διάγραμμα θερμοκρασίας συμπυκνώσεως  $T_c$  ανά μήνα



- Απαίτηση ψύξης: 6000 KJ/day

## 7.11: Αριθμητικά αποτελέσματα

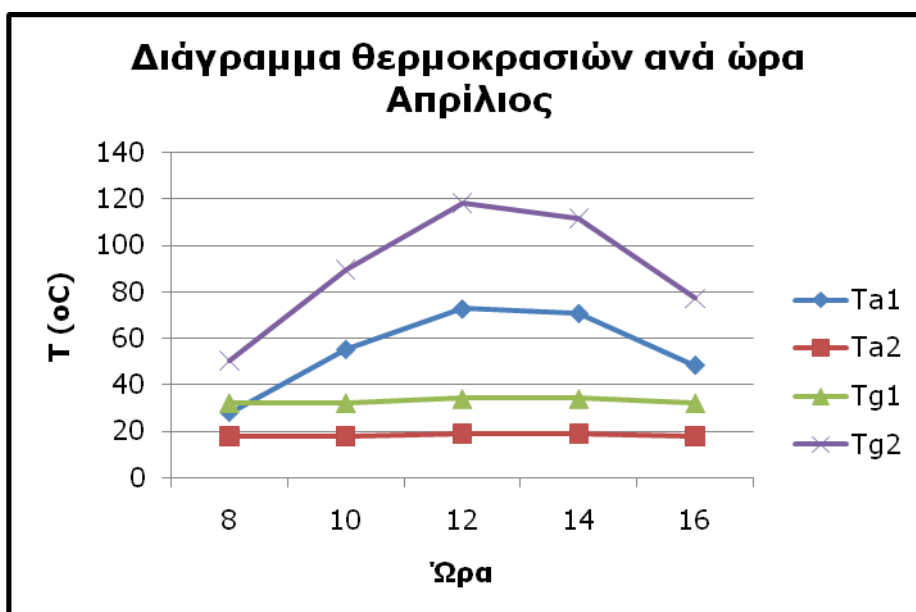
Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε τα ζητούμενα για κάθε μήνα ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα θα φαίνονται σε Πίνακες και Διαγράμματα.

### 7.11.1: Απρίλιος

Έχουμε:

°C	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	Μ.Ο.
$T_{a1}$	28,05	55,33	72,88	70,94	48,49	55,13
$T_{a2}$	18	18	19	19	18	18,4
$T_{g1}$	32,40	32,40	34,20	34,20	32,40	33,12
$T_{g2}$	50,5	89,59	118,19	111,69	77,29	89,45

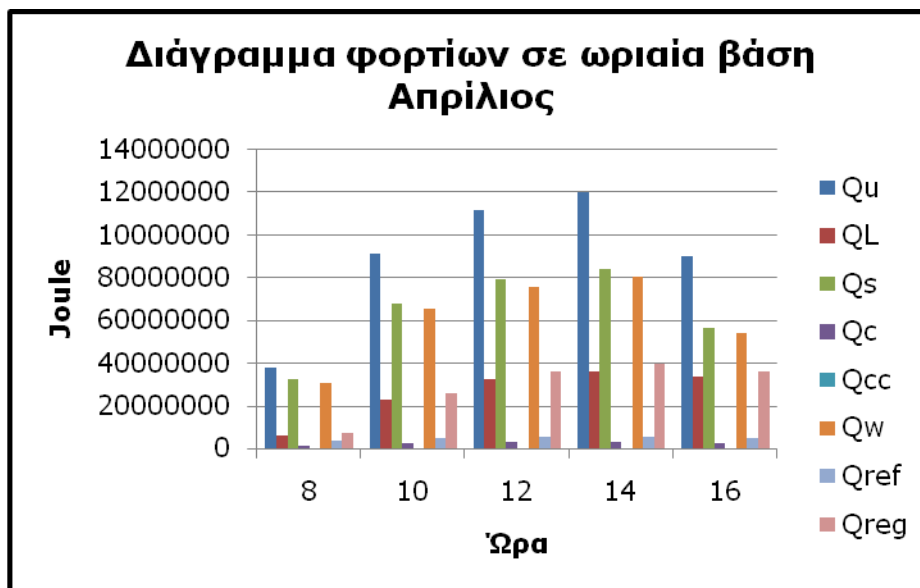
**Πίνακας 21:** Τιμές διάφορων θερμοκρασιών ανά ώρα – Απρίλιος



**Εικόνα 81:** Διάγραμμα θερμοκρασιών ανά ώρα – Απρίλιος

J/d	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	M.O.
$Q_u$	38021760	91031040	111985920	120263040	89994240	90259200
$Q_L$	5765760	23063040	32497920	36167040	33546240	26208000
$Q_s$	32256000	67968000	79488000	84096000	56448000	64051200
$Q_c$	1381326	2678026	3085438	3247224	2277464	2533896
$Q_{cc}$	132936	201948	207556	210628	186312	187876
$Q_w$	30714376	65317909	75788719	80375931	53849879	61209363
$Q_{ref}$	3343758	5079599	5220652	5297926	4686326	4725652
$Q_{reg}$	7307384	25713130	36197200	39887108	36144360	29049836

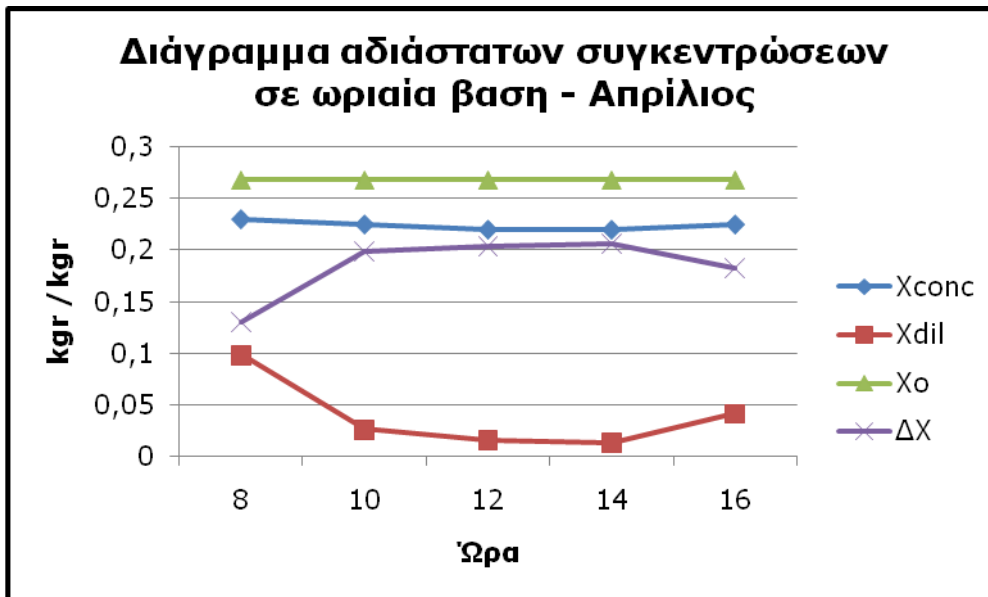
**Πίνακας 22:** Φορτία ανά ώρα – Απρίλιος



**Εικόνα 82:** Διάγραμμα φορτίων ανά ώρα – Απρίλιος

(kg <sub>r ethanol</sub> / kg <sub>r sg</sub> )	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	M.O.
$X_{conc}$	0,230	0,225	0,220	0,220	0,225	0,224
$X_{dil}$	0,099	0,027	0,017	0,014	0,042	0,040
$X_o$	0,268	0,268	0,268	0,268	0,268	0,268
$\Delta X$	0,130	0,198	0,203	0,206	0,182	0,184

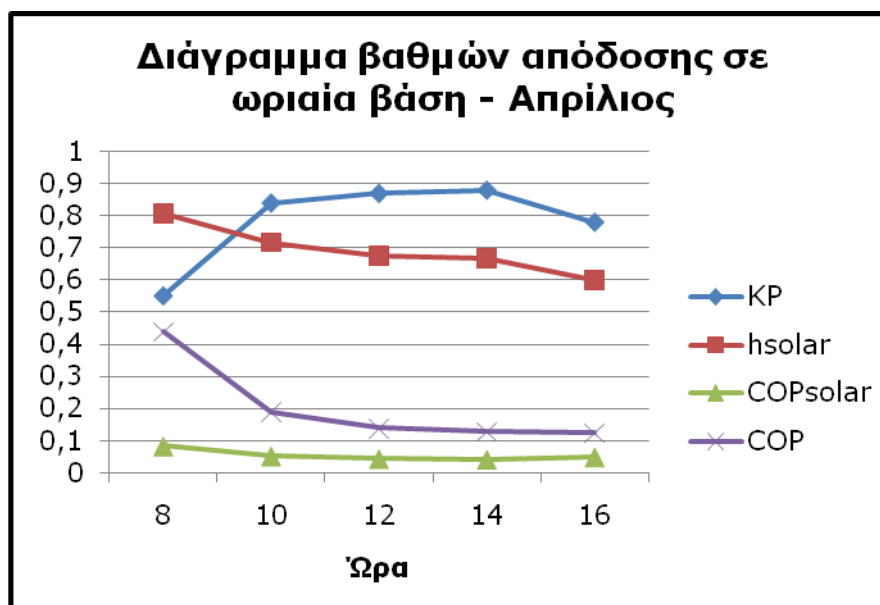
**Πίνακας 23:** Αδιάστατες συγκεντρώσεις ανά ώρα – Απρίλιος



**Εικόνα 83:** Διάγραμμα αδιάστατων συγκεντρώσεων ανά ώρα – Απρίλιος

	Ώρα					Μ.Ο.
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	
KP	0,55	0,84	0,87	0,88	0,78	0,784
$h_{solar}$	0,808	0,717	0,676	0,668	0,598	0,693
$COP_{solar}$	0,084	0,053	0,044	0,042	0,050	0,054
COP	0,439	0,189	0,138	0,127	0,124	0,203

**Πίνακας 24:** Βαθμοί απόδοσης ανά ώρα – Απρίλιος



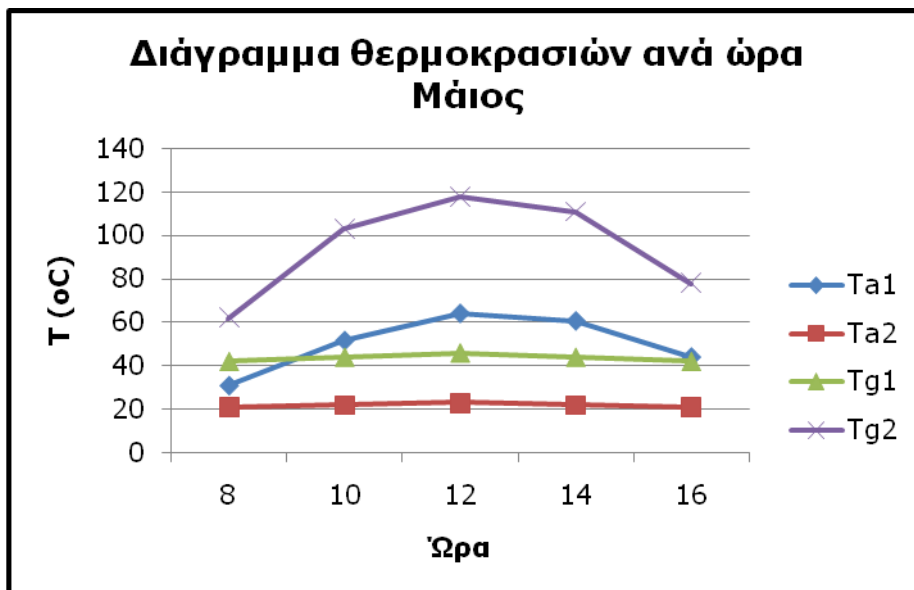
**Εικόνα 84:** Διάγραμμα βαθμών απόδοσης ανά ώρα – Απρίλιος

### 7.10.2: Μάιος

Έχουμε:

°C	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	Μ.Ο.
$T_{a1}$	30,95	51,55	63,95	60,50	44,00	50,19
$T_{a2}$	21	22	23	22	21	21,80
$T_{g1}$	42	44	46	44	42	43,60
$T_{g2}$	61,9	103,1	117,9	111,00	78,00	94,38

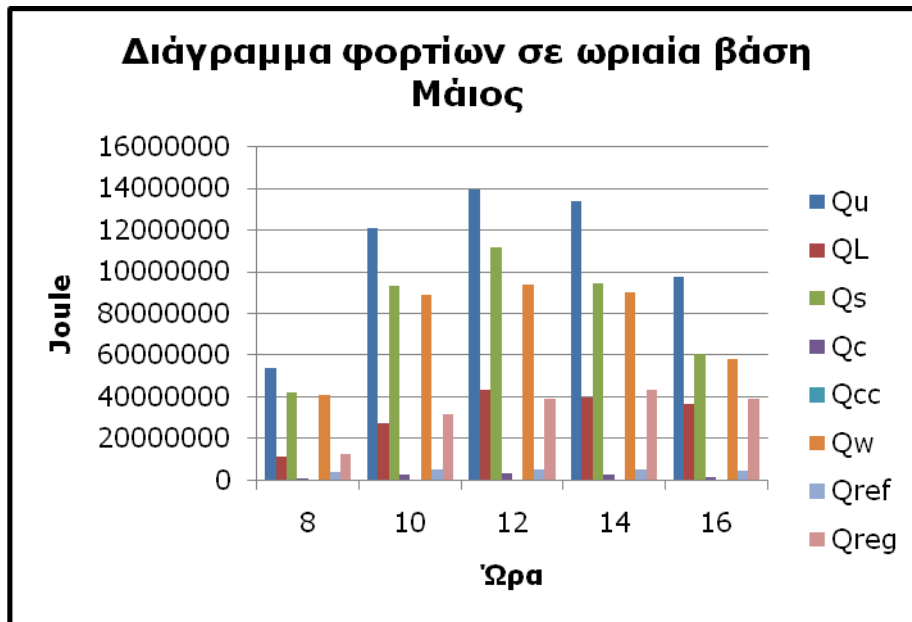
**Πίνακας 25:** Τιμές διάφορων θερμοκρασιών ανά ώρα – Μάιος



**Εικόνα 85:** Διάγραμμα θερμοκρασιών ανά ώρα – Μάιος

J/d	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	Μ.Ο.
$Q_u$	54155520	121092480	139554688	134300160	97747200	109370010
$Q_L$	11531520	27780480	43642880	39836160	36691200	31896448
$Q_s$	42624000	93312000	111904000	94464000	61056000	80672000
$Q_c$	1493151	3150698	3555523	3189720	2093942	2696606
$Q_{cc}$	197461	261387	263611	261996	234555	243802
$Q_w$	40985742	89350912	94037846	90547576	58337369	74651889
$Q_{ref}$	4090266	5414429	5460512	5427043	4858631	5050176
$Q_{reg}$	13169778	31741568	39525034	43752584	39409830	33519759

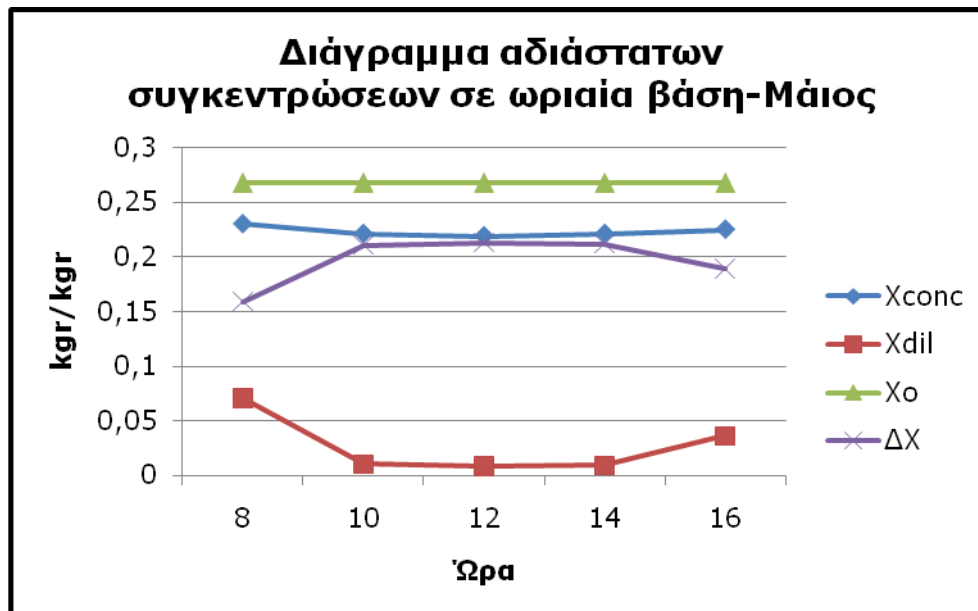
**Πίνακας 26:** Φορτία ανά ώρα – Μάιος



**Εικόνα 86:** Διάγραμμα φορτίων ανά ώρα – Μάιος

(kg <sub>r ethanol</sub> / kg <sub>r sg</sub> )	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	Μ.Ο.
X <sub>conc</sub>	0,230	0,221	0,219	0,221	0,225	0,223
X <sub>dil</sub>	0,071	0,010	0,008	0,009	0,036	0,027
X <sub>o</sub>	0,268	0,268	0,268	0,268	0,268	0,268
ΔX	0,159	0,211	0,213	0,212	0,189	0,197

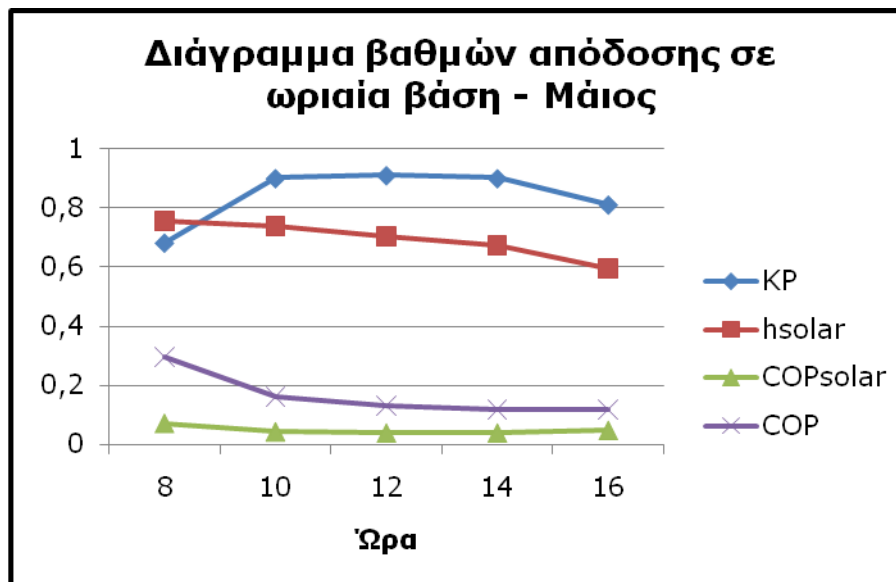
**Πίνακας 27:** Αδιάστατες συγκεντρώσεις ανά ώρα – Μάιος



**Εικόνα 87:** Διάγραμμα αδιάστατων συγκεντρώσεων ανά ώρα – Μάιος

	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	Μ.Ο.
KP	0,68	0,90	0,91	0,90	0,81	0,84
$h_{solar}$	0,756	0,737	0,704	0,674	0,596	0,693
$COP_{solar}$	0,071	0,042	0,038	0,038	0,047	0,047
COP	0,295	0,162	0,131	0,118	0,117	0,165

