



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΡΕΥΣΤΩΝ

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**“ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ  
ΣΕ ΣΤΡΑΤΟΠΕΔΟ”**



**Επιβλέπων Καθηγητής:** κ. Αρθούρος Ζερβός

**Φοιτητής:** Κουτελιδάκης Κων/νος

**Αθήνα , Σεπτέμβριος 2010**

**Key Words:** Renewable Energy Sources, Photovoltaic Panels, Wind Turbine, Shallow Geothermal Energy, Solar Cooling, Wood Pellet Boiler.

## Ευχαριστίες

Η εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας έγινε με τη βοήθεια πολλών ανθρώπων που συνετέλεσαν ο καθένας από την θέση του στην ολοκλήρωσή της , προσφέροντάς μας απλόχερα κάθε βοήθεια. Για το λόγο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά, για την βοήθεια, και την υποστήριξη , τους παρακάτω:

Αρχικά τον καθηγητή κ. Αρθούρο Ζερβό , ο οποίος όχι μόνο δέχτηκε να αναλάβουμε μαζί με τον συμφοιτητή μου στο ΕΜΠ και συμμαθητή μου στη ΣΣΕ κ. Λιάπη Παναγιώτη , τη μελέτη για εφαρμογή ανανεώσιμων πηγών ενεργείας σε στρατιωτικό χώρο , αλλά επιπλέον μας υπέδειξε να μελετήσουμε δύο χώρους και όχι μόνο ένα , όπως είχαμε προτείνει εμείς στην αρχή.

Τον κ. Αντώνη Σαλιάγκα για την καθοδήγηση, την στήριξη και την επίλυση κάθε προβλήματος ή απορίας η οποία παρουσιαζόταν.

Τον κ. Ατσαλάκη Δημήτριο ο οποίος πρόθυμα κάθισε δίπλα μου και μου εξήγησε τα πάντα περί του κλιματισμού με αβαθή γεωθερμία.

Τον κ. Γεώργιο Κάραλη για τις πληροφορίες και τις γνώσεις που μας παρείχε.

Από το 306 ΕΒΤ τους Τγχη (ΤΧ) κ. Μαρινέλλη Ηλία και Ανθστη (ΤΧ) κ. Σκαφίδα Θεοφάνη για τις απαραίτητες πληροφορίες που μου παρείχαν. Επίσης τον κ. Πελεκάνο Σωτήριο Ηλεκτρολόγο Μηχανικό και Μηχανικό Υγιεινής και Ασφάλειας του 306 ΕΒΤ , για τις πληροφορίες , τις γνώσεις , την βοήθεια και την “συναδελφική” συνεργασία που μου παρείχε. Ακόμα τον Μ.Υ Ηλεκτροτεχνίτη Εσωτερικών Ηλεκτρικών Εγκαταστάσεων του 306 ΕΒΤ κ. Τσαρουχά Αθανάσιο για τις πληροφορίες , τις γνώσεις και την πολύτιμη εμπειρία του , που μου παρείχε. Επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στο συνάδελφο μου κ. Λιάπη Παναγιώτη με τον οποίο εργαστήκαμε παράλληλα στα πλαίσια των διπλωματικών μας εργασιών, το αντικείμενο των οποίων συνδέεται άμεσα, και με την πολύτιμη συνεργασία του οποίου κατάφερα να περατώσω την παρούσα διπλωματική.

Τέλος θέλω να απευθύνω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Θεό που με αξίωσε, να φοιτήσω και να περατώσω τις σπουδές μου σε αυτό το εξαιρετο Πανεπιστημιακό Ίδρυμα, να έχω για καθηγητές σπουδαίους Δασκάλους και Επιστήμονες και για συμφοιτητές νέους με αρχές και ιδανικά.



## Περιεχόμενα

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> : ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ</b> .....	<b>- 9 -</b>
1.1 Σκοπός Εργασίας.....	- 9 -
1.2 Ενεργειακό Πρόβλημα και Φαινόμενο Θερμοκηπίου .....	- 11 -
1.2.1 Ενεργειακό Πρόβλημα .....	- 11 -
1.2.2 Φαινόμενο Θερμοκηπίου .....	- 15 -
1.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....	- 22 -
1.3.1 Γενικά περί Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας .....	- 22 -
1.3.2 Οι Κύριες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....	- 25 -
1.3.3 Δυναμικό των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας .....	- 29 -
1.3.4 Πλεονεκτήματα των ΑΠΕ .....	- 31 -
1.3.5 ΑΠΕ στην Ελλάδα.....	- 32 -
1.4 Στρατόπεδο “ΠΑΠΑΣΤΑΘΗ” .....	- 36 -
1.4.1 Υφιστάμενη Ενεργειακή Κατάσταση.....	- 37 -
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> : ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΣΤΡΑΤΟΠΕΔΟ ΠΑΠΑΣΤΑΘΗ</b> .....	<b>- 39 -</b>
2.1 Εισαγωγή .....	- 39 -
2.2 Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας-Παραδοχές .....	- 39 -
2.3 Συμπεράσματα από την Καταγραφή των Μετρήσεων.....	- 42 -
2.4 Φωτοβολταϊκά Συστήματα .....	- 43 -
2.4.1 Πλεονεκτήματα Ηλιακής Ενέργειας .....	- 44 -
2.4.2 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο.....	- 45 -
2.4.3 Είδη Φωτοβολταϊκών Στοιχείων .....	- 51 -
2.4.4 Σταθεροί και Περιστρεφόμενοι Συλλέκτες.....	- 61 -
2.5 Υπολογισμός Παραγόμενης Ενέργειας από Φωτοβολταϊκά .....	- 66 -
2.5.1 Ηλιακή Ακτινοβολία.....	- 66 -
2.5.2 Εκτίμηση Παραγόμενης Ενέργειας από Φωτοβολταϊκά στην Περιοχή του Στρατοπέδου .....	- 76 -
2.6 Συμπεράσματα από την Χρήση της Βάσης PVGIS.....	- 82 -
2.7 Διαδικασία Υπολογισμού Παραγόμενης Ενέργειας .....	- 86 -
2.8 Μελέτη Εγκατάστασης Φ/Β στο Στρατόπεδο “ΠΑΠΑΣΤΑΘΗ” .....	- 88 -
2.8.1 Απαραίτητος Χώρος για Σταθερά Πλαίσια .....	- 88 -
2.8.2 Απαραίτητος Χώρος για Περιστρεφόμενα Πλαίσια .....	- 92 -
2.8.3 Οικονομικά Στοιχεία-Κριτήρια Αξιολόγησης Επενδυτικών Σχεδίων .....	- 94 -
2.8.4 Οικονομική Μελέτη .....	- 95 -
2.9 Συμπεράσματα επί της Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών .....	- 102 -
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> : ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ 20 KW</b> .....	<b>- 105 -</b>
3.1 Εισαγωγή .....	- 105 -
3.2 Αιολική Ενέργεια .....	- 106 -

3.3 Βαθμός Απόδοσης Ανεμογεννήτριας .....	- 107 -
3.4 Αύξηση Ταχύτητας Ανέμου με το Ύψος .....	- 108 -
3.5 Καμπύλη Ισχύος .....	- 108 -
3.6 Παραγωγή Ενέργειας .....	- 109 -
3.7 Συντελεστής Εκμεταλλευσιμότητας .....	- 110 -
3.8 Πρόταση Εγκατάστασης Ανεμογεννήτριας Ονομαστικής Ισχύος 20 KW .....	- 111 -
3.9 Κόστος Παραγόμενης Ενέργειας.....	- 112 -

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> : ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ..... - 115 -**

4.1 Γενικά περί Κατανάλωσης Ενέργειας στα Κτίρια .....	- 115 -
4.2 Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών Διοικητηρίου 3 <sup>ου</sup> ΤΥΛ .....	- 118 -
4.2.1 Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών κατά DIN 4701/77 .....	- 120 -
4.2.2 Αποτέλεσμα Υπολογισμού Θερμικών Απωλειών Διοικητηρίου 3 <sup>ου</sup> ΤΥΛ .....	- 127 -

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> : ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ .....**

5.1 Εισαγωγή .....	- 129 -
5.2 Αβαθής Γεωθερμία .....	- 135 -
5.3 Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας .....	- 137 -
5.3.1 Γενικά για τις Αντλίες Θερμότητας .....	- 137 -
5.3.2 Αρχή του Κύκλου Συμπύεσης Ατμού .....	- 141 -
5.3.3 Λειτουργία της Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας.....	- 142 -
5.3.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας .....	- 143 -
5.3.5 Κατηγορίες Γεωθερμικών Αντλιών Ανάλογα με την Δεξαμενή Θερμότητας που Χρησιμοποιούν .....	- 145 -
5.4 ΓΑΘ Συνδεδεμένες με το Υπέδαφος.....	- 146 -
5.4.1 Κάθετα Συστήματα ΓΑΘ Κλειστού Κυκλώματος .....	- 147 -
5.4.2 Οριζόντια Συστήματα ΓΑΘ Κλειστού Κυκλώματος .....	- 149 -
5.5 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Αποδοτικότητα μιας Εγκατάστασης ΓΑΘ.....	- 152 -

#### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> : ΗΛΙΑΚΗ ΨΥΞΗ .....**

6.1 Γενικά .....	- 153 -
6.2 Πλεονεκτήματα Ηλιακού Κλιματισμού .....	- 155 -
6.3 Συστήματα Ηλιακού Κλιματισμού .....	- 156 -
6.3.1 Ψύκτες Απορρόφησης-Προσρόφησης .....	- 159 -
6.4 Απορρόφηση .....	- 162 -
6.4.1 Γενικά περί Ψυκτών Απορρόφησης .....	- 162 -
6.4.2 Λειτουργία Ψύκτη Απορρόφησης .....	- 165 -
6.5 Ηλιακοί Συλλέκτες .....	- 168 -
6.5.1 Εισαγωγή.....	- 168 -
6.5.2 Επίπεδος Ηλιακός Συλλέκτης .....	- 171 -
6.5.3 Συγκεντρωτικοί Ηλιακοί Συλλέκτες .....	- 180 -

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup> : ΒΙΟΜΑΖΑ</b> .....	<b>- 183 -</b>
7.1 Γενικά περί Βιομάζας .....	- 183 -
7.2 Παγκόσμιο και Ελληνικό Δυναμικό .....	- 185 -
7.3 Τύποι Βιομάζας .....	- 185 -
7.3.1 Υπολειμματικές Μορφές Βιομάζας .....	- 185 -
7.3.2 Ενεργειακές Καλλιέργειες .....	- 186 -
7.4 Τεχνολογίες που Χρησιμοποιούνται για την Αξιοποίηση της Βιομάζας .....	- 186 -
7.5 Κύριες Εφαρμογές με Καύσιμο Βιομάζα.....	- 187 -
7.6 Πλεονεκτήματα Βιομάζας .....	- 187 -
7.7 Μειονεκτήματα Βιομάζας .....	- 188 -
7.8 Συσσωματώματα Ξύλου-Wood Pellets .....	- 189 -
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8<sup>ο</sup> : ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΣΜΟΥ</b> .....	<b>- 193 -</b>
8.1 Εισαγωγή .....	- 193 -
8.2 Εγκατάσταση Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας .....	- 193 -
8.2.1 Υπολογισμός Απαιτούμενου Βάθους .....	- 194 -
8.2.2 Εγκατάσταση Εξοπλισμού .....	- 206 -
8.2.3 Κόστος Συστήματος.....	- 213 -
8.3 Σύστημα Ηλιακής Θέρμανσης και Ψύξης με Απορρόφηση .....	- 216 -
8.3.1 Ψύξη .....	- 216 -
8.3.2 Θέρμανση .....	- 227 -
8.3.3 Κόστος Αγοράς και Εγκατάστασης Ηλιακών Θερμικών Συστημάτων. ...	- 230 -
8.3.4 Παρατηρήσεις επί της Εγκατάστασης Ηλιακών Θερμικών Συστημάτων .....	- 230 -
8.4 Σύστημα Θέρμανσης και Ψύξης με Λέβητα Βιομάζας.....	- 231 -
8.4.1 Ψύξη με Λέβητα Βιομάζας .....	- 232 -
8.4.2 Θέρμανση με Λέβητα Βιομάζας .....	- 241 -
8.4.3 Κόστος Συστήματος .....	- 242 -
8.4.4 Παρατηρήσεις επί της Εγκατάστασης Λέβητα Βιομάζας .....	- 246 -
8.5 Τεχνικο-Οικονομικά Στοιχεία για τον Κλιματισμό του Στρατοπέδου.....	-246-
8.6 Υπολογισμός Κόστους Παραγόμενης Ενέργειας κάθε Τεχνολογίας για τον Κλιματισμό του Στρατοπέδου .....	- 250 -
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9<sup>ο</sup> : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>- 253 -</b>
9.1 Φωτοβολταικά Πλαίσια .....	- 253 -
9.2 Ανεμογεννήτριες .....	- 254 -
9.3 Εξοικονόμηση Ενέργειας στα Κτίρια .....	- 255 -
9.4 Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας .....	- 256 -
9.5 Ηλιακή Θέρμανση και Ψύξη .....	- 256 -
9.6 Θέρμανση και Ψύξη με Καύση Βιομάζας .....	- 257 -
9.7 Συμπεράσματα-Προτάσεις .....	- 258 -
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>- 261 -</b>





## **Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup>**

### **ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ**

#### **1.1 Σκοπός Εργασίας**

Η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) και η σταδιακή απεξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα αποτελεί επιτακτική ανάγκη στην εποχή μας. Δεν το επιβάλλουν μόνο η δραματική μείωση των αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων - με την παράλληλη αύξηση των τιμών τους - και η μόλυνση του περιβάλλοντος, αλλά και η ανάγκη για την ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας της χώρας μας (ενεργειακή ασφάλεια). Ειδικά σε μία χώρα με πλούσιο εκμεταλλεύσιμο δυναμικό ΑΠΕ όπως η Ελλάδα.

Σε αυτή την προσπάθεια πρέπει να συμβάλλει και ο στρατός, εκμεταλλευόμενος τους μεγάλους χώρους που διαθέτει. Δίνοντας έτσι, όχι μόνο το παράδειγμα-μήνυμα της "στροφής" στις εναλλακτικές μορφές ενέργειας αλλά προσφέροντας και κοινωνικό έργο. Το τελευταίο μπορεί να επιτευχθεί με το να προσφέρει την περίσσεια ενέργειας που θα παράγεται στις γειτονικές τοπικές κοινωνίες ή με το να συμπεριλαμβάνει τις ενεργειακές ανάγκες των τοπικών κοινωνιών στις δικές του ανάγκες (πχ Στρατόπεδο Λαγού Έβρου και ομώνυμο γειτονικό χωριό), εγκαθιστώντας την αντίστοιχη ισχύ στους χώρους του. Άλλωστε εκτός των άλλων αποστολή του στρατού είναι και η εξασφάλιση των συμφερόντων της χώρας και είναι συμφέρον για την χώρα μας να εκμεταλλευτεί το πλούσιο δυναμικό των ΑΠΕ που διαθέτει και να ανεξαρτητοποιηθεί κατά μεγάλο βαθμό από τα συμβατικά καύσιμα και ιδιαίτερα από την εισαγωγή καυσίμων.

Για τους λόγους αυτούς στο Μνημόνιο Συνεργασίας που υπογράφηκε στις 28 Σεπτεμβρίου 2010 μεταξύ των Υπουργείων Εθνικής Αμύνης και Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής αποφασίστηκε όπως το ΥΠΕΚΑ, μέσω του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ), να αναλάβει να χρηματοδοτήσει και να

υποστηρίζει έργα που αφορούν στην προώθηση έργων αιεφόρου ανάπτυξης σε στρατόπεδα και νοσοκομεία ενώ το ΥΠΕΘΑ, να εκπονήσει προμελέτες για την δημιουργία «πράσινων στρατοπέδων» και «πράσινων στρατιωτικών νοσοκομείων» και να προχωρήσει στη σταδιακή μετατροπή υπαρχόντων στρατοπέδων [86]. Για τον λόγο αυτό στα πλαίσια της φοιτήσεώς μου στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και έχοντας διαλέξει την κατεύθυνση του Ενεργειακού Μηχανολόγου Μηχανικού , σκέφτηκα να εκπονήσω Διπλωματική Εργασία σε αυτή την κατεύθυνση.

Έτσι στην παρούσα εργασία εξετάζεται η δυνατότητα κάλυψης ,από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ,των αναγκών σε ενέργεια ,του Στρατοπέδου "ΠΑΠΑΣΤΑΘΗ" στις Αχαρνές Αττικής.

Η εργασία αυτή, χωρίζεται σε δυο ενότητες που αφορούν την κάλυψη των ηλεκτρικών και των θερμικών αναγκών αντίστοιχα. Στο πρώτο μέρος μελετάται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στοιχείων στο διαθέσιμο χώρο του Στρατοπέδου με σκοπό την παραγωγή και πώληση του ηλεκτρικού ρεύματος στο εγκατεστημένο δίκτυο. Η επένδυση αυτή μελετάται με κριτήριο την κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών του Στρατοπέδου και εξετάζεται η οικονομική αποδοτικότητα της επένδυσης. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζονται εναλλακτικοί τρόποι κλιματισμού των κτιρίων του Στρατοπέδου. Μελετάται η εφαρμογή της αβαθούς γεωθερμίας, της ηλιακής ψύξης και της βιομάζας για την κάλυψη των αναγκών σε ψύξη και θέρμανση. Σκοπός της εργασίας είναι η αρχική διαστασιολόγηση των συστημάτων αυτών και η οικονομική αξιολόγηση τους. Τέλος παρουσιάζονται τα συμπεράσματα σχετικά με την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών και της επένδυσης σε τεχνολογίες ΑΠΕ για κλιματισμό.

## **1.2 Ενεργειακό Πρόβλημα και Φαινόμενο Θερμοκηπίου**

### **1.2.1 Ενεργειακό Πρόβλημα**

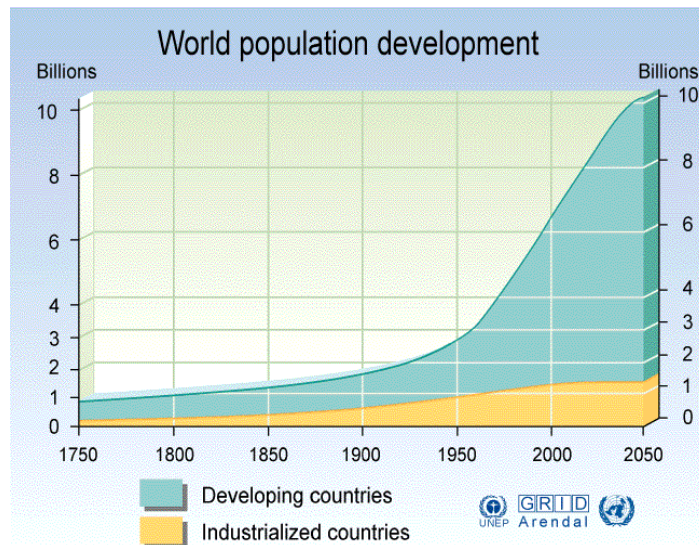
Το ενεργειακό πρόβλημα στις μέρες μας , δηλαδή η συσχέτιση των ενεργειακών αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων που διαρκώς μειώνονται, με τις απαιτήσεις για κατανάλωση ενέργειας που διαρκώς αυξάνονται , εμφανίζεται οξύτερο από ποτέ.

Είναι αρκετά εύκολο να κατανοήσουμε τι σημαίνει αύξηση της ενέργειας που καταναλώνεται αν αναλογιστούμε το πλήθος των ηλεκτρικών συσκευών που έχουμε σήμερα στο σπίτι μας σε σχέση με τις συσκευές που είχαμε, ας πούμε, πριν 50 χρόνια, ή τον αριθμό των αυτοκινήτων που κυκλοφορούν τώρα στους δρόμους σε σχέση με τότε. Στο ίδιο συμπέρασμα θα καταλήξουμε αν παρατηρήσουμε τις ενεργοβόρες εγκαταστάσεις ενός σύγχρονου κτιρίου (πχ νοσοκομείου με κεντρική εγκατάσταση κλιματισμού, δίκτυο υπολογιστών, ιατρικό εξοπλισμό) και τις συγκρίνουμε με ένα ανάλογο κτίριο που κατασκευάστηκε πριν μερικές δεκαετίες [87] .

Υπολογίζεται ότι ο πρωτόγονος άνθρωπος χρησιμοποιούσε για τις ανάγκες του ενέργεια ίση με 6,3 MJ την ημέρα την οποία έπαιρνε μέσω της τροφής του. Ο σημερινός άνθρωπος χρησιμοποιεί περίπου 1000 MJ δηλαδή 150 φορές περισσότερη [87].

**Το ενεργειακό πρόβλημα ήταν πάντα στην επικαιρότητα τις τελευταίες δεκαετίες και πολλές φορές υπήρξε το αίτιο (ως διεκδικούμενος φυσικός πόρος ή ως πηγή ισχύος) για μεγάλες στρατιωτικο-πολιτικο-οικονομικές ανακατατάξεις στον παγκόσμιο χάρτη. Τα τελευταία χρόνια μάλιστα και με δεδομένο ότι κάποιοι από τους φυσικούς πόρους είναι πεπερασμένοι (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) ο ανταγωνισμός για τον έλεγχο της αγοράς ενέργειας έχει γίνει ακόμα πιο έντονος [27] .**

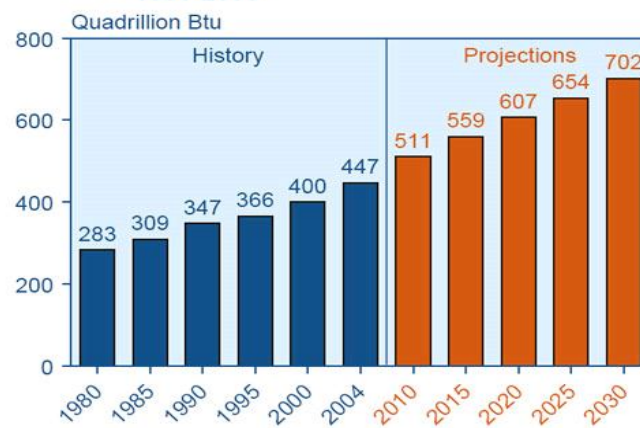
Ο πληθυσμός της γης έχει φτάσει πια τα 7 δισεκατομμύρια. Οι άνθρωποι χρειάζονται την ενέργεια για να βελτιώσουν το επίπεδο της διαβίωσης τους. **Πολλοί επιστήμονες μάλιστα συσχετίζουν την ποιότητα διαβίωσης με την κατανάλωση ενέργειας [27].**



**ΕΙΚΟΝΑ 1:** Αύξηση του πληθυσμού της γης σε δισεκατομμύρια ανθρώπους

<http://www.treehugger.com/World-Population-Growth-2050.JPG>

**Figure 8. World Marketed Energy Consumption, 1980-2030**



**ΕΙΚΟΝΑ 2:** Αύξηση της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας

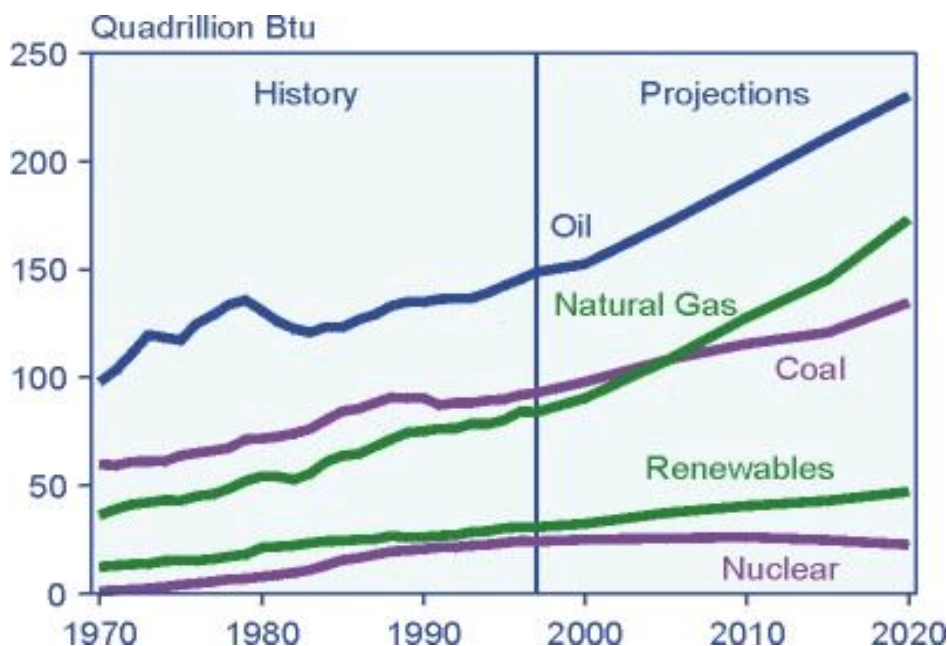
<http://www.solarcentral.org/drupal/files/images/worldenergyconsumption.jpg>

**Σημείωση:** 1 quadrillion btu =  $1,05505 \times 10^{18}$  joules

Πολλές αναπτυσσόμενες χώρες αυξάνουν ραγδαία την εγκατεστημένη ισχύ τους κάτι που είναι και αποτέλεσμα του αυξανόμενου βιοτικού επιπέδου τους. Στην Δημοκρατία της Κίνας το 1997 κατασκευάζονταν μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ρυθμό 300MW / εβδομάδα. (Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην

Ελλάδα είναι περίπου 13.000MW) [27]. Η κατανάλωση ενέργειας γίνεται παγκοσμίως ολοένα και μεγαλύτερη. Το 2007, η παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση έφτασε στα 11.433,9 Mtoes ισοδύναμου πετρελαίου (132.952 δισεκατομμύρια kWh) [62].

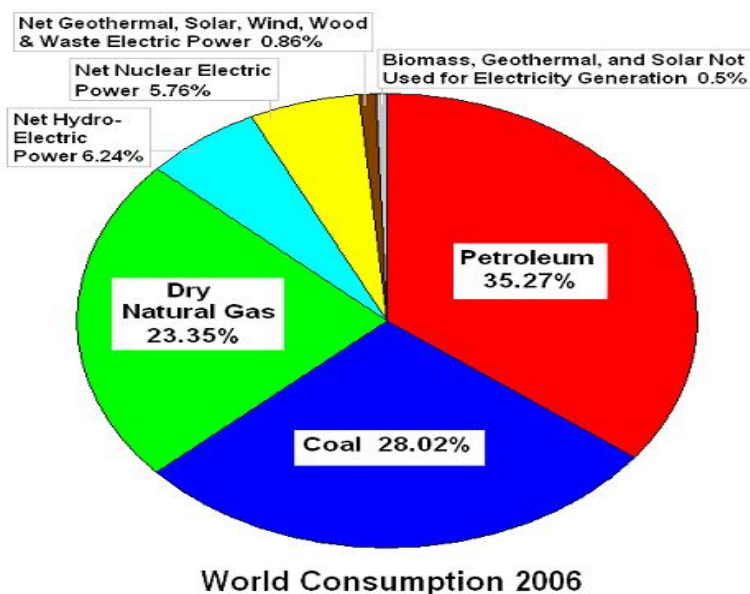
Σημείωση: 1 toe =  $41,86 \times 10^9$  Joule =  $10^{10}$  cal = 11.627,9 kWh



**ΕΙΚΟΝΑ 3:** Παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανά είδος καυσίμου σε quadrillion BTU

(<http://telstar.ote.cmu.edu/environ/m3/s3/10use.shtml>)

Κατά προσέγγιση, το 86,6 % της παγκόσμιας ζήτησης σε ενέργεια καλύπτεται με τη χρήση ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο: 35,27 %, γαιάνθρακες: 28,02 %, φυσικό αέριο: 23,35 %) [14].



**ΕΙΚΟΝΑ 4:** Παγκόσμια κατανάλωση καυσίμου ανά είδος καυσίμου το 2006

(<http://edro.wordpress.com/energy/286w/>)

Έτσι η χρήση των συμβατικών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας παρουσιάζει δύο κυρίως μειονεκτήματα [88]:

**A.** Την εξάρτηση από εξαντλήσιμες πηγές ενέργειας αφού οι ποσότητες των συμβατικών καυσίμων είναι περιορισμένες και αν η εξόρυξή τους συνεχισθεί με τους σημερινούς ρυθμούς σύντομα θα εξαντληθούν.