**Πίνακας 28** Βαθμοί απόδοσης ανά ώρα – Μάιος



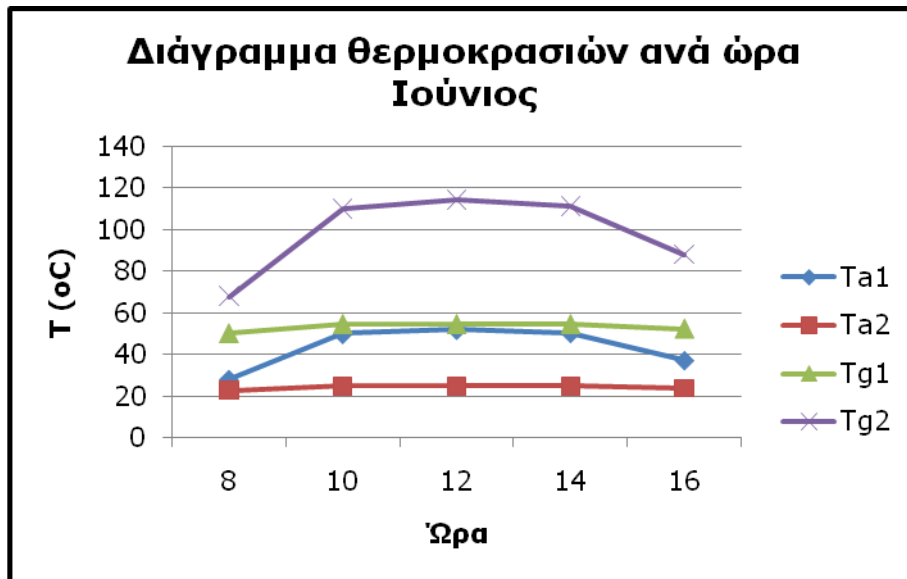
**Εικόνα 88:** Διάγραμμα βαθμών απόδοσης ανά ώρα – Μάιος

### 7.10.3: Ιούνιος

Έχουμε:

°C	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	Μ.Ο.
$T_{a1}$	28,18	50,00	52,04	50,50	37,31	43,61
$T_{a2}$	23	25	25	25	24	24,4
$T_{g1}$	50,60	55	55	55	52,80	53,68
$T_{g2}$	68,00	110,00	114,45	111,10	88,10	98,33

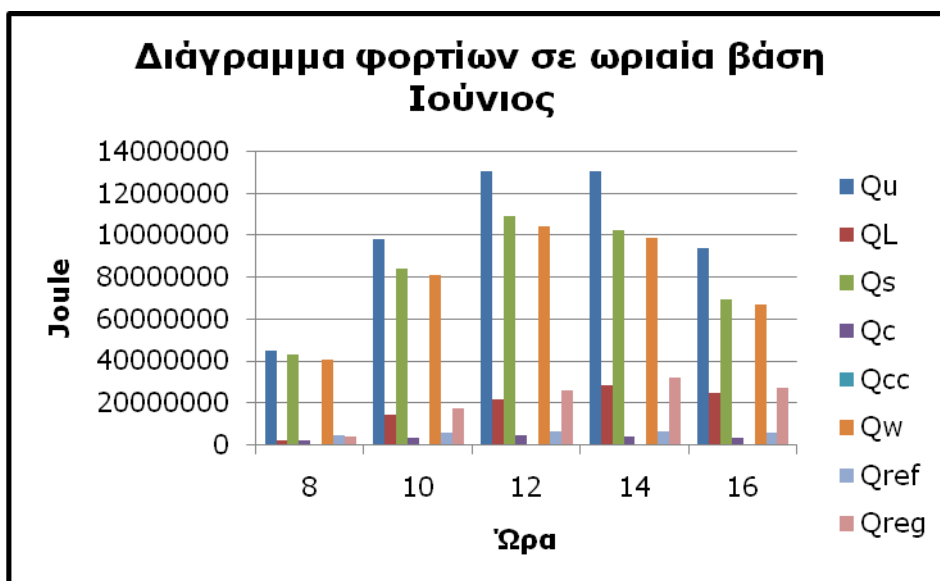
**Πίνακας 29:** Τιμές διάφορων θερμοκρασιών ανά ώρα – Ιούνιος



**Εικόνα 89:** Διάγραμμα θερμοκρασιών ανά ώρα – Ιούνιος

J/d	Ωρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	Μ.Ο.
$Q_u$	44741376	98164224	130595328	130602240	93650688	99550771
$Q_L$	1886976	13837824	21385728	28304640	24530688	17989171
$Q_s$	42854400	84326400	109209600	102297600	69120000	81561600
$Q_c$	2079741	3353068	4214353	3969047	2863056	3295853
$Q_{cc}$	121267	165088	170067	171772	157783	157195
$Q_w$	40786298	80874541	104608377	98724779	66813739	78361547
$Q_{ref}$	4270334	5813462	5988789	6048809	5556207	5535520
$Q_{reg}$	3955077	17289682	25986950	31877460	26836948	21189223

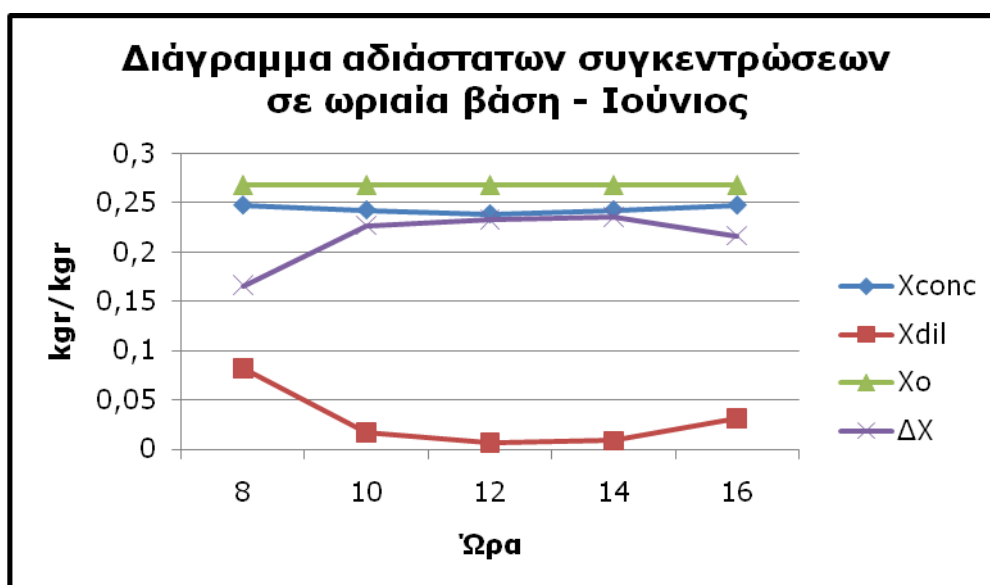
**Πίνακας 30:** Φορτία ανά ώρα – Ιούνιος



**Εικόνα 90:** Διάγραμμα φορτίων ανά ώρα – Ιούνιος

(kg <sub>r</sub> <sub>ethanol</sub> / kg <sub>r</sub> <sub>sg</sub> )	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	M.O.
X <sub>conc</sub>	0,248	0,243	0,239	0,243	0,248	0,244
X <sub>dil</sub>	0,082	0,017	0,006	0,008	0,031	0,029
X <sub>o</sub>	0,268	0,268	0,268	0,268	0,268	0,268
ΔX	0,166	0,227	0,233	0,236	0,217	0,216

**Πίνακας 31:** Αδιάστατες συγκεντρώσεις ανά ώρα – Ιούνιος

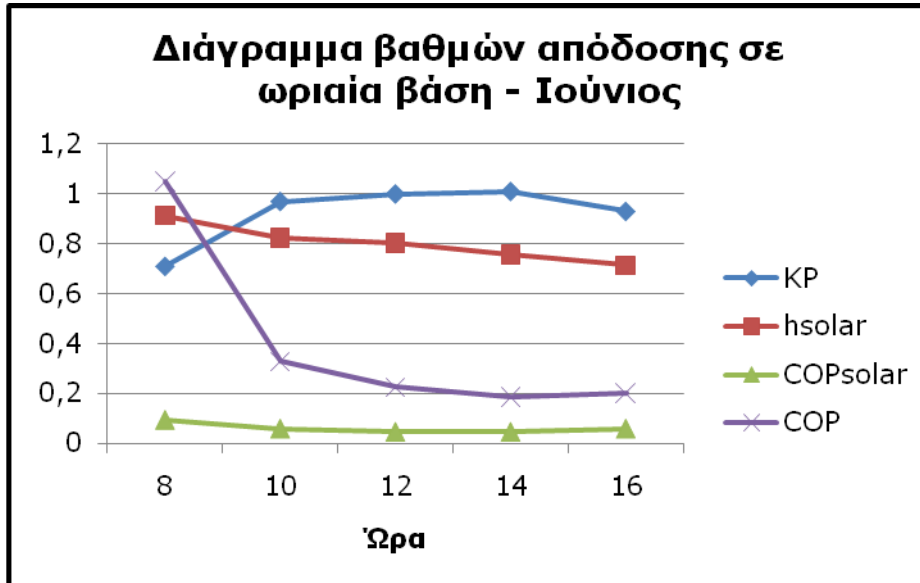


**Εικόνα 91:** Διάγραμμα αδιάστατων συγκεντρώσεων ανά ώρα – Ιούνιος

	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	M.O.
KP	0,71	0,97	1,00	1,01	0,93	0,924
h <sub>solar</sub>	0,912	0,824	0,801	0,756	0,713	0,801
COP <sub>solar</sub>	0,093	0,058	0,045	0,045	0,058	0,060
COP	1,049	0,326	0,223	0,184	0,201	0,397

**Πίνακας 32:** Βαθμοί απόδοσης ανά ώρα – Ιούνιος





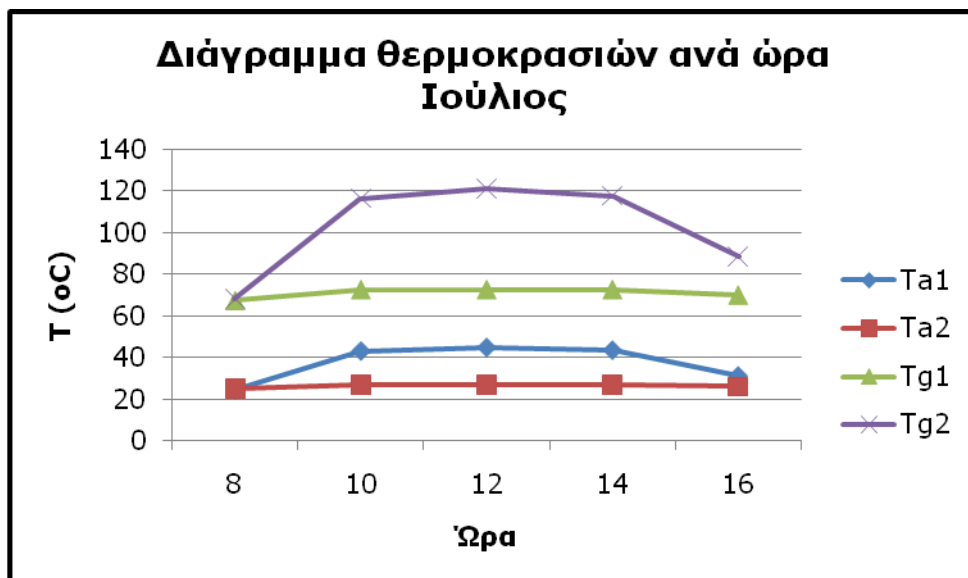
**Εικόνα 92:** Διάγραμμα βαθμών απόδοσης ανά ώρα – Ιούνιος

#### 7.10.4: Ιούλιος

Έχουμε:

°C	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	M.O.
$T_{a1}$	24,48	43,18	44,92	43,62	31,29	37,50
$T_{a2}$	25	27	27	27	26	26,4
$T_{g1}$	67,50	72,90	72,90	72,90	70,20	71,28
$T_{g2}$	68,10	116,60	121,30	117,80	88,50	102,46

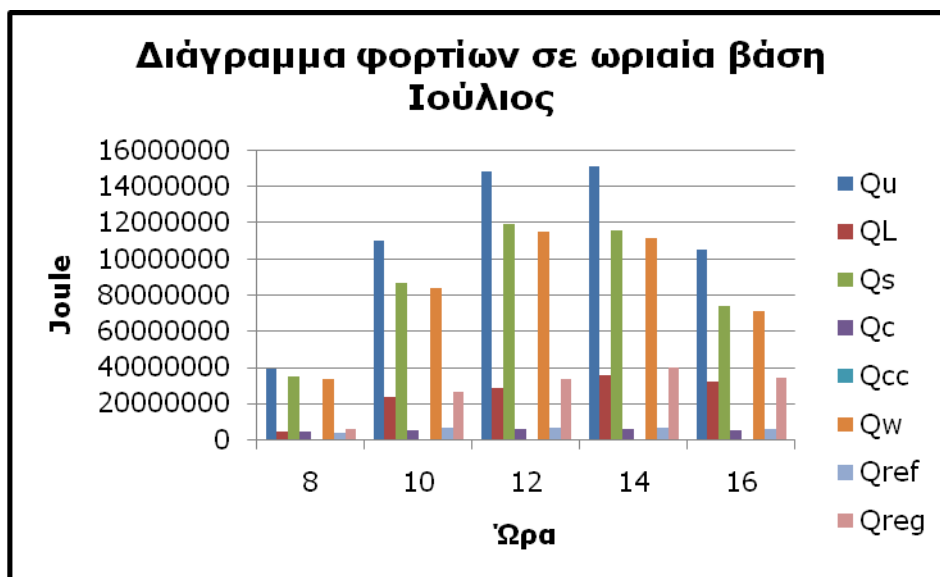
**Πίνακας 33:** Τιμές διάφορων θερμοκρασιών ανά ώρα – Ιούλιος



**Εικόνα 93:** Διάγραμμα θερμοκρασιών ανά ώρα – Ιούλιος

J/d	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	M.O.
$Q_u$	39214080	110112768	148322304	151345152	105596928	110918246
$Q_L$	4193280	23482368	28514304	35223552	31868928	24656486
$Q_s$	35020800	86630400	119808000	116121600	73728000	86261760
$Q_c$	4068595	4893436	5510929	5413604	4683130	4913938
$Q_{cc}$	82733	139915	146361	145857	132597	129492
$Q_w$	33362875	83766479	115178909	111585984	71139914	83006832
$Q_{ref}$	3641758	6158749	6442489	6420314	5836628	5699987
$Q_{reg}$	5851204	26346288	33143394	39759167	34457013	27911413

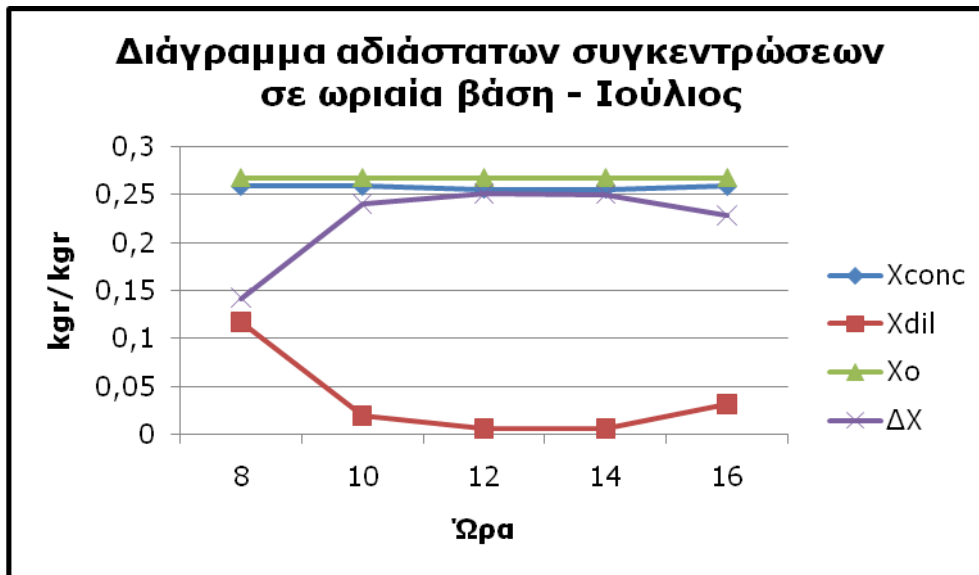
**Πίνακας 34:** Φορτία ανά ώρα – Ιούλιος



**Εικόνα 94:** Διάγραμμα φορτίων ανά ώρα – Ιούλιος

(kg <sub>r</sub> <sup>ethanol</sup> / kg <sub>r</sub> <sup>sg</sup> )	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	M.O.
$X_{conc}$	0,259	0,259	0,256	0,256	0,259	0,258
$X_{dil}$	0,118	0,019	0,006	0,006	0,032	0,036
$X_o$	0,268	0,268	0,268	0,268	0,268	0,268
$\Delta X$	0,142	0,240	0,251	0,250	0,228	0,222

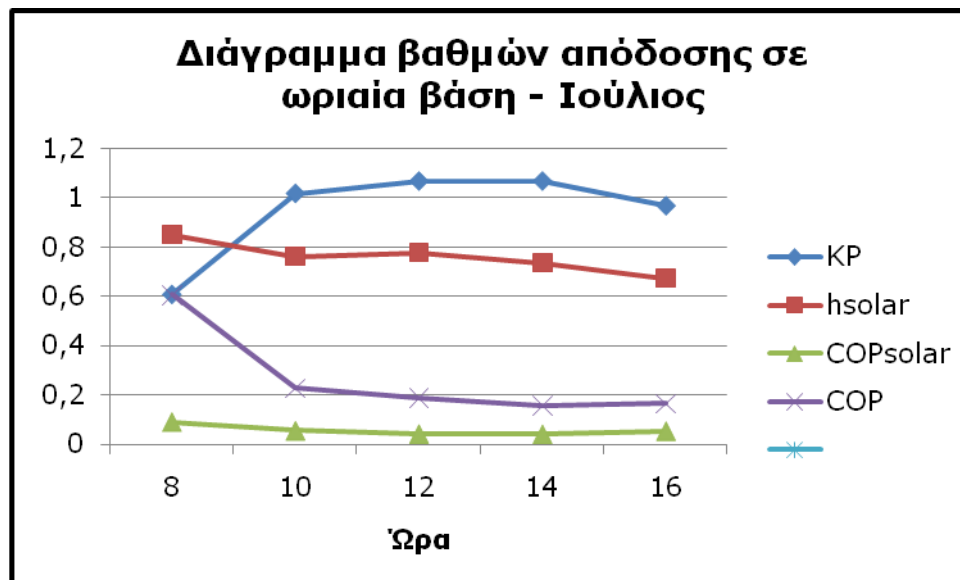
**Πίνακας 35:** Αδιάστατες συγκεντρώσεις ανά ώρα – Ιούλιος



**Εικόνα 95:** Διάγραμμα αδιάστατων συγκεντρώσεων ανά ώρα – Ιούλιος

	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	M.O.
<b>KP</b>	0,61	1,02	1,07	1,07	0,97	0,948
<b>h<sub>solar</sub></b>	0,851	0,761	0,777	0,737	0,674	0,760
<b>COP<sub>solar</sub></b>	0,091	0,055	0,042	0,041	0,054	0,056
<b>COP</b>	0,608	0,229	0,190	0,158	0,166	0,270