Εκτιμώμενα Παγκόσμια Ενεργειακά Αποθέματα $\times 10^{21}$ Joules		
Ενεργειακή Πηγή	Αποδεδειγμένα Αποθέματα	Εκτιμώμενα Υπόλοιπα
Ανθρακας	25,3	177,2
Αργό Πετρέλαιο-Υγρό φυσικό αέριο	3,7	12,7
Φυσικό Αέριο	2,1	11,6
Σχάσιμα Υλικά	1,4	2,6

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1:** Εκτιμώμενα παγκόσμια ενεργειακά αποθέματα συμβατικών καυσίμων

([http://lap.physics.auth.gr/pms/upload/%CE%A0%CE%95%CE%A0\\_1\\_slides.pdf](http://lap.physics.auth.gr/pms/upload/%CE%A0%CE%95%CE%A0_1_slides.pdf))

**B.** Την ρύπανση του περιβάλλοντος δεδομένου ότι φαινόμενα όπως αυτό του θερμοκηπίου αλλά και της όξινης βροχής οφείλονται πρωτίστως στους ρύπους που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα κατά την καύση των καυσίμων αυτών.

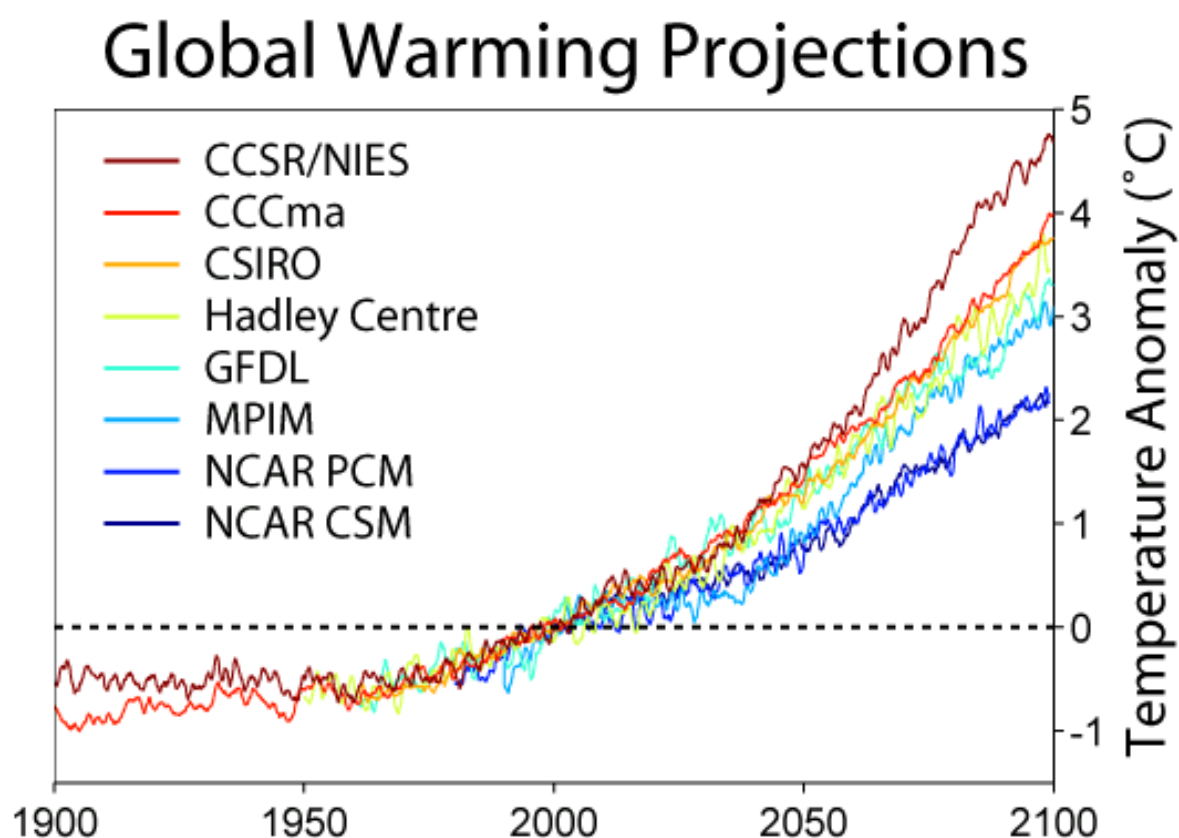


### **1.2.2 Φαινόμενο Θερμοκηπίου**

Ως Φαινόμενο του θερμοκηπίου χαρακτηρίζεται το φαινόμενο της θέρμανσης που παρατηρείται στα θερμοκήπια (εξ' ου και η ονομασία). Κατά το φαινόμενο αυτό η γυάλινη υπερκατασκευή ή θόλος είναι διάφανη για τη φωτεινή ακτινοβολία, η οποία εισέρχεται στο στεγασμένο χώρο, απορροφάται εν μέρει, διαχέεται και επανεκπέμπεται. Η κατασκευή όμως είναι αδιαφανής για την δευτερογενή αυτή ακτινοβολία η οποία επανεκπέμπεται, με αποτέλεσμα να "παγιδεύεται" στον χώρο και τελικά να μετατρέπεται σε θερμότητα (αρχή του θερμοκηπίου). Με τον τρόπο αυτό θερμαίνει το εσωτερικό του θερμοκηπίου με αποτέλεσμα να διατηρούνται οι καλλιέργειες πάντα σε κατάλληλη και σχετικά σταθερή θερμοκρασία [64].

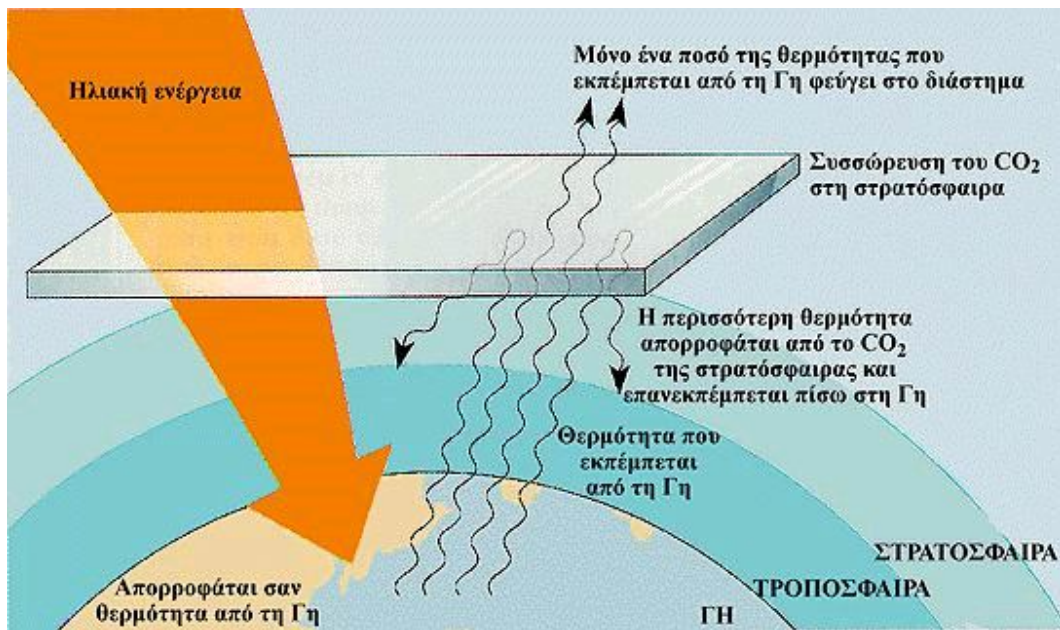
Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται και στη Φύση κατά την οποία η ατμόσφαιρα ενός πλανήτη συμβάλλει στη θέρμανσή του. Ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά από τον Γάλλο μαθηματικό, αστρολόγο και φυσικό Ζοζέφ Φουριέ, το 1824, ενώ διερευνήθηκε συστηματικά από τον Σβάντε Αρρένιους το 1896. Τα τελευταία χρόνια, ο όρος συνδέεται με την παγκόσμια θέρμανση (global warming), ενώ θεωρείται πως το φαινόμενο έχει ενισχυθεί σημαντικά από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Παρατηρείται δε σε όλους τους πλανήτες που διαθέτουν ατμόσφαιρα [64].

Η ενίσχυση του φαινομένου από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες αποτελεί το σημαντικότερο περιβαλλοντικό πρόβλημα. Η παγκόσμια θερμοκρασία ενδέχεται να αυξηθεί έως και 4 βαθμούς Κελσίου έως τα μέσα της δεκαετίας του 2050 εάν συνεχισθούν οι σημερινές εκπομπές αερίων CO<sub>2</sub>. Το φαινόμενο αυτό, της αύξησης της συνολικής θερμοκρασίας του πλανήτη, μπορεί να έχει ανυπολόγιστες συνέπειες για τους ζωντανούς οργανισμούς. Οι συνέπειες αυτές μπορεί να είναι άμεσες (εμφάνιση ακραίων θερμοκρασιών, ερημοποίηση «πράσινων» περιοχών) ή μελλοντικές (συνολική αλλαγή του κλίματος, λιώσιμο των πάγων, άνοδος του επιπέδου της θάλασσας, καταποντισμός παράκτιων περιοχών) [50].



**ΕΙΚΟΝΑ 5:** Προβλέψεις σχετικά με την αύξηση της θερμοκρασίας στην γη  
(<http://www.sema.go.th/files/Content/science/k4/0029/Global%20warming/p31.html>)

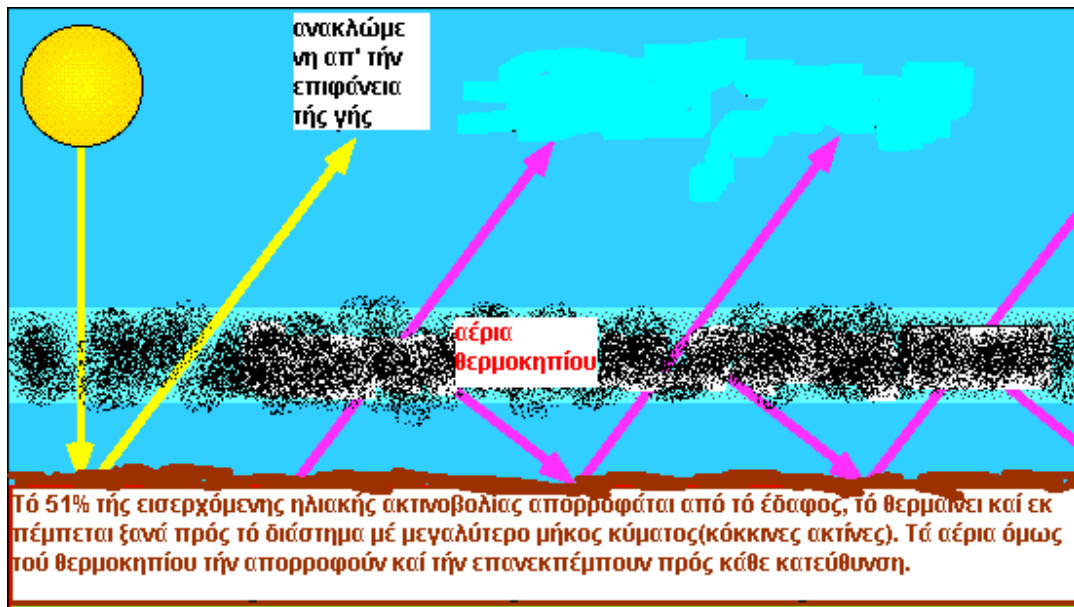




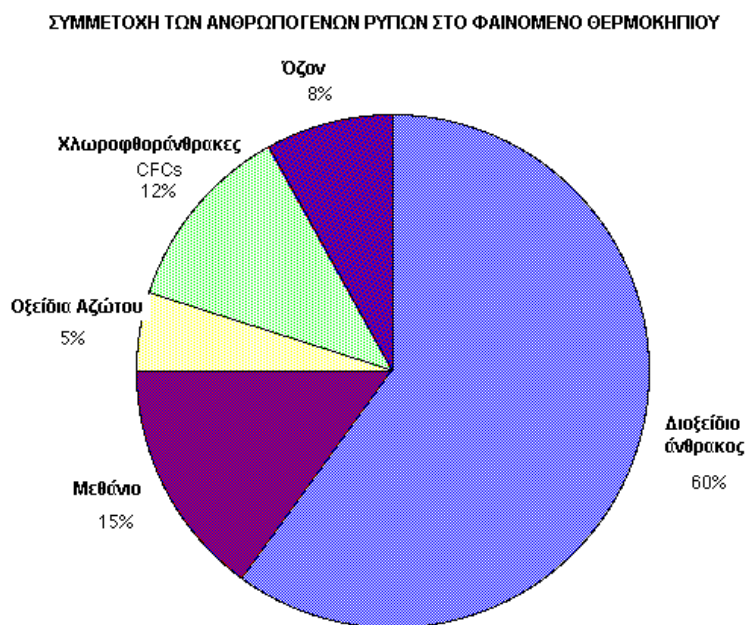
**ΕΙΚΟΝΑ 6:** Παγίδευση της ακτινοβολίας από στρώμα διοξειδίου του άνθρακα

(<http://users.att.sch.gr/xtsamis/images/TherDiox.JPG>)

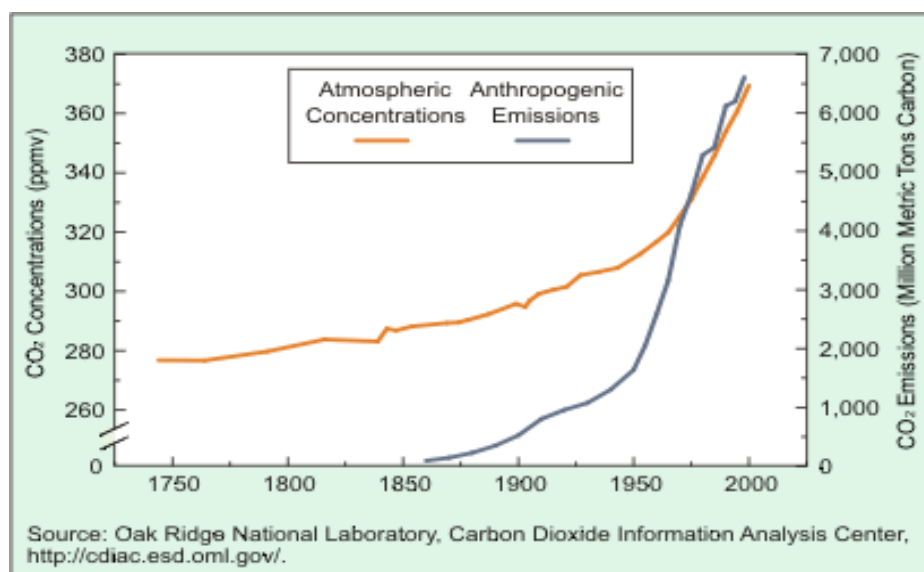
Την μεγαλύτερη συνεισφορά στο φαινόμενο Θερμοκηπίου έχουν κατά σειρά οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα και τα νέφη, που δεν προέρχονται κατ' ανάγκη από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Συνεπώς όπως και αναφέραμε το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι καταρχάς φυσικό φαινόμενο. Όμως οι ανθρώπινες δραστηριότητες έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση της συγκέντρωσης των φυσικών αερίων του θερμοκηπίου καθώς και την έκλυση νέων ιχνοστοιχείων, όπως οι χλωροφθοράνθρακες, αυξάνοντας έτσι τους απορροφητές της γήινης ακτινοβολίας και μειώνοντας την εκπομπή της προς το διάστημα. Τελικά αυξάνει η διαθέσιμη ενέργεια στο σύστημα γήινη επιφάνεια – ατμόσφαιρα, με συνέπεια την αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας. Δηλαδή οι ανθρώπινες δραστηριότητες, ενισχύουν το φαινόμενο θερμοκηπίου, δεν το προκαλούν. Η συσσώρευση κυρίως διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα πραγματοποιείται από την εποχή της Βιομηχανικής Επανάστασης, τον 18ο αιώνα. Ο Arrhenius τον επόμενο αιώνα μάλιστα συνέδεσε την αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα με την θέρμανση του πλανήτη [89].



**ΕΙΚΟΝΑ 7:** Επανεκπομπή ακτινοβολίας προς το έδαφος από τα αέρια του θερμοκηπίου (<http://users.att.sch.gr/xtsamis/OkosmosMas/FainThermoKip.htm>)



**ΕΙΚΟΝΑ 8:** Συμμετοχή των ανθρωπογενών ρύπων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (<http://users.att.sch.gr/xtsamis/OkosmosMas/FainThermoKip.htm>)



**ΕΙΚΟΝΑ 9:** Αύξηση του CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα

(<http://www.eia.doe.gov/oiaf/1605/ggcebrow/chapter1.html>)

Αέρια Θερμοκηπίου	Συγκέντρωση το 1750	Συγκέντρωση Σήμερα	Ποσοστό Μεταβολής	Προέλευση
<b>Διοξείδιο του άνθρακα</b>	280 ppm	360 ppm	29 %	Οργανική αποσύνθεση, Πυρκαγιές δασών, Ηφαίστεια, Καύσιμα Αποδασώσεις, κ.λ.π.
<b>Μεθάνιο</b>	0.70 ppm	1.70 ppm	143 %	Υγρότοποι, Οργανική αποσύνθεση, Τερμίτες, Φυσικό αέριο – Πετρελαιοπηγές, Καύση βιομάζας, Ρυζοκαλλιέργειες, Κτήνη, Σκουπιδοτόποι

<b>Οξείδια αζώτου</b>	280 ppb	310 ppb	11 %	Δάση, Λιβάδια, Ωκεανοί, Απορρίμματα, Καλλιέργειες, Λιπάσματα, Καύση Βιομάζας, Καύσιμα
<b>Χλωροφθοράνθρακες (CFCs)</b>	0	900 ppt	-	Ψυγεία, Ψεκασμοί, Αεριοθούμενα, Απορρυπαντικά
<b>Όζον</b>	Άγνωστο	Ποικίλει	-	Δράση ηλιακής ακτινοβολίας επί μορίων Οξυγόνου και τεχνητή παραγωγή διά μέσου της φωτοχημικής αιθαλομίχλης

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2:** Αέρια που συμμετέχουν ενεργά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου  
(<http://users.att.sch.gr/xtsamis/OkosmosMas/FainThermoKip.htm>)

**Τα βασικά χαρακτηριστικά του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι ότι [87]:**

**A.** Έχει οικουμενικό χαρακτήρα. Δηλαδή, παρά το ότι δημιουργείται από ρύπους που παράγονται κυρίως σε συγκεκριμένες περιοχές (αστικά κέντρα, βιομηχανικές ζώνες), οι επιπτώσεις του διαχέονται σε κάθε γωνιά του πλανήτη, (πχ λιώσιμο των πάγων στους πόλους).

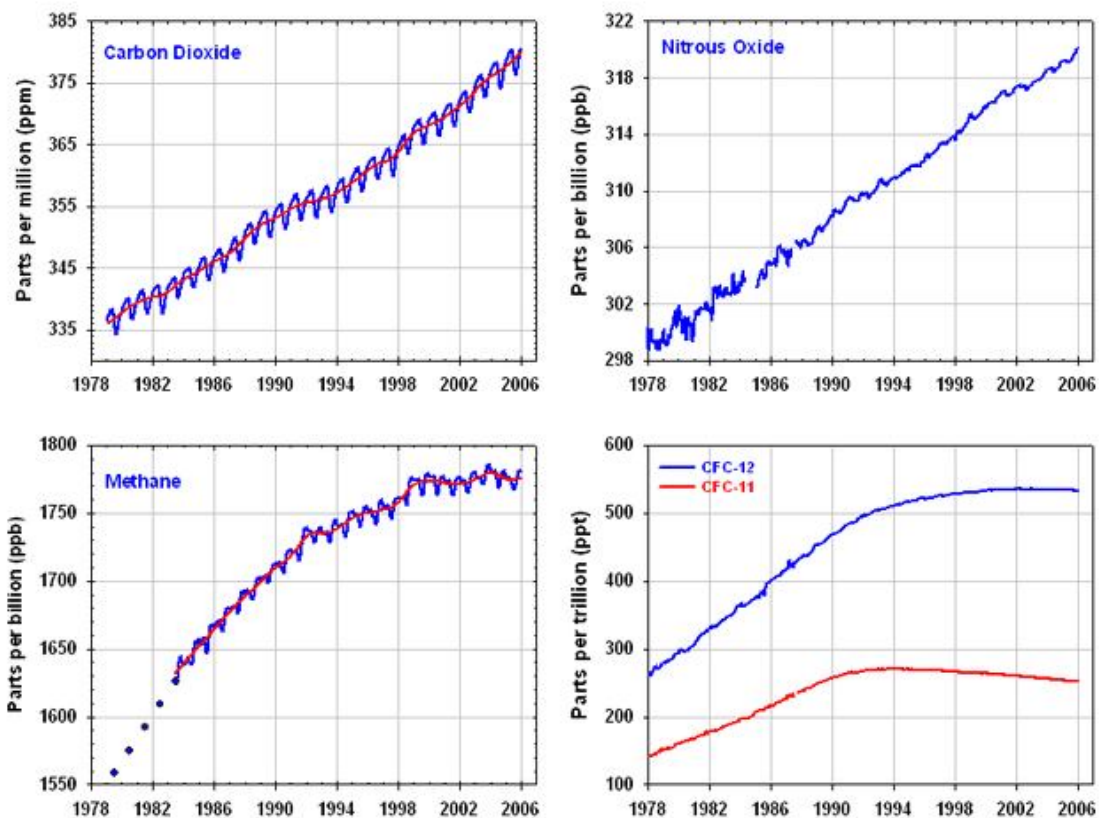
**B.** Τα αποτελέσματά του εμφανίζονται με χρονική υστέρηση, επομένως σε κάποιο βαθμό είναι δύσκολο να γίνει πρόβλεψη για το πραγματικό μέγεθος του προβλήματος.

**Γ.** Η ανάπτυξη του φαινομένου είναι ανάλογη της βιομηχανικής ανάπτυξης και της αύξησης του βιοτικού επιπέδου, και για το λόγο αυτό συνεχής τις τελευταίες δεκαετίες. Με τα σημερινά δεδομένα η ανάσχεση του φαινομένου μπορεί να πραγματοποιηθεί με την χρήση αντιρρυπαντικών τεχνολογιών (φίλτρα, καλύτερης ποιότητας κινητήρες), και την ανάπτυξη των ΑΠΕ.

**Δ.** Το αέριο που ευθύνεται κυρίως για τη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι το διοξείδιο του άνθρακα CO<sub>2</sub>.

**Ως προς τις συνέπειες, οι πιο συζητημένες επιπτώσεις του φαινομένου είναι η ανύψωση της στάθμης των θαλασσών λόγω τήξεως των πάγων των πόλων και η ερημοποίηση εκτεταμένων περιοχών της εύκρατης ζώνης με μετακίνηση των ζωνών βροχόπτωσης από τον ισημερινό προς τον βορρά. Η σημαντική ανύψωση της στάθμης των θαλασσών (μερικά μοντέλα την εκτιμούν στα 65 εκατοστά μέχρι το τέλος του αιώνα) είναι αυτονόητο ότι θα οδηγήσει σε καταβύθιση ολόκληρων παράκτιων περιοχών συμπαράσυνοντας και ολόκληρες πόλεις. Η ερημοποίηση, όπως και η λέξη δηλώνει, θα καταστήσει το έδαφος ακατοίκητο, αφού η λειψυδρία θα είναι φοβερή. Πέραν αυτών όμως οι επιπτώσεις της παγκόσμιας θέρμανσης ενδεχομένως θα είναι απρόβλεπτες τόσο στις κλιματικές επιπτώσεις όσο και στην ανακατανομή της ποιότητας των εδαφών. Άγνωστος επίσης είναι και ο τρόπος και βαθμός προσαρμογής του ζωικού και φυτικού βασιλείου στις νέες συνθήκες. Όλα αυτά βεβαίως θα οδηγήσουν σε αλυσιδωτά προβλήματα που θα αφορούν όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας αφού όλα είναι συνυφασμένα με το περιβάλλον, το οποίο θα αλλάξει δραστικά [89].**

Παρότι έχει γίνει αντιληπτός ο κίνδυνος και πολλά κράτη και διάφοροι φορείς έχουν ευαισθητοποιηθεί και είναι αισθητή μια κινητικότητα, δεν φαίνεται να υπάρχει κάποια ριζική αντιμετώπιση του προβλήματος. Η απαισιοδοξία απορρέει από το γεγονός ότι άπαντες έχουν ως πρώτη προτεραιότητα το κέρδος ενώ η λήψη μέτρων σημαίνει κόστος. Έτσι ναι μεν συνέρχονται σε παγκόσμιες συσκέψεις με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος, τα οικονομικά συμφέροντα όμως δεν επιτρέπουν την λήψη αποτελεσματικών μέτρων. Αναφέρουμε για παράδειγμα την παγκόσμια διάσκεψη σταθμό, του Ρίο Ντε Τζανέιρο της Βραζιλίας το 1992, όπου συνήλθαν 176 αρχηγοί κρατών και του Κιότο της Ιαπωνίας το 1997. Τα αποτελέσματα σίγουρα δεν ήταν τα αναμενόμενα, αφού οι μεν αναπτυσσόμενες χώρες και κυρίως οι Η.Π.Α. δεν διατίθενται να μειώσουν δραστικά τις εκπομπές καυσαερίων και να περιστείλουν την υπερκαταναλωτική μανία των πολιτών τους, ενώ οι υπό ανάπτυξη χώρες αρνούνται και αυτές να ανακόψουν τους καταστροφικούς για το περιβάλλον ρυθμούς ανάπτυξης, στην προσπάθειά τους να βελτιώσουν το δικό τους βιοτικό επίπεδο [89].



**ΕΙΚΟΝΑ 10:** Αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου

(<http://bioage.typepad.com/photos/uncategorized/noaaaiggg.png>)

### 1.3 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

#### 1.3.1 Γενικά Περί Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

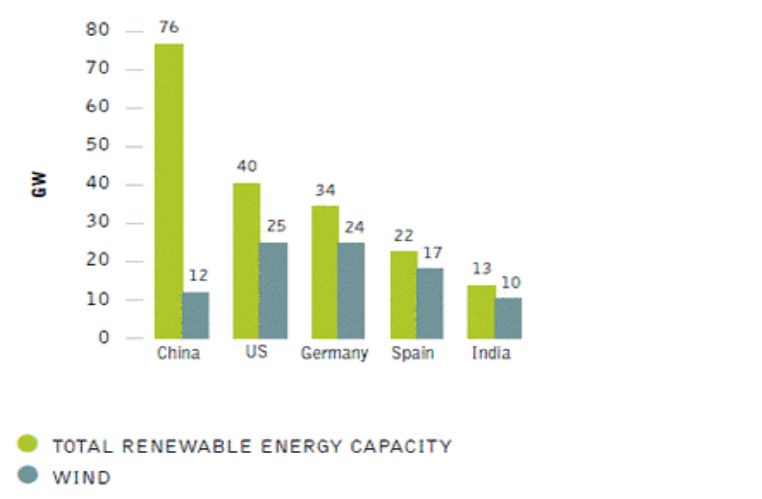
Ανανεώσιμη ενέργεια είναι η ενέργεια που αντλείται από πηγές, οι οποίες δεν εξαντλούνται ή αντικαθίστανται, όπως η αιολική, η ηλιακή, η υδροηλεκτρική η γεωθερμική και η ενέργεια από βιομάζα [14]. Είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος πριν στραφεί έντονα στη χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων. **Οι ΑΠΕ πρακτικά είναι ανεξάντλητες, η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον και η αξιοποίησή τους έγκειται μόνο στην ανάπτυξη**

αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που θα δεσμεύουν το δυναμικό τους [90].

Το ενδιαφέρον στη σύγχρονη εποχή για την ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών και την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, παρουσιάσθηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1974 και παγιώθηκε μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων την τελευταία δεκαετία [90].

Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μια εγχώρια πηγή ενέργειας με ευνοϊκές προοπτικές συνεισφοράς στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο κλάδος που ευθύνεται κατά κύριο λόγο για τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο μόνος δυνατός τρόπος που διαφαίνεται για να μπορέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση να ανταποκριθεί στο φιλόδοξο στόχο του περιορισμού των ρύπων του διοξειδίου του άνθρακα είναι να επιταχύνει την ανάπτυξη των ΑΠΕ [90].

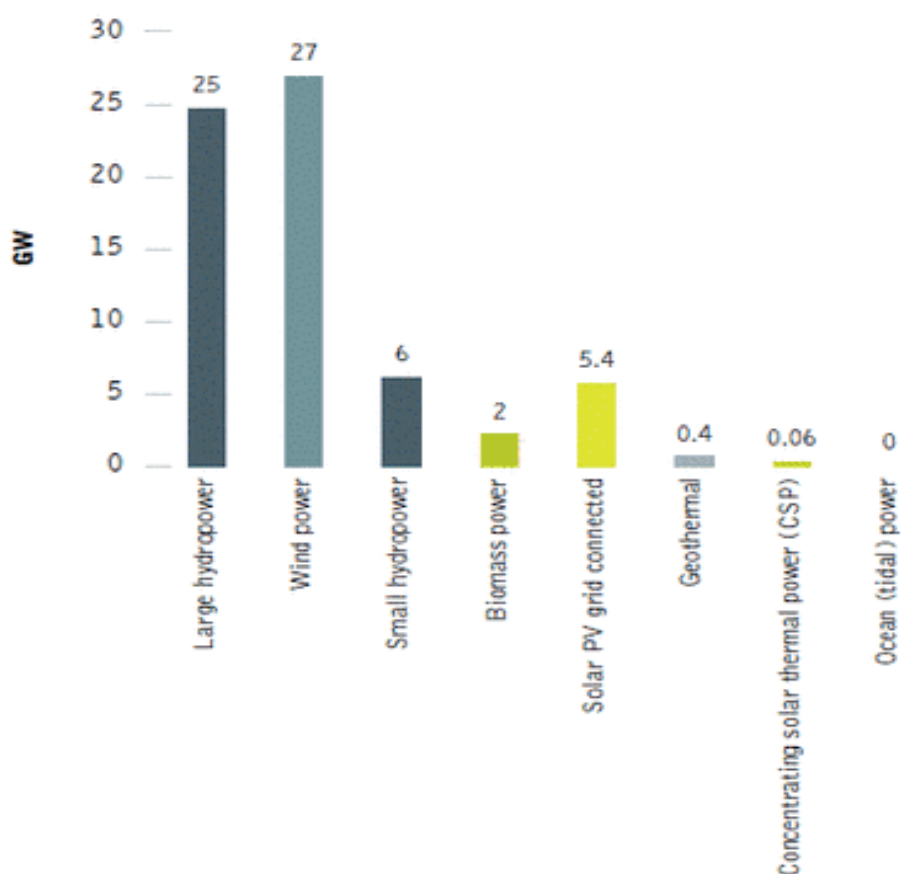
**figure 1.2: top five countries for renewable energy installation in 2008, after Ren21 (2008)**



**EIKONA 11: Οι 5 πρώτες χώρες στην εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας το 2008** (<http://www.energyblueprint.info/966.0.html>)

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο τέλος του 2008 ήταν 1.128 GW. Τα μεγάλης υδροηλεκτρικής ισχύος έργα αποτελούν περίπου τα τρία τέταρτα του συνόλου και τα αιολικά περίπου το 11% [εικ.13]. Το νέο εγκατεστημένο δυναμικό ανανεώσιμων πηγών ενέργειας το 2008, ήταν τουλάχιστον 40 GW (εξαιρουμένων των μεγάλης υδροηλεκτρικής ενέργειας έργα) , με την υψηλότερη αύξηση στην αιολική ενέργεια [εικ.12].

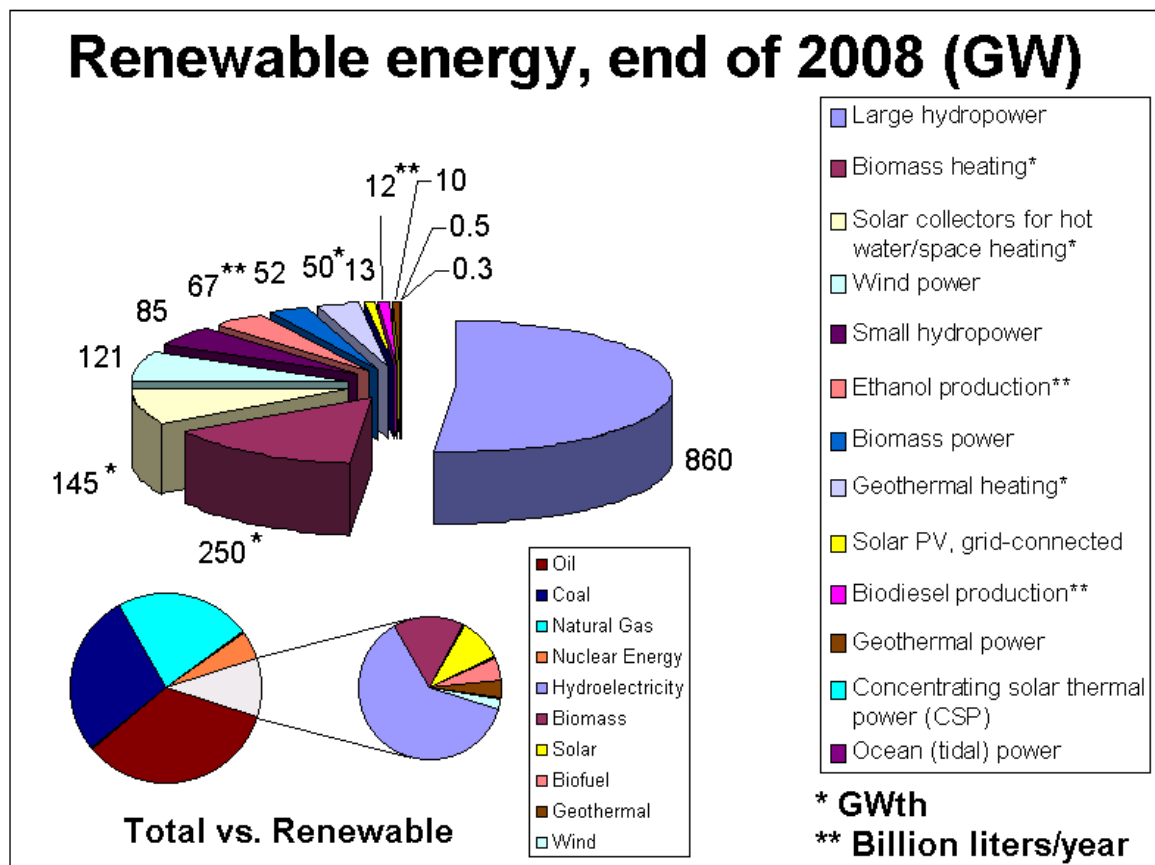
**figure 1.1: new renewable energy installed worldwide, 2008, after REN 21 Renewable Energy Outlook 2008**



**ΕΙΚΟΝΑ 12:** Νέες εγκαταστάσεις ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παγκοσμίως το 2008 σε GW (<http://www.energyblueprint.info/966.0.html>)



### 1.3.2 Οι Κύριες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας



**ΕΙΚΟΝΑ 13:** Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ σε GW στο τέλος του 2008  
(<http://e-nergyworld.com/3.html>)

Οι κύριες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι οι κάτωθι [14]:

**A.** Η αιολική ενέργεια, που γίνεται όλο και πιο δημοφιλής αφού το κόστος παραγωγής πέφτει ραγδαία – γεγονός που την καθιστά ολοένα πιο ανταγωνιστική έναντι της παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα. Ως εκ τούτου η βιομηχανία της αιολικής ενέργειας έχει παρουσιάσει ραγδαία άνθηση τα τελευταία χρόνια. Έτσι ενώ το παγκόσμιο εγκατεστημένο δυναμικό αιολικής ενέργειας ανερχόταν το 1998 σε λίγο περισσότερο από 10.000 MW συνολικά, το 2005 είχε ήδη φθάσει τα 60.000 MW. Το νούμερο αυτό αναμένεται να ανέβει στα 150.000 MW μέχρι το 2012. Η βασική αιτία αυτής της ραγδαίας ανάπτυξης είναι το σχετικά χαμηλό κόστος

της αιολικής ενέργειας σε σχέση με τις άλλες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ενός αιολικού πάρκου δεν εκπέμπεται διοξείδιο του άνθρακα ή άλλα αέρια που ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα (μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, καρκινογόνα μικροσωματίδια κ.α.), όπως συμβαίνει με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Σε όλη τη διάρκεια της χρήσης της, μία και μόνο ανεμογεννήτρια 1,5 MW μπορεί να εξοικονομήσει περί τους 80.000 τόνους ορυκτού άνθρακα (brown coal). Αυτό σημαίνει ότι όχι μόνο δεν εντείνεται το φαινόμενο του θερμοκηπίου, αλλά δεν υπάρχουν και αρνητικές συνέπειες στη δημόσια υγεία από την ατμοσφαιρική ρύπανση [14].

**Β. Η Ηλιακή ενέργεια. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά συστήματα τα οποία επωφελοούνται από την ενέργεια, η οποία παράγεται από τον ήλιο:**

**Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία** μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Τέτοια στοιχεία συχνά ενσωματώνονται στις στέγες. Τα φωτοβολταϊκά προσφέρουν το πρόσθετο πλεονέκτημα να μπορούν να προμηθεύσουν ενέργεια σε αραιοκατοικημένες περιοχές, οι οποίες δεν καλύπτονται από τα δίκτυα ηλεκτροδότησης, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα ζωής και προωθώντας την αειφόρο ανάπτυξη [14].

**Οι σταθμοί ηλιακής θερμικής ενέργειας** αξιοποιούν την θερμότητα του ήλιου, πρώτα συγκεντρώνοντας την ηλιακή ακτινοβολία με τη βοήθεια κατόπτρων για να θερμάνουν νερό ή κάποιο άλλο μέσο και μετά μετατρέποντας τον ατμό σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω μιας γεννήτριας. Η ηλιακή θερμική ενέργεια είναι πολλά υποσχόμενη για τις πόλεις, όπου η ατμοσφαιρική ρύπανση τείνει να είναι μεγάλο πρόβλημα. Οι σταθμοί ηλιακής θερμικής ενέργειας ανοίγουν προοπτικές για μελλοντικές μεταφορές ενέργειας από θερμές αναπτυσσόμενες σε ψυχρές ανεπτυγμένες χώρες [14].

Μία σχετικά απλή μέθοδος επίσης είναι το να χρησιμοποιούμε την ενέργεια από τον ήλιο για να θερμαίνουμε το νερό. **Οι ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες** χρησιμοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει πάνω τους για να ζεστάνουν το νερό της βρύσης (και, σε μικρότερη έκταση, για να ζεστάνουν νερό για τη θέρμανση χώρων) [14].

Η ηλιακή ενέργεια σήμερα είναι 90% φθηνότερη από ότι στην δεκαετία του 1970. Στα σπίτια που διαθέτουν ηλιακή οροφή μπορεί να παράγεται περισσότερη ενέργεια

από όση χρειάζονται ορισμένες ώρες της ημέρας, η οποία δυνητικά θα μπορούσε να μεταπωλείται στις τοπικές εταιρείες ηλεκτρισμού [14].

**Γ. Η Υδροηλεκτρική Ενέργεια** είναι η ενέργεια η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση της μηχανικής ενέργειας του νερού των ποταμών και της μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια στροβίλων και ηλεκτρογεννητριών [54].

Η ενέργεια αυτή διαχέεται στη φύση από δίνες και ρεύματα, καθώς το νερό ρέει κατηφορικά σε ρυάκια, χείμαρρους και ποτάμια μέχρι να φτάσει στη θάλασσα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του αποθηκευμένου νερού και όσο ψηλότερα βρίσκεται, τόσο περισσότερη είναι η ενέργεια που περιέχει [54].

Η υδροηλεκτρική ενέργεια, είναι η πιο σημαντική και ευρεία χρησιμοποιούμενη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. **Αντιπροσωπεύει το 19% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρισμού και το 6% της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας.** Σε όλο τον κόσμο υπάρχουν σήμερα περίπου 45.000 μεγάλα υδροηλεκτρικά φράγματα σε λειτουργία. Η χώρα με τη μεγαλύτερη παραγωγή υδροηλεκτρισμού είναι ο Καναδάς και ακολουθούν οι Η.Π.Α. και η Βραζιλία [14].

**Δ. Η γεωθερμική ενέργεια**, η οποία έχει να κάνει με τη χρήση της θερμότητας της Γης για την παραγωγή ενέργειας. Οι αντλίες γεωθερμικής ενέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν σχεδόν παντού. **Η τεχνολογία για την άντληση γεωθερμικής ενέργειας διαφοροποιείται σε ρηχή γεωθερμική σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, και σε βαθιά γεωθερμική στις υψηλότερες θερμοκρασίες** [14].

**Η σχετικά σταθερή θερμοκρασία των ανώτερων 15 μέτρων της επιφάνειας της Γης (ή των υπογείων υδάτων), που τυπικά είναι γνωστή ως αβαθής γεωθερμική ενέργεια, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση ή ψύξη κτιρίων.** Η αντλία θερμότητας χρησιμοποιεί μία σειρά από σωλήνες για να κυκλοφορεί υγρό μέσω του θερμού εδάφους. Το χειμώνα, που το έδαφος είναι θερμότερο από τα κτίρια στην επιφάνεια, το υγρό απορροφά αυτή την θερμότητα η οποία εν συνεχεία συμπυκνώνεται μέσω γεωεναλλακτών ή συλλεκτών θερμότητας, και μεταφέρεται στα κτίρια. Το καλοκαίρι, που το έδαφος είναι δροσερότερο, γίνεται η αντίστροφη διαδικασία: η αντλία μεταφέρει θερμότητα από τα κτίρια στο έδαφος [14].

**Η άντληση της ενέργειας από τα βαθύτερα στρώματα της Γης**, η λεγόμενη βαθειά γεωθερμική ενέργεια, απαιτεί τη διάνοιξη πηγαδιών σε μεγάλο βάθος. Εάν διαθέτουμε θερμά υπόγεια ύδατα, μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε απευθείας σε σταθμούς υδροθερμικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας. Εάν δε διαθέτουμε, το νερό μπορεί να αντληθεί μεταξύ καυτών στρωμάτων βράχου και μετά να το επαναφέρουμε στην επιφάνεια σε υψηλή θερμοκρασία μέσω μιας δεύτερης διάνοιξης πηγαδιού [14].

Με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας, δεν απαιτείται καμία καύση ορυκτών καυσίμων. Οι σταθμοί παραγωγής γεωθερμικής ενέργειας εκπέμπουν μόνο περίσσεια ατμού και πολύ λίγα ίχνη αερίων [14].

**Ε. Η ενέργεια από βιομάζα. Βιομάζα ονομάζουμε οποιαδήποτε σχετικά νέα οργανική ύλη η οποία προέρχεται από τα φυτά ως αποτέλεσμα της διαδικασίας της φωτοσύνθεσης.** Η ενέργεια από βιομάζα αντλείται από φυτικό και ζωικό υλικό, όπως το ξύλο από τα δάση, τα υπολείμματα από τις γεωργικές και δασικές διαδικασίες, και τα βιομηχανικά, ανθρώπινα ή ζωικά απόβλητα [14]. **Η βιομάζα μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες[14] :**

**Παραδοσιακή βιομάζα** που γενικά περιορίζεται στις αναπτυσσόμενες χώρες και σε χρήσεις μικρής κλίμακας. Περιλαμβάνει τα καυσόξυλα και το κάρβουνο για οικιακή χρήση, την ήρα του ρυζιού, άλλα φυτικά υπολείμματα και την κοπριά ζώων. Η παραδοσιακή βιομάζα που χρησιμοποιείται σε ανοιχτά τζάκια για μαγείρεμα και για θέρμανση εξακολουθεί να είναι πολύ σημαντική στις αναπτυσσόμενες χώρες λόγω της έλλειψης εναλλακτικών λύσεων.

**Σύγχρονη βιομάζα** που συνήθως αφορά χρήσεις μεγάλης κλίμακας και σκοπό να υποκαταστήσει τις συμβατικές ενεργειακές πηγές των ορυκτών καυσίμων. Περιλαμβάνει ξερά κλαδιά από το δάσος και τα γεωργικά υπολείμματα, τα οικιακά απόβλητα, τα βιοαέρια και τα βιοκαύσιμα από ενεργειακές καλλιέργειες (όπως έλαια από φυτά ή/και φυτά που περιέχουν άμυλο και σάκχαρα). Η σύγχρονη βιομάζα χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενέργειας και θερμότητας σε εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας.

Η βιομάζα σε όλες τις εφαρμογές της (παραγωγή ενέργειας, θέρμανση, καύσιμα)

συμβάλλει σημαντικά στην προστασία του περιβάλλοντος και τη διαφύλαξη των φυσικών πόρων, ανεξάρτητα αν χρησιμοποιούνται απόβλητα ή ειδικές καλλιέργειες [14].



**ΕΙΚΟΝΑ 14:** Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας σε MW  
([http://www.wwindea.org/home/index.php?option=com\\_content&task=view&id=266&Itemid=43](http://www.wwindea.org/home/index.php?option=com_content&task=view&id=266&Itemid=43))

### **1.3.3 Το Δυναμικό των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας**

Από τεχνικής πλευράς, το δυναμικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (δηλ. η ποσότητα ενέργειας που μπορεί να αντληθεί από την φυσική προσφορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με χρήση υπαρχουσών τεχνολογιών) είναι πολύ μεγαλύτερο από την παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση.

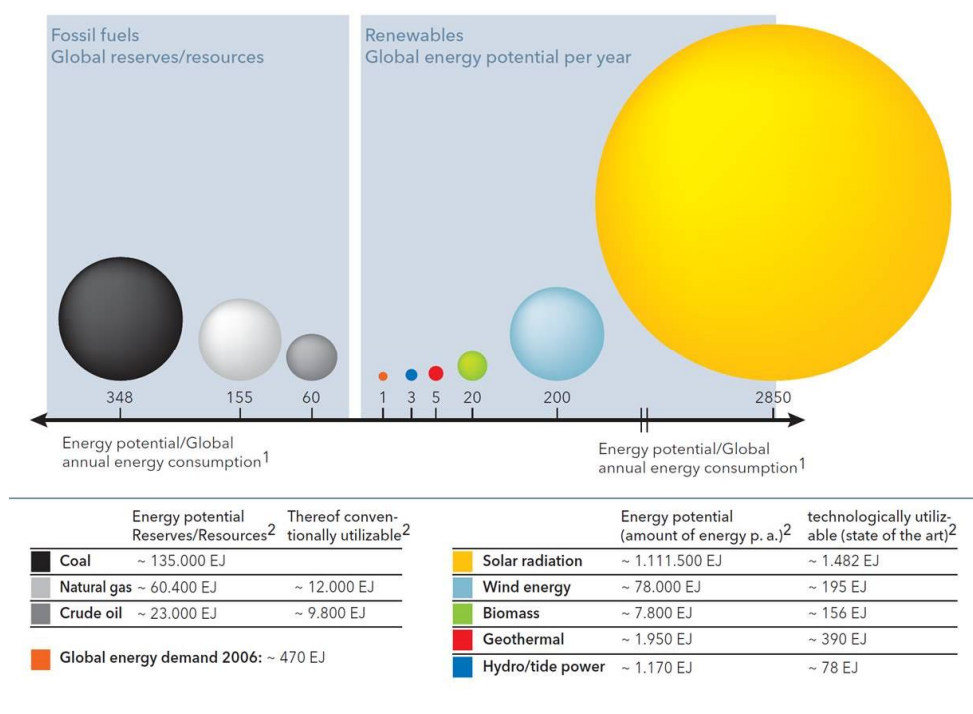
Η ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται η Γη είναι σχεδόν 7.000 φορές περισσότερη από την τρέχουσα παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας. Θεωρητικά, η τρέχουσα παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας θα μπορούσε να καλυφθεί με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε συνολική περιοχή επιφάνειας 700χλμ. x 700χλμ [14].

Το παγκόσμιο δυναμικό αιολικής ενέργειας είναι επίσης τεράστιο. Μόνο το θεωρητικό δυναμικό σε τοποθεσίες με μέση ταχύτητα ανέμου τουλάχιστον 5 m/s σε ύψος 10 μέτρων, ανέρχεται σε σύνολο τουλάχιστον 500.000 TWh ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος. Αυτό ισοδυναμεί σε 35 φορές περισσότερη ενέργεια από την παγκόσμια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σήμερα [14].

Ωστόσο, τόσο το θεωρητικό δυναμικό όσο και τεχνολογικό δυναμικό δεν αντιστοιχούν στο οικονομικά διαθέσιμο δυναμικό από τη στιγμή που θα ληφθούν υπόψη τεχνολογικοί, περιβαλλοντικοί και οικονομικοί παράγοντες αντίστοιχα.

Επίσης τεράστιο είναι και το δυναμικό παραγωγής ενέργειας από βιομάζα. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η βιομάζα θα μπορούσε να καλύψει το 24% των ενεργειακών αναγκών μέχρι το 2020 [51].

Τέλος το χαμηλότερο όριο του παγκόσμιου δυναμικού της γεωθερμικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζεται στα 50 GWe περίπου και η αντίστοιχη τιμή για τις άμεσες χρήσεις σε 1 TWth.



**ΕΙΚΟΝΑ 15:** Διαθέσιμη ενέργεια , ανά είδος καυσίμου , προς ετήσια παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ([http://www.nanowerk.com/spotlight/id7424\\_2.jpg](http://www.nanowerk.com/spotlight/id7424_2.jpg))

### **1.3.4 Πλεονεκτήματα των ΑΠΕ**

Τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης ΑΠΕ είναι τα εξής [12]:

**A. Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας** (ήλιος, άνεμος, ποτάμια, οργανική ύλη, κ.α.) και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από εξαντλήσιμους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους, όπως είναι το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, ο άνθρακας, κλπ.

**B. Είναι φιλικές προς το περιβάλλον** και τον άνθρωπο, γι' αυτό και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το ευρύ κοινό.

**Γ. Αποτελούν (μαζί με την εξοικονόμηση ενέργειας) την κατ' εξοχήν περιβαλλοντικά φιλική λύση για τον περιορισμό των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα** στην ατμόσφαιρα και την αντιμετώπιση του φαινομένου του θερμοκηπίου. Επιπλέον, υποκαθιστώντας τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές οδηγούν σε μείωση των εκπομπών και από άλλους ρυπαντές, όπως είναι π.χ. τα οξειδία του θείου που προκαλούν την όξινη βροχή, τα οξειδία του αζώτου που προκαλούν το φωτοχημικό νέφος, τα αιωρούμενα σωματίδια, κ.α.

**Δ. Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας** και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.

**E. Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και συμβάλλουν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος**, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής (δίκτυα, δρόμοι, κλπ.) και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.

**ΣΤ. Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων**, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα ενεργειακών αναγκών των χρηστών (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή, κ.α.).

**Z. Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας** και ειδικότερα των τιμών των

συμβατικών καυσίμων.

**Η. Οι εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης των ΑΠΕ σχεδιάζονται συνήθως για να καλύπτουν τις συγκεκριμένες ανάγκες των χρηστών, τόσο σε μικρή όσο και σε μεγάλη κλίμακα εφαρμογών, και έχουν μικρό σχετικά χρόνο κατασκευής, επιτρέποντας έτσι τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς προς τη ζήτηση ενέργειας.**

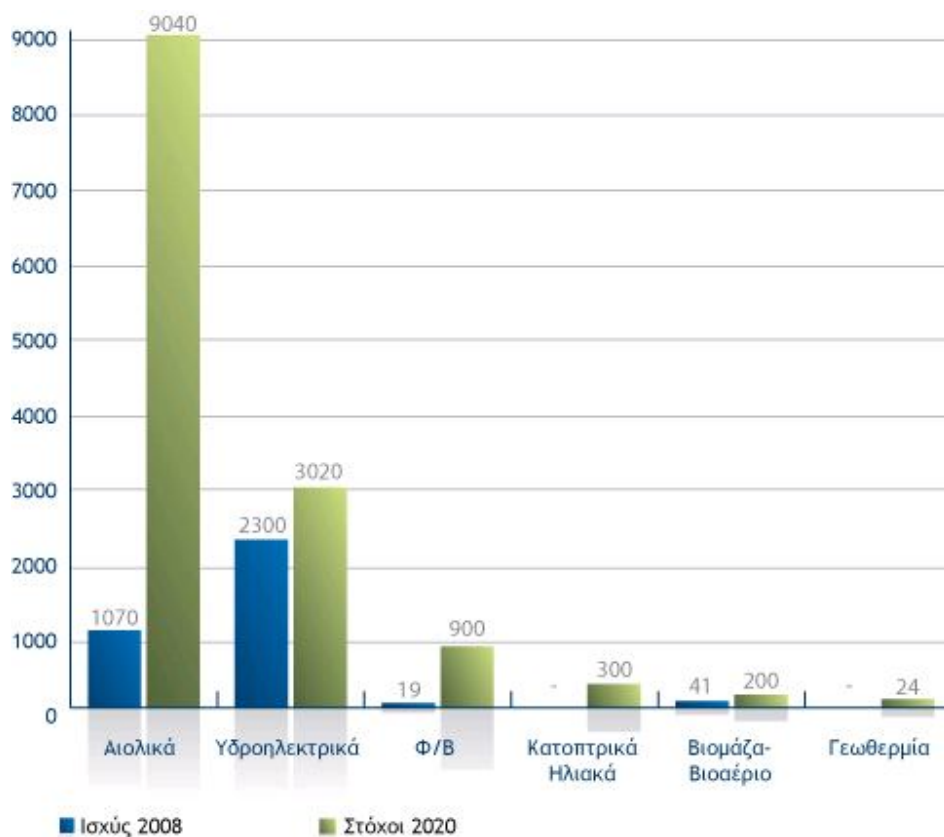
**Θ. Οι επενδύσεις των ΑΠΕ δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.**

**Ι. Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας, τηλεθέρμανση οικισμών ή και μικρών πόλεων με ατμό ή ζεστό νερό που προέρχεται από την ενεργειακή αξιοποίηση γεωργικής και δασικής βιομάζας, κ.α.).**

### **1.3.5 ΑΠΕ στην Ελλάδα**

**Η Ελλάδα αποτελεί ιδανικό τόπο για ευρεία χρήση των ΑΠΕ. Τα ιδιαίτερα φυσικά τοπιολογικά χαρακτηριστικά της σε συνδυασμό με τα ποικιλόμορφα κλιματολογικά στοιχεία της ικανοποιούν την αναγκαία συνθήκη για την ανάπτυξη κάθε εφαρμογής των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας [94]. Η χώρα μας βρίσκεται σε μια περιοχή εξαιρετικά ηλιόλουστη, όπου υπάρχουν πλούσιοι υδάτινοι πόροι και πνέουν συχνά ισχυροί άνεμοι. Η Ελλάδα διαθέτει σχεδόν ανεξάντλητο δυναμικό κάθε μορφής ΑΠΕ. Ενδεικτικά, σύμφωνα με μελέτη για τις ανανεώσιμες πηγές στη Μεσόγειο, η οικονομικά εκμεταλλεύσιμη παραγωγή ηλεκτρισμού στην Ελλάδα από κάθε μορφής ΑΠΕ ανέρχεται σε 55.000 GWh το χρόνο, ενώ το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο δυναμικό υπερβαίνει τις 218.000 GWh [14].**





**ΕΙΚΟΝΑ 16:** Εγκατεστημένη ισχύς σε MW ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ελλάδα και στόχος για το 2020

(<http://www.investingreece.gov.gr/default.asp?pid=36&sectorID=51&la=2>)

Η γεωγραφική της θέση (γεωγρ. πλάτος 33°) εξασφαλίζει μια εκτεταμένη περίοδο ηλιοφάνειας, προσφέροντας την δυνατότητα μιας ουσιαστικής αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας [94]. **Στο μεγαλύτερο τμήμα της χώρας η ηλιοφάνεια διαρκεί περισσότερο από 2700 ώρες τον χρόνο [53].** Στην Δυτική Μακεδονία και στην Ήπειρο εμφανίζει τις μικρότερες τιμές της κυμαινόμενη από 2200 έως 2300 ώρες , ενώ στη Ρόδο και στη νότια Κρήτη ξεπερνά τις 3100 ώρες ετησίως [53]. **Ο συνδυασμός του γεωγραφικού πλάτους της Ελλάδας και της υψηλής ηλιοφάνειάς της έχει ως αποτέλεσμα να προσπίπτουν ημερησίως κατά μέσο όρο 4,3 kWh ηλιακής ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο οριζόντιας επιφάνειας [103].** Αυτό συντελεί στο να είναι δυνατή σε ολόκληρη της επικράτεια η οικονομικά επωφελής εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών. **Εκτιμάται ότι η ηλιακή ενέργεια μπορεί να καλύψει το ένα τρίτο των αναγκών**

της χώρας σε ηλεκτρισμό. [52] (Η κατανάλωση ηλεκτρισμού αντιστοιχούσε σε 58,7 TWh το 2005).