**Πίνακας 36:** Βαθμοί απόδοσης ανά ώρα – Ιούλιος



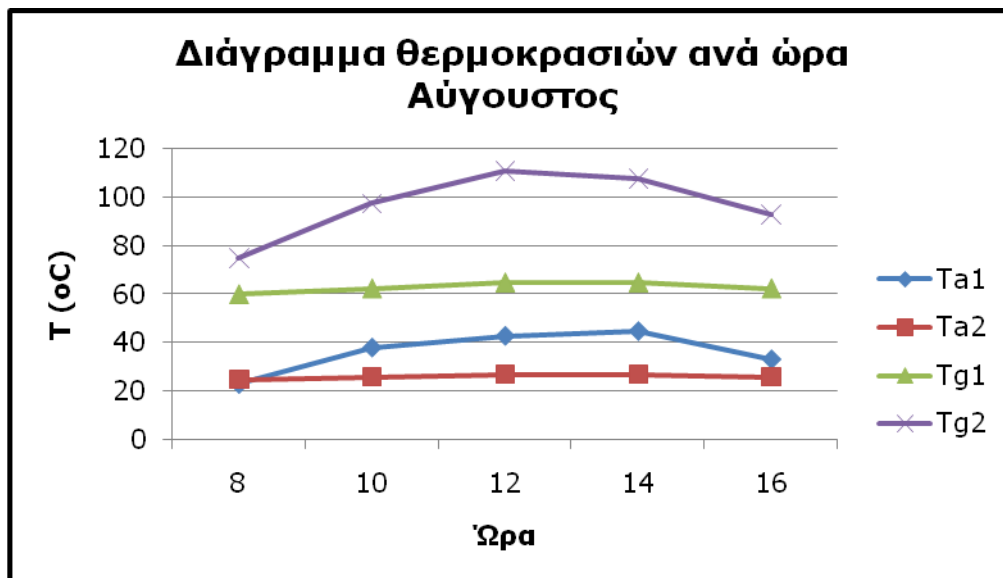
**Εικόνα 96:** Διάγραμμα βαθμών απόδοσης ανά ώρα – Ιούλιος

### 7.10.5: Αύγουστος

Έχουμε:

°C	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	Μ.Ο.
T <sub>a1</sub>	23,25	38,12	42,91	44,83	33,33	36,49
T <sub>a2</sub>	25	26	27	27	26	26,20
T <sub>g1</sub>	60	62,4	64,8	64,8	62,4	62,88
T <sub>g2</sub>	74,80	97,49	110,99	107,59	92,99	96,77

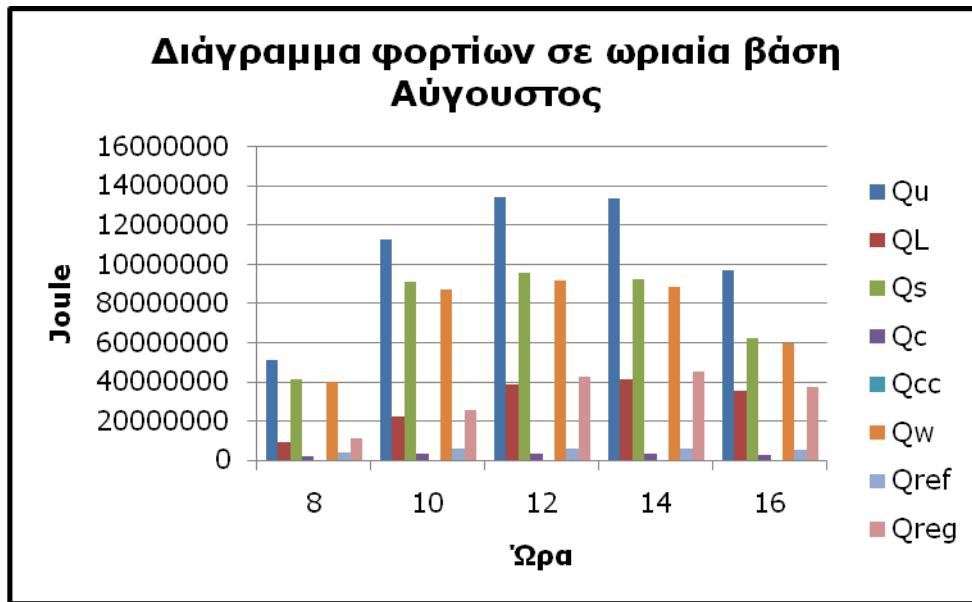
**Πίνακας 37:** Τιμές διάφορων θερμοκρασιών ανά ώρα – Αύγουστος



**Εικόνα 97:** Διάγραμμα θερμοκρασιών ανά ώρα – Αύγουστος

J/d	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	Μ.Ο.
Q <sub>u</sub>	50906880	113022720	134403840	133568640	97326720	105845760
Q <sub>L</sub>	9434880	22014720	38787840	41408640	35118720	29352960
Q <sub>s</sub>	41472000	91008000	95616000	92160000	62208000	76492800
Q <sub>c</sub>	1744073	3421414	3582959	3458182	2433565	2928038
Q <sub>cc</sub>	138099	189969	191935	190482	170687	176234
Q <sub>w</sub>	40035450	87256749	91876225	88385955	59642555	73439387
Q <sub>ref</sub>	4052536	5574678	5632384	5589743	5008843	5171636
Q <sub>reg</sub>	10871429	25765970	42527615	45182685	37684165	32406373

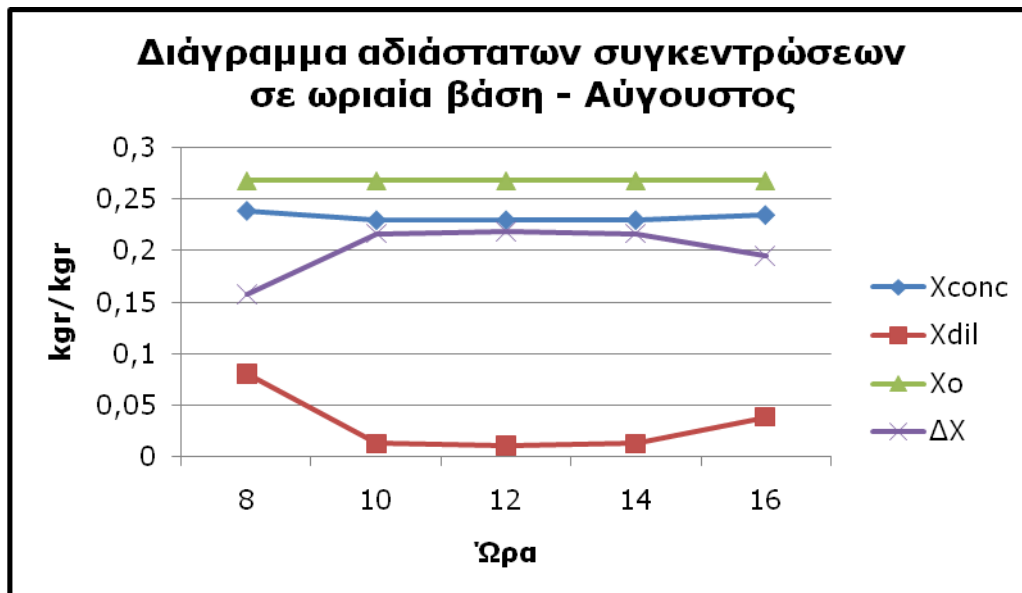
**Πίνακας 38:** Φορτία ανά ώρα – Αύγουστος



**Εικόνα 98:** Διάγραμμα φορτίων ανά ώρα – Αύγουστος

(kg <sub>r ethanol</sub> / kg <sub>r sg</sub> )	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	Μ.Ο.
$X_{conc}$	0,239	0,230	0,230	0,230	0,235	0,231
$X_{dil}$	0,081	0,013	0,011	0,013	0,039	0,031
$X_o$	0,268	0,268	0,268	0,268	0,268	0,268
$\Delta X$	0,158	0,217	0,219	0,217	0,195	0,201

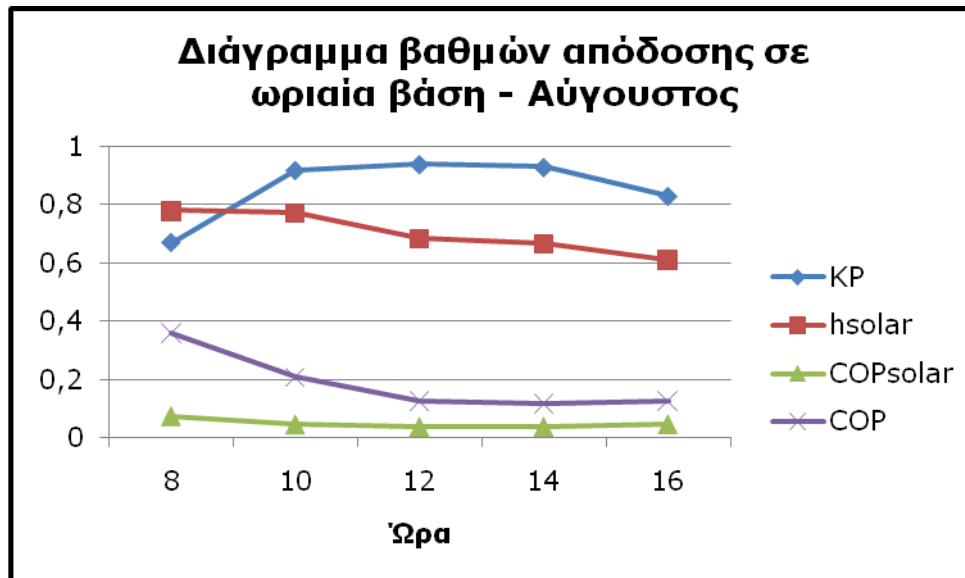
**Πίνακας 39:** Αδιάστατες συγκεντρώσεις ανά ώρα – Αύγουστος



**Εικόνα 99:** Διάγραμμα αδιάστατων συγκεντρώσεων ανά ώρα – Αύγουστος

	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	Μ.Ο.
KP	0,67	0,92	0,94	0,93	0,83	0,86
$h_{solar}$	0,781	0,774	0,685	0,668	0,612	0,704
$COP_{solar}$	0,076	0,048	0,040	0,040	0,049	0,051
COP	0,360	0,209	0,128	0,119	0,128	0,189

**Πίνακας 40:** Βαθμοί απόδοσης ανά ώρα – Αύγουστος



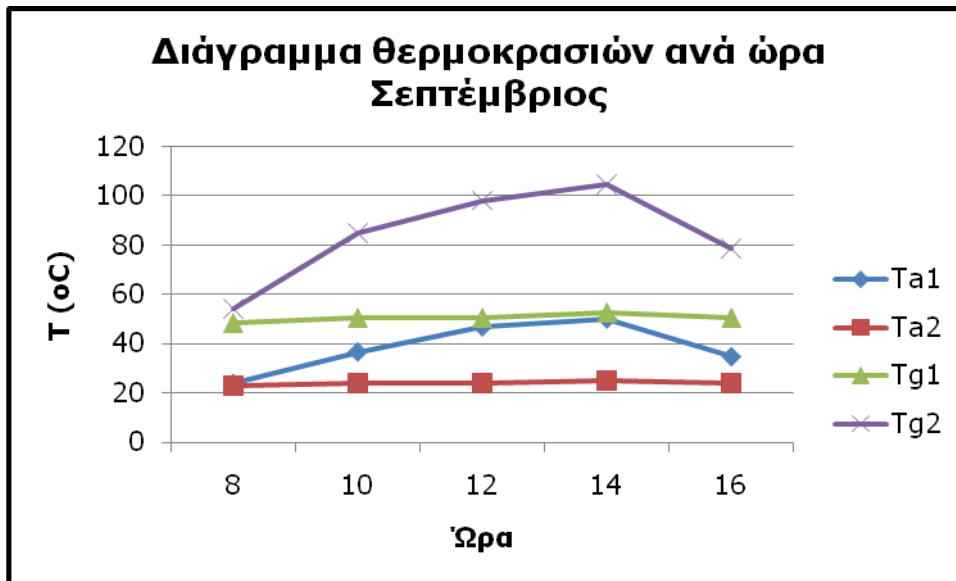
**Εικόνα 100:** Διάγραμμα βαθμών απόδοσης ανά ώρα – Αύγουστος

### 7.10.6: Σεπτέμβριος

Έχουμε:

°C	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	Μ.Ο.
$T_{a1}$	23,80	36,57	46,76	49,95	34,66	38,35
$T_{a2}$	23	24	24	25	24	24,00
$T_{g1}$	48,30	50,40	50,40	52,50	50,40	50,40
$T_{g2}$	54,00	84,79	98,19	104,89	78,8	84,13

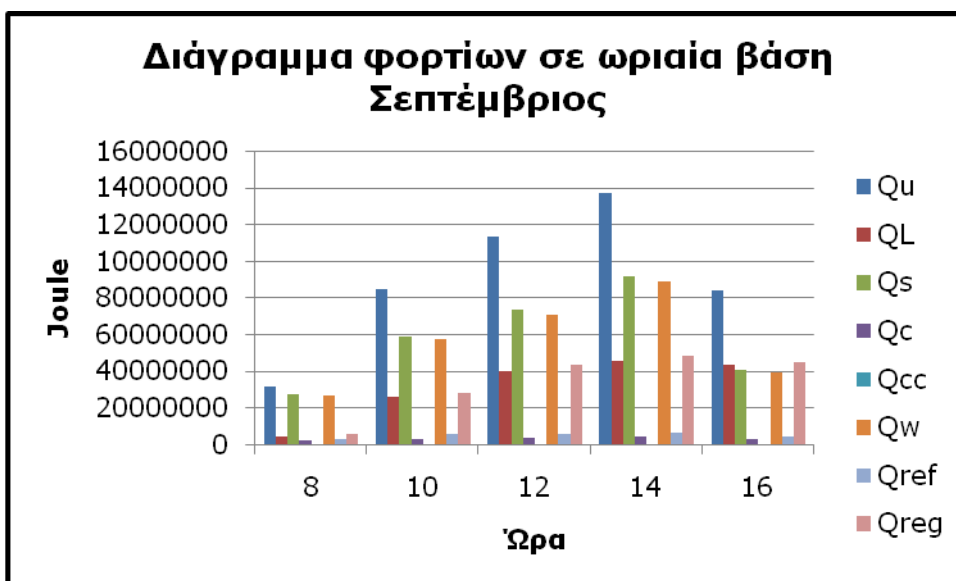
**Πίνακας 41:** Τιμές διάφορων θερμοκρασιών ανά ώρα – Σεπτέμβριος



**Εικόνα 101:** Διάγραμμα θερμοκρασιών ανά ώρα – Σεπτέμβριος

J/d	Ωρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	Μ.Ο.
$Q_u$	31841280	84980736	113983488	137447424	84160512	90482688
$Q_L$	4193280	25998336	40255488	45287424	43610112	31868928
$Q_s$	27648000	58982400	73728000	92160000	40550400	58613760
$Q_c$	2284370	3011965	3378948	3877057	2590316	3028531
$Q_{cc}$	78136	135906	147024	156673	107647	125077
$Q_w$	26426330	57240427	70802619	88952023	39190746	56522429
$Q_{ref}$	3057221	5317583	5752599	6130149	4211897	4893889
$Q_{reg}$	5414949	27740308	43180868	48495400	44969765	33960258

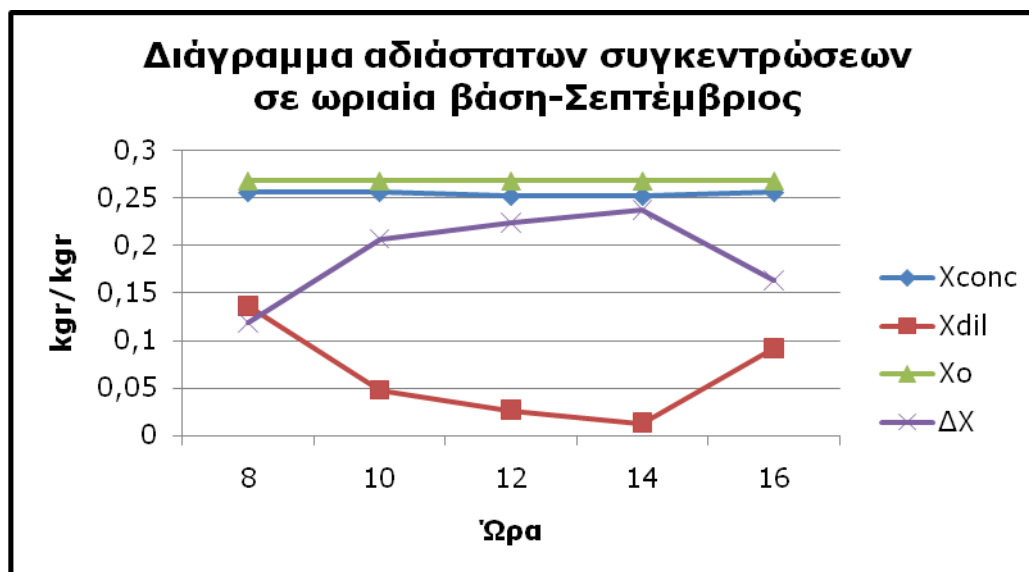
**Πίνακας 42:** Φορτία ανά ώρα – Σεπτέμβριος



**Εικόνα 102:** Διάγραμμα φορτίων ανά ώρα – Σεπτέμβριος

(kg <sub>r</sub> <sup>ethanol</sup> / kg <sub>r</sub> <sup>sg</sup> )	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	Μ.Ο.
X <sub>conc</sub>	0,256	0,256	0,252	0,252	0,256	0,255
X <sub>dil</sub>	0,137	0,048	0,027	0,013	0,092	0,064
X <sub>o</sub>	0,268	0,268	0,268	0,268	0,268	0,268
ΔX	0,119	0,207	0,224	0,238	0,164	0,191

**Πίνακας 43:** Αδιάστατες συγκεντρώσεις ανά ώρα – Σεπτέμβριος

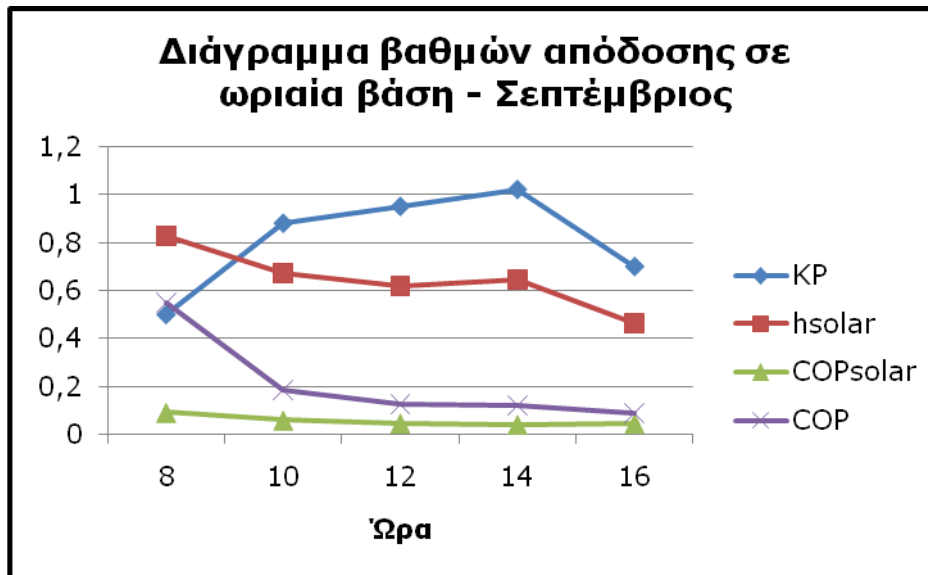


**Εικόνα 103:** Διάγραμμα αδιάστατων συγκεντρώσεων ανά ώρα – Σεπτέμβριος

	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	Μ.Ο.
KP	0,50	0,88	0,95	1,02	0,70	0,81
h <sub>solar</sub>	0,829	0,673	0,621	0,647	0,465	0,647
COP <sub>solar</sub>	0,093	0,061	0,049	0,043	0,048	0,059
COP	0,550	0,186	0,129	0,123	0,091	0,216