Επίσης, η διάσπαρτη παρουσία μιας πλειάδας μικρών αλλά ορμητικών ποταμών, λόγω του έντονου τοπογραφικού της ανάγλυφου, επιτρέπει την αξιοποίηση της διαθέσιμης υδραυλικής ενέργειας ως συνέπεια της φυσικής ροής του ύδατος προς κατώτερα υψομετρικά επίπεδα [94]. **Εκτιμάται ότι το σύνολο του οικονομικά εκμεταλλεύσιμου υδροδυναμικού της Ελλάδας είναι 10.000 GWh/έτος** (με θεωρητικό επιφανειακό υδροδυναμικό 80.000 GWh και τεχνικά εκμεταλλεύσιμο 21.500 GWh) [101]. Το 10% περίπου του δυναμικού αυτού (1.000 GWh) θεωρείται ότι είναι δυνατό να αξιοποιηθεί μέσω μικρών υδροηλεκτρικών έργων (μέχρι 5 MW) [101].

Ακόμα, η συνύπαρξη ηπειρωτικού – νησιωτικού τοπίου προσφέρει φυσικές διόδους στην νομοτελειακή μετακίνηση μεγάλων αέριων μαζών, διαμορφώνοντας ένα ιδιαίτερα αξιόλογο αιολικό δυναμικό κυρίως στις παράκτιες περιοχές. **Το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύει το 13,6% του συνόλου των ηλεκτρικών αναγκών της χώρας** [50].

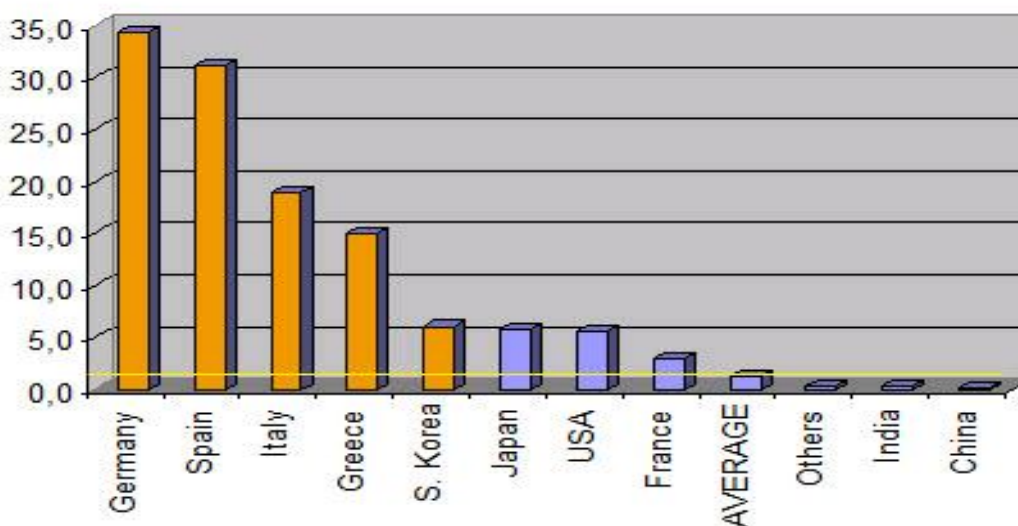
Επιπλέον η “πράσινη” ενέργεια από τα έγκατα της γης , δηλαδή η παραγωγή ενέργειας από το πλήθος των θερμών πηγών που υπάρχουν διάσπαρτες στις χερσαίες αλλά και στις νησιώτικες περιοχές της χώρας .Σύμφωνα με τα μέχρι σήμερα γνωστά στοιχεία, το ενεργειακό απόθεμα που υπάρχει κάτω από τη γη με τη μορφή ζεστού νερού αντιστοιχεί σε πάνω από 1.000 θερμικά MW ετησίως. **Το άμεσα αξιοποιήσιμο δυναμικό ξεπερνά σε ισχύ τα 200 MWt και μπορεί να αντικαταστήσει 160.000 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου ανά έτος** [54].

Τέλος η βιομάζα. **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 [12]. **Το ποσό αυτό αντιστοιχεί ενεργειακά στο 30-40% της ποσότητας του πετρελαίου που καταναλώνεται ετησίως στη χώρα μας** [12]. 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 [12].**

Έτσι ο νέος νόμος για τις ΑΠΕ, που ψηφίστηκε στις 25 Μαΐου 2010 από το Ελληνικό Κοινοβούλιο, καθορίζει ως εθνικό δεσμευτικό στόχο το 20%, για τη συμμετοχή των ΑΠΕ στην κάλυψη της τελικής κατανάλωσης ενέργειας το 2020 και το 40% για τον ηλεκτρισμό. **Επίσης προβλέπει ακόμη ότι έως τις 31 Δεκ 2019, όλα τα νέα κτίρια θα πρέπει να καλύπτουν το σύνολο της ενεργειακής τους κατανάλωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, συμπαράγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας, συστήματα τηλεθέρμανσης σε κλίμακα περιοχής ή οικοδομικού τετραγώνου, καθώς και σε αντλίες θερμότητας. Για τα κτίρια του Δημοσίου η υποχρέωση αυτή θα τεθεί σε ισχύ πέντε χρόνια νωρίτερα, δηλαδή το 2014 [91].**

**Solar Watts per capita in 2010  
(conservative scenario)**



**EΙΚΟΝΑ 17:** Εγκατεστημένη ισχύς φωτοβολταϊκών σε watt ανά πληθυσμό χώρας (<http://www.windenergy.gr/index-07-08-2008.php>)

**Παρατήρηση:** Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα στην Γερμανία, την Ισπανία, την Ιταλία και την Ελλάδα θα παραχθεί από τη ηλιακή ενέργεια άνω των 0,1KWh ανά ημέρα για κάθε πολίτη: είναι αρκετό για το φωτισμό των σπιτιών και των κτηρίων, με

την κατάλληλη οικονομία ενέργειας και την χρησιμοποίηση μη ενεργοβόρων συσκευών φωτισμού και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας [92].

### **1.4 Στρατόπεδο “ΠΑΠΑΣΤΑΘΗ”**

Το Στρατόπεδο “ΠΑΠΑΣΤΑΘΗ” βρίσκεται στα διοικητικά όρια του Δήμου Αχαρνών Αττικής και στους χώρους του στεγάζονται το 306 Εργοστάσιο Βάσης Τεχνικού και το 3<sup>ο</sup> ΤΥΛ.

Η συνολική έκταση του στρατοπέδου ανέρχεται στα 102.632 m<sup>2</sup> και περιλαμβάνει 66 κτίρια με συνολική επιφάνεια 34.098 m<sup>2</sup> περίπου.

### **Φωτογραφίες από τις Επισκευαστικές Δραστηριότητες του 306 ΕΒΤ**





### **1.4.1 Υφιστάμενη Ενεργειακή Κατάσταση**

Η ηλεκτροδότηση του στρατοπέδου γίνεται συνολικά με συμβατικά μέσα, μέσω της ΔΕΗ. Το ηλεκτρικό ρεύμα χρησιμοποιείται για την κάλυψη τόσο των άμεσων αναγκών σε ηλεκτρισμό όσο και για τις ανάγκες κλιματισμού (τους θερινούς μήνες) αφού υπάρχουν κλιματιστικές συσκευές σχεδόν σε όλα τα κτίρια του στρατοπέδου , αλλά και σύστημα κεντρικού κλιματισμού (στο 306 ΕΒΤ) . Επίσης, σε πέντε κτίρια χρησιμοποιούνται για την θέρμανση κεντρικοί λέβητες πετρελαίου , ενώ στα υπόλοιπα υπάρχουν σόμπες πετρελαίου.

#### **Αναλυτικά:**

**α)** Στο Στρώο υπάρχουν 39 κλιματιστικές συσκευές συνολικής ψυκτικής ικανότητας 360.000 BTU.

**β)** Ο κεντρικός κλιματισμός του κτιρίου του 306 ΕΒΤ είναι ισχύος 771 KW.

**γ)** Στο κτίριο του 306 ΕΒΤ υπάρχουν 200 μονάδες FANCOIL ισχύος 200 Watt η κάθε μία.

**δ)** Στο κτίριο του 306 ΕΒΤ υπάρχουν 3 λέβητες συνολικής απόδοσης 850.000 kcal/h.

**ε)** Στο κτίριο του Λόχου υπάρχει ένας λέβητας για θέρμανση χώρου απόδοσης

200.000 kcal/h και ένας λέβητας για θέρμανση νερού , ο οποίος λειτουργεί μόνο το καλοκαίρι , απόδοσης 35.000 kcal/h.

**στ)** Στο κτίριο του Μηχανουργείου υπάρχει ένας λέβητας απόδοσης 60.000 kcal/h.

**ζ)** Στο κτίριο του Διοικητηρίου του 3ου ΤΥΛ υπάρχει ένας λέβητας απόδοσης 30.000 kcal/h.

**η)** Στο κτίριο των Λογιστηρίων του 3ου ΤΥΛ υπάρχει ένας λέβητας απόδοσης 100.000 kcal/h.

**θ)** Η συνολική κατανάλωση πετρελαίου για θέρμανση στο Στρδο ανέρχεται περίπου στα 136.166 lt/έτος .

**ι)** Η συνολική κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος πέρυσι (2009) ανήλθε σε 612.787 kwh.



**ΕΙΚΟΝΑ 18:** Φωτοβολταικά πλαίσια σε κτίριο του στρατού της Ολλανδίας

## Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup>

### ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΣΤΡΑΤΟΠΕΔΟ ΠΑΠΑΣΤΑΘΗ

#### 2.1 Εισαγωγή

Στο στάδιο αυτό των υπολογισμών, όλα τα κτίρια που βρίσκονται σε λειτουργία αντιμετωπίζονται ως ενιαίο σύνολο χωρίς να λαμβάνονται υπ' όψη τα χαρακτηριστικά χρήσης του κάθε χώρου. Αυτό γίνεται για να αποκτήσουμε μια γενική άποψη για την τάξη μεγέθους της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος, την οποία και θα επιχειρήσουμε να καλύψουμε με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και συγκεκριμένα με φωτοβολταϊκά.

#### 2.2 Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας-Παραδοχές

Στον χώρο του στρατοπέδου είναι εγκατεστημένοι τρεις μετρητές ρεύματος για την καταγραφή της ηλεκτρικής κατανάλωσης. Η χρήση των ηλεκτρικών συσκευών στο σύνολο των κτιρίων, φαίνεται από τις κιλοβατώρες που καταναλώνονται συνολικά.

Δεν υπάρχουν μετρητές ρεύματος που να αναφέρονται ξεχωριστά στην κατανάλωση ρεύματος για θερμικές ανάγκες. Έτσι δεν μπορούμε να γνωρίζουμε επακριβώς το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται για θερμικές ανάγκες, παρά μόνο προσεγγιστικά.

Για τον μετρητή ρεύματος του 306 ΕΒΤ διαθέτουμε στοιχεία ανά μήνα ενώ για τους μετρητές ρεύματος του 3<sup>ου</sup> ΤΥΛ ανά τετράμηνο.

Στην πρώτη στήλη των πινάκων που παρατίθενται παρακάτω αναγράφονται οι τιμές που καταγράφονται στους μετρητές ανά μήνα ή ανά τετράμηνο αντίστοιχα.

Στην τελευταία στήλη γίνεται μια εκτίμηση της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος για κλιματισμό η οποία προκύπτει από την αφαίρεση από την κατανάλωση κάθε μήνα ή τετραμήνου αντίστοιχα , της χαμηλότερης κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος. Υποθέτουμε ότι κατά τον μήνα ή το τετράμηνο που έχουμε την χαμηλότερη κατανάλωση δεν έχουμε χρήση συσκευών κλιματισμού και άρα η κατανάλωση αφορά αμιγώς ηλεκτρικές ανάγκες φωτισμού και τροφοδοσίας ηλεκτρικών συσκευών. Ακολουθώντας αυτή τη λογική μπορούμε από τις συνολικές μετρήσεις να αφαιρέσουμε αυτή την τιμή και να προκύψει η κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος που συνδέεται με τη χρήση κλιματιστικών συσκευών για τον κλιματισμό των χώρων του στρατοπέδου.

	<b>Μετρητής 306 EBT (kwh)</b>	<b>Κατανάλωση Ηλεκτρικού Ρεύματος για Κλιματισμό (kwh)</b>
<b>Ιανουάριος</b>	40.800	14.400
<b>Φεβρουάριος</b>	33.600	7.200
<b>Μάρτιος</b>	33.600	7.200
<b>Απρίλιος</b>	28.800	2.400
<b>Μάιος</b>	26.400	0
<b>Ιούνιος</b>	33.600	7.200
<b>Ιούλιος</b>	48.000	21.600
<b>Αύγουστος</b>	43.200	16.800
<b>Σεπτέμβριος</b>	36.000	9.600
<b>Οκτώβριος</b>	26.400	0
<b>Νοέμβριος</b>	26.400	0
<b>Δεκέμβριος</b>	24.000	0
<b>Σύνολο</b>	<b>400.800</b>	<b>86.400</b>

**ΠΙΝΑΚΑΣ 3 : Μετρήσεις ανά μήνα μετρητή 306 EBT**



**Σημείωση:** Αφαίρεσα την χαμηλότερη κατανάλωση που εμφανίζεται τις περισσότερες φορές δηλαδή τις 26.400 kwh , θεωρώντας ότι η χαμηλότερη κατανάλωση των 24.000 kwh που εμφανίζεται των Δεκέμβριο μπορεί να οφείλεται και σε μικρότερη χρησιμοποίηση των επισκευαστικών μηχανημάτων λόγω και των αδειών του προσωπικού την περίοδο των Χριστουγέννων.

	<b>1<sup>ος</sup> Μετρητής 3<sup>ου</sup> ΤΥΛ (kwh)</b>	<b>Κατανάλωση Ηλεκτρικού Ρεύματος για Κλιματισμό (kwh)</b>
<b>Ιανουάριος</b>	33.422	957
<b>Φεβρουάριος</b>		
<b>Μάρτιος</b>		
<b>Απρίλιος</b>		
<b>Μάιος</b>	33.433	968
<b>Ιούνιος</b>		
<b>Ιούλιος</b>		
<b>Αύγουστος</b>		
<b>Σεπτέμβριος</b>	32.465	0
<b>Οκτώβριος</b>		
<b>Νοέμβριος</b>		
<b>Δεκέμβριος</b>		
<b>Σύνολο</b>	<b>99.320</b>	<b>1.925</b>

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4 :** Μετρήσεις ανά τετράμηνο 1<sup>ου</sup> μετρητή 3<sup>ου</sup> ΤΥΛ.

	2 <sup>ος</sup> Μετρητής 3 <sup>ου</sup> ΤΥΛ (kwh)	Κατανάλωση Ηλεκτρικού Ρεύματος για Κλιματισμό (kwh)
Ιανουάριος	25.226	0
Φεβρουάριος		
Μάρτιος		
Απρίλιος		
Μάιος	40.580	15.354
Ιούνιος		
Ιούλιος		
Αύγουστος		
Σεπτέμβριος	28.274	3.048
Οκτώβριος		
Νοέμβριος		
Δεκέμβριος		
<b>Σύνολο</b>	<b>94.080</b>	<b>18.402</b>

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5 :**Μετρήσεις ανά τετράμηνο 2<sup>ου</sup> μετρητή 3<sup>ου</sup> ΤΥΛ.

### **2.3 Συμπεράσματα από την Καταγραφή των Μετρήσεων**

Η καταγραφή των μετρήσεων αποτυπώνει τις ανάγκες του στρατοπέδου σε ηλεκτρικό ρεύμα. Η συνολική κατανάλωση ρεύματος προέκυψε 594.200 kwh. Από αυτές με βάση την πιο πάνω προσέγγιση , εκτιμάται ότι οι 487.473 kwh καταναλώθηκαν για αμιγώς ηλεκτρικές ανάγκες φωτισμού και τροφοδοσίας ηλεκτρικών συσκευών , ενώ οι 106.727 kwh καταναλώθηκαν για ανάγκες

κλιματισμού.

Στην παρούσα ενότητα θα μελετηθεί η δυνατότητα κάλυψης του Στρατοπέδου σε ηλεκτρικό ρεύμα με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στοιχείων. Έτσι θα εξεταστεί η περίπτωση κάλυψης των αναγκών φωτισμού και τροφοδοσίας ηλεκτρικών συσκευών σε ετήσια βάση. Ο στόχος αυτός, αφορά το ετήσιο ισοζύγιο παραγόμενης – καταναλισκόμενης ενέργειας, αφού η ύπαρξη διασύνδεσης με τη ΔΕΗ κάνει την περίπτωση πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο πολύ ελκυστική. Σκοπός είναι να ελεγχθεί η δυνατότητα αξιοποίησης των κεραμοσκεπών και δευτερευόντως των ελεύθερων χώρων που διατίθενται στο στρατόπεδο για τέτοιου είδους εκμετάλλευση και κατ' επέκταση να μελετηθεί τεχνοοικονομικά η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στους χώρους αυτούς.

## **2.4 Φωτοβολταϊκά Συστήματα**

Στην περίπτωση του στρατοπέδου για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων, κριτήριο είναι η κάλυψη των αναγκών του στρατοπέδου σε ηλεκτρική ενέργεια για αμιγώς ηλεκτρικές ανάγκες φωτισμού και τροφοδοσίας ηλεκτρικών συσκευών. Όπως έχει αναφερθεί η μελέτη γίνεται για διασυνδεδεμένο σύστημα με τη ΔΕΗ. Σε αυτή την περίπτωση, ο αυτοπαραγωγός μπορεί να καταναλώσει μέρος της παραγωγής ηλεκτρισμού και να πουλήσει στη ΔΕΗ το υπόλοιπο, έναντι προσυμφωνημένης και ιδιαίτερα ελκυστικής τιμής, έχοντας κέρδος. Στην περίπτωση του διασυνδεδεμένου συστήματος ο κύριος εξοπλισμός που συνθέτει την συνολική εγκατάσταση αποτελείται από τα εξής εξαρτήματα:

**α)** Φωτοβολταϊκό σύστημα -Πίνακας ελέγχου

**β)** Μετρητές ΔΕΗ

**γ)** Αντιστροφείς.

**Σημείωση.** Στο διασυνδεδεμένο σύστημα δεν απαιτούνται συσσωρευτές.

Το φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται στην απλή του μορφή από σταθερά εγκατεστημένους συλλέκτες (πλαίσια) ή διαφορετικά από συλλέκτες που φέρουν ένα σύστημα έδρασης με δυνατότητα προσανατολισμού κατά ένα ή και δύο άξονες με

σκοπό την μεγαλύτερη απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας (tracking PV systems).

Οι σταθερά εγκατεστημένοι συλλέκτες έχουν προσανατολισμό ίδιο με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής για μέγιστη παραγωγή ενέργειας -συνολικά- σε όλο το έτος.

Οι συλλέκτες με δυνατότητα προσανατολισμού παράγουν περισσότερη ενέργεια κατά 25%-40% από τους σταθερούς [28] . Το κόστος τους βέβαια αυξάνεται με την προσθήκη της ειδικής βάσης αλλά αντισταθμίζεται από την αυξημένη παραγωγή που προσφέρουν.

### **2.4.1 Πλεονεκτήματα Ηλιακής Ενέργειας**

**Τα πλεονεκτήματα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω φωτοβολταϊκών είναι [26]:**

**A. Μηδενική ρύπανση.** Κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρισμού που προμηθευόμαστε από το δίκτυο της ΔΕΗ και παράγεται από ορυκτά καύσιμα, επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με ένα τουλάχιστον κιλό διοξειδίου του άνθρακα. Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα του ενός κιλοβάτ, αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1,3 τόνων διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν δύο στρέμματα δάσους [26].

#### **B. Αθόρυβη λειτουργία**

#### **Γ. Αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που φθάνει τα 30 χρόνια)**

**Δ. Απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές.** Ακόμα δεδομένου ότι η παραγωγή και κατανάλωση του ηλιακού ηλεκτρισμού γίνονται τοπικά, με την εφαρμογή των φωτοβολταϊκών, αποφεύγονται οι σημαντικές απώλειες της μεταφοράς και διανομής του ηλεκτρισμού και κατ' αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας της τάξης του 10% σε σχέση με τη συμβατική παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του δικτύου [26]. Επίσης η βαθμιαία αύξηση των μικρών ηλεκτροπαραγωγών μπορεί να καλύψει αποτελεσματικά τη διαρκή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία σε διαφορετική

περίπτωση θα έπρεπε να καλυφθεί με μεγάλες επενδύσεις για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής [26].

**Ε. Δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες.**

**Στ. Ελάχιστη συντήρηση.**

**Ζ. Ενεργειακή ανεξάρτηση.** Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία [26].

**Η. Η μέγιστη παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού συμπίπτει χρονικά με τις ημερήσιες αιχμές της ζήτησης (ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες),** βοηθώντας έτσι στην εξομάλυνση των αιχμών φορτίου, στην αποφυγή black-out και στη μείωση του συνολικού κόστους της ηλεκτροπαραγωγής, δεδομένου ότι η κάλυψη αυτών των αιχμών είναι ιδιαίτερα δαπανηρή. Σημειωτέον ότι, κάθε ώρα black-out, κοστίζει στην εθνική οικονομία 25-40 εκατ. Ευρώ [26].

### **2.4.2 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο [27]**

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζονται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών σε ατομικό επίπεδο.

Όταν το φως προσπίπτει σε μια επιφάνεια είτε ανακλάται, είτε την διαπερνά (διαπερατότητα) είτε απορροφάται από το υλικό της επιφάνειας. Η απορρόφηση του φωτός ουσιαστικά σημαίνει την μετατροπή του σε μια άλλη μορφή ενέργειας (σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας) η οποία συνήθως είναι η θερμότητα.

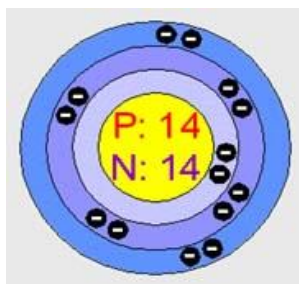
**Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπιπτόντων φωτονίων (πακέτα ενέργειας) σε ηλεκτρική ενέργεια.**

**Αυτά τα υλικά είναι οι ημιαγωγοί** και σε αυτά οφείλεται επίσης η τεράστια τεχνολογική πρόοδος που έχει συντελεστεί στον τομέα της ηλεκτρονικής και συνεπακόλουθα στον ευρύτερο χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών.

Γενικότερα τα υλικά στην φύση, σε σχέση με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους, εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες, τους αγωγούς του ηλεκτρισμού, τους μονωτές και τους ημιαγωγούς .

### **A. Χαρακτηριστικά Ημιαγωγών [27]**

Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού που το διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα υλικά, είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός ατόμου που βρίσκεται στην εξωτερική του στοιβάδα (σθένους). Ο περισσότερο γνωστός ημιαγωγός είναι το πυρίτιο (Si) .



**EIKONA 19 : Πυρίτιο (Si) [27]**

Το πυρίτιο έχει ατομικό αριθμό 14 και έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 4 ηλεκτρόνια. Όλα τα άτομα που έχουν λιγότερα η περισσότερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα (είναι "γενικά" συμπληρωμένη με 8 e) ψάχνουν άλλα άτομα με τα οποία μπορούν να ανταλλάξουν ηλεκτρόνια ή να μοιραστούν κάποια, με σκοπό τελικά να αποκτήσουν συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα σθένους.

Σε αυτήν την τάση οφείλεται και η κρυσταλλική δομή του πυριτίου, αφού όταν συνυπάρχουν πολλά άτομα μαζί, διατάσσονται με τέτοιο τρόπο, ώστε να συνεισφέρουν ηλεκτρόνια με όλα τα γειτονικά τους άτομα και τελικά με αυτόν τον τρόπο να αποκτούν μια συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα και κρυσταλλική δομή. Αυτή είναι και η καθοριστική ιδιότητα που έχουν τα κρυσταλλικά υλικά.

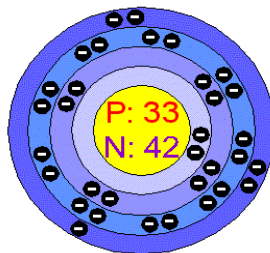
Στην κρυσταλλική του μορφή όμως το πυρίτιο είναι σταθερό. Δεν έχει ανάγκη ούτε να προσθέσει ούτε να διώξει ηλεκτρόνια, κάτι που ουσιαστικά του δίνει

ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πολύ κοντά σε αυτά ενός μονωτή, αφού δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια για την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος στο εσωτερικό του .

## **B. Δημιουργία Ηλεκτρικά Φοτισμένων Ημιαγωγών [27]**

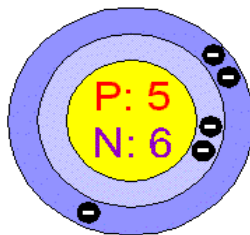
Τις ημιαγωγές ιδιότητες του το πυρίτιο τις αποκτά με τεχνικό τρόπο. Αυτό πρακτικά γίνεται με την πρόσμειξη με άλλα στοιχεία τα οποία είτε έχουν ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο είτε ένα λιγότερο , στην στοιβάδα σθένους των. Αυτή η πρόσμειξη τελικά κάνει τον κρύσταλλο δεκτικό είτε σε θετικά φορτία (υλικό τύπου p) είτε σε αρνητικά φορτία (υλικό τύπου n)

Για να φτιαχτεί λοιπόν ένας ημιαγωγός τύπου n ή αλλιώς ένας αρνητικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου (+1 ηλεκτρόνιο στην στοιβάδα σθένους) θα πρέπει να γίνει πρόσμειξη ενός υλικού με 5e στην εξωτερική του στοιβάδα όπως για παράδειγμα το Αρσένιο (As).



**ΕΙΚΟΝΑ 20:** Αρσένιο (As) [27]

Αντίστοιχα για να δημιουργήσουμε έναν ημιαγωγό τύπου p η αλλιώς ένα θετικά φορτισμένο κρύσταλλο πυριτίου (-1 ηλεκτρόνιο στην στοιβάδα σθένους) χρειάζεται να γίνει πρόσμειξη στον κρύσταλλο κάποιου υλικού όπως το βόριο (B) που έχει 3e στην εξωτερική του στοιβάδα.