**Πίνακας 44:** Βαθμοί απόδοσης ανά ώρα – Σεπτέμβριος





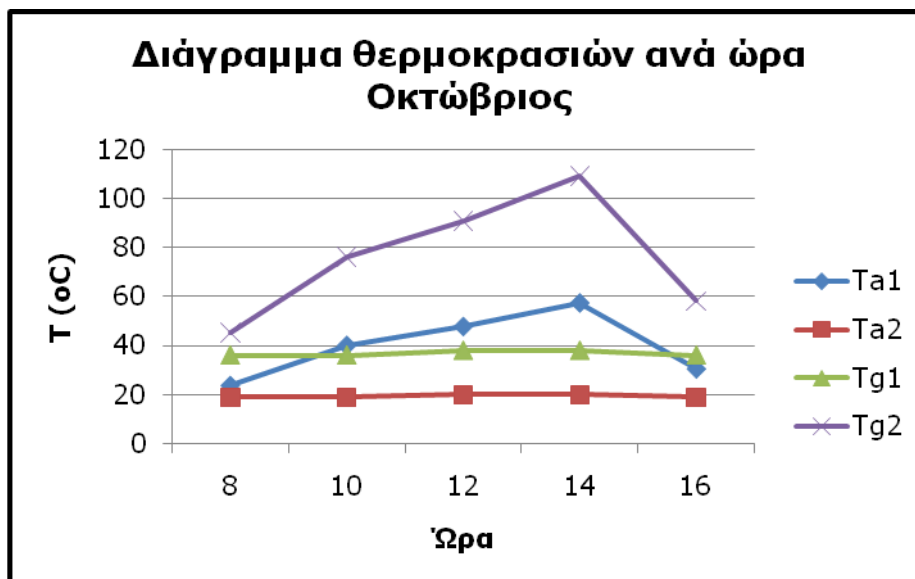
**Εικόνα 104:** Διάγραμμα βαθμών απόδοσης ανά ώρα – Σεπτέμβριος

### 7.10.7: Οκτώβριος

Έχουμε:

°C	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	M.O.
$T_{a1}$	23,94	40,21	47,89	57,47	30,68	31,7
$T_{a2}$	19	19	20	20	19	19,2
$T_{g1}$	36,10	36,10	38	38	36,10	46,1
$T_{g2}$	45,50	76,39	90,99	109,19	58,30	76,1

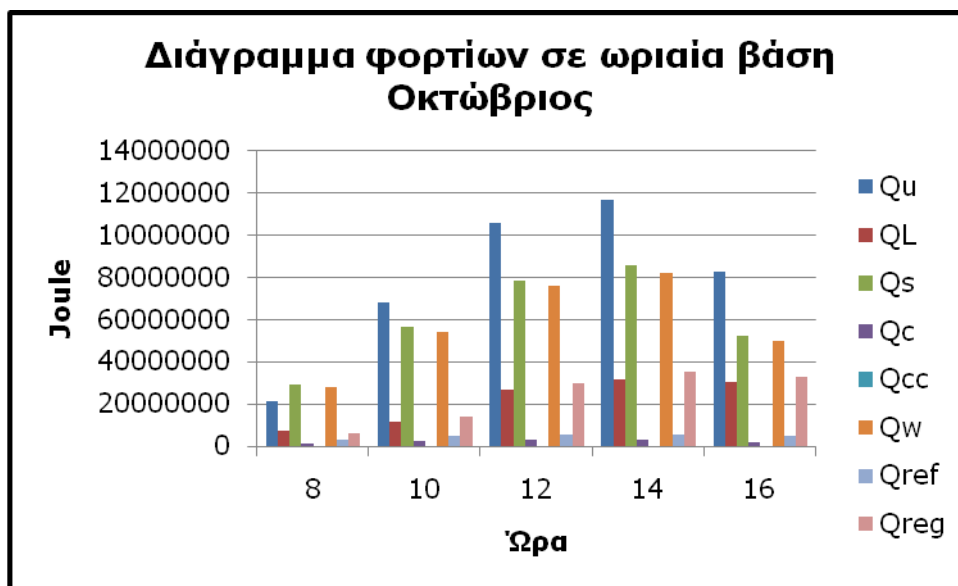
**Πίνακας 45:** Τιμές διάφορων θερμοκρασιών ανά ώρα – Οκτώβριος



**Εικόνα 105:** Διάγραμμα θερμοκρασιών ανά ώρα – Οκτώβριος

J/d	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	Μ.Ο.
$Q_u$	21482496	68000256	105843456	117158400	82722816	79041485
$Q_L$	7547904	11321856	27046656	31449600	30191616	21511526
$Q_s$	29030400	56678400	78796800	85708800	52531200	60549120
$Q_c$	1279660	2243170	2995098	3233266	2106006	2371440
$Q_{cc}$	95817	149514	171325	171673	143441	146354
$Q_w$	27716850	54201839	76170009	82021344	50095640	58041136
$Q_{ref}$	3067402	4786402	5484608	5495771	4591966	4685229
$Q_{reg}$	6234354	13798416	29673446	35137055	32627175	23494089

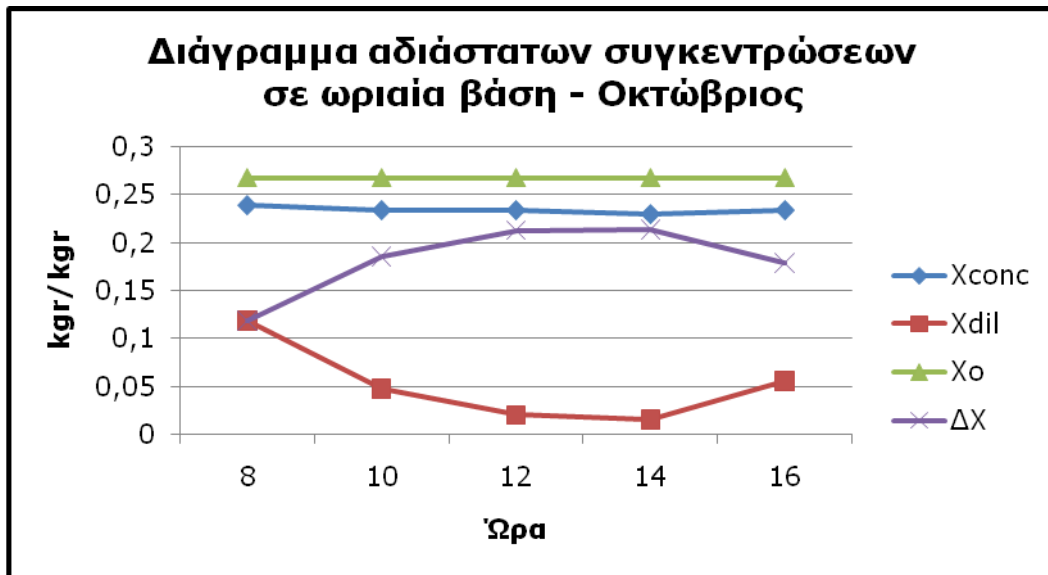
**Πίνακας 46:** Φορτία ανά ώρα – Οκτώβριος



**Εικόνα 106:** Διάγραμμα φορτίων ανά ώρα – Οκτώβριος

(kgr <sub>ethanol</sub> / kgr <sub>sg</sub> )	Ώρα					
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	Μ.Ο.
$X_{conc}$	0,239	0,234	0,234	0,230	0,234	0,234
$X_{dil}$	0,119	0,048	0,021	0,016	0,056	0,052
$X_o$	0,268	0,268	0,268	0,268	0,268	0,268
$\Delta X$	0,119	0,186	0,213	0,214	0,179	0,182

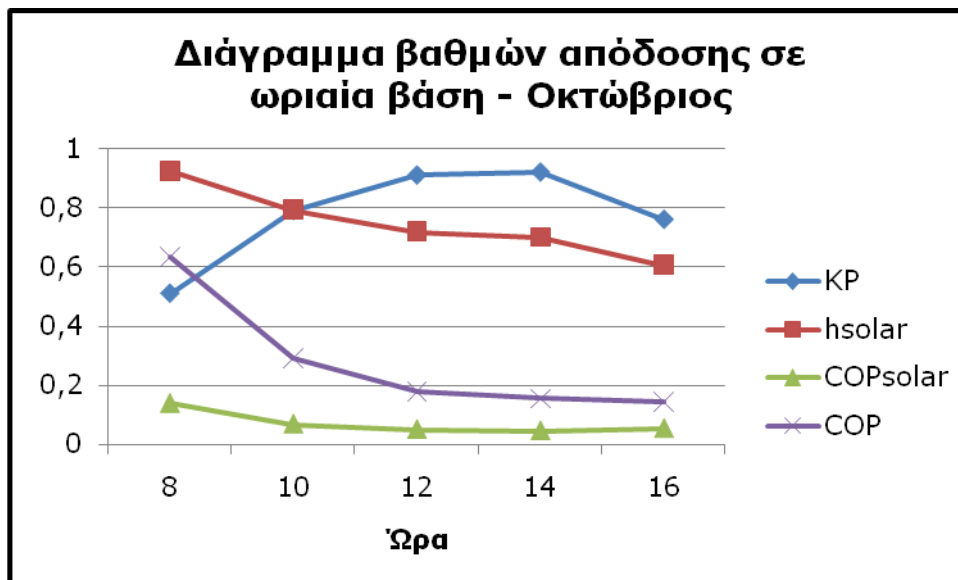
**Πίνακας 47:** Αδιάστατες συγκεντρώσεις ανά ώρα – Σεπτέμβριος



**Εικόνα 107:** Διάγραμμα αδιάστατων συγκεντρώσεων ανά ώρα – Οκτώβριος

	Ώρα					Μ.Ο.
	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	
<b>KP</b>	0,51	0,79	0,91	0,92	0,76	0,778
<b>h<sub>solar</sub></b>	0,924	0,792	0,718	0,700	0,605	0,748
<b>COP<sub>solar</sub></b>	0,138	0,068	0,050	0,045	0,053	0,071
<b>COP</b>	0,634	0,293	0,179	0,155	0,144	0,281

**Πίνακας 48:** Βαθμοί απόδοσης ανά ώρα – Οκτώβριος



**Εικόνα 108:** Διάγραμμα βαθμών απόδοσης ανά ώρα – Οκτώβριος

## 7.11: Συμπεράσματα – Σχόλια

Τα αποτελέσματα των αριθμητικών εφαρμογών ταιριάζουν με παρόμοιες εφαρμογές στη διεθνή βιβλιογραφία και κρίνονται ως ικανοποιητικά. Από τα δεδομένα, τους πίνακες και τα διαγράμματα που παρατίθενται στις ενότητες 7.10. Συγκεκριμένα παρατηρούμε ότι:

- 1) Οι θερμοκρασίες αρχής και τέλους προσρόφησης είναι σε ανεκτά με βάση τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις επίπεδα.
- 2) Όλες οι θερμοκρασίες παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές τους θερινούς μήνες και τις μεσημεριανές ώρες, πράγμα φυσιολογικό για περιοχές στο βόρειο ημισφαίριο. Άλλωστε όλες οι θερμοκρασιακές τιμές συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T_a$ .
- 3) Σε κάποιες περιπτώσεις οι θερμοκρασίες υπερβαίνουν τους  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , πράγμα δύσχρηστο καθώς χρησιμοποιούμε νερό ως HTF.
- 4) Η μεταβολή  $\Delta T_g = T_{g2} - T_{g1}$  κορυφώνεται και διατηρείται σχεδόν σταθερή για τους θερινούς μήνες και τις μεσημεριανές ώρες, ενώ έχει μια απότομη πτώση αρκετών βαθμών στους μήνες με μικρότερη ηλιοφάνεια και τις πρωινές ώρες. Αυτό συμβαίνει διότι η  $T_{g2}$  που επιτυγχάνεται στους μη θερινούς μήνες είναι αρκετά μεγαλύτερη από τους μήνες με μικρότερη ηλιοφάνεια, με αποτέλεσμα τη μείωση της διαφοράς  $\Delta T_{g2}$ .
- 5) Η ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου μέσης ημέρας, παρουσιάζει μέγιστο τις μεσημεριανές ώρες με μέγιστη τιμή τον Ιούλιο, γεγονός επίσης φυσιολογικό, με βάση την ακτινοβολία στον Ελλαδικό χώρο.
- 6) Η θερμοκρασία συμπύκνωσης μεταβάλλεται μηνιαίως με ισόποσα με τη θερμοκρασία εδάφους.
- 7) Οι πιέσεις συμπύκνωσης και ατμοποίησης είναι κι αυτές σε φυσιολογικά επίπεδα, για τέτοιου τύπου εφαρμογές.
- 8) Τα φορτία μελέτης παρουσιάζουν μέγιστο τους θερινούς μήνες και τις μεσημεριανές ώρες, λόγω μεγαλύτερης ηλιοφάνειας και μεγαλύτερων θερμοκρασιών και συγκεντρώσεων.
- 9) Η προσπίπτουσα θερμότητα στους συλλέκτες  $Q_u$  ακολουθεί τη φυσιολογική πορεία αύξησης του μέχρι τους θερινούς μήνες και τις μεσημεριανές ώρες όπου και αρχίζει να μειώνεται.
- 10) Οι απώλειες θερμότητας στους συλλέκτες  $Q_L$  αυξάνονται κι αυτές με μικρούς ρυθμούς μέχρι τους θερινούς μήνες και τις μεσημεριανές ώρες και ακολούθως μειώνονται. Αυτό συμβαίνει γιατί κατά τους ζεστούς μήνες αυξάνεται η διαφορά μεταξύ θερμοκρασίας εισόδου νερού δικτύου  $T_m$  και ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας  $T_a$ .
- 11) Ικανοποιητικές κρίνονται και οι τιμές του εκμεταλλεύσιμου ποσού θερμότητας  $Q_s$ .

- 12) Το μεγαλύτερο ποσοστό του  $Q_s$  αντιστοιχεί στην θέρμανση του νερού, που εκφράζεται κι από το μέγεθος  $Q_w$ .
- 13) Το ποσοστό του  $Q_s$  που αναλογεί στη θερμότητα ψύξης της τράπεζας  $Q_c$ , είναι πολύ μικρότερο, γεγονός προσδοκώμενο. Επίσης, το  $Q_c$  παραμένει σχεδόν αμετάβλητο.
- 14) Το ποσό της ενέργειας που αντιστοιχεί στην ψύξη του νερού για να πάει από την  $T_{g2}$  στην  $T_{a2}$   $Q_{cc}$  είναι σχεδόν μηδαμινό (περίπου 1% της τιμής του  $Q_c$ ) και σωστά δεν μας απασχολεί στους υπολογισμούς.
- 15) Το φορτίο  $Q_{ref}$ , σε λίγες περιπτώσεις ξεπερνά τα 60000 Joule, γεγονός καθόλου ικανοποιητικό, αφού δεν καλύπτει παρά μόνο σε ελάχιστους μήνες και ώρες την απαίτηση ψύξης.
- 16) Σε συνέχεια με τα παραπάνω το ποσοστό κάλυψης ψύξης  $KP$  σε λίγες περιπτώσεις ξεπερνά το 100%.
- 17) Η θερμότητα αναγέννησης της προσροφητικής τράπεζας  $Q_{reg}$  αυξάνεται έως τον Ιούλιο και κατά τις μεσημεριανές ώρες και μειώνεται τους επόμενους μήνες, γεγονός αναμενόμενο. Πρόκειται για ποσότητα η οποία δεν χάνεται αλλά συναλλάσσεται σαν αισθητή θερμότητα μεταξύ των δομικών στοιχείων της εγκατάστασης. Παρόλα αυτά, θα ήταν επιθυμητό να μηδενίσουμε την ποσότητα, ώστε όλη η εργαζόμενη ποσότητα να κατέληγε στο εργαζόμενο μέσο.
- 18) Η ποσότητα  $\Delta X$  είναι σημαντική παράμετρος διότι έχουμε άμεση και γραμμική εξάρτηση του  $COP$  από αυτήν, παρατηρείται σε ικανοποιητικά επίπεδα και περίπου στο 70 – 90% του  $X_o$  για τις μεσημεριανές ώρες, ενώ πολύ μικρά ποσοστά εμφανίζονται για τις πρωινές ώρες.
- 19) Οι τιμές  $X_{dil}$  και  $X_{conc}$  παρουσιάζουν πτώση μέχρι και τις μεσημεριανές ώρες και τους θερινούς μήνες. Αυτό είναι προσδοκώμενο αποτέλεσμα, καθώς τους θερινούς μήνες και το μεσημέρι έχουμε μεγάλη ηλιοφάνεια και χρειαζόμαστε «λιγότερο» προσροφητικό υλικό.
- 20) Καμία από τις αδιάστατες συγκεντρώσεις δεν υπερβαίνει το  $X_o$ , η οποία είναι και η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει μια αδιάστατη συκέντρωση.
- 21) Ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη  $h_{solar}$  είναι σε πολύ καλά επίπεδα ο οποίος δείχνει την προσφερόμενη ηλιακή θερμότητα που θα χρησιμοποιηθεί για την άνοδο της θερμοκρασίας του νερού.
- 22) Ο ηλιακός συντελεστής απόδοσης  $COP_{solar}$ , παρουσιάζει κι αυτός ελάχιστες τιμές τις μεσημεριανές ώρες και τους θερινούς μήνες, γεγονός φυσιολογικό. Ο ηλιακός συντελεστής απόδοσης  $COP_{solar}$ , δείχνει το ποσοστό της προσφερόμενης θερμότητας που θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή του ψυκτικού κέρδους. Αναμενόταν μικρός αφού το μεγαλύτερο ποσό θερμότητας δαπανάται για την άνοδο της θερμοκρασίας του HTF.

- 23)** Το *COP* της εγκατάστασης είναι σε μερικές περιπτώσεις κάτω των επιπέδων της βιβλιογραφίας, γεγονός που πρέπει να μας προβληματίσει.
- 24)** Τα διαγράμματα κύκλου προσρόφησης ανά μήνα φαίνονται κι αυτά φυσιολογικά.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8**

**ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ**

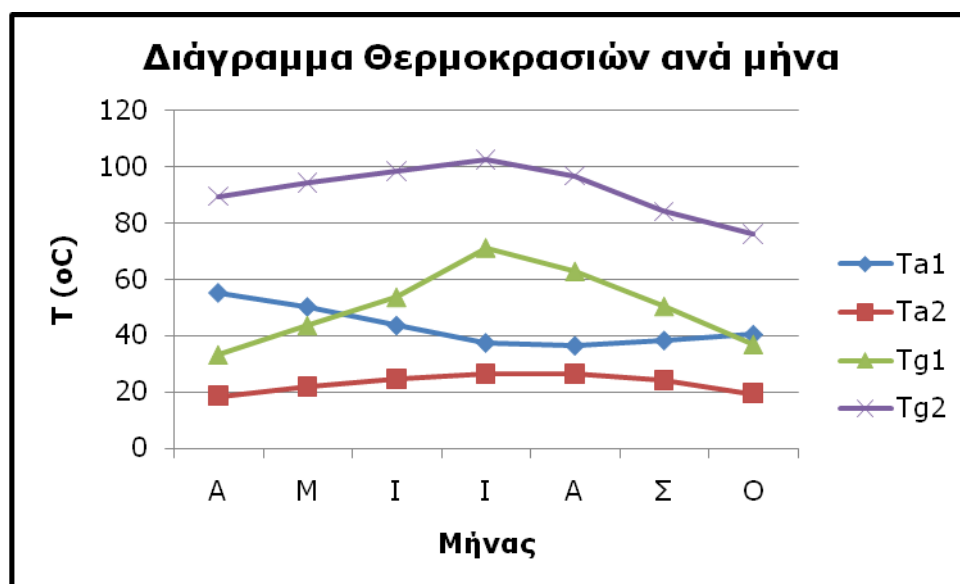
**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ**

## 8.1: Εισαγωγή

Σε αυτό το Κεφάλαιο, θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της δικής μας Εργασίας με αυτή που εκπόνησε ο συνάδελφος Κωνσταντίνος Βαρδακαστάνης στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ. Στη συνέχεια θα περιγράψουμε εν συντομία τη μέθοδο και τον μηχανισμό λειτουργίας του συναδέλφου, θα εκθέσουμε τα αποτελέσματα που βρήκε και θα τα συγκρίνουμε με τα αντίστοιχα δικά μας. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε ότι ο συνάδελφος έχει εργαστεί εξαγοντας αποτελέσματα υπολογίζοντας τα δεδομένα για τη μέση ημέρα κάθε μήνα και μετατρέποντάς σε μηνιαία βάση. Για να μπορούν να συγκριθούν οι δύο εργασίες θα μετατρέψουμε τα δικά μας ωριαία δεδομένα για τη μέση ημέρα κάθε μήνα σε αντίστοιχα μηνιαία δεδομένα για την μέση ημέρα κάθε μήνα, υπολογίζοντας τους μέσους όρους κάθε αποτελέσματος. Έτσι έχουμε τους παρακάτω Πίνακες και Εικόνες.

°C	Μήνας						
	A	M	I	I	A	Σ	Ο
T <sub>a1</sub>	55,13	50,19	43,61	37,50	36,49	38,35	40,40
T <sub>a2</sub>	18,40	21,80	24,40	26,40	26,20	24,00	19,40
T <sub>g1</sub>	33,12	43,60	53,68	71,28	62,88	50,40	36,86
T <sub>g2</sub>	89,45	94,38	98,33	102,46	96,77	84,13	76,08

**Πίνακας 49:** Μέσοι όροι θερμοκρασιών ανά μήνα

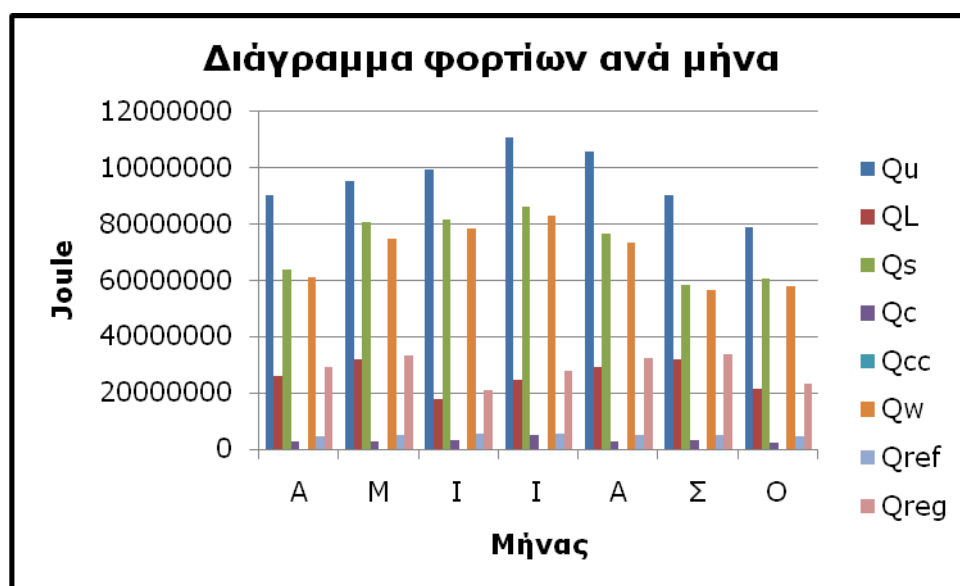


**Εικόνα 109:** Διάγραμμα μέσων όρων θερμοκρασιών ανά μήνα



J/day	Μήνας						
	A	M	I	I	A	Σ	Ο
$Q_u$	90259200	95370010	99550771	110918246	105845760	90482688	79041485
$Q_L$	26208000	31896448	17989171	24656486	29352960	31868928	21511526
$Q_s$	64051200	80672000	81561600	86261760	76492800	58613760	60549120
$Q_c$	2533896	2696606	3295853	4913938	2928038	3028531	2371440
$Q_{cc}$	187876	243802	157195	129492	176234	125077	146354
$Q_w$	61209363	74651889	78361547	83006832	73439387	56522429	58041136
$Q_{ref}$	4725652	5050176	5535520	5699987	5171636	4893889	4685229
$Q_{reg}$	29049836	33519759	21189223	27911413	32406373	33960258	23494089

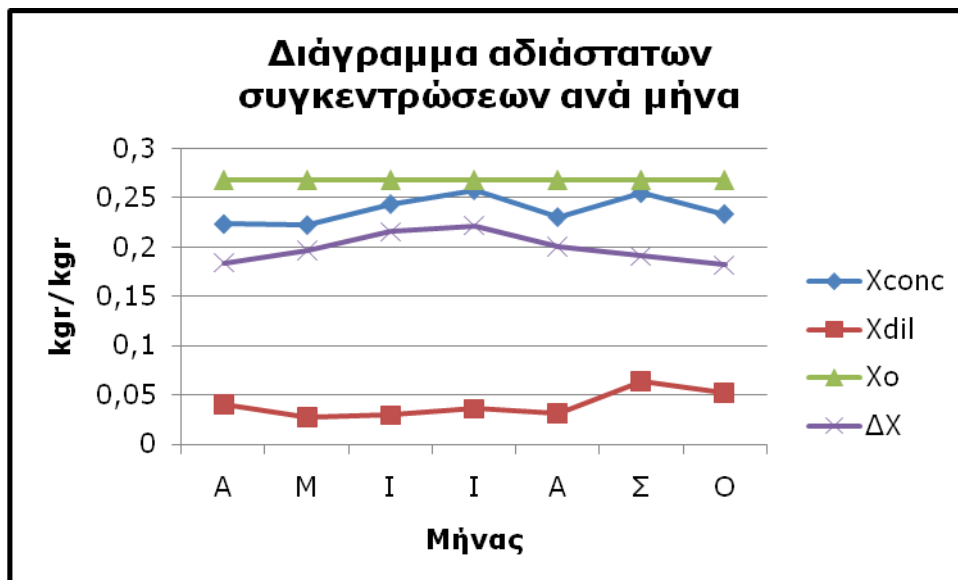
**Πίνακας 50:** Μέσοι όροι φορτίων ανά μήνα



**Εικόνα 110:** Διάγραμμα μέσων όρων φορτίων ανά μήνα

(kgr <sub>ethanol</sub> / kgr <sub>sg</sub> )	Μήνας						
	A	M	I	I	A	Σ	Ο
$X_{conc}$	0,224	0,223	0,244	0,258	0,231	0,255	0,234
$X_{dil}$	0,040	0,027	0,029	0,036	0,031	0,064	0,052
$X_o$	0,268	0,268	0,268	0,268	0,268	0,268	0,268
$\Delta X$	0,184	0,197	0,216	0,222	0,201	0,191	0,182

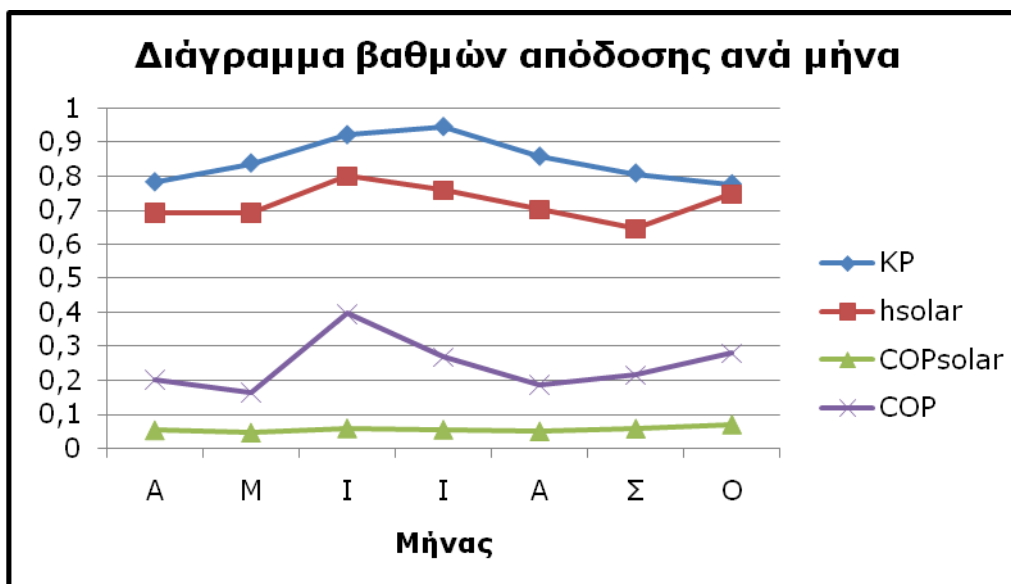
**Πίνακας 51:** Μέσοι όροι αδιάστατων συγκεντρώσεων ανά μήνα



**Εικόνα 111:** Διάγραμμα μέσων όρων αδιάστατων συγκεντρώσεων ανά μήνα

	Μήνας						
	A	M	I	I	A	Σ	O
KP	0,784	0,84	0,924	0,948	0,86	0,81	0,778
$h_{solar}$	0,693	0,693	0,801	0,760	0,704	0,647	0,748
$COP_{solar}$	0,054	0,047	0,060	0,056	0,051	0,059	0,071
COP	0,203	0,165	0,397	0,270	0,189	0,216	0,281

**Πίνακας 52:** Μέσοι όροι βαθμών απόδοσης ανά μήνα



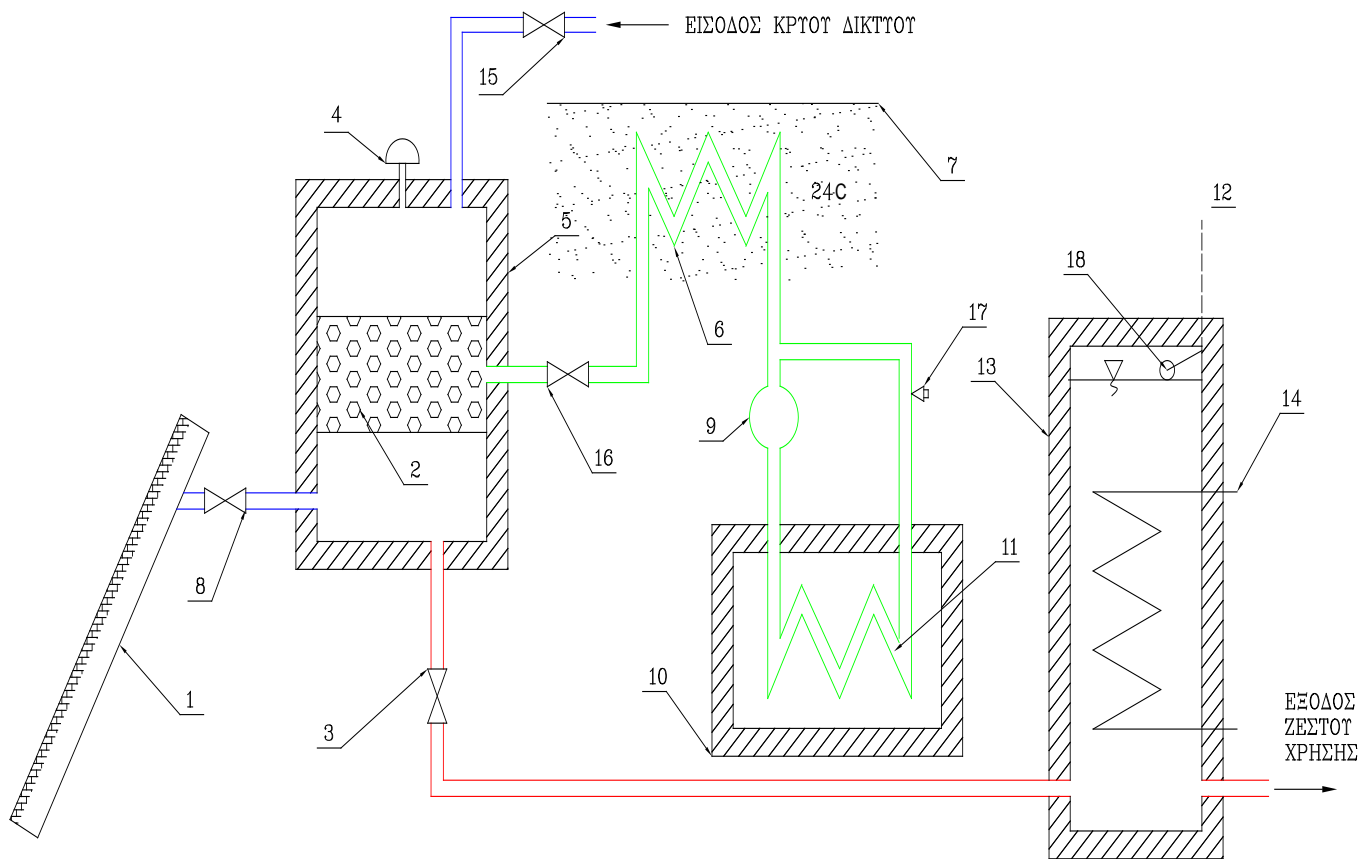
**Εικόνα 112:** Διάγραμμα μέσων όρων βαθμών απόδοσης ανά μήνα

## 8.2: Παρουσίαση της συγκρινόμενης Εργασίας

Στην εν λόγω εργασία γίνεται μελέτη μέσω ενός κώδικα MATLAB σε μία ισόγεια μονοκατοικία 150 m<sup>2</sup>, 4 ενοίκων στην περιοχή της Αθήνας για τους μήνες από το Μάιο έως τον Σεπτέμβριο, χωρίς κάλυψη του οικήματος από σκιά άλλων για οποιαδήποτε μέρα και μήνα, με κατανάλωση ζεστού νερού

$0,06(m^3 / d \cdot enoiko)$ . Ο μηχανισμός λειτουργεί με σύστημα ζεύγους ενεργού άνθρακα (32 kgr) / μεθανόλης (9 kgr) με νερό ως ΗΤΦ. Η δε συμπύκνωση γίνεται σε σταθερή θερμοκρασία  $24\text{ }^\circ\text{C}$  και η ατμοποίηση σε σταθερή θερμοκρασία  $10\text{ }^\circ\text{C}$ . Η μελέτη του προβλήματος βασίζεται σε μια μηχανή που παρουσίασαν οι Wang, Li, Xu, Wu το 1999 και παρακάτω παρουσιάζεται ο τρόπος καθώς κι ένα σχεδιάγραμμα της λειτουργίας του.

Κατά τις πρωινές ώρες ο ηλιακός συλλέκτης θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία και κατά συνέπεια θερμαίνει το ΗΤΦ όπου μέσω της ανοιχτής βάνας 8 μεταφέρει στο δοχείο 5 θερμό ΗΤΦ όπου και θερμαίνει την τράπεζα 2 έως σημείου  $T_{g1}$  με φυσική κυκλοφορία. Κατά τη διάρκεια αυτή η βαλβίδες 3, 15, 16 είναι κλειστές συνεπώς στην 3 αυξάνει τόσο η πίεση όσο και η θερμοκρασία. Όταν η θερμοκρασία φτάσει την  $T_{g1}$  τότε η ρυθμιστική βαλβίδα 16 ανοίγει, η μεθανόλη διέρχεται από τον συμπυκνωτή και αποβάλλει την λανθάνουσα θερμότητα της στο έδαφος που έχει άπειρη θερμοχωρητικότητα και δυνατότητα διατήρησης σταθερής θερμοκρασίας γύρω στους  $24\text{ }^\circ\text{C}$  ενώ παράλληλα υγροποιείται και συλλέγεται στην 9. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι η ηλιακή ενέργεια που δεσμεύεται να καλύπτει μόνο της απώλειες από τα δομικά στοιχεία του συστήματος, δηλαδή κοντά στην δύση οπότε και η βαλβίδα 16 ξανακλείνει. Στην συνέχεια η βαλβίδα 3 ανοίγει και συλλέγουμε στην 13 το πλέον ζεστό νερό χρήσης θερμοκρασίας  $60 - 100\text{ }^\circ\text{C}$ , μετά το πέρας της συλλογής η 3 ξανακλείνει. Τις απογευματινές ώρες πλέον η βαλβίδα 15 ανοίγει οπότε η θερμοκρασία της τράπεζας άρα και η πίεση της κατέρχεται ταχέως έως  $T_{a1}$  και  $P_{sat}=P_{evaporation}$  λόγω εισροής νερού του δικτύου χαμηλής θερμοκρασίας. Τότε η βαλβίδα 16 ανοίγει και η μεθανόλη οδεύοντας από τον 11 ατμοποιείται παράγοντας έτσι το ψυκτικό φορτίο και προσροφάται από τον ενεργό άνθρακα μέχρι θερμοκρασίας  $T_{a2}$ , η διαδικασία αυτή γίνεται υπό σταθερή πίεση με χρήση της ρυθμιστικής βαλβίδας 16. Στο σημείο αυτό η 16, 15 κλείνουν και οι μέσω της 8 επανακυκλοφορεί το ΗΤΦ στον συλλέκτη ξαναρχίζοντας έτσι τον κύκλο, είναι πλέον πρωί.



**Εικόνα 113:** Μηχανισμός λειτουργίας της Εργασίας  
(Πηγή: Κωνσταντίνος Βαρδακαστάνης, 2008)

Τέλος στην παραπάνω Εικόνα διακρίνουμε τα παρακάτω:

1) Ηλιακός συλλέκτης, 2) Προσοφθητική τράπεζα, 3, 8, 15, 16) Ρυθμιστική βαλβίδα, 4) Βαλβίδα εκτόνωσης, 5) Δοχείο τράπεζας, 6) Συμπυκνωτής, 7) Έδαφος, 9) Δοχείο συλλογής ψυκτικού, 10) Ψυγείο – ψυκτικός θάλαμος, 11) Ατμοποιητής, 12) Σήμα ελέγχου δεξαμενής αποθήκευσης ζεστού νερού, 13) Δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού, 14) Εναλλακτική πηγή θέρμανσης, 17) Βαλβίδα αντλίας κενού, 18) Φλοτέρ ελέγχου στάθμης.