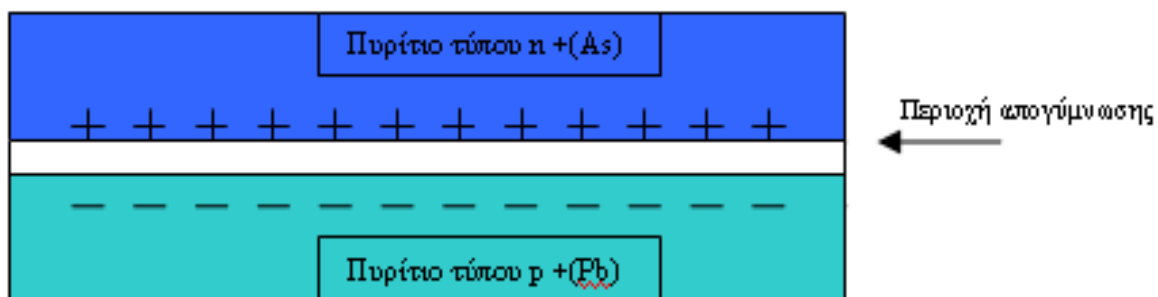


**ΕΙΚΟΝΑ 21:** Βόριο (B)[27]

### Γ. Δημιουργία του Ηλεκτρικού Πεδίου [27]

Εάν φέρουμε σε επαφή δύο κομμάτια πυριτίου τύπου n και τύπου p , το ένα απέναντι από το άλλο , δημιουργείται μια δίοδος η αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών το οποίο επιτρέπει την κίνηση ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση μόνο.

Τα επιπλέον ηλεκτρόνια της επαφής n έλκονται από τις «οπές» τις επαφής p. Αυτό το ζευγάρι των δύο υλικών είναι το δομικό στοιχείο του φωτοβολταϊκού κελιού και η βάση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας .



**ΕΙΚΟΝΑ 22:** Επαφή κομματιών πυριτίου τύπου n και τύπου p [27]

### Δ. Η Επίδραση της Ηλιακής Ακτινοβολίας [27]

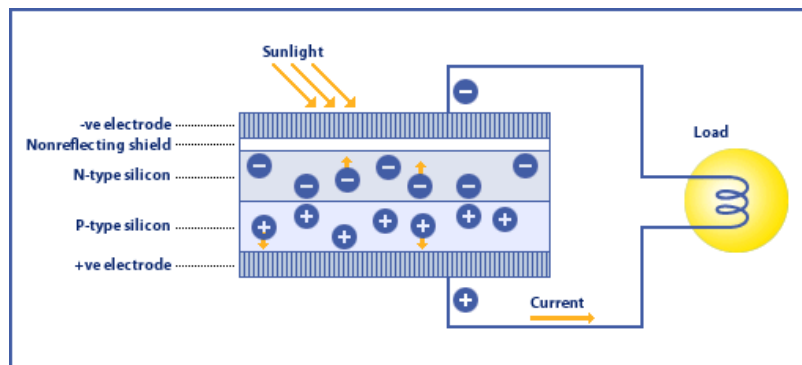
Με την πρόσμιξη στο κρυσταλλικό πλέγμα κάποια άτομα Si αντικαθίστανται από άτομα As και B. Έτσι κάποια άτομα Si έχουν στη στοιβάδα σθένους 9 ηλεκτρόνια από την πλευρά που νοθεύσαμε με As και 7 ηλεκτρόνια από την πλευρά που νοθεύσαμε με B. Με άλλα λόγια, από την πλευρά του As έχουμε πλεονάζοντα ηλεκτρόνια στις



στοιβάδες σθένους, ενώ από την πλευρά του B έχουμε ηλεκτρονικά ελλείμματα στις στοιβάδες σθένους, δηλαδή οπές. Όλος ο κρύσταλλος, όμως είναι ηλεκτρικά ουδέτερος.

Όταν το φως χτυπήσει το κύτταρο, τότε τα φωτόνια απορροφούνται από τα ηλεκτρόνια του πυριτίου. Η ενέργεια των φωτονίων διεγείρει τα ηλεκτρόνια σε μια υψηλότερη ενεργειακή στάθμη, οπότε αυτά κινούνται αφήνοντας πίσω τους μία οπή. Έτσι λοιπόν, από την πλευρά του As θα ελευθερωθούν ηλεκτρόνια, τα πλεονάζοντα, τα οποία με άλματα θα κινηθούν προς την πλευρά του B, για να καταλάβουν τα ηλεκτρονικά κενά, δηλ. τις οπές. Με αυτόν τον τρόπο θα διαπιστώσουμε στην περιοχή του B συσσώρευση ηλεκτρονίων, δηλ. αρνητικών φορτίων και στην περιοχή του As συσσώρευση οπών, δηλ. θετικών φορτίων [55].

Επομένως μεταξύ των δύο νοθευμένων επιφανειών θα εκδηλωθεί ηλεκτρική τάση. Η διαφορά δυναμικού που αναπτύσσεται κυμαίνεται μεταξύ 0.5-0.6 Volts [55].

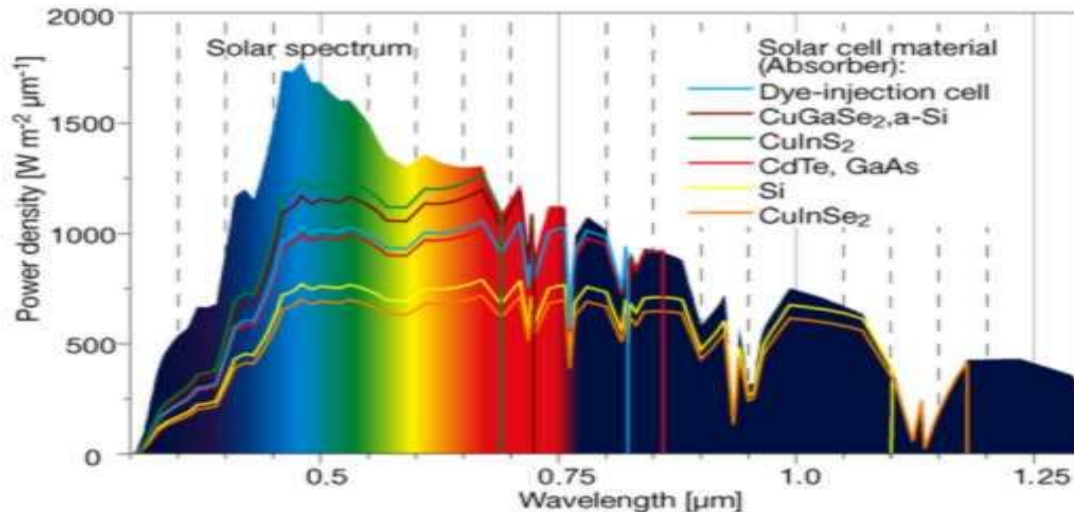


**ΕΙΚΟΝΑ 23:** Παραγωγή ηλεκτρισμού

([http://global.mitsubishielectric.com/bu/solar/overview/images/electricity\\_sunlight.gif](http://global.mitsubishielectric.com/bu/solar/overview/images/electricity_sunlight.gif))

## **Ε. Περιορισμοί στην Απόδοση των Φωτοβολταϊκών [27]**

Το κάθε ημιαγωγό υλικό αντιδρά σε διαφορετικά μήκη κύματος της ακτινοβολίας. Κάποια υλικά αντιδρούν σε ευρύτερα φάσματα ακτινοβολίας από κάποια άλλα.



**ΕΙΚΟΝΑ 24:** Πυκνότητα ισχύος κάθε ημιαγωγού υλικού ανάλογα του μήκους κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας [27]

Έτσι ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιούμε μπορούμε να εκμεταλλευτούμε μόνο εκείνο το φάσμα της ακτινοβολίας που αντιδρά με το συγκεκριμένο υλικό. Το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε σχέση με την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια συμβολίζει τον συντελεστή απόδοσης του υλικού. Οι δύο βασικοί παράγοντες για την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού υλικού είναι το ενεργειακό χάσμα του υλικού και ο συντελεστής μετατροπής .

### **ΣΤ. Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Πυριτίου (Si) [27]**

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για να κατασκευαστούν φωτοβολταϊκά στοιχεία στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Το πυρίτιο σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών [27].

#### **Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:**

**α)** Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου ( $\text{SiO}_2$ ) (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης.

**β)** Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.

**γ)** Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί.

δ) Είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.

ε) Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125 °C κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.

στ) Η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία, στην βιομηχανία της επεξεργασίας του πυριτίου, στον τομέα της ηλεκτρονικής (υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ). Το 2007 μάλιστα ήταν η πρώτη χρονιά που υπήρχε μεγαλύτερη ζήτηση (σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου) στην αγορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σχέση με αυτήν των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής.

### **2.4.3 Είδη Φωτοβολταϊκών Στοιχείων**

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι ένα σύνολο από φωτοβολταϊκά στοιχεία ή αλλιώς φωτοβολταϊκές κυψέλες. Ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από συνδυασμό δύο λεπτών στρωμάτων από διαφορετικούς ημιαγωγούς γνωστούς ως p-type ημιαγωγός και n-type ημιαγωγός. Ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο αποτελείται συνήθως από 36 στοιχεία συνδεδεμένα εν σειρά. **Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που είναι περισσότερο διαδεδομένα είναι τα παρακάτω [27,99]:**

#### **α) Μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου (SingleCrystalline Silicon, sc-Si )**

Τα στοιχεία αυτής της τεχνολογίας αποτελούνται από ένα λεπτό στρώμα καθαρού κρυσταλλικού πυριτίου πάχους 300μm. Πάνω από αυτό το στρώμα τοποθετείται μεταλλικό πλέγμα το οποίο λειτουργεί ως ηλεκτρική επαφή και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η λειτουργία του ως ηλιακό στοιχείο. Τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου που κατασκευάζονται από καθαρούς κρυστάλλους είναι κυλινδρικής μορφή αλλά συχνά κόβονται σε τετράγωνα για να είναι εύκολη η τοποθέτησή τους στις φωτοβολταϊκές μονάδες. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης/επιφάνειας ή "ενεργειακής πυκνότητας". Τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου παρουσιάζουν την υψηλότερη

απόδοση (15% έως 18%) αλλά και το υψηλότερο κόστος κατασκευής σε σχέση με τα υπόλοιπα στοιχεία πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, είναι της SunPower με απόδοση πλαισίου 18,5%.



**ΕΙΚΟΝΑ 25 :** Κυψέλη μονοκρυσταλλικού πυριτίου [27]

### **β) Πολυκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si)**

Η κατασκευή αυτών των στοιχείων προκύπτει από μεγάλες ορθογώνιες ράβδους καθαρού πυριτίου που βρίσκονται μέσα σε ειδικούς κλιβάνους στους οποίους ψύχεται αργά τήγμα πυριτίου για τη δημιουργία μεγάλων κρυστάλλων. Τα στοιχεία αυτά είναι εξαρχής τετράγωνης μορφής και μεγαλύτερου μεγέθους από τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία αφού προκύπτουν απευθείας από ορθογώνιες ράβδους. Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 300 μm. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κελιά. Στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ).



**ΕΙΚΟΝΑ 26:** Κυψέλη πολυκρυσταλλικού πυριτίου [27]

### γ) Φωτοβολταικά στοιχεία λεπτής μεμβράνης.

Τα στοιχεία που κατασκευάζονται με αυτό τον τρόπο έχουν πάχος μερικών μόνο μικρών. Τα φωτοβολταικά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες οι οποίες κυμαίνονται μεταξύ 6 και 8%. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι λόγω και της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη. Τα στοιχεία αυτά επιδέχονται βελτιώσεων και αναμένεται ότι τα χαρακτηριστικά τους θα βελτιωθούν τα επόμενα χρόνια.



**ΕΙΚΟΝΑ 27:** Κυψέλη λεπτής μεμβράνης [27]

**Τα πιο γνωστά υλικά που αποτελούν τις κυψέλες αυτές είναι:**

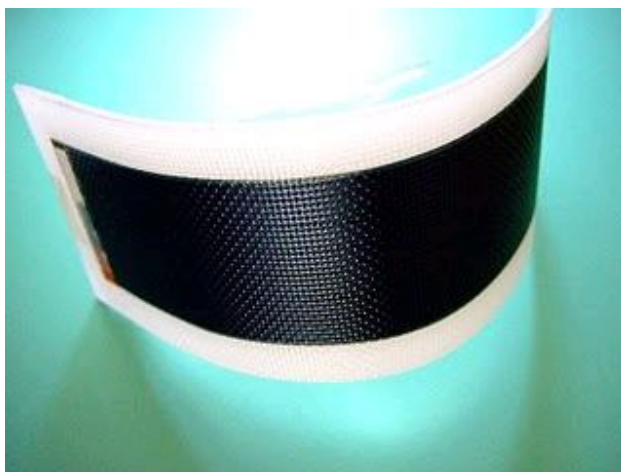
- Άμορφο πυρίτιο (a-Si).
- Δισεληνοϊδιούχος χαλκός (CuInSe<sub>2</sub>).
- Τελουριούχο κάδμιο (CdTe).
- Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

#### **i) Άμορφο πυρίτιο (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)**

Ο προσδιορισμός άμορφο σημαίνει ότι η συμμετρία του κρυστάλλου καταστρέφεται για αποστάσεις μεγαλύτερες από μερικές ατομικές αποστάσεις.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταικό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί

στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά Φ/Β, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά). Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 mm ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 mm.



**EIKONA 28:** Κυψέλη άμορφου πυριτίου

[http://4.bp.blogspot.com/\\_deqNHN-Lq\\_Y/R-Lo-N3LGqI/AAAAAAAAABo/ljvt46aXWGU/s320/3.jpg](http://4.bp.blogspot.com/_deqNHN-Lq_Y/R-Lo-N3LGqI/AAAAAAAAABo/ljvt46aXWGU/s320/3.jpg)

## ii) Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)

Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φθάσει το 16%.

Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Σημαντικότερος κατασκευαστής για φωτοβολταϊκά στοιχεία CdTe είναι η First Solar. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι

καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει ή έλλειψη του Τελλουρίου. Σημαντικότερη χρήση του είναι η ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (BIPV Building Integrated Photovoltaic).

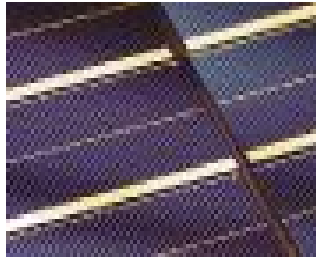


**ΕΙΚΟΝΑ 29:** Στοιχείο τελλουριούχου καδμίου [27]

### iii) Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσένιο δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43 eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα φωτοβολταικά στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators). Τα φωτοβολταικά στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης του, ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.



**ΕΙΚΟΝΑ 30:** Στοιχείο αρσενικούχου γαλλίου [27]

#### **iv) Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CuInSe<sub>2</sub> ή CIS, με προσθήκη γαλλίου CIGS)**

Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτων φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο).

Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με την πρόσμιξη γαλλίου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο (CIGS). Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.



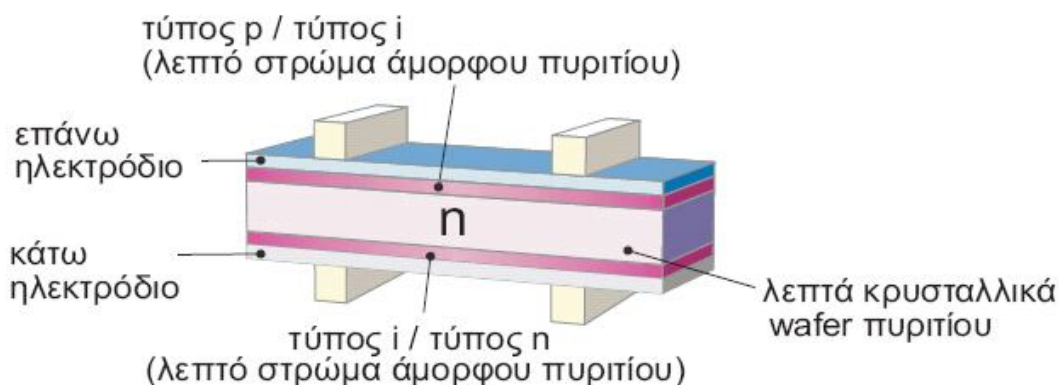
**ΕΙΚΟΝΑ 31:** Στοιχείο δισεληνοϊνδιούχου χαλκού [27]

#### **δ) Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Στοιχεία**

Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών. Τα πιο γνωστά εμπορικά υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω), ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου (HIT).



Η φωτοβολταϊκή κυψέλη ετεροεπαφής HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer) κατασκευάζεται από την Sanyo Solar. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 16,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 18,8%. Άλλα πλεονεκτήματα για τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού προσφέρει τόσα πολλά, το υβριδικό φωτοβολταϊκό είναι και κάπως ακριβότερο σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.



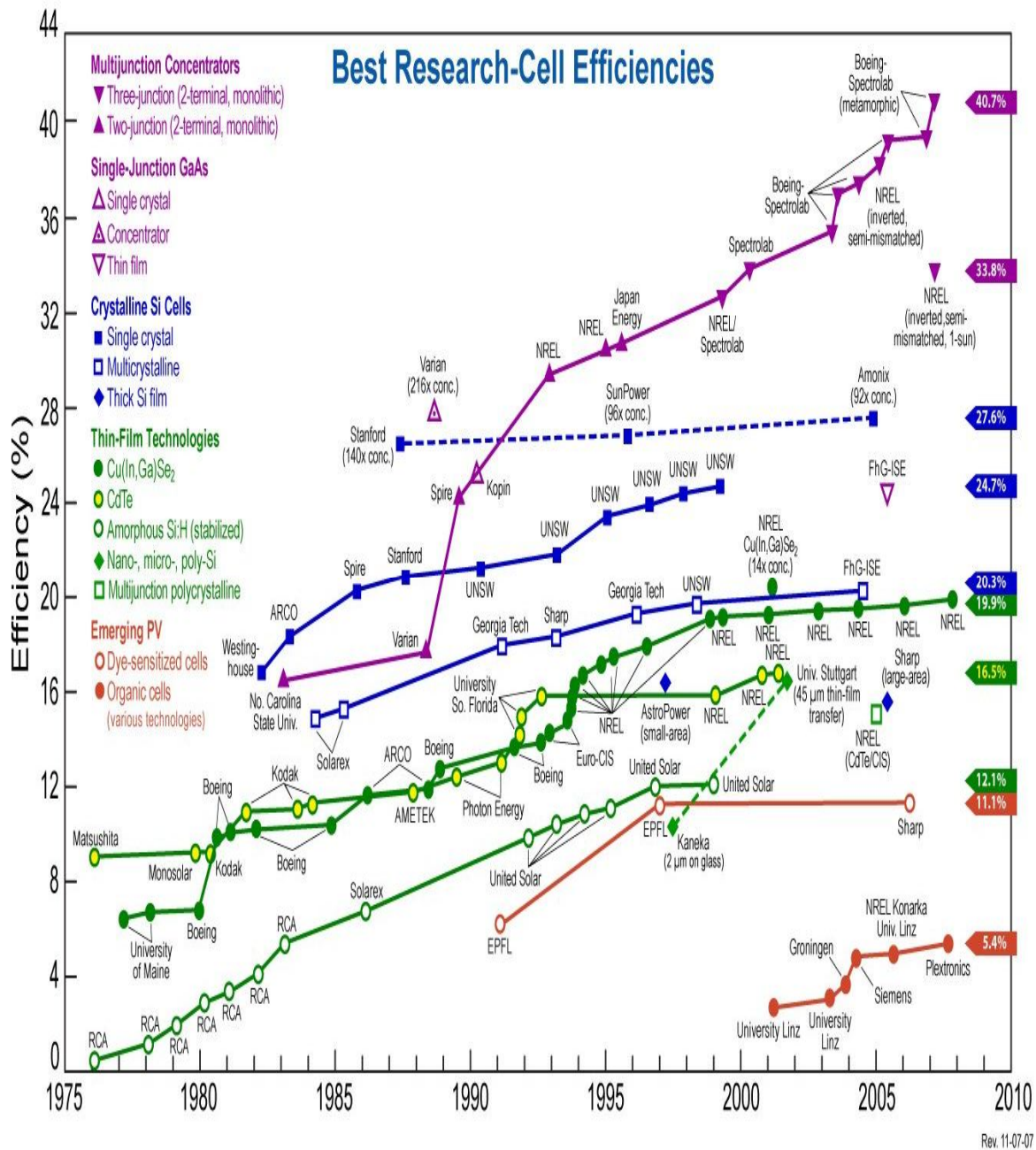
**ΕΙΚΟΝΑ 32:** Φωτοβολταϊκή κυψέλη ετεροεπαφής

([http://lh3.ggpht.com/\\_3YC82dJLrXc/S5AlyYqN-RI/AAAAAAAAADpY/aWgtIxtchgU/Sanyo\\_solar\\_cells.jpg](http://lh3.ggpht.com/_3YC82dJLrXc/S5AlyYqN-RI/AAAAAAAAADpY/aWgtIxtchgU/Sanyo_solar_cells.jpg))

### ε) Άλλες τεχνολογίες

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες πατέντες. Κάποιες από τις τεχνολογίες στα φωτοβολταϊκά στοιχεία που φαίνεται να ξεχωρίζουν και μελλοντικά πιθανώς να γίνει ευρεία η χρήση τους είναι:

- Νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου (nc-Si)
- Οργανικά/Πολυμερή στοιχεία



**ΣΧΗΜΑ 1:** Εξέλιξη ανά έτος της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων

[http://www.selasenergy.gr/fv\\_systems.php](http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php)

<b>Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών</b>				
<b>ΤΥΠΟΣ</b>	<b>'Λεπτού υμενίου' ή 'Thin Film'</b>	<b>Πολυκρυσταλλικά</b>	<b>Μονοκρυσταλλικά</b>	<b>Υβριδικά</b>
<b>Απόδοση</b>	Αμορφα: 6-8%  CdTe: 6-8%  CIS: 7-11%	13-15%	15-18%	16-18%
<b>Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp</b>	10-20 m <sup>2</sup>	8-10 m <sup>2</sup>	7-8 m <sup>2</sup>	6-7 m <sup>2</sup>
<b>Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά kWp)</b> (μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)	1.300-1.400	1.300	1.300	1.350

<b>Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά m<sup>2</sup>)</b> (μέση τιμή για Ελλάδα και για ένα τυπικό σύστημα με νότιο προσανατολισμό και κατάλληλη κλίση)	65-140	130-160	160-185	190-225
Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (kg CO <sub>2</sub> ανά kWp)	1.380-1.485	1.380	1.380	1.435

**ΠΙΝΑΚΑΣ 6:** Συγκριτικός πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών

<http://www.sgenergy.com.gr/documents/pinakas.pdf>

### **Συμπεράσματα**

Τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία έχουν τη μεγαλύτερη απόδοση (μετατρέπουν έως και το 18% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό). Τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία έχουν ελαφρώς χαμηλότερη απόδοση (13%-15%), είναι όμως φθηνότερα από τα μονοκρυσταλλικά.

Τα "άμορφα" έχουν χαμηλότερη απόδοση (6%-8%) αλλά είναι τα οικονομικότερα. Χρειάζονται όμως μεγαλύτερη επιφάνεια για να δώσουν την ίδια ισχύ με τα μονοκρυσταλλικά ή τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά και υπάρχουν αμφιβολίες όσο

αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις.

Εν κατακλείδι η επιλογή του είδους των φωτοβολταϊκών είναι συνάρτηση των αναγκών, του διαθέσιμου χώρου ή ακόμα και της οικονομικής ευχέρειας του χρήστη.

#### **2.4.4 Σταθεροί και Περιστρεφόμενοι Συλλέκτες**

##### **A. Σταθεροί Συλλέκτες**

Όλα τα είδη των συλλεκτών που παρουσιάστηκαν παραπάνω εμφανίζονται στους σταθερούς συλλέκτες. Οι σταθεροί συλλέκτες εγκαθίστανται σε περιοχές όπου υπάρχει κατάλληλος χώρος και απουσία, φυσικών ή άλλων εμποδίων, μεταξύ αυτών και της ηλιακής ακτινοβολίας. Η κλίση που θα εγκατασταθούν ορίζεται από το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της περιοχής και την αναμενόμενη χρήση του συλλέκτη.



**ΕΙΚΟΝΑ 33:** Σύστημα σταθερών συλλεκτών

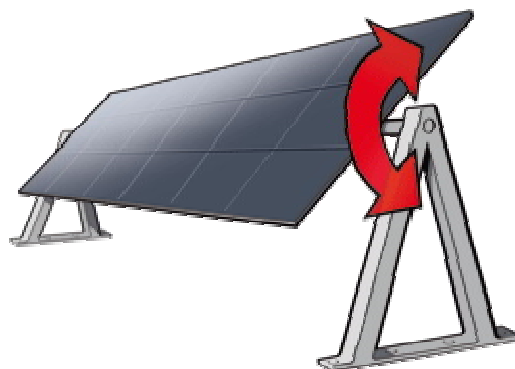
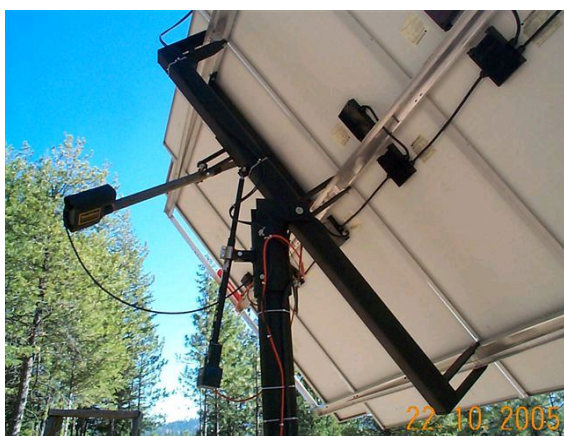
## Πλεονεκτήματα Σταθερών Συλλεκτών

Τα σταθερά συστήματα πλεονεκτούν σε σχέση με τα tracker στην απλότητα της κατασκευής, στο κόστος εγκατάστασης, στην ταχύτητα εγκατάστασης, στο κόστος συντήρησης, στην μεγαλύτερη απεξάρτηση του επενδυτή από τον κατασκευαστή και σε θέματα αξιοπιστίας (reliability, availability) [27].

## Β. Περιστρεφόμενοι Συλλέκτες

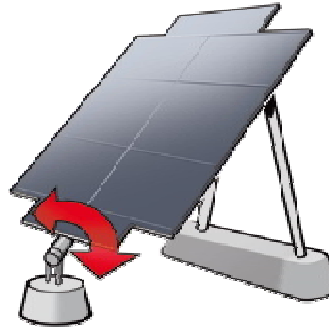
Στα φωτοβολταϊκά πάρκα πολλές φορές συνηθίζεται η χρήση συστημάτων παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται ηλιοστάτες ή trackers. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι η άμεση ακτινοβολία (direct irradiation) προσπίπτει κάθετα στα πάνελ με αποτέλεσμα την αυξημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν 3 βασικά είδη τέτοιων συστημάτων [27]:

α) Παρακολούθηση της τροχιάς στον κάθετο άξονα (vertical one axis tracker) [Δηλαδή περιστροφή περί τον άξονα X] => (Μικρή αύξηση απόδοσης).



**ΕΙΚΟΝΑ 34:** Σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς στον κάθετο άξονα (Περιστροφή περί τον άξονα X) ([http://www.solar-tracking.com/images/single\\_axis\\_icon3.png](http://www.solar-tracking.com/images/single_axis_icon3.png))

β) Παρακολούθηση της τροχιάς στον οριζόντιο άξονα (horizontal one axis tracker) [Δηλαδή περιστροφή περί τον άξονα Ψ]=> (Μεσαία αύξηση απόδοσης).



**ΕΙΚΟΝΑ 35:** Σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς στον οριζόντιο άξονα (Περιστροφή περί τον άξονα Ψ) ([http://www.solar-tracking.com/images/single\\_axis\\_icon2.png](http://www.solar-tracking.com/images/single_axis_icon2.png))

γ) Παρακολούθηση της τροχιάς και στους δύο άξονες (dual axis tracker) => (Μέγιστη αύξηση απόδοσης)



**ΕΙΚΟΝΑ 36:** Σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς σε 2 άξονες ([http://www.solar-tracking.com/images/dual\\_axis\\_icon.png](http://www.solar-tracking.com/images/dual_axis_icon.png))

Επίσης ανάλογα με την μέθοδο που δίνει κίνηση στους άξονες του συστήματος διακρίνονται σε [27]:

- α) Υδραυλικά συστήματα κίνησης
- β) Ηλεκτρικά συστήματα κίνησης

### **Πλεονεκτήματα Κινητών Συστημάτων (Ηλιοστατών) [27]**

Τα tracker πλεονεκτούν συνολικά στην απόδοση της επένδυσης του φωτοβολταϊκού συστήματος και μπορούν να αποδώσουν πολύ μεγαλύτερα οικονομικά οφέλη .