### 8.3: Αριθμητικά αποτελέσματα συγκρινόμενης Εργασίας

Παρακάτω παρουσιάζουμε τους Πίνακες των αριθμητικών αποτελεσμάτων της συγκρινόμενης Εργασίας.

- **Θερμοκρασίες**

(°C)	Μήνας				
	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβρης
$T_c$	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
$T_e$	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
$T_{a1}$	36,5	39,0	40,5	39,9	35,7
$T_{a2}$	19,9	22,0	23,6	25,2	23,9
$T_{g1}$	47,8	52,8	56,6	60,5	57,4
$T_{g2}$	87,5	93,6	97,2	95,8	85,7
$T_m$	15,3	18,7	20,8	22,7	21,5
$T_a$	21,2	26,5	28,8	28,5	23,0

**Πίνακας 53:** Θερμοκρασίες ανά μήνα  
(Πηγή: Κωνσταντίνος Βαρδακαστάνης, 2008)

- **Φορτία**

(J/day)	Μήνας				
	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβρης
$Q_u$	74551457	80374244	82560555	77568895	64892450
$Q_L$	5050718	6677220	6848431	4965112	1284081
$Q_s$	69500738	73697023	75712123	72603782	63608369
$Q_c$	4667090	3318118	2952699	2701373	2504011
$Q_{cc}$	70874	72342	72480	69991	65678
$Q_w$	66845584	70800944	72778624	69812104	61110312
$Q_{ref}$	7438377	7592503	7606961	7345705	6893035
$Q_{req}$	7705873	9573300	9781931	7756791	3782138

**Πίνακας 54:** Φορτία ανά μήνα  
(Πηγή: Κωνσταντίνος Βαρδακαστάνης, 2008)

- **Συγκεντρώσεις**

(kg <sub>r methl</sub> / kg <sub>r AC</sub> )	Μήνας				
	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβρης
$\chi_{conc}$	0,2749	0,2689	0,2638	0,2585	0,2628
$\chi_{dil}$	0,064	0,0536	0,0481	0,0502	0,0674
$\chi_o$	0,284	0,284	0,284	0,284	0,284
$\Delta\chi$	0,2109	0,2153	0,2157	0,2083	0,1954

**Πίνακας 55:** Συγκεντρώσεις ανά μήνα  
(Πηγή: Κωνσταντίνος Βαρδακαστάνης, 2008)

- **Βαθμοί απόδοσης**

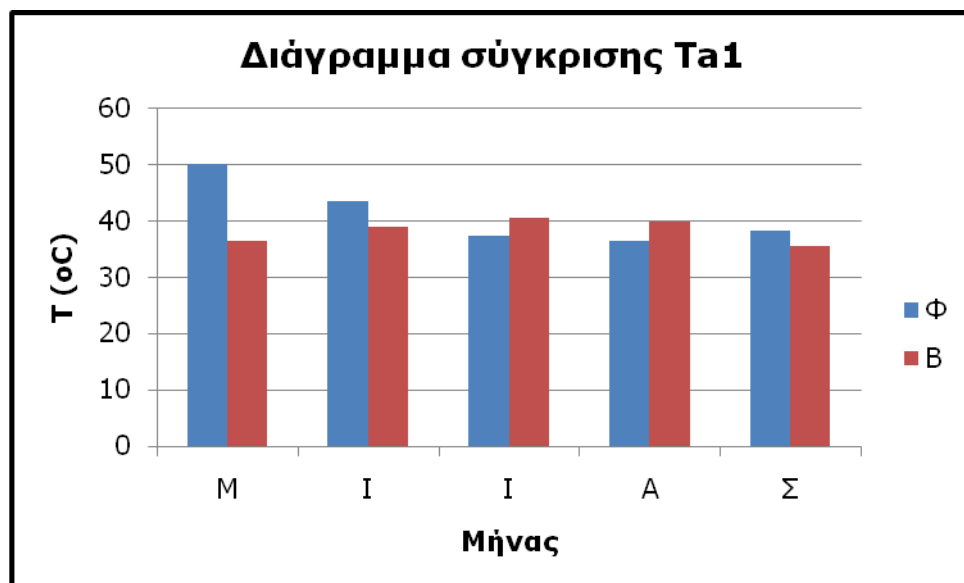
	Μήνας				
	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβρης
<b>KP</b>	1,1758	1,2002	1,2025	1,1612	1,0896
<b>hsolar</b>	0,8966	0,8809	0,8815	0,9	0,9417
<b>COPsolar</b>	0,0988	0,0936	0,0913	0,0938	0,1052
<b>COP</b>	0,9561	0,7855	0,7702	0,938	1,8052

**Πίνακας 56:** Βαθμοί απόδοσης ανά μήνα  
(Πηγή: Κωνσταντίνος Βαρδακαστάνης, 2008)

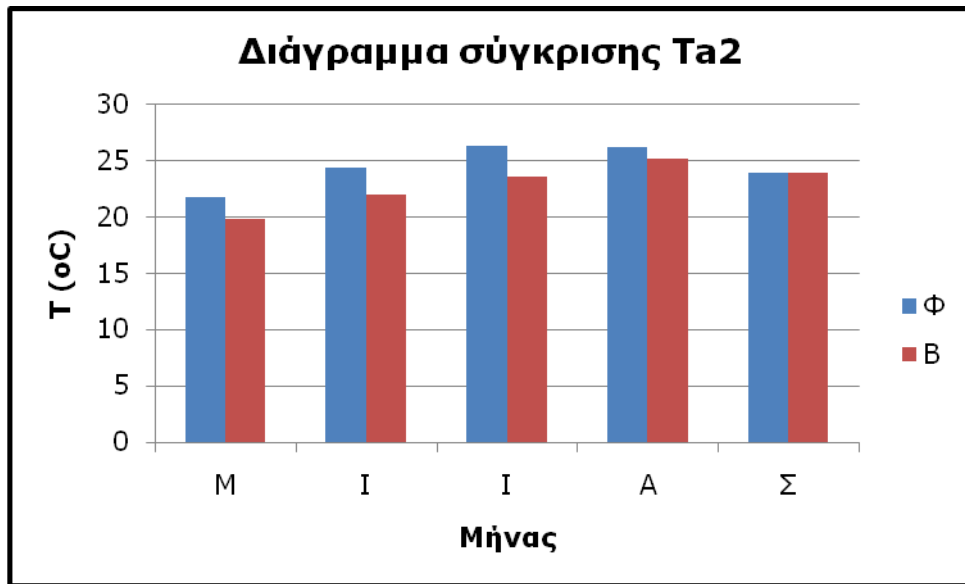
## 8.4: Σύγκριση των δύο Εργασιών

Στη συνέχεια θα συγκρίνουμε κάποια βασικά αποτελέσματα και θα εξάγουμε συμπεράσματα για τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε μηχανισμού. Αυτό θα γίνει με τη βοήθεια διαγραμμάτων.

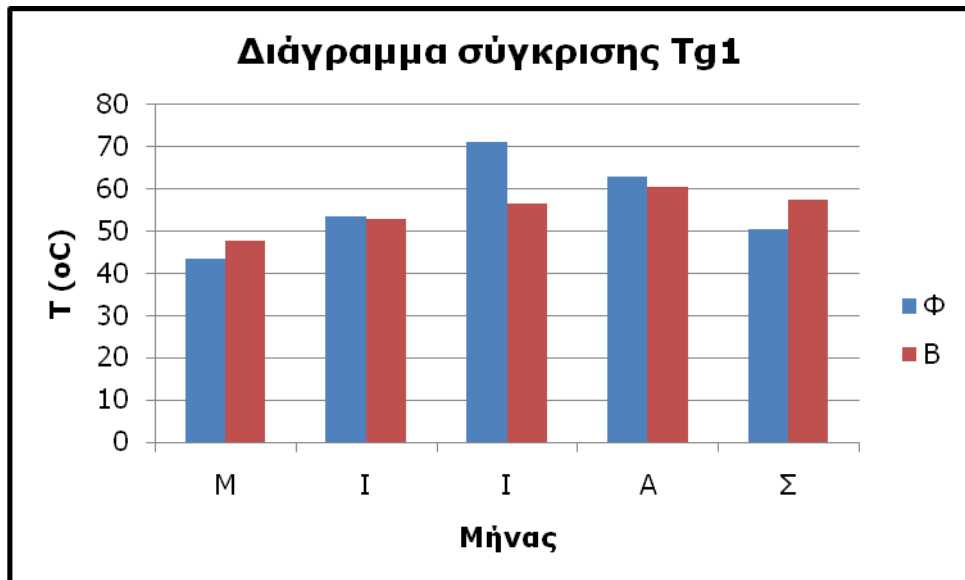
### 8.4.1: Σύγκριση Θερμοκρασιών



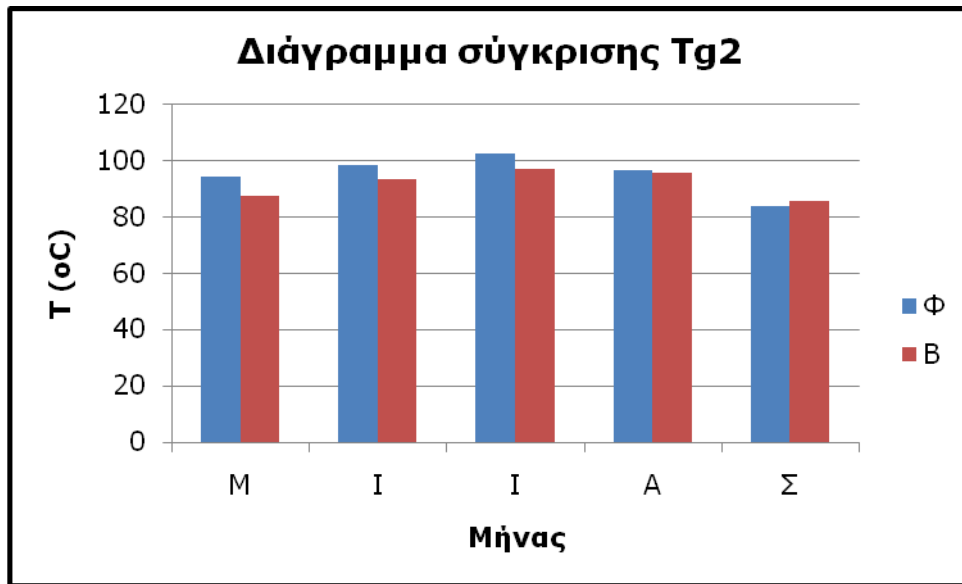
**Εικόνα 114:** Διάγραμμα σύγκρισης θερμοκρασιών  $T_{a1}$



**Εικόνα 115:** Διάγραμμα σύγκρισης θερμοκρασιών  $T_{a2}$



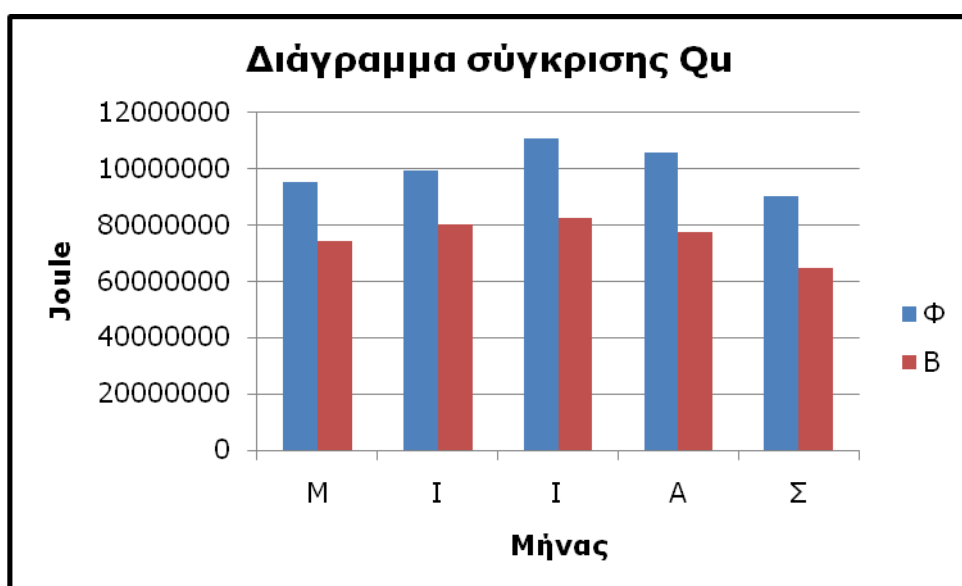
**Εικόνα 116:** Διάγραμμα σύγκρισης θερμοκρασιών  $T_{g1}$



**Εικόνα 117:** Διάγραμμα σύγκρισης θερμοκρασιών  $T_{g2}$

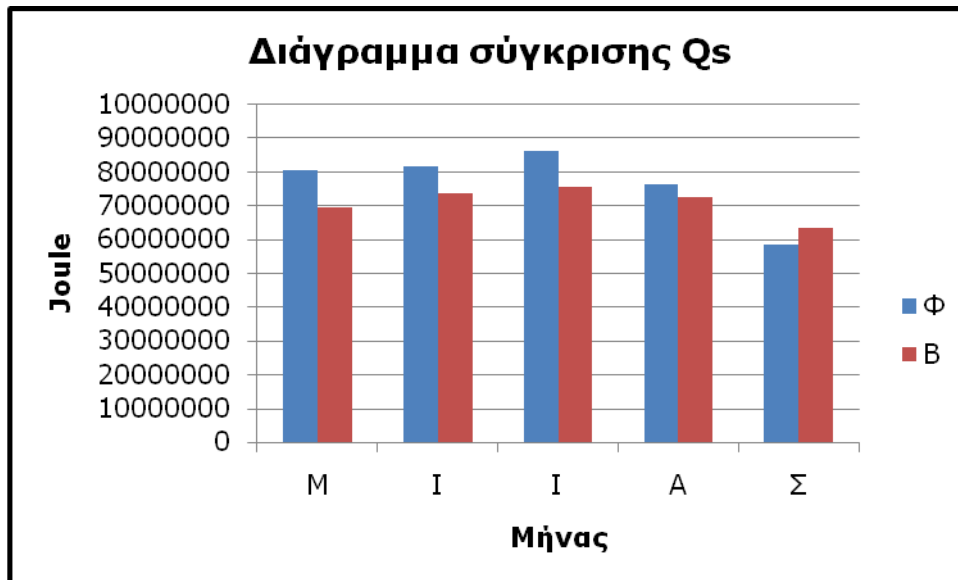
Από τα παραπάνω διαγράμματα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι δεν προκύπτει κάποια σημαντική ποιοτική διαφορά όσον αφορά τις θερμοκρασίες προσρόφησης και απορρόφησης. Οι θερμοκρασίες  $T_{a2}$ ,  $T_{g1}$ ,  $T_{g2}$ , παρουσιάζουν μέγιστο σε όλες τις περιπτώσεις κατά το μήνα Ιούλιο, γεγονός φυσιολογικό, αφού είναι και ο θερμότερος μήνας του χρόνου. Εξαιρέση αποτελεί η  $T_{a1}$ , όπου η τιμή της μειώνεται τους θερμότερους μήνες. Αυτό συμβαίνει ως αποτέλεσμα της μη σταθερής τιμής της θερμοκρασίας συμπυκνώσεως  $T_c$ , σε αντίθεση με την συγκρινόμενη εργασία όπου η  $T_c$  είναι σταθερή για κάθε μήνα. Γι' αυτό το λόγο άλλωστε παρατηρούμε ότι η  $T_{g1}$  δεν παρουσιάζει μια διαφορά περίπου 20 °C για τον μήνα Ιούλιο.

#### 8.4.2: Σύγκριση φορτίων

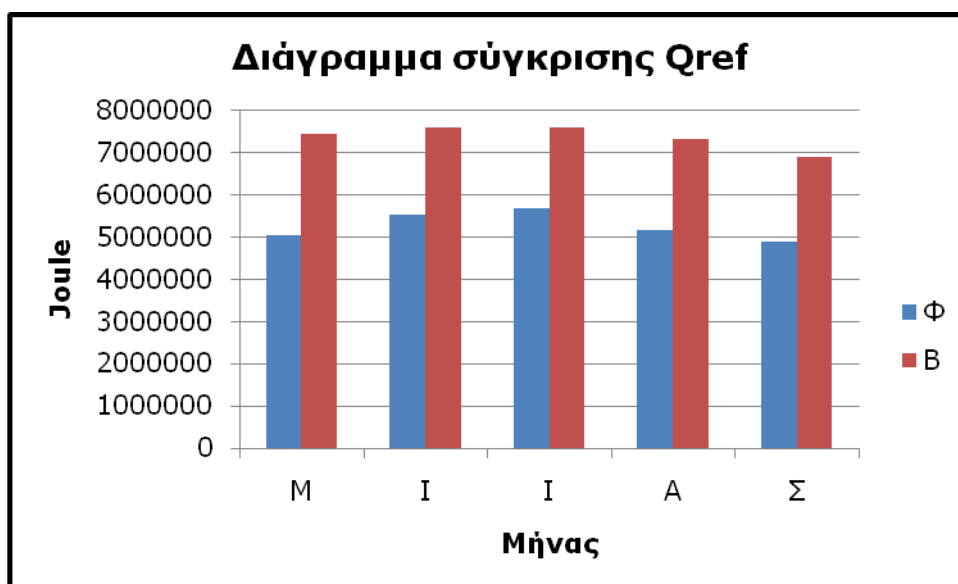


**Εικόνα 118:** Διάγραμμα σύγκρισης φορτίων  $Q_i$





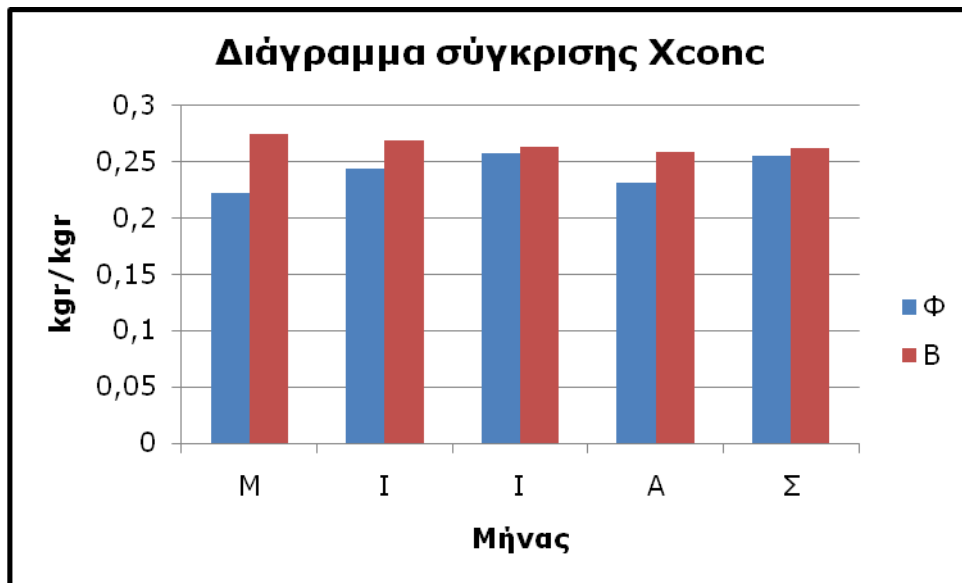
**Εικόνα 119:** Διάγραμμα σύγκρισης φορτίων  $Q_s$



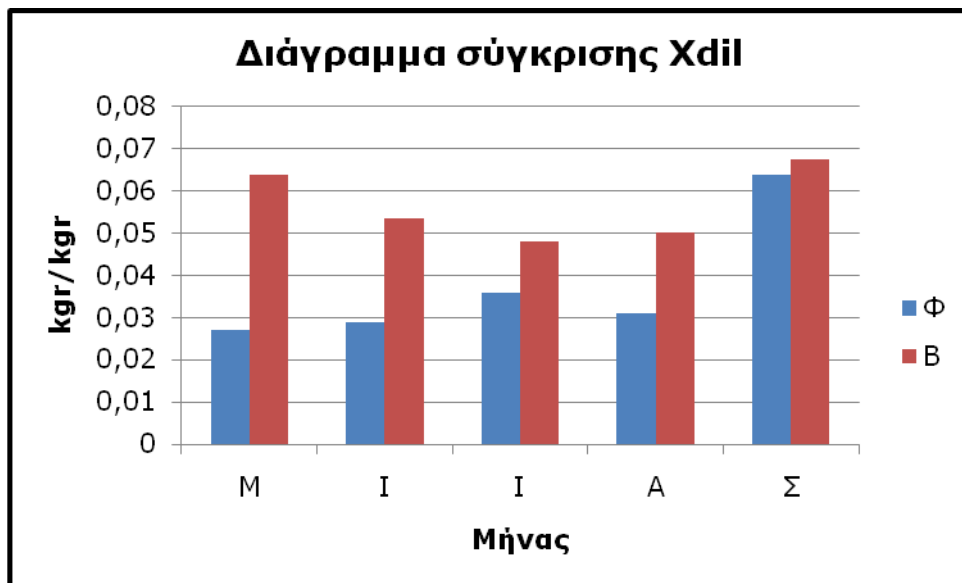
**Εικόνα 120:** Διάγραμμα σύγκρισης φορτίων  $Q_{ref}$

Όπως παρατηρούμε από τα διάγραμμα σύγκρισης των φορτίων  $Q_u$ ,  $Q_s$  η δική μας περίπτωση υπερτερεί σημαντικά σε επίπεδο τιμών της περίπτωσης του συναδέλφου. Αυτό συμβαίνει διότι εμείς χρησιμοποιούμε δεδομένα προσπίπτουσας ακτινοβολίας διαστήματος 10 ωρών, ενώ στη συγκρινόμενη εργασία ημερήσια δεδομένα προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Μοναδική εξαίρεση αποτελεί ο Σεπτέμβριος για το ποσό της ωφέλιμη θερμότητας στους συλλέκτες. Από την άλλη παρατηρούμε σημαντικό έλλειμμα στο ψυκτικό κέρδος  $Q_{ref}$ . Αυτό συμβαίνει λόγω της χαμηλής λανθάνουσας ενέργειας ατμοποίησης της αιθανόλης.

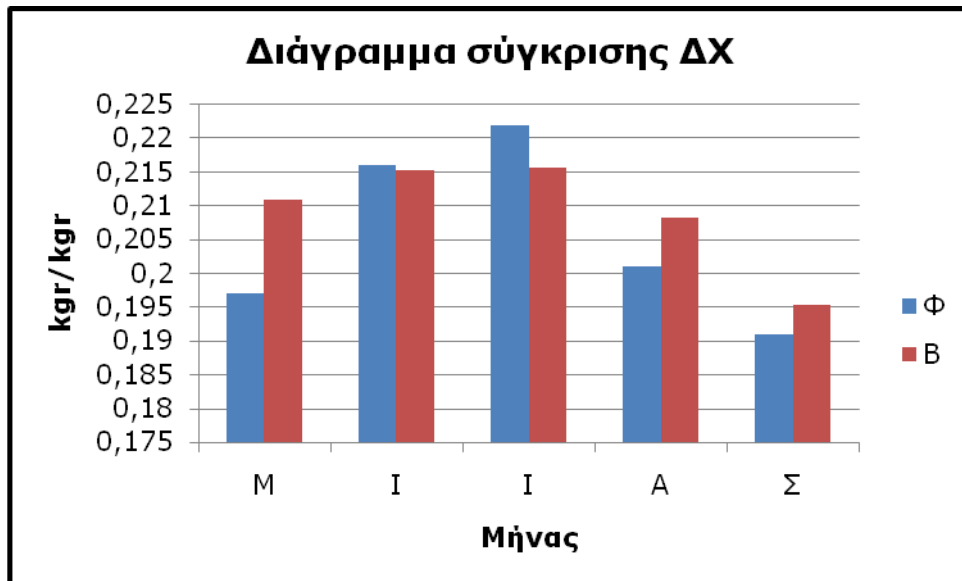
### 8.4.3: Σύγκριση αδιάστατων συγκεντρώσεων



**Εικόνα 121:** Διάγραμμα σύγκρισης συγκεντρώσεων  $\chi_{conc}$



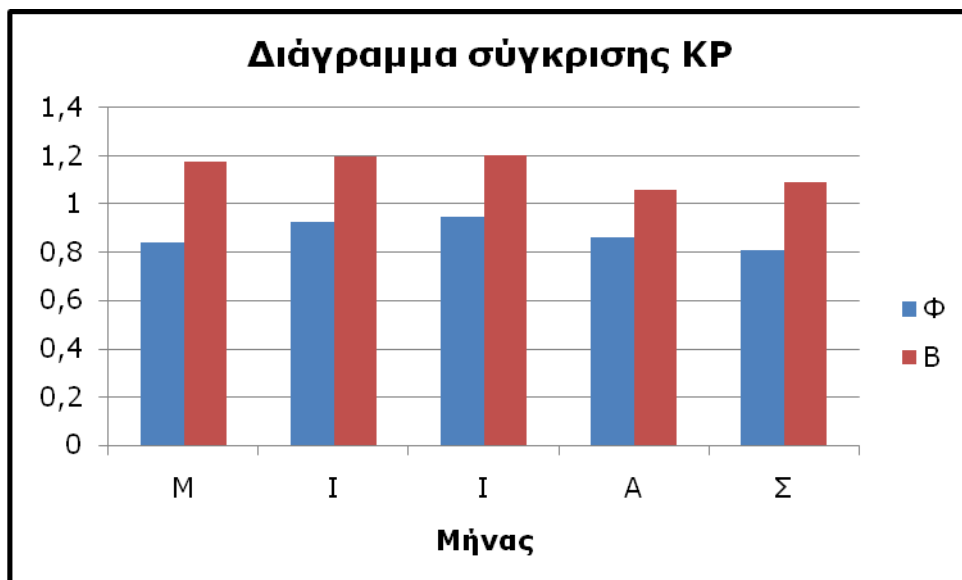
**Εικόνα 122:** Διάγραμμα σύγκρισης συγκεντρώσεων  $\chi_{dil}$



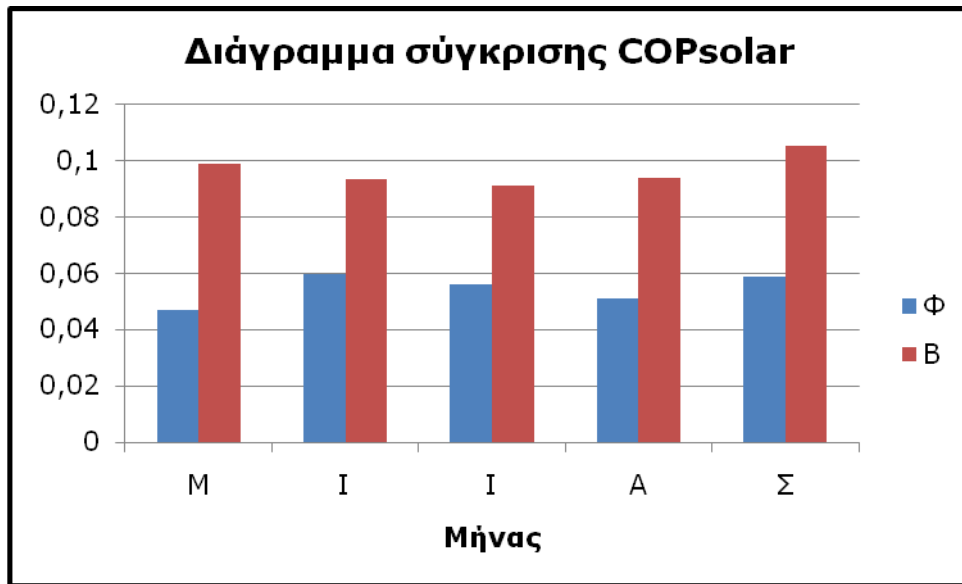
**Εικόνα 123:** Διάγραμμα σύγκρισης συγκεντρώσεων ΔΧ

Στα διαγράμματα σύγκρισης αδιάστατων συγκεντρώσεων παρουσιάζουν παρατηρούμε ότι τα αποτελέσματα είναι παρεμφερή. Διαφορές παρουσιάζονται για τη συγκεντρωση  $X_{dil}$ , αλλά τα ποσά είναι αρκετά μικρά, συγκεκριμένα λίγα γραμμάρια, συνεπώς δεν είναι κάτι αξιοσημείωτο.

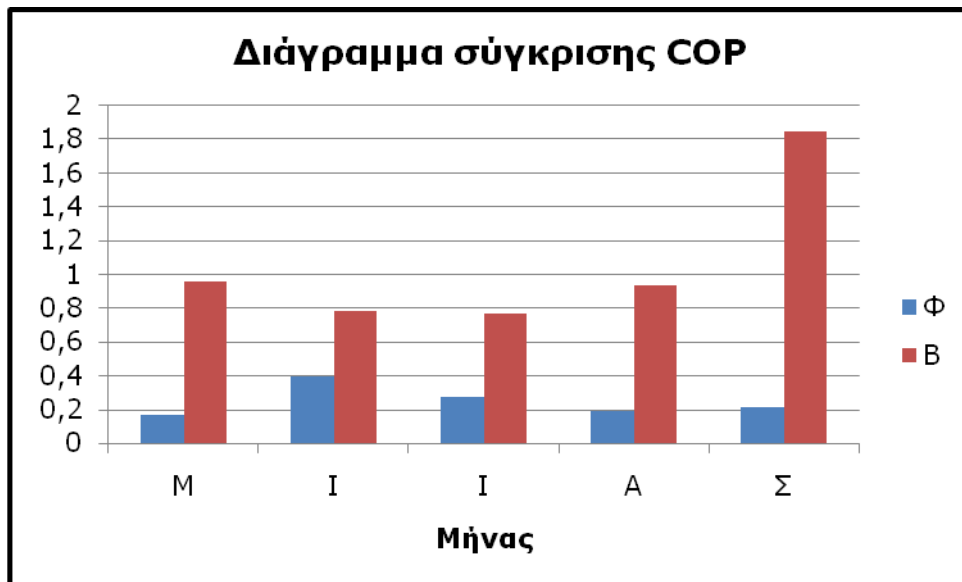
#### 8.4.4: Σύγκριση βαθμών αποδόσεως



**Εικόνα 124:** Διάγραμμα σύγκρισης ποσοστού ΚΡ



**Εικόνα 125:** Διάγραμμα σύγκρισης COP<sub>solar</sub>



**Εικόνα 126:** Διάγραμμα σύγκρισης COP

Από τα διαγράμματα σύγκρισης των βαθμών απόδοσης παρατηρούμε σημαντικό έλλειμμα της δικής μας μηχανής και των δικών μας δεδομένων. Συγκεκριμένα και παρόλο που τα δικά μας αποτελέσματα είναι στα πλαίσια της βιβλιογραφίας η διαφορά είναι αρκετά μεγάλη στο βαθμό απόδοσης COP της μηχανής σε σχέση με τη συγκρινόμενη εργασία, αποτέλεσμα της μεγάλης διαφοράς στο φορτίο  $Q_{ref}$ , όπως είδαμε και παραπάνω. Για τον ίδιο λόγο παρατηρούμε και τη διαφορά στην κάλυψη ψύξης ΚΡ, όπου στην περίπτωση μας δεν φτάνει σε κανένα μήνα το 100%. Τέλος χαμηλός είναι και ο ηλιακός βαθμός απόδοσης COP<sub>solar</sub> αλλά σε φυσιολογικά πλαίσια. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι στην περίπτωση μας υπολογίσαμε και τις απώλειες από τις σωληνώσεις, πράγμα που δεν συμβαίνει στην συγκρινόμενη Εργασία.

#### 8.4.5: Συμπεράσματα – Σχόλια

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι **η συγκρινόμενη μηχανή είναι αποτελεσματικότερη κι αποδοτικότερη από τη δική μας μηχανή**. Αυτό άλλωστε αποδεικνύει και η σύγκριση που πραγματοποιήσαμε παραπάνω, καθώς σχεδόν σε όλα τα βασικά ποιοτικά χαρακτηριστικά η συγκρινόμενη μηχανή υπερτερεί. Σε αυτό δεν παίζει σημαντικό ρόλο η διαφορά της μεθόδου που χρησιμοποιήσαμε εμείς, αλλά τα διαφορετικά χαρακτηριστικά και δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε.

Από τη σύγκριση αποδεικνύεται ότι το **ζεύγος ενεργού άνθρακα/μεθανόλης είναι πολύ πιο αποτελεσματικό από το ζεύγος silica gel/αιθανόλης**. Κι αυτό το στοιχείο είναι που κάνει τη σημαντική διαφορά ανάμεσα στις δύο μηχανές. Είναι πολύ σημαντικό η προσροφούμενη ουσία να έχει υψηλή θερμότητα ατμοποίησης, γιατί συνεπάγεται μεγαλύτερες αποδόσεις. Εξάλλου η θερμότητα ατμοποίησης της μεθανόλης είναι κατά 25% μεγαλύτερη από αυτή της αιθανόλης. Γι' αυτό το λόγο το ζεύγος ενεργού άνθρακα/μεθανόλης, χρησιμοποιείται στα περισσότερα βιβλιογραφικά παραδείγματα.

Όπως, παρατηρούμε είναι σημαντικό η θερμοκρασία συμπυκνώσεως να είναι σταθερή, γιατί έτσι παρατηρείται μια ομοιομορφία στα αποτελέσματα, πράγμα σημαντικό για τον καλύτερο και οικονομικότερο σχεδιασμό της μηχανής.

Από την άλλη, με τη λύση του προβλήματος με τη μέθοδο της ωριαίας επίλυσης μπορούμε να λύσουμε προβλήματα σε περιπτώσεις μεμονωμένης λειτουργίας μιας προσροφητικής μηχανής για μικρό χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια μιας ημέρας.

Έτσι, πριν κανείς προχωρήσει στη μελέτη και κατασκευή μιας τέτοιας εγκατάστασης οφείλει να εξετάσει τις παραμέτρους της χρήσης, της απόδοσης και του κόστους.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**  
**ΚΩΔΙΚΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ**

Ο παρακάτω κώδικας JAVA χρησιμοποιείται για την αριθμητική επίλυση του προβλήματος. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούμε παρακάτω είναι για το μήνα Απρίλιο. Αντίστοιχοι είναι οι κώδικες επίλυσης και για τους άλλους μήνες.

```
public class γγyps {

    private static final double[] Qregen = null;
    double Katanalwsi = 0.05 ;
    double v0=0.075;
    double LogosFR=0.8;
    double Dt=86400;
    double FR=0.8;
    double UL=9.1;
    double FRUL;
    double FRtan=0.81;
    double Ta[] = {14.5 , 16.8 , 17.4 , 18.2 , 17.8};
    int N[] = {30 , 30 , 30 , 30 , 30 };
    int Tref=100;
    int Cp=4190;
    int M= 7350;
    int Tw=60;
    int Tm[] = {14 , 14 , 14 , 14 , 14} ;
    double Logosta[]={0.93 , 0.93 , 0.93 , 0.93 , 0.93};
    double Ht[]={0.19 , 0.47 , 0.65 , 0.63 , 0.4};
    double Acol[] = {0.0001 , 0.0001 , 0.0001 , 0.0001 , 0.0001};
    double farx[] = {0 , 0 , 0 , 0 , 0};
    double f[] = {0 , 0 , 0 , 0 , 0};
    double Lw[] = {0 , 0 , 0 , 0 , 0} ;
    double X[] = {0 , 0 , 0 , 0 , 0} ;
    double Y[] = {0 , 0 , 0 , 0 , 0} ;
    double Hmerhsiaapaitoumenh [] = {0 , 0 , 0 , 0 , 0} ;
    double Paroxhapaitoumenh [] = {0 , 0 , 0 , 0 , 0} ;
    double Hmerhsia [] = {0 , 0 , 0 , 0 , 0} ;
    double Tin[] = {0 , 0 , 0 , 0 , 0} ;
    double QL[] = {0 , 0 , 0 , 0 , 0} ;
    double Qs[] = {0 , 0 , 0 , 0 , 0} ;
    double Qu[] = {0 , 0 , 0 , 0 , 0} ;
    double hap[] = {0 , 0 , 0 , 0 , 0} ;
    double Ta2[];
    double Tg2[];
    double Tg1[];
    double Tal[];
    double xconc[];
    double Qh1[];
    double Qh2[];
    double Qh3[];
    double Qh4[];
    double Qh5[];
    double DQ[];
    double Qhol[];
    double Acmax;

    int Ma=30;
    int cpa=1070;
    int Mm=10;
    int cpm=902;
    int Mmeth=10;
    double xo=0.268;
```

```

double k=13.29;
double n=1.33;
int A=4413;
int Le=855000;
int cpl=2428;
int Ts=15;
int Tmax=120;
int Tel=10;
int Tc=18;

int cputime = 0;
int t = 0;
double R=249.72;
private int[] Ta2b;
private int T;
private double[] Dx;
private double[] hdx;
private double[] Qc1;
private double[] Qc2;
private double[] Qc4;
private double[] Qc;
/**
 * @param args
 */
public static void main(String[] args) {
    // TODO Auto-generated method stub

}

public int makeCalculations (int count, double[] xdil, double
ct1, float fc3, float[] Qc3, Object fc4) {

    FRUL=FR*UL;

    for ( int i = 1; i<=5; i++){

        Ht[i]=Ht[i]*2*3600*10;
        Ht[i] = Ht[i]*Ht[i]*Ht[i] ;

    }

    for (int i = 1; i<=5 ; i++){
        while (f[i]< 0.999 && f[i] > 1) {
            Acol[i] = Acol[i]+0.0001*Acol[i] ;
            Lw[i] = 0.9*Cp*M*(Tw-Tm[i]);
            X[i]=FRUL*LogosFR*(Tref-
Ta[i])*(Dt*N[i])*Acol[i] / Lw[i];
            double a1=(11.6+1.18*Tw+3.86*Tm[i]-
2.32*Ta[i])/(100-Ta[i]);
            X[i]=X[i]*a1;

Y[i]=FRtan*LogosFR*Logosta[i]*Ht[i]*N[i]*Acol[i]/Lw[i];
            f[i]=1.029*Y[i]-0.065*X[i]-
0.245*(Y[i]*Y[i])+0.0018*(X[i]*X[i])+0.0215*(Y[i]*Y[i]*Y[i]);
        }
        if (i > 1 && Acol[i]>Acol[i-1])
            Acmx = Acol[i];
    }
}