Υπάρχει βέβαια ένα αυξημένο κόστος στην κατασκευή και την εγκατάσταση αλλά οι ηλιοστάτες μπορούν να αυξήσουν αρκετά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Φυσικά αυτό και μόνο το γεγονός αποτελεί βασικό κριτήριο για πολλούς επενδυτές που επιθυμούν το μέγιστο όφελος από την επένδυση τους.

Η αύξηση αυτή μπορεί ξεκινάει από 10% (για συστήματα μονού άξονα) και να φτάσει ακόμα και το 40% (αλλά για κάποιες μόνο εποχές του χρόνου). Ο υπολογισμός της μέσης ετήσιας αύξησης στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενός συστήματος είναι το κρίσιμο μέγεθος που θα πρέπει να υπολογίσει κανείς για να βγάλει χρήσιμα συμπεράσματα.

Η χρήση των tracker πάντως συστήνεται μόνο σε περιοχές που έχουν υψηλό ποσοστό άμεσης ακτινοβολίας (όπως στην Ελλάδα).

### **Μειονεκτήματα Κινητών Συστημάτων (Ηλιοστατών) [27,99]**

- α) Το αυξημένο κόστος της επένδυσης.
- β) Η ύπαρξη κινητών μερών η οποία και αυξάνει την πολυπλοκότητα του συστήματος.
- γ) Η ανάγκη για αυτοκατανάλωση κάποιας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας για την περιστροφή (κίνηση) των συστημάτων.



δ) Το αυξημένο κόστος συντήρησης.

ε) Ο μεγαλύτερος κίνδυνος καταστροφής σε περίπτωση ακραίων καιρικών φαινομένων. Υπάρχει σημαντικός περιορισμός όσον αφορά στην λειτουργία των πλαισίων λόγω των ανέμων που πνέουν σε μια περιοχή. Η τεχνολογία των περιστρεφόμενων πλαισίων είναι πολύ ευαίσθητη σε ισχυρούς ανέμους που έχουν σαν αποτέλεσμα την στροφή των πλαισίων εντελώς παράλληλα με το έδαφος για την αποφυγή βλάβης και τελικά την διακοπή την παραγωγή ενέργειας.

στ) Ο χώρος που χρειάζεται για την εγκατάστασή τους είναι αυξημένος κατά 50% από τον απαραίτητο χώρο για την εγκατάσταση των σταθερών πλαισίων.

ζ) Τα περιστρεφόμενα πλαίσια χρειάζονται επιπλέον ειδική θεμελίωση γιατί υψώνονται έως και 5 μέτρα πάνω από το έδαφος. Η ανάγκη σταθερότητας λοιπόν είναι αυξημένη κάτι που σημαίνει ότι το έδαφος της περιοχής πρέπει να επιτρέπει τέτοιου είδους θεμελίωση.

## **Γ. Συμπεράσματα**

Η τεχνολογία της περιστροφής έχει ως αποτέλεσμα αύξηση στην παραγόμενη ενέργεια κατά περίπου 30% από την ενέργεια που θα παρήγαγε ένα σταθερό πλαίσιο της ίδιας τεχνολογίας. Εκτός όμως από την αύξηση στην παραγωγή ενέργειας έχουμε ταυτόχρονη αύξηση του κόστους της τάξης του 15 % [99] . Είναι φανερό μετά από αυτούς τους συσχετισμούς μεταξύ σταθερών και περιστρεφόμενων πλαισίων, ότι υπάρχει σοβαρό κίνητρο για την εγκατάσταση των δεύτερων, γιατί τελικά η αύξηση στο κόστος καλύπτεται από την αύξηση της παραγόμενης ενέργειας και ουσιαστικά από τα έσοδα από την πώληση της.

Συμπερασματικά υπάρχουν αρκετοί παράμετροι, που θα πρέπει κανείς να λάβει υπόψη και να σταθμίσει, για να προχωρήσει στην επιλογή ενός περιστρεφόμενου συστήματος στήριξης σε σχέση με ένα σταθερό.

## 2.5 Υπολογισμός Παραγόμενης Ενέργειας από Φ/Β

### 2.5.1 Ηλιακή Ακτινοβολία

#### A. Βασικές Έννοιες [3]

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι το σύνολο της ενέργειας που ακτινοβολείται από τον ήλιο και φτάνει σε μία οριζόντια επιφάνεια εμβαδού 1 m<sup>2</sup> μια τυχαία χρονική στιγμή. Συνήθως εκφράζεται σε W/m<sup>2</sup>.

**Η ακτινοβολία που δέχεται επίπεδο εκτός ατμοσφαιράς κάθετο στις ακτίνες**

δίνεται από την σχέση:  $G_{on} = G_{sc} \cdot (1 + 0,33 \cdot \cos \frac{360n}{365})$

Όπου:

$G_{sc} = 1353 \text{ W/m}^2$  η **ηλιακή σταθερά**, η οποία εκφράζει την ενέργεια ανά μονάδα χρόνου που δέχεται εκτός ατμοσφαιράς από τον ήλιο, η μονάδα επιφανείας, κάθετης στην διεύθυνση διάδοσης της ακτινοβολίας, όταν η απόσταση γης-ηλίου λαμβάνει την μέση τιμή της.

και  $n = 1 \div 365$  η **ημέρα του έτους**

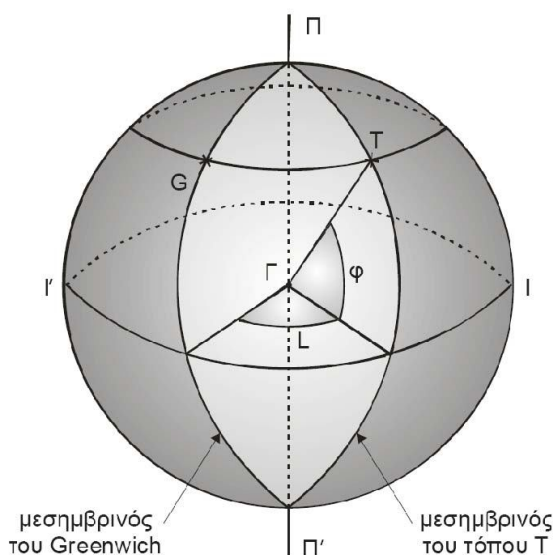
Περιοχή	Μήκος Κύματος $\lambda$ (μm)	Ενέργεια W/m <sup>2</sup>	Ποσοστό Ενέργειας
Υπεριώδης (Μη Ορατή)	$\lambda < 0,38$	95	7,02%
Ορατή	$0,38 < \lambda < 0,78$	640	47,3%
Υπέρυθρος (Μη Ορατή)	$\lambda > 0,78$	618	45,68%

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7:** Φασματική κατανομή ακτινοβολίας εκτός ατμοσφαιράς [3]

Το άθροισμα της ενέργειας που κατανέμεται σε κάθε περιοχή ακτινοβολίας ισούται με την τιμή της ηλιακής σταθεράς  $G_{sc}$

**Γεωγραφικό πλάτος ( $\phi$ )** ενός τόπου είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας που ενώνει το κέντρο της γης με τον τόπο και του ισημερινού επιπέδου. Το γεωγραφικό πλάτος παίρνει τιμές από  $0^\circ$  μέχρι  $90^\circ$  για το βόρειο ημισφαίριο και από  $0^\circ$  μέχρι  $-90^\circ$  για το νότιο ημισφαίριο.

**Γεωγραφικό μήκος ( $L$ )** ενός τόπου είναι η γωνία που σχηματίζεται από το μεσημβρινό του Greenwich και το μεσημβρινό επίπεδο του τόπου. Το γεωγραφικό μήκος παίρνει τιμές από  $0^\circ$  μέχρι  $-180^\circ$  για τόπους ανατολικά του Greenwich και από  $0^\circ$  μέχρι  $180^\circ$  για τόπους δυτικά του Greenwich.



**ΕΙΚΟΝΑ 37:** Γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος [100]

**Γωνία ζενίθ  $\theta_z$**  είναι η γωνία που σχηματίζεται από την κατακόρυφη και την ευθεία όρασης του ήλιου.

**Δίνεται από την σχέση:**  $\cos \theta_z = \sin \delta \cdot \sin \Phi + \cos \delta \cdot \cos \Phi \cdot \cos \omega$

**Ηλιακό ύψος  $90-\theta_z$**  είναι η γωνία που σχηματίζεται από την ευθεία όρασης του ήλιου και την προβολή της στο οριζόντιο επίπεδο.

**Αζιμούθιο επιφανείας  $\gamma$**  είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή της καθέτου στην επιφάνεια πάνω στο οριζόντιο επίπεδο με την νότια κατεύθυνση. Είναι  $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$  με  $\gamma=0^\circ$  στο νότο,  $\gamma=90^\circ$  στην δύση,  $\gamma=180^\circ$  στον βορρά και  $\gamma=-90^\circ$  στην ανατολή.

**Κλίση επιπέδου  $\beta$**  είναι η γωνία που σχηματίζει μια επίπεδος επιφάνεια με το οριζόντιο επίπεδο. Είναι  $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ . Για το οριζόντιο επίπεδο είναι  $\beta=0^\circ$  και για το κατακόρυφο  $\beta=90^\circ$ . Για  $\beta>90^\circ$  το επίπεδο βλέπει προς τα κάτω.

**Ωριαία γωνία  $\omega$**  είναι η γωνιακή μετατόπιση του ηλίου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού λόγω της περιστροφής της γης περί τον άξονά της με ρυθμό  $15^\circ/h=0,25^\circ/\text{min}$ .

**Προφανώς ισχύει:**  $\omega=0,25 \cdot (\text{min από το ηλιακό μεσημέρι})$

Στις 12 το μεσημέρι  $\Rightarrow \omega=0$

Λαμβάνεται  $\omega>0$  για μμ και  $\omega<0$  για πμ

**Ηλιακή απόκλιση  $\delta$**  είναι η γωνιακή θέση του ηλίου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το επίπεδο του ισημερινού.

Η μέγιστη τιμή της, είναι κατά κατά το θερινό ηλιοστάσιο:  $23,45^\circ$

Η ελάχιστη τιμή της, είναι κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο:  $-23,45^\circ$

Γενικά ισχύει  $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$

**Υπολογίζεται από την σχέση:** 
$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(\frac{360 \cdot (284 + n)}{365}\right)$$

**Άμεση ηλιακή ακτινοβολία** είναι η ηλιακή ακτινοβολία που λαμβάνεται χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση (διασκορπισμό) στην ατμόσφαιρα. Η στιγμιαία τιμή σε  $W/m^2$  της αμέσου ακτινοβολίας που δέχεται το οριζόντιο επίπεδο συμβολίζεται με  $G_b$  ενώ προκειμένου για το κεκλιμένο επίπεδο με  $G_{bt}$ .

**Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία** είναι η ηλιακή ακτινοβολία που έχει υποστεί σκέδαση (διασκορπισμό) στην ατμόσφαιρα. Συμβολισμός όπως και για την άμεση ακτινοβολία αλλά με δείκτη  $d$  αντί για  $b$ .

**Ολική ηλιακή ακτινοβολία** είναι το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνεται σε μία επιφάνεια. Συμβολισμός όπως και για την άμεση ή την διάχυτη ακτινοβολία αλλά χωρίς δείκτη  $d$  ή  $b$ .

**Πυκνότητα ισχύος ακτινοβολίας (irradiance,  $W/m^2$ )** είναι ο ρυθμός με τον οποίο η ενέργεια που ακτινοβολείται πέφτει σε μία επιφάνεια, ανά μονάδα επιφάνειας

**Πυκνότητα ενέργειας ακτινοβολίας (irradiation,  $J/m^2$ )** είναι η προσπίπτουσα σε μία επιφάνεια ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας και υπολογίζεται με την ολοκλήρωση της πυκνότητας ισχύος σε κάποιο χρονικό διάστημα (1 ώρα, 1 μέρα)

**Γωνία πρόσπτωσης  $\theta$**  της αμέσου ακτινοβολίας επάνω σε μία επιφάνεια είναι η γωνία μεταξύ των προσπίπτουσών ηλιακών ακτινών και της καθέτου στην επιφάνεια:

***Η γωνία πρόσπτωσης  $\theta$  υπολογίζεται από την σχέση:***

$$\begin{aligned}\cos \theta &= \sin \delta \cdot \sin \Phi \cdot \cos \beta - \sin \delta \cdot \cos \Phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \\ &+ \cos \delta \cdot \cos \Phi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \Phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega \\ &+ \cos \delta \cdot \sin \beta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega\end{aligned}$$

**Για κατακόρυφες (κάθετες) επιφάνειες ( $\beta=90^\circ$ ) η παραπάνω σχέση γίνεται:**

$$\cos \theta = -\sin \delta \cdot \cos \Phi \cdot \cos \gamma + \cos \delta \cdot \sin \Phi \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega$$

**Ενώ για οριζόντιες επιφάνειες ( $\beta=0^\circ$ ) η γωνία πρόσπτωσης ταυτίζεται με την γωνία ζενίθ  $\theta_z$**   $\cos \theta_z = \sin \delta \cdot \sin \Phi + \cos \delta \cdot \cos \Phi \cdot \cos \omega$

**Για κεκλιμένες επιφάνειες που βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο και είναι στραμμένες προς το νότο ( $\gamma=0$ ) ισχύει:**

$$\cos \theta = \sin \delta \cdot \sin(\Phi - \beta) + \cos \delta \cdot \cos(\Phi - \beta) \cdot \cos \omega$$

**Η ωριαία γωνία δύσης του ηλίου  $\omega_s$  υπολογίζεται για  $\theta_z=90^\circ$  από την σχέση:**  $\cos \omega_s = -\tan \Phi \cdot \tan \delta$

**Και η διάρκεια της ημέρας σε ώρες από την σχέση:**

$$N = \frac{2}{15} \cdot \arccos(-\tan \Phi \cdot \tan \delta)$$

## **B. Ακτινοβολία Οριζόντιας Επιφάνειας [3]**

**Η ακτινοβολία οριζόντιας επιφάνειας εκτός ατμοσφαιράς δίνεται από την σχέση:**  $G_o = G_{sc} \cdot (1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360n}{365}) \cdot (\sin \delta \cdot \sin \Phi + \cos \delta \cdot \cos \Phi \cdot \cos \omega)$

**Η ωριαία ενέργεια που δέχεται μια οριζόντια επιφάνεια εκτός ατμοσφαιράς δίνεται από την σχέση:**

$$I_o = \frac{12 \cdot 3600}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot (1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365}) \times \left[ \cos \Phi \cdot \cos \delta \cdot (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{2 \cdot \pi \cdot (\omega_2 - \omega_1)}{360} \cdot \sin \Phi \cdot \sin \delta \right]$$

Θέτοντας στην παραπάνω σχέση ως όρια τις ωριαίες γωνίες ανατολής και δύσης του ηλίου δηλαδή  $\omega_1 = -\omega_s$  και  $\omega_2 = \omega_s$  προκύπτει η **ημερήσια ενέργεια που δέχεται οριζόντια επιφάνεια εκτός ατμοσφαιράς:**

$$H_o = \frac{24 \cdot 3600}{\pi} \cdot G_{SC} \cdot \left( 1 + 0,033 \cos \frac{360n}{365} \right) \times \left[ \cos \Phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{2 \cdot \pi \cdot \omega_s}{360} \cdot \sin \Phi \cdot \sin \delta \right]$$

Εντός της ατμοσφαιράς το ποσό της ακτινοβολίας που θα φτάσει σε μια επιφάνεια καθώς και το πώς θα είναι κατανεμημένο σε άμεση και διάχυτη εξαρτάται από την ποιότητα της ατμόσφαιρας. Για να εκφραστεί αυτή η ποιότητα ατμόσφαιρας χρησιμοποιούνται **οι δείκτες αιθριότητας που χαρακτηρίζουν την διαύγεια της ατμόσφαιρας επί ωριαίας, ημερήσιας ή και μηνιαίας βάσης.**

**Ο ωριαίος δείκτης αιθριότητας δίνεται από την σχέση:**  $k_T = \frac{I}{I_o}$

Όπου I η ωριαία ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου και I<sub>o</sub> η αντίστοιχη εκτός ατμοσφαιράς.

**Ο ημερήσιος δείκτης αιθριότητας δίνεται από την σχέση:**  $K_T = \frac{H}{H_o}$

Όπου H η ημερήσια ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου και H<sub>o</sub> η αντίστοιχη εκτός ατμοσφαιράς.

**Ο μέσος μηνιαίος δείκτης αιθριότητας δίνεται από την σχέση:**  $\overline{K}_T = \frac{\overline{H}}{\overline{H}_o}$

Όπου  $\overline{H}$  η μηνιαίως μέση ολική ακτινοβολία ημέρας οριζοντίου επιπέδου και  $\overline{H}_o$  η αντίστοιχη εκτός ατμοσφαιράς.

Οι τιμές I, H και  $\overline{H}$  προέρχονται από μετρήσεις ενώ οι τιμές I<sub>o</sub>, H<sub>o</sub> και  $\overline{H}_o$  υπολογίζονται από σχέσεις.

### Γ. Ακτινοβολία σε Κεκλιμένο Επίπεδο [3,100]

Το ποσό της άμεσης ακτινοβολίας που δέχεται ένα κεκλιμένο επίπεδο εξαρτάται από την γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών , ενώ η διάχυτη ακτινοβολία θα προέρχεται από το τμήμα του ουρανού που βλέπει το επίπεδο. Για τον υπολογισμό της ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου ορίζονται οι λόγοι:

$$\text{Λόγος ολικής ακτινοβολίας: } R = \frac{I_T}{I}$$

$$\text{Λόγος άμεσης ακτινοβολίας: } R_b = \frac{I_{bT}}{I_b}$$

$$\text{Λόγος διάχυτης ακτινοβολίας: } R_d = \frac{I_{dT}}{I_d}$$

**Όπου:**  $I_T$  ,  $I_{bT}$  ,  $I_{dT}$  ωριαία ολική, ωριαία άμεση και ωριαία διάχυτη ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου αντιστοίχως

**Και**

$I$  ,  $I_b$  ,  $I_d$  ωριαία ολική , ωριαία άμεση και ωριαία διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου αντιστοίχως

Από τους παραπάνω λόγους ύστερα από ανάλυση σε συνιστώσες προκύπτουν τα εξής:

**Ο λόγος της αμέσου ακτινοβολίας κεκλιμένου προς την άμεσο ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου δίνεται από την σχέση :**

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\sin \delta \cdot \sin \Phi + \cos \delta \cdot \cos \Phi \cdot \cos \omega}$$

**Ο λόγος της διάχυτης ακτινοβολίας κεκλιμένου προς την διάχυτο ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου δίνεται από την σχέση :**

$$R_d = \frac{1 + \cos \beta}{2}$$



Αν συμπεριλάβουμε και την **ακτινοβολία εξ ανακλάσεως** για την οποία ισχύει:

$$R_r = \frac{I_{r,T}}{I \cdot \rho} = \frac{1 - \cos \beta}{2}$$

Και ότι το άθροισμα της άμεσης, της διάχυτης και της ανακλώμενης από το έδαφος ακτινοβολίας αποτελούν την **ολική ακτινοβολία που προσπίπτει σε μία**

**κεκλιμένη επιφάνεια:**  $I_T = I_b \cdot R_b + I_d \cdot R_d + I \cdot \rho \cdot R_r$

Τότε προκύπτει η σχέση:  $I_T = I_b \cdot \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} + I_d \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + (I_b + I_d) \cdot \rho \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2}$

Όπου ο όρος  $\frac{1 + \cos \beta}{2}$  ονομάζεται **συντελεστής όρασης ουρανού** και ο όρος

$\frac{1 - \cos \beta}{2}$  **συντελεστής όρασης εδάφους.**

Για τις γωνίες  $\theta$  και  $\theta_z$  λαμβάνονται οι τιμές στη μέση της ώρας που μελετάται.

**Ο συντελεστής ανάκλασης  $\rho$**  εξαρτάται από το είδος του εδάφους και των επιφανειών που ανακλούν την ακτινοβολία καθώς και από τον χρωματισμό τους. Τυπικές τιμές του  $\rho$  δίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Επιφάνεια	$\rho$
Δάσος Κωνοφόρων	0,05
Άμμος Υγρή	0,09
Άμμος Ξηρή	0,18
Τσιμέντο Παλιό	0,23
Τσιμέντο Νέο	0,33
Χιόνι	0,87

**ΠΙΝΑΚΑΣ 8:** Τιμές ανακλαστικότητας εδάφους

([http://helios.teiath.gr/documents/Exercises/chapter\\_3.pdf](http://helios.teiath.gr/documents/Exercises/chapter_3.pdf))

Η έκφραση της ακτινοβολίας του κεκλιμένου επιπέδου συναρτήσει του ωριαίου δείκτη αιθριότητας γίνεται με την σχέση που προκύπτει ύστερα από διαίρεση με την ωριαία ακτινοβολία οριζόντιας επιφάνειας I:

$$\frac{I_T}{I} = \left(1 - \frac{I_d}{I}\right) \cdot R_b + \frac{I_d}{I} \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + \rho \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right)$$

Ο λόγος  $I_d/I$  δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις ανάλογα με την τιμή του ωριαίου δείκτη αιθριότητας κτ:

$$\frac{I_d}{I} = 1 - 0,09 \cdot k_T \quad \text{για } k_T \leq 0,22$$

$$\frac{I_d}{I} = 0,9511 - 0,1604 \cdot k_T + 4,388 \cdot k_T^2 - 16,638 \cdot k_T^3 + 12,336 \cdot k_T^4 \quad \text{για } 0,22 < k_T < 0,8$$

$$\frac{I_d}{I} = 0,165 \quad \text{για } k_T \geq 0,8$$

Όπου  $k_T = \frac{I}{I_0}$

Ενώ προτείνονται και άλλοι τρόποι υπολογισμού από άλλους ερευνητές.

Οι παραπάνω λόγοι μπορούν να εκφραστούν και για ημερήσια ποσά ακτινοβολίας.

**Ο μηνιαίος μέσος λόγος άμεσης ακτινοβολίας υπολογίζεται:**

$$\frac{\overline{R_b}}{\overline{H_b}} = \frac{\overline{H_{b,T}}}{\overline{H_b}} = \frac{\cos(\Phi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega'_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \cdot \omega'_s \cdot \sin(\Phi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \Phi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \left(\frac{\pi}{180}\right) \cdot \omega_s \cdot \sin \Phi \cdot \sin \delta}$$

όπου  $\omega'_s$  είναι η ωριαία γωνία της δύσης του ηλίου για κεκλιμένη επιφάνεια και έχει την μικρότερη τιμή απ' τις τιμές που παίρνουν τα δύο μεγέθη που βρίσκονται μέσα στην αγκύλη της παρακάτω εξίσωσης.

$$\omega'_s = \min \left\{ \omega_s, \arccos \left[ -\tan(\varphi - \beta) \tan \delta \right] \right\}$$

Η τελική σχέση που προκύπτει για την **ολική ημερήσια μέση ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου**

$$\text{είναι: } \frac{\overline{H}_T}{\overline{H}} = \left(1 - \frac{\overline{H}_d}{\overline{H}}\right) \cdot \overline{R}_b + \frac{\overline{H}_d}{\overline{H}} \cdot \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) + \rho \cdot \left(\frac{1 - \cos \beta}{2}\right)$$

Για το λόγο  $I_{r,T} = (I_d + I_b) \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2} \cdot \frac{\overline{H}_d}{\overline{H}}$  ή το λόγο  $\frac{H_d}{H}$  γενικότερα υπάρχουν διάφοροι τρόποι υπολογισμού που προτείνονται από αρκετούς ερευνητές. Ένας από αυτούς είναι των Liu και Jordan:  $\frac{\overline{H}_d}{\overline{H}} = 1,39 - 4,027 \cdot \overline{K}_T + 5,531 \cdot \overline{K}_T^2 - 3,108 \cdot \overline{K}_T^3$  [100]

Για τον ελληνικό χώρο έχει προταθεί από το Λάλα το παρακάτω πολυώνυμο που δίνει καλύτερα αποτελέσματα από την προηγούμενη σχέση:

$$\frac{\overline{H}_d}{\overline{H}} = 1,446 - 2,965 \cdot \overline{K}_T + 1,727 \cdot \overline{K}_T^2$$
 [100]

**Ο δείκτης αιθριότητας  $\overline{K}_T$  στη σχέση αυτή**, είναι ο λόγος της μέσης ημερήσιας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο για κάθε μήνα  $\overline{H}$ , προς την εκτός γήινης ατμόσφαιρας μέση ημερήσια ακτινοβολία  $\overline{H}_o$  για κάθε μήνα.

Από πολλούς ερευνητές για τους λόγους  $\frac{H_d}{H}$  και  $\frac{I_d}{I}$  έχουν προταθεί μαζί με τις εξισώσεις ή τα συστήματα υπολογισμού, και τα αντίστοιχα διαγράμματα που τις αντιπροσωπεύουν, τα οποία προσφέρουν ένα πιο γρήγορο και εύχρηστο τρόπο υπολογισμού, με κάποια μικρά όμως σφάλματα σε σχέση με τους ακριβείς τρόπους υπολογισμού, τα οποία όμως είναι συνήθη σε υπολογισμούς μέσω γραφήματος.

**Συνοψίζοντας λοιπόν** διαπιστώσαμε ότι η ακτινοβολία που δέχεται η κεκλιμένη επιφάνεια, γωνίας κλίσεως  $\beta$ , προκύπτει από την αντίστοιχη του οριζοντίου επιπέδου, πολλαπλασιασμένη με τους διορθωτικούς συντελεστές οπότε προκύπτουν.