```



```

int Ac = 4;
double ns = Acmax/Ac;
double nsprin = ns;
ns=Math.floor(ns);

for (int i=1; i<=5; i++){
Hmerhsiaapaitoumenh[i]=Math.ceil(M/N[i]);
Paroxhapaitoumenh[i]=Hmerhsiaapaitoumenh[i]/(3600*10);
Hmerhsia[i]=Paroxhapaitoumenh[i]*3600*10;
}

for (int i=1; i<=5; i++){
Tin[i]=Tm[i];
QL[i] = FR*ns*Ac*UL*(Tin[i]-Ta[i])*3600*10;
Qs[i] = FR*ns*Ac*Ht[i];
Qu[i] = Qs[i]-QL[i];
if (Qu[i]<0) {
    Qu[i]=0;
}
hap[i] = Math.ceil(Math.abs((QL[i]/Qs[i])*100));
}

double Aca=8.20417;
double Bca=1642.89;
double Cca=230.30;

double Pc=(Math.exp(Aca-
(Bca/(Tc+Cca))))*133.32*(Math.pow(10, -5));
double Pe=(Math.exp(Aca-
(Bca/(Tel+Cca))))*133.32*(Math.pow(10, -5));

for (int i=1; i<=5; i++){
Ta2[i]=Tm[i];
Tg2[i]=20;
Qhol[i]=0;
while (Math.abs(Qs[i]-Qhol[i])>100000){
count=count+1;
if (count>=5000) {
    System.out.println("H meuodos den sigklinei,
bhma>=5000");
    return 0 ;
}
Tg2[i]=Tg2[i]+0.1;
Ta2[i]=Tm[i];
Tg1[i]=(Tc*Ta2[i])/Tel;
Ta1[i]=(Tel*Tg2[i])/Tc;

xconc[i]= xo*(Math.exp(-
k*Math.pow(((Ta2[i]+273)/(Ts+273))-1), n));
Qh1[i]=(Hmerhsia[i]*Cp)*(Tg2[i]-Ta2[i]);
Qh2[i]=(Mm*cpm+Ma*cpa)*(Tg2[i]-Ta2[i]);
Qh3[i]=xconc[i]*Ma*cpl*(Tg1[i]-Ta2[i]);
ct1=R*A*Ma*xo*k*(1/(Tc*Ts));
fh4 = @(T)ct1*T.*(T./Ts-1).^((n-1)).*exp(-k*(T./Ts-
1).^n));
Qh4[i] = quad(fh4(Tg1[i],Tg2[i]));
double fh5 = mol(xo*Math.exp(-k*(Math.pow((T/Ts-
1),n)))*Ma*cpl, n);

```

```

Qh5[i] = quad(fh5(Tg1[i],Tg2[i]));
Qhol[i]=Qh1[i]+Qh2[i]+Qh3[i]+Qh4[i]+Qh5[i];
DQ[i]=Qs[i]-Qhol[i];
}
}

for (int i=1; i<=5; i++){
Ta2[i]=Tm[i];
Ta2b[i]=0;
count=0;
while (Math.abs(Ta2[i]-Ta2b[i])>0.1){
count=count+1;
if (count>=3000) System.out.println("H meuodos den
sigklinei, bhma>=3000");
}
Ta2[i]=Ta2[i]+0.05;
Tg1[i]=(Tc*Ta2[i])/Tel;
Tal[i]=(Tel*Tg2[i])/Tc;

xconc[i]=xo*Math.exp(-
k*Math.pow(((Ta2[i]+273)/(Ts+273))-1),(n));
xdil[i]=xo*Math.exp(-
k*Math.pow(((Tg2[i]+273)/(Ts+273))-1),(n));
Dx[i]=xconc[i]-xdil[i];
hdx[i]=Dx[i]/xo;
Qc1[i]=(Mm*cpm+Ma*cpa)*(Tg2[i]-Ta2[i]);
Qc2[i]=(xdil[i]*Ma*cpl)*(Tg2[i]-Tal[i]);
ctl=R*A*Ma*xo*k*(1/(Tel*Ts));
fc3 = (float) mol(xo*Math.exp(-k*(Math.pow((T/Ts-
1),n))))*Ma*cpl, n);
Qc3[i] = (float) quad(fc3 (Ta2[i],Tal[i]));
fc4 = mol(xo*Math.exp(-k*(Math.pow((T/Ts-1),n))))*Ma*cpl,
n);

Qc4[i] = quad(fc4(Ta2[i],Tal[i]));

Qc[i]=Qc1[i]+Qc2[i]+Qc3[i]+Qc4[i];
Ta2b[i]=(int) (Tm[i]+(Qc[i]/(Cp*Hmerhsia[i])));

Ta2[i]=(Ta2[i]+Ta2b[i])/2;

}

double fh4;
double fh5;
for (int i=1; i<=5; i++){
Tg2[i]=20;
Qhol[i]=0;
count=0;
while (Math.abs(Qs[i]-Qhol[i])>100000) {
count=count+1;
if (count>=5000) {
System.out.println("H meuodos den sigklinei,
bhma>=5000");
return 0 ;
}
Tg2[i]=Tg2[i]+0.1;
Tg1[i]=(Tc*Ta2[i])/Tel;
Tal[i]=(Tel*Tg2[i])/Tc;
xconc[i]=xo*Math.exp(-
k*(Math.pow(((Ta2[i]+273)/(Ts+273))-1,n));

```

```

        xdil[i]=xo*Math.exp(-
k*(Math.pow(((Tg2[i]+273)/(Ts+273))-1,n)));
        Dx[i]=xconc[i]-xdil[i];
        Qh1[i]=(Hmerhsia[i]*Cp)*(Tg2[i]-Ta2[i]);
        Qh2[i]=(Mm*cpm+Ma*cpa)*(Tg2[i]-Ta2[i]);
        Qh3[i]=xconc[i]*Ma*cpl*(Tg1[i]-Ta2[i]);
        ct1=R*A*Ma*xo*k*(1/(Tc*Ts));
        fh4 = mol(xo*Math.exp(-k*(Math.pow((T/Ts-1),n)))*Ma*cpl,
n);

        Qh4[i] = quad(fc4(Ta2[i],Ta1[i]));
        fh5 = mol(xo*Math.exp(-k*(Math.pow((T/Ts-1),n)))*Ma*cpl,
n);

        Qh5[i] = quad(fh5(Tg2[i],Tg1[i]));
        Qhol[i]=Qh1[i]+Qh2[i]+Qh3[i]+Qh4[i]+Qh5[i];
        DQ[i]=Qs[i]-Qhol[i];
    }

    Ta2[i]=Tm[i];
    count=0;
    Qhol[i]=0;
    count=0;
    while (Math.abs(Qs[i]-Qhol[i])>1000000){
        count=count+1;
        if (count>=200){
            System.out.println("H meuodos den sigklinei,
bhma>=200");
            return 0;
        }
        Ta2[i]=Ta2[i]+1;
        Tg1[i]=(Tc*Ta2[i])/Tel;
        Ta1[i]=(Tel*Tg2[i])/Tc;
        xconc[i]=xo*Math.exp(-
k*Math.pow(((Ta2[i]+273)/(Ts+273))-1,n));
        xdil[i]=xo*Math.exp(-
k*Math.pow(((Tg2[i]+273)/(Ts+273))-1,n));
        Dx[i]=xconc[i]-xdil[i];
        Qh1[i]=(Hmerhsia[i]*Cp)*(Tg2[i]-Ta2[i]);
        Qh2[i]=(Mm*cpm+Ma*cpa)*(Tg2[i]-Ta2[i]);
        Qh3[i]=xconc[i]*Ma*cpl*(Tg1[i]-Ta2[i]);
        ct1=R*A*Ma*xo*k*(1/(Tc*Ts));
        fh4 = mol(xo*Math.exp(-k*(Math.pow((T/Ts-1),n)))*Ma*cpl,
n);

        Qh4[i] = quad(fc4(Ta2[i],Ta1[i]));
        fh5 = mol(xo*Math.exp(-k*(Math.pow((T/Ts-1),n)))*Ma*cpl,
n);

        Qh5[i] = quad(fh5(Tg2[i],Tg1[i]));
        Qhol[i]=Qh1[i]+Qh2[i]+Qh3[i]+Qh4[i]+Qh5[i];
        DQ[i]=Qs[i]-Qhol[i];
    }
}

for (int i=1; i<=5; i++){
    double[] Qref = null;
    Qref[i]=Dx[i]*Ma*Le;
    double[] Qcc = null;
    Qcc[i]=Dx[i]*Ma*cpl*(Tc-Tel);
    Qregen[i]=Qu[i]-Qh1[i];
    double[] COP = null;
    COP[i]=(Qref[i]-Qcc[i])/Qregen[i];
    double[] COPSolar = null;

```

```
COPsolar[i]=(Qref[i]-Qcc[i])/Qu[i];  
double[] hsolar = null;;  
hsolar[i] = Qh1[i]/Qu[i];  
int ApaithshPsikshs = 6000000;  
double[] KalipshPsikshs = null;;  
KalipshPsikshs[i]=(Qref[i]/ApaithshPsikshs)*100;  
}
```

# **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

## **a) Ιστοσελίδες**

- [2] [www.cres.gr](http://www.cres.gr)
- [3] [www.manicore.com](http://www.manicore.com)
- [4] <http://el.wikipedia.org>
- [5] [www.greenpeace.org/greece](http://www.greenpeace.org/greece)
- [6] [www.wwf.gr](http://www.wwf.gr)
- [7] <http://europa.eu>
- [8] [www.i-live.gr](http://www.i-live.gr)
- [9] [www.alexstore.gr](http://www.alexstore.gr)
- [10] [www.boudouri.gr](http://www.boudouri.gr)
- [11] [www.mongabay.com](http://www.mongabay.com)
- [12] [www.ppcr.gr](http://www.ppcr.gr)
- [13] [www.xlogic.gr](http://www.xlogic.gr)
- [14] [www.ntua.gr](http://www.ntua.gr)
- [15] [www.physics4u.gr](http://www.physics4u.gr)
- [16] [www.astronomia.gr](http://www.astronomia.gr)
- [17] [www.coseti.org](http://www.coseti.org)
- [18] [www.tovima.gr](http://www.tovima.gr)
- [19] [www.ethnos.gr](http://www.ethnos.gr)
- [20] [www.rae.gr](http://www.rae.gr)
- [21] <http://energypoint.gr>
- [22] [www.helapco.gr](http://www.helapco.gr)
- [23] [www.ea.gr](http://www.ea.gr)
- [24] [www.ebhe.gr](http://www.ebhe.gr)
- [25] [www.builditsolar.com](http://www.builditsolar.com)
- [26] [www.ypan.gr](http://www.ypan.gr)
- [27] [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- [28] [www.sarantis.gr](http://www.sarantis.gr)
- [29] [www.tuc.gr](http://www.tuc.gr)
- [30] [www.mhxanologos.com](http://www.mhxanologos.com)
- [31] [www.metapress.com](http://www.metapress.com)
- [32] [www.springerlink.com](http://www.springerlink.com)
- [33] [www.tee.gr](http://www.tee.gr)
- [34] [www.prin.gr](http://www.prin.gr)

## **b) Ελληνόγλωσσα Βιβλία – Μελέτες**

- [2] Ζερβός Αρθούρος, *Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα 2006
- [3] Αντωνόπουλος Κίμων, *Θερμικά – Ηλιακά συστήματα*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα 2004
- [4] Χατζηδάκης Σ., *Σημειώσεις Ψύξης Α' και Β' μέρος*, Εκδόσεις Ε.Μ.Π, Αθήνα 2003
- [5] Μπεργελές Γεώργιος, *Περιβαλλοντική Τεχνολογία*, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2002

- [6] Αντωνόπουλος Κίμων, Κλιματισμός, Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα 2004
- [7] Βαζαίος Ευθύμιος, Εφαρμογές της ηλιακής ενέργειας: υπολογισμός και σχεδίαση συστημάτων, Εκδόσεις Φοίβος, Αθήνα 1984
- [8] Ι.Ε.Φραγκιαδάκης, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 2η Έκδοση, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 2006
- [9] Ψωμάς Στέλιος, Ηλιακή ενέργεια, Ανάπτυξη & Επιχειρηματικότητα, Αθήνα, 2005
- [10] Περιβαλλοντικός οδηγός θερμικών ηλιακών συστημάτων, ΥΠΑΝ & ΚΑΠΕ, 2007
- [11] Οδηγός ηλιακού κλιματισμού, ΚΑΠΕ
- [12] Ηλιακά θερμικά συστήματα στην Ευρώπη, Πληροφοριακό φυλλάδιο, Ευρωπαϊκή Ομοσπονδία Βιομηχάνων Ηλιακής Ενέργειας – ESIF
- [13] Λέκκας, Θ. Δ.,(1996), Περιβαλλοντική Μηχανική Ι. Διαχείριση υδατικών πόρων, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος, Μυτιλήνη
- [14] Παπακωνσταντίνου Πέτρος, Το χρυσό παραπέτασμα – η γέννηση του ολοκληρωτικού καπιταλισμού, Λιβάνης 2007
- [15] Μαντότο Ρίτα, Ο Οικοκαπιταλισμός – το περιβάλλον ως μεγάλη επιχείρηση, Στάχυ 1996

### **c) Διπλωματικές Εργασίες**

- [2] Αραπογιάννη Αθανασία, Εφαρμογή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο Τεχνολογικό και Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου, ΕΜΠ 2008
- [3] Αρκούδης Γεώργιος, Τεχνικοοικονομική αξιολόγηση φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα, ΕΜΠ 2007
- [4] Βαρδακαστάνης Κωνσταντίνος, Ψυκτικές μηχανές προσρόφησης με χρήση ηλιακών συστημάτων ενεργού άνθρακα και μεθανόλης, ΕΜΠ 2008
- [5] Κακούρης Ηρακλή, Οικονομοτεχνική μελέτη εγκατάστασης ηλιακών συλλεκτών σε νοσοκομεία, ΕΜΠ 2003
- [6] Καλαμπόκα Ευτυχία, Ολική παραγωγική συντήρηση σε εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ΕΜΠ 2007
- [7] Καραμπαμπάς Γεώργιος, Μέθοδοι βελτίωσης της απόδοσης υβριδικών (φωτοβολταϊκών / θερμικών) ηλιακών συλλεκτών αέρα, ΕΜΠ 2007
- [8] Καρατσιώρη Βασιλική, Συγκριτική ανάλυση χρήσης ενέργειας από παραδοσιακή κατοικία στο Ν. Καρδίτσας, ΕΜΠ 2008

- [9] Μαρινάκης Γεώργιος, Βαθμονόμηση δοχείων με ενεργό άνθρακα για τη μέτρηση συγκεντρώσεων ραδονίου σε εσωτερικούς χώρους, ΕΜΠ 2007
- [10] Μέχλερη Ευγενία, Ανάλυση και αξιολόγηση των κύριων μοντέλων προσδιορισμού των συνιστωσών της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο – Ανάπτυξη ενός νέου εμπειρικού μοντέλου, ΕΜΠ, 2007
- [11] Τσεκούρας Παναγιώτης, Παραμετρική μελέτη θέρμανσης χώρων με εποχιακή αποθήκευση με χρήση του προγράμματος TRNSYS, ΕΜΠ 2008

#### **d) Ξενόγλωσσα Βιβλία – Μελέτες**

- [1] Key World Energy Statistics, 2007, IEA
- [2] Christopherson, W.R., Geosystems, Prentice Hall, New Jersey, 2000
- [3] Antonio Luque & Steven Hegedus, Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Wiley, 2002
- [4] ESIF, European Communications Pack, 2005
- [5] SARASIN BANK, Sustainability Report: Solar Energy, 2005
- [6] Gershon Grossman, Solar Cooling, Dehumidification, and Air – Conditioning, Technion – Israel Institute of Technology, 2004
- [7] Encyclopedia of Separation Technology, Vol. 1, J. Wiley & Sons, N.Y., 1997
- [8] American Water Works Association (1990), Water Quality and Treatment, A Handbook of Community Water Supplies, 4th edition, Mc Graw Hill, U.S.A.
- [9] Teng Y, Wang RZ, Wu JY. Study of the fundamentals of adsorption systems. Appl Therm Eng 1997;17(4): 327-38
- [10] Guilleminot JJ, Choisier A, Chalfen JB, Nicolas S, Reymoney JL. Heat transfer intensification in fixed bed adsorbers. Heat Recov Syst CHP 1993;13(4):297-300
- [11] Liu Z, Lu Y, Zhao J. Zeolite-active carbon compound adsorbent and its use in adsorption solar cooling tube. Sol Energy Mater Sol Cells 1998;52: 45-53
- [12] Guilleminot JJ. From pellet to composite adsorbent bed: evolutions of adsorber technologies. In: Proceedings of fundamentals of adsorption (FOA6), France, 1998
- [13] Eun TH, Song HK, Han JH, Lee KH, Kim JN. Enhancement of heat and mass transfer in silica-expanded graphite composite blocks for adsorption heat pumps: Part I. Characterization of the composite blocks. Int J Refrig 2000;23(1):64-73
- [14] Oliveira RG, TamainotTelto Z, Silveira Jr. V. Equilibrium characterisation of carbon C119-ammonia and carbon



- C119-dimethyl ether pairs and application in adsorption refrigeration design. In: Proceedings of the XVI Brazilian congress of mechanical engineering (COBEM 2001), Brazil, 2001
- [15]** TamainotTelto Z, Critoph RE. Monolithic carbon for sorption refrigeration and heat pump applications. *Appl Therm Eng* 2001;21(1):37-52
- [16]** Aidoun Z, Ternan M. Salt impregnated carbon fibres as the reactive medium in a chemical heat pump: the NH<sub>3</sub>-CoCl<sub>2</sub> system. *Appl Therm Eng* 2002;22:1163-73
- [17]** Li M, Huang HB, Wang RZ, Wang LL, Cai WD, Yang WM. Experimental study on adsorbent of activated carbon with refrigerant of methanol and ethanol for solar ice maker. *Renew Energy* 2004;29(15):2235-44
- [18]** Neveu P, Castaing J. Solid-gas chemical heat pumps: field of application and performance of the internal heat of reaction recovery process. *Heat Recov Syst CHP* 1993;13(3):233-51
- [19]** Saha BB, Boelman EC, Kashiwagi T. Computational analysis of an advanced adsorption refrigeration cycle. *Energy* 1995;20(10):983-94
- [20]** Oliveira RG, Silveira Jr. V. The effects of operation and design variables on the specific cooling power of an advanced adsorption cycle for ice production powered by low temperature heat source. In: Proceedings of the international sorption heat pump conference (ISHPC 2002), China, 2002
- [21]** Oliveira RG, Silveira Jr V, Wang RZ. Experimental study of mass recovery adsorption cycles for ice making at low generation temperature. *Appl Therm Eng* 2006;26:303-11
- [22]** Li M, Sun CJ, Wang RZ, Ca WD. Development of no valve solar ice maker. *Appl Therm Eng* 2004;24:865-72
- [23]** Hu EJ. A study of thermal decomposition of methanol in solar powered adsorption refrigeration systems. *Sol Energy* 1998;62(5):325-9
- [24]** Buchter F, Dind P, Pons M. An experimental solarpowered adsorptive refrigerator tested in Burkina-Faso. *Int J Refrig* 2003;26(1):79-86
- [25]** Gershon Grossman, Solar Cooling, Dehumidification, and Air-Conditioning, Technion—Israel Institute of Technology Haifa, Israel