**Άμεση ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου:**  $I_{b,T} = I_b \cdot \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z}$

**Διάχυτη ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου:**  $I_{d,T} = I_d \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2}$

**Διάχυτη λόγω ανακλάσεως στο έδαφος ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου:**

$$I_{r,T} = (I_d + I_b) \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2}$$

#### **Δ. Ο Ρόλος της Κλίσης της Επιφάνειας [3]**

Οι δύο παράμετροι που παίζουν καθοριστικό ρόλο στο ποσό της ακτινοβολίας που δέχεται μία επιφάνεια είναι η κλίση και ο προσανατολισμός της. **Ο βέλτιστος προσανατολισμός συλλέκτη είναι ο νότιος ( $\gamma=0^\circ$ ) για το βόρειο ημισφαίριο. Ως προς την κλίση της επιφάνειας τώρα:**

**A. Για μέγιστη ετήσια ενέργεια** απαιτείται κλίση συλλέκτη ίση με το γεωγραφικό πλάτος  $\beta=\Phi$

**B. Για μέγιστη ενέργεια θέρους** απαιτείται κλίση συλλέκτη κατά  $15^\circ$  μικρότερη του γεωγραφικού πλάτους  $\beta=\Phi-15^\circ$

**Γ. Για μέγιστη ενέργεια χειμώνα** απαιτείται κλίση συλλέκτη κατά  $15^\circ$  μεγαλύτερη του γεωγραφικού πλάτους  $\beta=\Phi+15^\circ$

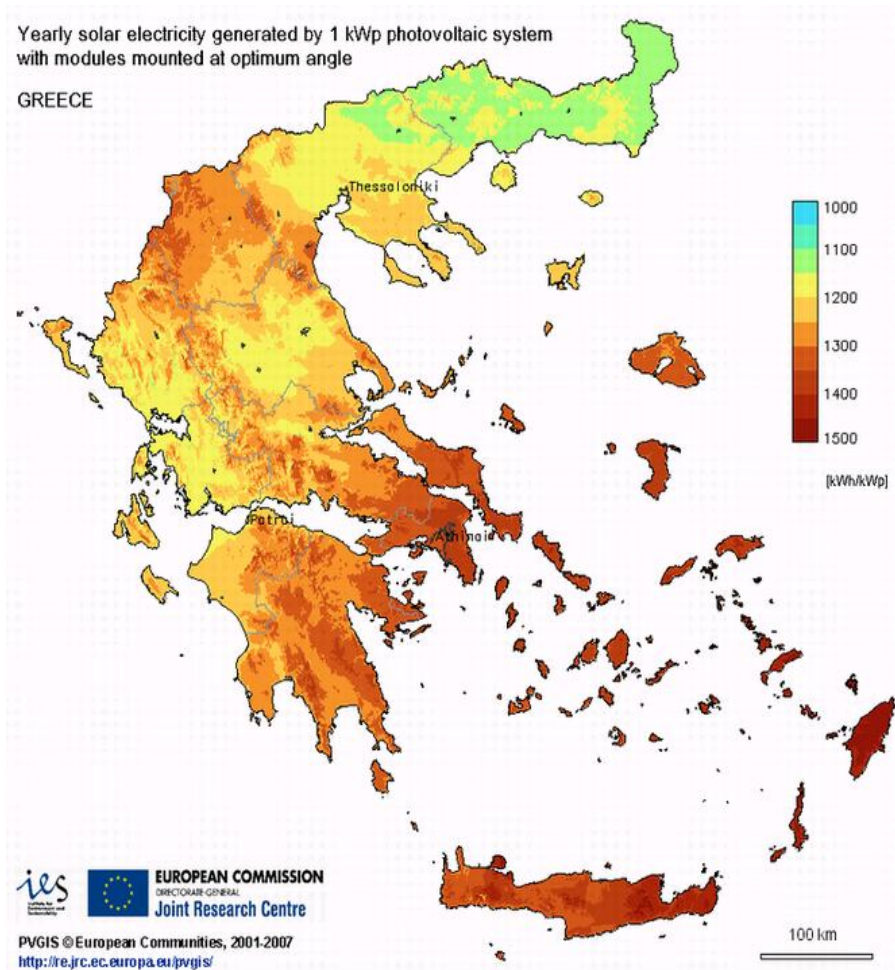
#### **2.5.2 Εκτίμηση Παραγόμενης Ενέργειας από Φ/Β Πλαίσια στην Περιοχή [13]**

Η πρώτη εργασία σχετικά με την επένδυση ή μη σε ένα φωτοβολταϊκό πάρκο σε

μια δεδομένη θέση, είναι η αρχική εκτίμηση της παραγόμενης ενέργειας σε ετήσια ή ακόμη και ημερήσια βάση .

Παράγοντες όπως γειτονικοί ορεινοί όγκοι, τοπικές κλιματολογικές συνθήκες (π.χ. θερμοκρασία) κ.ά. επηρεάζουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Ερωτήματα, όπως πόσο αποτελεσματική θα ήταν η βελτίωση της απόδοσης του συστήματος με τη χρήση ενός συστήματος στήριξης 2πλου άξονα πρέπει να απαντηθούν πριν την απόφαση για μια τέτοια επένδυση .

Μια πρώτη εκτίμηση μπορούμε να έχουμε από χάρτες με το φωτοβολταϊκό δυναμικό της περιοχής. Η εκτίμηση όμως αυτή περιορίζεται σε μια γενική εικόνα της ετήσιας απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος .



**ΕΙΚΟΝΑ 38:** Ετήσια ηλιακή ηλεκτρική ενέργεια σε kWh που παράγεται από 1 kWp φωτοβολταϊκού συστήματος με βέλτιστη κλίση συλλέκτη

([http://www.vimet.eu/ckfinder/userfiles/images/Yearly\\_Solar\\_elecricity\\_in\\_Greece.jpg](http://www.vimet.eu/ckfinder/userfiles/images/Yearly_Solar_elecricity_in_Greece.jpg))

Επόμενο βήμα είναι η εκτίμηση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος μέσω προσομοίωσης. Η προσομοίωση μπορεί να είναι γενική ή λεπτομερής, όπου τα ειδικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου φωτοβολταϊκού συστήματος πρέπει να δηλωθούν.

Θα εξετάσουμε την περίπτωση της γενικής προσομοίωσης με εργαλεία που είναι διαθέσιμα στο διαδίκτυο: Το GOOGLE EARTH και τη βάση PVGIS της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Το GOOGLE EARTH αποτελεί προϊόν της google.com το οποίο συνδυάζει τον επιτυχημένο μηχανισμό αναζήτησης με δορυφορικές φωτογραφίες. Το GOOGLE EARTH συνθέτει εικόνες και πληροφορίες από δορυφορικές φωτογραφίες, αεροφωτογραφίες, στοιχείων GIS και από πολλές πηγές σε επάλληλα στρώματα, με σημαντική ευκολία χρήσης. Εκεί ο χρήστης μπορεί εύκολα να εντοπίσει γνωστούς προορισμούς ή να περιηγηθεί σε ξένους τόπους.

**Επεξήγηση: G.I.S:(Geographical Informations Systems) ή (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών Γ.Σ.Π) ή (Σύστημα Πληροφοριών Γης Σ.Π.Γ) :** Είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απεικόνισης πληροφοριών σχετικών με ζητήματα γεωγραφικής φύσης.

Η βάση PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) αποτελεί μια βάση δεδομένων ανεπτυγμένη σε περιβάλλον GIS που συνδυάζει γεωγραφικά, μετεωρολογικά και δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας. Παρέχει χωρική διακριτική ικανότητα 100 m, γεγονός που οδηγεί σε ακριβέστερες εκτιμήσεις της έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία, ειδικά σε ορεινές περιοχές όπου ο ακριβής υπολογισμός των σκιάσεων έχει μείζονα σημασία. Έχει αναπτυχθεί δε στα πλαίσια του προγράμματος SOLAREC της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Στη διαδικτυακή εφαρμογή της βάσης PVGIS [24] με την εισαγωγή του γεωγραφικού μήκους και πλάτους της περιοχής που μας ενδιαφέρει μπορούμε να πάρουμε τα εξής αποτελέσματα:

**A.** Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το φωτοβολταϊκό σύστημα που ενδιαφερόμαστε να εγκαταστήσουμε (μέση ημερήσια , μέση μηνιαία , συνολική ανά

χρόνο) σε kWh και μέσο ποσό της ολικής ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο που παραλαμβάνεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα που θέλουμε να εγκαταστήσουμε σε kWh/m<sup>2</sup>.

**Β.** Ηλιακή ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου και ηλιακή ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου με βέλτιστη κλίση σε Wh/m<sup>2</sup> σε μηνιαία και ετήσια βάση. Βέλτιστη κλίση ανά μήνα και έτος. Μέση θερμοκρασία 24ωρου ανά μήνα και έτος , και αριθμό θερμοημερών ανά μήνα και έτος.

**Γ.** Ολική και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία , για την κλίση και τον προσανατολισμό που ενδιαφερόμαστε να έχουν οι συλλέκτες μας , ανά 15 λεπτά της ώρας για τον κάθε μήνα, σε W/m<sup>2</sup>. Ολική ακτινοβολία τυπικής διαυγούς ημέρας για την κλίση και τον προσανατολισμό που ενδιαφερόμαστε να έχουν οι συλλέκτες μας , ανά 15 λεπτά της ώρας για τον κάθε μήνα σε W/m<sup>2</sup>.

**Δ.** Την βέλτιστη κλίση και τον βέλτιστο προσανατολισμό για την μεγιστοποίηση της ετήσιας ενέργειας για τις συντεταγμένες της τοποθεσίας και το σύστημα που θέλουμε να εγκαταστήσουμε.

Έτσι αφού εντοπίσουμε μέσω των δορυφορικών φωτογραφιών του GOOGLE EARTH τον χώρο που μας ενδιαφέρει , καταγράφουμε την θέση ( γεωγραφικό μήκος και πλάτος ) όπου βρίσκεται. Τα στοιχεία αυτά τα εισαγάγουμε στο PVGIS για την εκτίμηση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Με τον τρόπο αυτό βάζοντας τις συντεταγμένες του χώρου που μας ενδιαφέρει παίρνουμε τα κάτωθι αποτελέσματα:

### **Estimation of PV electricity generation for the chosen location**

Modify the parameters of your PV installation and click the "Submit" button.

PV technology:

Enter installed peak PV power  kWp

Estimated system losses (%) [0.0:100.0]

Module inclination [0,90]  deg.

Module orientation [-180;180] (E:-90 S:0)  deg.

Use given inclination and orientation

Find optimal inclination for given orientation

Find optimal inclination and orientation

Show performance for 2-axis tracking system

Show horizon outline graph

Show also the in-plane irradiation

**Click to confirm your choice**

For this location you can also:

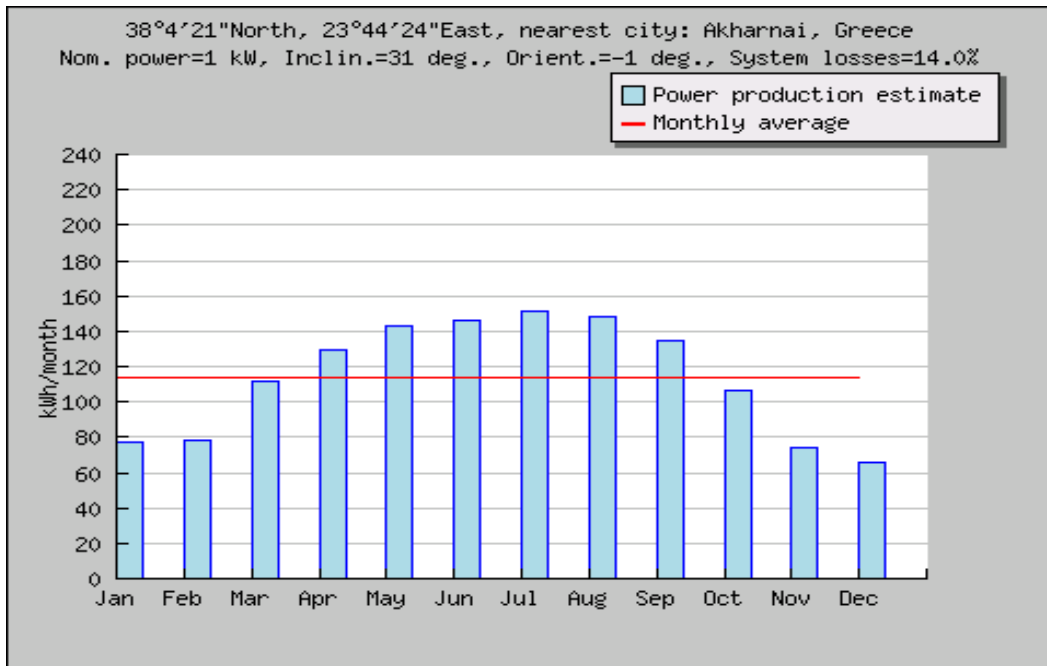
- 1) See the [monthly averages of global irradiation](#)
- 2) See [daily variation of irradiance](#)

**Location: 38°4'21" North, 23°44'24" East, Elevation: 179 m a.s.l.,  
Nearest city: Akharnai, Greece (1 km away)**

Nominal power of the PV system: 1.0 kW (crystalline silicon)  
 Inclination of modules: 31.0° (optimum)  
 Orientation (azimuth) of modules: -1.0° (optimum)  
 Estimated losses due to temperature: 9.0% (using local ambient temperature data)  
 Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.6%  
 Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%  
 Combined PV system losses: 25.6%

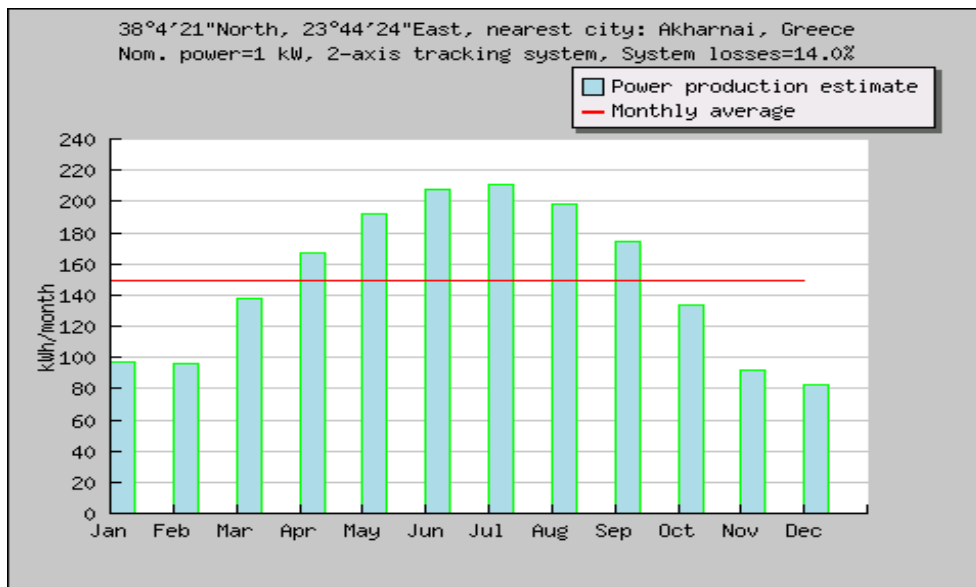
This graph and table show the (estimated) amount of electric power you can expect each month from a PV system with the properties you entered (using optimal inclination and orientation, if you requested so). It also shows the expected average daily and yearly production.





**ΕΙΚΟΝΑ 39:** Εκτιμώμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (σε KWH) από ηλιακή ακτινοβολία ανά μήνα στην περιοχή των Αχαρνών για σταθερό σύστημα 1kW<sub>p</sub> [24].

This graph shows the power from a 2-axis tracking system



**ΕΙΚΟΝΑ 40:** Εκτιμώμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (σε KWH) από ηλιακή ακτινοβολία ανά μήνα στην περιοχή των Αχαρνών για κινούμενο σύστημα 2 αξόνων 1kW<sub>p</sub> [24].

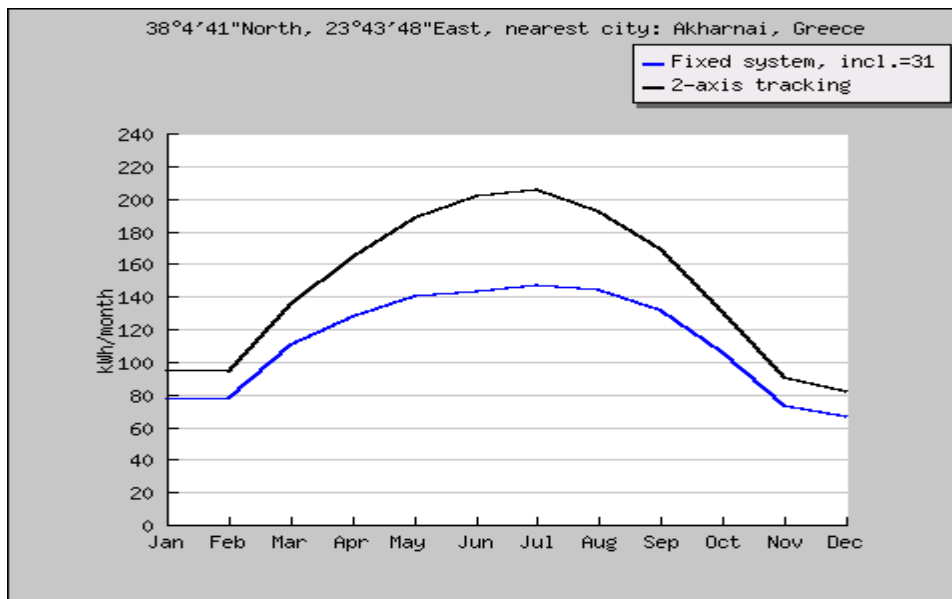
<b>PV electricity generation for: Nominal power=1.0 kW, System losses=14.0%</b>				
	<b>Inclin.=31 deg., Orient.=-1 deg.</b>		<b>2-axis tracking system</b>	
<b>Month</b>	<b>Production per month (kWh)</b>	<b>Production per day (kWh)</b>	<b>Production per month (kWh)</b>	<b>Production per day (kWh)</b>
Jan	76,9	2,48	96,2	3,10
Feb	77,7	2,78	94,7	3,38
Mar	111	3,57	136	4,38
Apr	128	4,25	164	5,47
May	140	4,52	188	6,07
Jun	143	4,77	202	6,73
Jul	147	4,75	205	6,63
Aug	144	4,66	193	6,21
Sep	132	4,40	170	5,67
Oct	106	3,40	131	4,24
Nov	73,4	2,45	90,3	3,01
Dec	66	2,13	81,9	2,64
<b>Yearly average</b>	<b>112</b>	<b>3,68</b>	<b>146</b>	<b>4,80</b>
Total yearly production (kWh)		<b>1345</b>		<b>1752,1</b>

**ΠΙΝΑΚΑΣ 9:** Σύγκριση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε KWH από σταθερό και από κινούμενο σύστημα 2 αξόνων ονομαστικής ισχύος 1 KWp στην περιοχή των Αχαρνών, ανά μήνα , ανά ημέρα, και συνολική ετήσια παραγωγή.

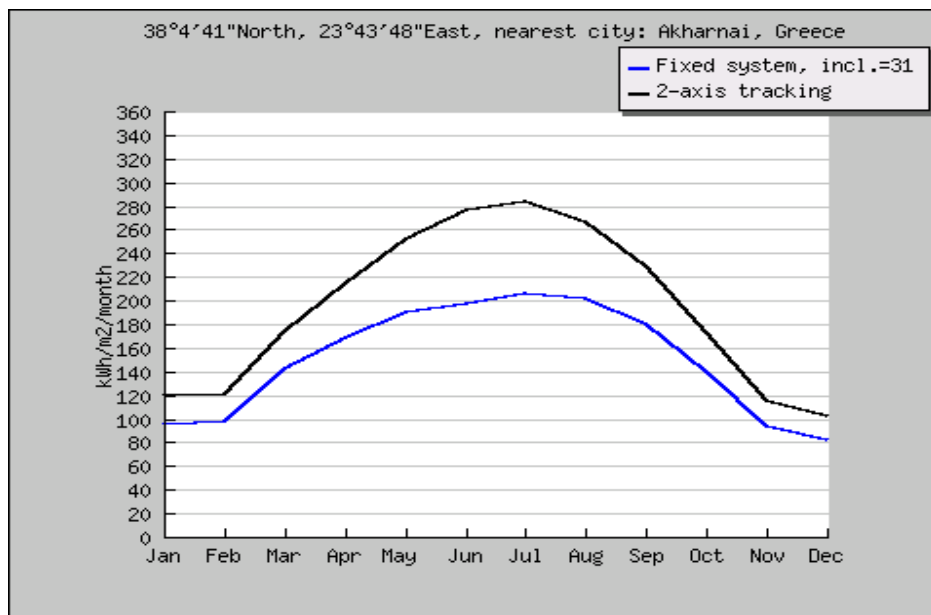
## **2.6 Συμπεράσματα με την Χρήση της Βάσης PVGIS**

Με την χρήση της βάσης PVGIS [24] καταλήγουμε στα πιο κάτω συμπεράσματα:

**A.** Η παραγωγή ενέργειας από σύστημα με στρεφόμενο άξονα προκύπτει μεγαλύτερη κατά 30,27 % λόγω της δυνατότητας του συστήματος αυτού να απορροφά μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία και για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.



**ΕΙΚΟΝΑ 41:** Σύγκριση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε KWH/ΜΗΝΑ από ένα σταθερό σύστημα κλίσεως 31° και ένα κινούμενο σύστημα 2 αξόνων στην περιοχή των Αχαρνών [24].



**ΕΙΚΟΝΑ 42:** Σύγκριση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας συλλέκτη σε KWH/m<sup>2</sup>/μήνα από ένα σταθερό σύστημα κλίσεως 31° και ένα κινούμενο σύστημα 2 αξόνων στην περιοχή των Αχαρνών [24].

**Β.** Για μέγιστη ετήσια ενέργεια απαιτείται κλίση συλλέκτη ίση με 31° και προσανατολισμός -1°.

**Γ.** Μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας με λιγότερα εγκατεστημένα κιλοβάτ παρουσιάζουν τα φωτοβολταϊκά τεχνολογίας CdTe. Αυτό παρατηρείται διότι παρουσιάζει τις λιγότερες συνολικές απώλειες και διότι έχοντας ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα μπορεί να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Τεχνολογία Φ/Β Συλλέκτη	Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας σε kWh	Ετήσιο Ποσό Ολικής Ακτινοβολίας ανά m <sup>2</sup> στον συλλέκτη σε (kWh/m <sup>2</sup> )
<b>Crystalline Silicon</b> (Κρυσταλλικό Πυρίτιο)	1340	1790
<b>Cis</b> (Δισεληνοϊνδιουχος Χαλκός)	1370	1790
<b>CdTe</b> (Τελουριούχο Κάδμιο)	<b>1510</b>	1790

**ΠΙΝΑΚΑΣ 10:** Ετήσια παραγωγή ενέργειας ανά τεχνολογία Φ/Β συλλέκτη σε KWH για σταθερό σύστημα ονομαστικής ισχύος 1 KWp στην περιοχή των Αχαρνών με κλίση 31° και προσανατολισμό -1° [24].

Τεχνολογία Φ/Β Συλλέκτη	Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας σε kWh	Ετήσιο Ποσό Ολικής Ακτινοβολίας ανά m <sup>2</sup> στον συλλέκτη σε (kWh/m <sup>2</sup> )
Crystalline Silicon (Κρυσταλλικό Πυρίτιο)	1750	2330
Cis (Δισεληνοινδιουχος Χαλκός)	1790	2330
CdTe (Τελουριούχο Κάδμιο)	1940	2330

**ΠΙΝΑΚΑΣ 11:** Ετήσια παραγωγή ενέργειας ανά τεχνολογία Φ/Β συλλέκτη σε KWH για κινούμενο σύστημα 2 αξόνων ονομαστικής ισχύος 1 KWp στην περιοχή των Αχαρνών [24].

**Παρατήρηση:** Τα πιο πάνω στοιχεία λήφθηκαν από την ιστοσελίδα του PVGIS [24] για τις συντεταγμένες της περιοχής των Αχαρνών.

## 2.7 Διαδικασία Υπολογισμού Παραγόμενης Ενέργειας [1]

Η παραγόμενη ενέργεια ανά εγκατεστημένη επιφάνεια δίνεται από την

$$\text{σχέση: } \frac{E_p}{S} = n_p \cdot \overline{H_T}$$

Και με δεδομένες τις διάφορες απώλειες του επιλεγμένου φωτοβολταϊκού στοιχείου  $\lambda_p$  η ενέργεια που λαμβάνουμε από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι:

$$\frac{E_A}{S} = \frac{E_p}{S} \cdot (1 - \lambda_p)$$

Η ηλιακή ακτινοβολία σε μία κεκλιμένη επιφάνεια τη μέση ημέρα ενός μήνα

$$\overline{H_T} \text{ υπολογίζεται από την σχέση: } \overline{H_T} = \overline{R} \cdot \overline{H}$$

Με  $\overline{H}$  την μηνιαίως μέση ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου και

$$\overline{R} = \frac{\overline{H_T}}{\overline{H}} = \left[ \left( 1 - \frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} \right) \cdot \overline{R_b} \right] + \left[ \frac{\overline{H_d}}{\overline{H}} \cdot \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) \right] + \left[ \rho \cdot \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \right] \text{ τον μηνιαίο μέσο λόγο}$$

ολικής ακτινοβολίας

Όπου

$\overline{H_d}$  η μηνιαίως μέση διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια

$\overline{R_b} = \frac{\overline{H_{bT}}}{\overline{H_b}}$  ο λόγος της μηνιαίως μέσης ακτινοβολίας κεκλιμένου επιπέδου προς αυτή

του οριζοντίου επιπέδου

$\beta$  η κλίση της επιφάνειας

Και  $\rho$  ο συντελεστής ανακλαστικότητας του εδάφους

Η μέση απόδοση ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου δίνεται από την

$$\text{σχέση: } n_p = n_r \cdot [1 - \beta_p \cdot (T_c - T_r)]$$

Όπου

$\beta_p$  ο συντελεστής θερμοκρασίας για την απόδοση του φωτοβολταϊκού στοιχείου ο οποίος δίνεται από τον κατασκευαστή σε πίνακα με τους τύπους των φωτοβολταϊκών στοιχείων

$n_r$  ο βαθμός απόδοσης στην θερμοκρασία αναφοράς  $T_r$  η οποία ορίζεται στους 25° C

$T_c$  η θερμοκρασία που συνδέεται με τη μέση μηνιαία θερμοκρασία περιβάλλοντος

$T_a$  η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος του μήνα

Τύπος Φ/Β στοιχείου	nr(%)	NOCT (°C)	$\beta_p$ (%/°C)	m <sup>2</sup> /kWp
<b>Mono-Si</b>	13	45	0,4	7,5
<b>Poly-Si</b>	11	45	0,4	9
<b>a-Si</b>	5	50	0,11	15
<b>CdTe</b>	7	46	0,24	15
<b>CIGS</b>	7,5	47	0,46	15

**ΠΙΝΑΚΑΣ 12:** Κατασκευαστικά στοιχεία διαφόρων φωτοβολταϊκών πλαισίων [1]

Σύμφωνα με την πειραματική σχέση του EVANS είναι:

$$T_c - T_a = (219 + 832 \cdot \overline{K_T}) \cdot \frac{NOCT - 20}{800} \text{ για } \beta = \beta_m$$

Και

$$T_c - T_a = C_f \cdot (219 + 832 \cdot \overline{K_T}) \cdot \frac{NOCT - 20}{800} \text{ για } \beta \neq \beta_m$$

Όπου

$$\overline{K_T} = \frac{\overline{H}}{H_0} \text{ είναι ο μηνιαίος μέσος δείκτης αιθριότητας}$$

$$\beta_m = |\Phi - \delta| \text{ η βέλτιστη κλίση του συλλέκτη}$$

$\beta$  η κλίση του συλλέκτη και

$$C_f = 1 - 1,17 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta_m - \beta)^2 \text{ ο διορθωτικός συντελεστής}$$

## **2.8 Μελέτη Εγκατάστασης Φ/Β στο Στρατόπεδο “ΠΑΠΑΣΤΑΘΗ”**

Στον χώρο του στρατοπέδου υπάρχει ελεύθερη επιφάνεια 1174 m<sup>2</sup> επάνω σε δώμα (ταράτσα) και 5645 m<sup>2</sup> επάνω σε στέγες με νότιο προσανατολισμό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εγκατάσταση Φ/Β πάνελ. Επίσης υπάρχουν και 6255 m<sup>2</sup> διαθέσιμης ελεύθερης έκτασης-γης που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί το σύνολο ή μέρος αυτής για την εγκατάσταση Φ/Β πάνελ , εφόσον βέβαια η χρησιμοποίησή της δεν εμποδίζει τις δραστηριότητες εντός του στρατοπέδου , και εφόσον η έκταση αυτή δεν αποτελεί μέρος των λειτουργικών αναγκών του στρατοπέδου.

### **2.8.1 Απαραίτητος Χώρος για Σταθερά Πλαίσια**

Ο απαραίτητος χώρος για την εγκατάσταση πλαισίων κρυσταλλικού πυριτίου σε στέγη, είναι περίπου 7 m<sup>2</sup>/kWp για το μονοκρυσταλλικό και 8-10 m<sup>2</sup>/kWp για το πολυκρυσταλλικό (τοποθετούνται επίπεδοι συλλέκτες) [56].





**ΕΙΚΟΝΑ 43:** Φωτοβολταικά πλαίσια σε στέγη

Για δώμα απαιτείται χώρος  $12 \text{ m}^2/\text{kWp}$  για το μονοκρυσταλλικό και  $15 \text{ m}^2/\text{kWp}$  για το πολυκρυσταλλικό, συμπεριλαμβανομένου του χώρου που καλύπτουν οι απαιτούμενες αποστάσεις για την αποφυγή σκίασης (αυξάνει ο χώρος αφού δεν θέλουμε να σκιάζει το ένα πλαίσιο το άλλο) [56].



**ΕΙΚΟΝΑ 44:** Φωτοβολταικά πλαίσια σε δώμα (ταράτσα)

Για εγκατάσταση πλαισίων από άμορφο πυρίτιο απαιτείται χώρος περίπου 20 m<sup>2</sup>/kWp σε στέγη και 30 m<sup>2</sup>/kWp σε δώμα [26]. Δηλαδή στην περίπτωση των πλαισίων που κατασκευάζονται από άμορφο πυρίτιο απαιτείται η διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα πλαίσια από κρυσταλλικό πυρίτιο. Ο λόγος της αύξησης αυτής είναι η μικρότερη απόδοση των συλλεκτών αυτών και κατ' επέκταση η ανάγκη για μεγαλύτερο αριθμό φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία έχουν τη μεγαλύτερη απόδοση (μετατρέπουν έως και το 17-18% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό). Τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία έχουν ελαφρώς χαμηλότερη απόδοση (13%-15%), είναι όμως φθηνότερα από τα μονοκρυσταλλικά κατά 10-15% [57]. Έτσι μπορούμε να πούμε ότι η καλύτερη απόδοση που εμφανίζουν δεν αντισταθμίζει το κόστος αγοράς τους. Επομένως ως πρώτο βήμα αποφασίζεται η επιλογή ενός πολυκρυσταλλικού πλαισίου.

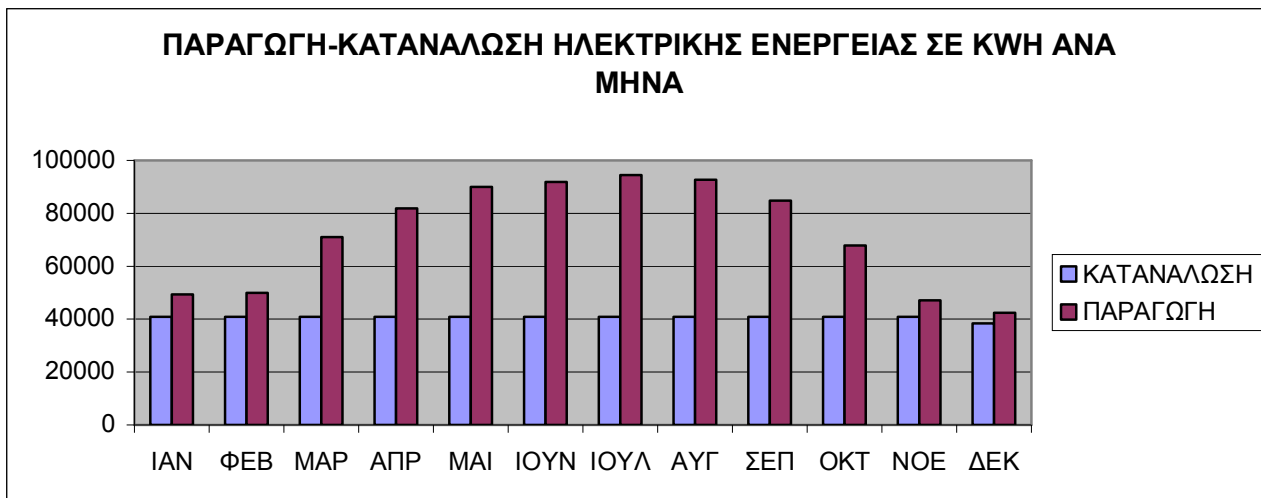
Αυτό σημαίνει ότι στην διαθέσιμη ελεύθερη επιφάνεια στο δώμα και στις στέγες υπολογίζεται ότι χωρούν να εγκατασταθούν (1174m<sup>2</sup>/15 m<sup>2</sup>/kwp=78) +(5645 m<sup>2</sup>/10 m<sup>2</sup>/kwp=564) περίπου 642 kWp σταθερών πλαισίων με συλλέκτες πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

Από τους υπολογισμούς που έχουν προηγηθεί η εγκατάσταση των 642 kWp είναι ικανοποιητική γιατί καλύπτεται έτσι το ετήσιο ισοζύγιο ηλεκτρικής κατανάλωσης ενώ περισσεύει ενέργεια και για πώληση στην ΔΕΗ.

Στον πίνακα 20 που ακολουθεί φαίνεται η παραγόμενη ενέργεια των σταθερών φωτοβολταϊκών πλαισίων τεχνολογίας κρυσταλλικού πυριτίου για την περιοχή του στρατοπέδου και για βέλτιστη κλίση και προσανατολισμό.

Μήνας	Μέση Μηνιαία Ολική Ακτινοβολία ανά m <sup>2</sup> Πλαισίου στην Βέλτιστη Κλίση και Προσανατολισμό kwh/m <sup>2</sup>	Παραγόμενες kwh ανά kwp (kwh/ 1kwp)	Παραγόμενες kwh με την εγκατάσταση 642 kwp (kwh/642 kwp)
Ιανουάριος	95,9	76,9	<b>49.400</b>
Φεβρουάριος	98,5	77,7	<b>49.900</b>
Μάρτιος	143	111	<b>71.000</b>
Απρίλιος	168	128	<b>81.900</b>
Μάιος	190	140	<b>90.000</b>
Ιούνιος	198	143	<b>91.900</b>
Ιούλιος	206	147	<b>94.500</b>
Αύγουστος	202	144	<b>92.700</b>
Σεπτέμβριος	180	132	<b>84.800</b>
Οκτώβριος	140	106	<b>67.800</b>
Νοέμβριος	94,1	73,4	<b>47.100</b>
Δεκέμβριος	82,7	66	<b>42.400</b>
<b>Σύνολο</b>	<b>1798,2</b>	<b>1345</b>	<b>863.400</b>

**ΠΙΝΑΚΑΣ 13:** Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε KWH από την εγκατάσταση 642 kwp σταθερών πλαισίων κρυσταλλικού πυριτίου στον χώρο του στρατοπέδου [24].



**ΣΧΗΜΑ 2:** Μηνιαία παραγωγή και κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος από την εγκατάσταση σταθερών πλαισίων κρυσταλλικού πυριτίου.

### 2.8.2 Απαραίτητος Χώρος για Περιστρεφόμενα Πλαίσια

Για την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού πάρκου σε οικόπεδο , με περιστρεφόμενα πλαίσια κινούμενα σε 2 άξονες, τεχνολογίας πολυκρυσταλλικού πυριτίου , απαιτείται τουλάχιστον η διπλάσια έκταση [28], ήτοι 30 m<sup>2</sup>/kwp για την αποφυγή σκιάσεων κατά την κίνηση των φωτοβολταϊκών πάνελ.

Επομένως για την ίδια εγκατεστημένη ισχύ που θα μπορούσαμε να εγκαταστήσουμε στις σκεπές των κτιρίων , απαιτείται διαθέσιμος χώρος 30 m<sup>2</sup>/kwp \*642kWr=19.260 m<sup>2</sup>. Χώρο τον οποίο δεν διαθέτουμε αφού ο ελεύθερος χώρος επί του εδάφους είναι μόλις 6255 m<sup>2</sup>.

Αν πάλι υποθέσουμε ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε όλο τον διαθέσιμο χώρο των 6255 m<sup>2</sup>. Θα χωρέσουν περίπου 156 kWr τεχνολογίας πολυκρυσταλλικού πυριτίου που θα αποδίδουν 367.946 kwh/έτος. Όπως είναι κατανοητό αυτό το μέγεθος δεν καλύπτει το ετήσιο ισοζύγιο και επομένως δεν μπορεί να εφαρμοστεί η τεχνολογία των περιστρεφόμενων πλαισίων στο Στρδο Παπαστάθη.

Μήνας	Μέση Μηνιαία Ολική Ακτινοβολία ανά m <sup>2</sup> Πλαισίου kwh/m <sup>2</sup>	Παραγόμενες kwh ανά kwp (kwh/1 kwp)	Παραγόμενες kwh με την Εγκατάσταση 642 kwp (kwh/642 kwp)
Ιανουάριος	121	96,2	<b>61.800</b>
Φεβρουάριος	120	94,7	<b>60.800</b>
Μάρτιος	175	136	<b>87.200</b>
Απρίλιος	215	164	<b>105.000</b>
Μάιος	253	188	<b>121.000</b>
Ιούνιος	277	202	<b>130.000</b>
Ιούλιος	285	205	<b>132.000</b>
Αύγουστος	266	193	<b>124.000</b>
Σεπτέμβριος	230	170	<b>109.000</b>
Οκτώβριος	174	131	<b>84.400</b>
Νοέμβριος	116	90,3	<b>58.000</b>
Δεκέμβριος	103	81,9	<b>52.600</b>
<b>Σύνολο</b>	<b>2335</b>	<b>1752,1</b>	<b>1.125.800</b>

**ΠΙΝΑΚΑΣ 14:** Ενέργεια που θα παραγόταν από την εγκατάσταση 642 kwp περιστρεφόμενων σε 2 άξονες, πλαισίων κρυσταλλικού πυριτίου [24].

### 2.8.3 Οικονομικά Στοιχεία

#### Κριτήρια Αξιολόγησης Επενδυτικών Σχεδίων [100]

Υπάρχουν δύο κατηγορίες κριτηρίων, ανάλογα με το αν λαμβάνεται υπόψη ή όχι η χρονική αξία του χρήματος, δηλαδή η αναγωγή σε παρούσα αξία. Η πρώτη περιλαμβάνει τα ορθολογικά και η δεύτερη τα ατελή κριτήρια. Παρακάτω εξετάζονται μόνο τα ορθολογικά κριτήρια, τα οποία είναι πιο ακριβή.

#### A. Καθαρή Παρούσα Αξία - ΚΠΑ (Net Present Value - NPV)

Η καθαρή παρούσα αξία γνωστή με τα αρχικά NPV εκφράζει την αξία σε χρηματικές μονάδες, που προκύπτει από την προεξόφληση στο παρόν όλων των καθαρών χρηματοροών κάθε έτους (διαφορά των μελλοντικών εισροών ή εξόδων) για ολόκληρο τον χρονικό ορίζοντα του σχεδίου επένδυσης. Είναι δε μια αξιόπιστη μέθοδος αξιολόγησης γιατί μετατρέπει τις μελλοντικές ροές αξιών του σχεδίου επένδυσης σε παρούσες αξίες, δηλαδή αυτές που ισχύουν την στιγμή που παίρνεται η απόφαση. Η ίδια η τιμή της NPV δεν έχει κάποια συγκεκριμένη σημασία. Αυτό που ενδιαφέρει είναι αν είναι θετική ή αρνητική [1].

##### **Έτσι διακρίνονται οι ακόλουθες τρεις περιπτώσεις:**

• **NPV > 0** : Η απόδοση της επένδυσης είναι μεγαλύτερη από το επιτόκιο προεξόφλησης και η επένδυση είναι βιώσιμη.

• **NPV < 0**: Η απόδοση της επένδυσης είναι μικρότερη από το επιτόκιο προεξόφλησης και η επένδυση δεν είναι βιώσιμη.

• **NPV = 0** : Η απόδοση της επένδυσης είναι οριακή με ετήσιο ρυθμό απόδοσης ίσο με το επιτόκιο προεξόφλησης  $i$ .

## **B. Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης – EBA (Internal Rate of Return - IRR)**

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης γνωστός με τα αρχικά IRR είναι το υπολογιζόμενο επιτόκιο (εσωτερική αποδοτικότητα) με το οποίο η παρούσα αξία των ταμειακών εισροών είναι ίση με την παρούσα αξία των ταμειακών εκροών. Δηλαδή η άθροιση των καθαρών χρηματορροών όλου του χρονικού ορίζοντα του σχεδίου επένδυσης είναι ίση με το μηδέν. Με άλλα λόγια είναι ένα μοναδικό επιτόκιο που μηδενίζει την καθαρή παρούσα αξία NPV. Από την σύγκριση της τιμής του IRR με το επίσημο επιτόκιο της αγοράς  $i$  συμπεραίνεται η αποδοτικότητα ή μη του σχεδίου επένδυσης [1] .

Έτσι:

**Av  $IRR > i$**  η απόδοση της επένδυσης είναι μεγαλύτερη από το επιτόκιο προεξόφλησης και η επένδυση εγκρίνεται.

**Av  $IRR < i$**  η απόδοση της επένδυσης είναι μικρότερη από το επιτόκιο προεξόφλησης και η επένδυση απορρίπτεται.

**Av  $IRR = i$**  η απόδοση της επένδυσης είναι οριακή.

## **Γ. Λόγος Οφέλους/Κόστους (Benefit/Cost Ratio - BCR)**

Το BCR ορίζεται ως το πηλίκο του συνολικού οφέλους προς το συνολικό κόστος μιας επένδυσης κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής της με όλα τα ποσά ανηγμένα σε παρούσα αξία.

### **2.8.4 Οικονομική Μελέτη**

Παρακάτω ακολουθεί μια οικονομική ανάλυση για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους της επένδυσης και την οικονομική αξιολόγηση του έργου. Σκοπός της αξιολόγησης είναι να εξεταστεί κατά πόσο μια τέτοια επένδυση είναι βιώσιμη καθώς και η εξαγωγή συμπερασμάτων για τα οφέλη που θα έχει το

στρατόπεδο. Η διερεύνηση θα γίνει μόνο για την περίπτωση της εγκατάστασης σταθερών πλαισίων, αφού όπως είδαμε ο χώρος δεν επαρκεί για την εγκατάσταση περιστρεφόμενων πλαισίων.

## **A. Τιμές Πώλησης Παραγόμενης Ενέργειας από Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις**

	Διασυνδεδεμένο		Μη διασυνδεδεμένο
	A	B	Γ (Ανεξαρτήτως ισχύος)
	>100 KW	<100 KW	
<b>Έτος Μήνας</b>			
2009 Φεβρουάριος	400	450	450
2009 Αύγουστος	400	450	450
2010 Φεβρουάριος	400	450	450
2010 Αύγουστος	392,04	441,05	441,05
2011 Φεβρουάριος	372,83	419,43	419,43
2011 Αύγουστος	351,01	394,89	394,89
2012 Φεβρουάριος	333,81	375,54	375,54
2012 Αύγουστος	314,27	353,55	353,55
2013 Φεβρουάριος	298,87	336,23	336,23
2013 Αύγουστος	281,38	316,55	316,55
2014 Φεβρουάριος	268,94	302,56	302,56
2014 Αύγουστος	260,97	293,59	293,59
Για κάθε έτος ν από το 2015 και μετά	$1,3 \times \mu\text{ΟΤΣ}_{\nu-1}$	$1,4 \times \mu\text{ΟΤΣ}_{\nu-1}$	$1,4 \times \mu\text{ΟΤΣ}_{\nu-1}$
$\mu\text{ΟΤΣ}_{\nu-1}$ Μέση Οριακή Τιμή Συστήματος κατά το προηγούμενο έτος ν-1			

**ΠΙΝΑΚΑΣ 15:** Τιμές πώλησης παραγόμενης ενέργειας από φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις σύμφωνα με τον νόμο για τις ΑΠΕ του 2010 [91]



## **B. Κόστος ανά Κατηγορία Δαπάνης**

Για την τεχνολογία των πλαισίων του πολυκρυσταλλικού πυριτίου που έχουν επιλεγεί, το κόστος επένδυσης είναι της τάξης των 3.500 €/kWp (Τεχνική Εταιρεία κ. Νίκου Καραλίδη).

Οι τιμές για τις διάφορες παραμέτρους του έργου φαίνονται στον πίνακα:

α/α	Υλικά, Χαρακτηριστικά	Τεμαχ.	Τιμή/Τεμάχιο	Σύνολο
1	Φωτοβολταικά Πλαίσια Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου 270 W	2378	682€	1.621.796€
2	Μετατροπέας (Inverter) SMC 7000 TL SMA Sunny Mini Central	87	3189€	277.443€
3	Καλώδια και Υλικά Σύνδεσης		127.277€	127.277€
4	Εργασίες Σύνδεσης		101.821€	101.821€
5	Υλικά Στήριξης		118.663€	118.663€
<b>Σύνολο</b>				<b>2.247.000€</b>
<b>Κόστος ανά kw</b>				<b>3.500€/KW</b>

**ΠΙΝΑΚΑΣ 16:** Κόστος ανά κατηγορία δαπάνης και συνολικό κόστος εγκατάστασης Φ/Β πλαισίων

## Γ. Βιωσιμότητα Επένδυσης

### Περίπτωση 1η: Κόστος Επένδυσης 3500 €/kWp, Ίδια Συμμετοχή 30%, Δάνειο 70%

<b>Φωτοβολταϊκός Σταθμός</b>		
<b>1.</b>	<b>Γενική Περιγραφή</b>	
1.1	Συνολική Ισχύς Σταθμού	642 kw
1.2	Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας	761,279 Mwh
1.3	Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας	487,473 Mwh
1.4	Ετήσια Ενέργεια προς Διάθεση στο Δίκτυο	761,279 Mwh
<b>2.</b>	<b>Συνολική Επένδυση</b>	
2.1	Κόστος Εξοπλισμού και Εγκατάστασης	2.247.000 €
2.2	Επιχορήγηση	0
2.3	Ίδια Συμμετοχή	674.100€
2.4	Δάνειο	1.572.900€
2.5	Επιτόκιο Αναγωγής	8%
2.6	Επιτόκιο Δανείου	7%
<b>3.</b>	<b>Τιμές Πώλησης</b>	
3.1	Τιμή Πώλησης Ενέργειας	351,01 €/Mwh (Αύγουστος 2011)
<b>4.</b>	<b>Ετήσια Αποτελέσματα</b>	
4.1	Έσοδα από Πώληση Ενέργειας	267.216€
4.2	Διάφορα Λειτουργικά Έξοδα (0,5% επί του αρχικού κόστους εξοπλισμού και εγκατάστασης)	11.235 €
4.3	Συντελεστής Φόρων	20 %
<b>5.</b>	<b>Δείκτες Χρηματικών Ροών</b>	
5.1	Καθαρή Παρούσα Αξία	<b>+70.394 €</b>
5.2	Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης IRR	<b>8,86 %</b>
5.3	Χρόνος Αποπληρωμής	<b>12 χρόνια</b>

**ΠΙΝΑΚΑΣ 17:** Οικονομικά στοιχεία της εγκατάστασης

Απόδοση της Επένδυσης με Χρησιμοποίηση 30% Ιδίων Κεφαλαίων και Δάνειο 70% και Κόστος Επένδυσης 3500€/κwp										
Έτος	Έσοδα από Πώληση Ενέργειας	Λειτουργικά Έξοδα	Αποσβέσεις	Χρεωλύσιο	Τόκος	Φόρος	Καθαρή Χρηματική Ροή	Αθροιστική Χρηματική Ροή	Παρούσα Αξία	Αθροιστική Παρούσα Αξία
0							-674100	-674100	-674100	-674100
1	267217	11235	149800	113843	110103	-784	32820	-641280	30389	-643711
2	265079	11235	149800	121812	102134	382	29516	-611763	25305	-618405
3	262941	11235	149800	130338	93607	1660	26101	-585663	20720	-597686
4	260803	11235	149800	139462	84484	3057	22566	-563097	16587	-581099
5	258666	11235	149800	149224	74721	4582	18903	-544194	12865	-568234
6	256528	11235	149800	159670	64275	6243	15104	-529090	9518	-558716
7	254390	11235	149800	170847	53099	8051	11158	-517932	6511	-552205
8	252252	11235	149800	182806	41139	10016	7056	-510875	3812	-548393
9	250115	11235	149800	195603	28343	12147	2787	-508089	1394	-546999
10	247977	11235	149800	209295	14651	14458	-1662	-509751	-770	-547769
11	245839	11235	149800	0	0	16961	217643	-292107	93344	-454425
12	243701	11235	149800	0	0	16533	215933	-76174	85750	-368675
13	241564	11235	149800	0	0	16106	214223	138049	78769	-289906
14	239426	11235	149800	0	0	15678	212513	350562	72352	-217554
15	237288	11235	149800	0	0	15251	210803	561364	66454	-151100
16	235151	11235	0	0	0	44783	179132	740497	52287	-98813
17	233013	11235	0	0	0	44356	177422	917919	47952	-50861
18	230875	11235	0	0	0	43928	175712	1093631	43972	-6889
19	228737	11235	0	0	0	43500	174002	1267633	40318	33429
20	226600	11235	0	0	0	43073	172292	1439925	36965	70394

**ΠΙΝΑΚΑΣ 18:** Αναλυτικές χρηματικές ροές

**Περίπτωση 2η: Κόστος Επένδυσης 3000 €/kWp, Ίδια Συμμετοχή  
30%, Δάνειο 70%**

<b>Φωτοβολταϊκός Σταθμός</b>		
<b>1.</b>	<b>Γενική Περιγραφή</b>	
1.1	Συνολική Ισχύς Σταθμού	642 kw
1.2	Ετήσια Παραγωγή Ενέργειας	761,279 Mwh
1.3	Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας	487,473 Mwh
1.4	Ετήσια Ενέργεια προς Διάθεση στο Δίκτυο	761,279 Mwh
<b>2.</b>	<b>Συνολική Επένδυση</b>	
2.1	Κόστος Εξοπλισμού και Εγκατάστασης	1.926.000 €
2.2	Επιχορήγηση	0
2.3	Ίδια Συμμετοχή	577.800€
2.4	Δάνειο	1.348.200€
2.5	Επιτόκιο Αναγωγής	8%
2.6	Επιτόκιο Δανείου	7%
<b>3.</b>	<b>Τιμές Πώλησης</b>	
3.1	Τιμή Πώλησης Ενέργειας	351,01 €/Mwh (Αύγουστος 2011)
<b>4.</b>	<b>Ετήσια Αποτελέσματα</b>	
4.1	Έσοδα από Πώληση Ενέργειας	267.216€
4.2	Διάφορα Λειτουργικά Έξοδα (0,5% επί του αρχικού κόστους εξοπλισμού και εγκατάστασης)	9.630 €
4.3	Συντελεστής Φόρων	20 %
<b>5.</b>	<b>Δείκτες Χρηματικών Ροών</b>	
5.1	Καθαρή Παρούσα Αξία	<b>+343.295 €</b>
5.2	Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης IRR	<b>12,92 %</b>
5.3	Χρόνος Αποπληρωμής	<b>10 χρόνια</b>

**ΠΙΝΑΚΑΣ 19:** Οικονομικά στοιχεία της εγκατάστασης

Απόδοση της Επένδυσης με Χρησιμοποίηση 30% Ιδίων Κεφαλαίων και Δάνειο 70% και Κόστος Επένδυσης 3000€/κwp										
Έτος	Έσοδα από Πώληση Ενέργειας	Λειτουργικά Έξοδα	Αποσβέσεις	Χρεωλύσιο	Τόκος	Φόρος	Καθαρή Χρηματική Ροή	Αθροιστική Χρηματική Ροή	Παρούσα Αξία	Αθροιστική Παρούσα Αξία
0							-577800	-577800	-577800	-577800
1	267217	9630	128400	97579	94374	6963	58671	-519129	54325	-523475
2	265079	9630	128400	104410	87543	7901	55594	-463535	47663	-475812
3	262941	9630	128400	111719	80235	8935	52422	-411112	41615	-434197
4	260803	9630	128400	119539	72414	10072	49148	-361964	36125	-398072
5	258666	9630	128400	127907	64047	11318	45764	-316200	31147	-366925
6	256528	9630	128400	136860	55093	12681	42264	-273936	26633	-340292
7	254390	9630	128400	146440	45513	14169	38637	-235299	22545	-317748
8	252252	9630	128400	156691	35262	15792	34877	-200422	18843	-298905
9	250115	9630	128400	167659	24294	17558	30973	-169449	15494	-283410
10	247977	9630	128400	179396	12558	19478	26916	-142533	12467	-270943
11	245839	9630	128400	0	0	21562	214647	72115	92059	-178885
12	243701	9630	128400	0	0	21134	212937	285052	84560	-94324
13	241564	9630	128400	0	0	20707	211227	496279	77668	-16657
14	239426	9630	128400	0	0	20279	209517	705796	71332	54676
15	237288	9630	128400	0	0	19852	207807	913602	65509	120185
16	235151	9630	0	0	0	45104	180416	1094019	52662	172847
17	233013	9630	0	0	0	44677	178706	1272725	48299	221146
18	230875	9630	0	0	0	44249	176996	1449721	44293	265439
19	228737	9630	0	0	0	43821	175286	1625007	40616	306055
20	226600	9630	0	0	0	43394	173576	1798583	37240	343295

**ΠΙΝΑΚΑΣ 20:** Αναλυτικές χρηματικές ροές

Κόστος Επένδυσης (€/kwp)	3500	3500	3400	3300	3200	3100	3000
Τιμή Πώλησης Ενέργειας (€/Mwh)	351,01	333,81	351,01	351,01	351,01	351,01	351,01
Έτη Αποπληρωμής	12	12	12	11	11	11	10
Καθαρή Παρούσα Αξία (€)	+70.394	-26.663	+124.974	+179.554	+234.135	+288.715	+343.295
Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης	8,86%	7,69 %	9,56%	10,32%	11,13%	12%	12,92 %

**ΠΙΝΑΚΑΣ 21:** Συγκριτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων (Σε όλες τις περιπτώσεις 30% Ιδία Κεφάλαια και 70% Δάνειο)

## 2.9 Συμπεράσματα επί της Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών

**Από τους παραπάνω οικονομικούς υπολογισμούς προκύπτουν τα κάτωθι συμπεράσματα:**

**A.** Με κόστος επένδυσης 3500 €/kwp, τιμή της πωλούμενης ενέργειας 351,01 €/Mwh (Αύγουστος 2011), 30% Ιδία Κεφάλαια και 70% Δάνειο, η επένδυσή μας είναι συμφέρουσα με εσωτερικό συντελεστή απόδοσης IRR=8,86% και καθαρή παρούσα αξία NPV=+70.394€.

**B.** Αν καταφέρουμε λόγω της μεγάλης ισχύος που θέλουμε να εγκαταστήσουμε, να πετύχουμε κόστος επένδυσης 3000 €/kwp, τότε η επένδυσή μας θα είναι συμφέρουσα με εσωτερικό συντελεστή απόδοσης IRR=12,92% και καθαρή

παρούσα αξία NPV=+343.295€.

Γ. Όπως προβλέπει ο νέος αναπτυξιακός νόμος, η σύμβαση πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία θα ισχύσει για 20 χρόνια, μπορεί να παραταθεί, σύμφωνα με τους όρους της άδειας, μετά από έγγραφη συμφωνία των μερών, εφόσον θα ισχύει η σχετική άδεια παραγωγής. Αυτό σημαίνει ότι θα μπορούμε και μετά τα 20 χρόνια να έχουμε έσοδα από την πώληση της παραγόμενης ενέργειας χωρίς μάλιστα να έχουμε το κόστος της επένδυσης που θα έχουμε τώρα. Έτσι δεδομένου ότι η διάρκεια ζωής των φωτοβολταϊκών είναι 25-30 χρόνια θα πρέπει να γίνει ανανέωση της σύμβασης για 10 χρόνια ακόμα.

Δ. Τέλος να υπενθυμίσουμε ότι κάθε κιλοβατώρα που παράγεται από φωτοβολταϊκά, και άρα όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης 1,12 κιλών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (με βάση το σημερινό ενεργειακό μείγμα στην Ελλάδα και τις μέσες απώλειες του δικτύου) [26]. Επιπλέον, συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων (όπως τα αιωρούμενα μικροσωματίδια, τα οξειδία του αζώτου, οι ενώσεις του θείου, κ.λπ). Όπως έχουμε προαναφέρει οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα πυροδοτούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και αλλάζουν το κλίμα της Γης, ενώ η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία και το περιβάλλον. Αν προσπαθήσει να αποτιμήσει κανείς τις δυσμενείς επιπτώσεις σε χρήμα από τη χρήση των ορυκτών καυσίμων (όπως είναι ο λιγνίτης, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο) θα διαπιστώσει ότι ένα σημαντικό οικονομικό κόστος που έχουν αυτά τα καύσιμα για την κοινωνία δεν περιλαμβάνεται στην τιμή της κιλοβατώρας που παράγεται απ' αυτά. Είναι το λεγόμενο "εξωτερικό" κόστος, ένα κόστος που εμμέσως πληρώνει όλη η κοινωνία. Σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (πρόγραμμα EXTERNE), το κόστος αυτό (περιβαλλοντικό και κοινωνικό) για την περίπτωση της Ελλάδας φτάνει έως και 0,08 €/kWh [26]. **Επομένως με την εγκατάσταση 642 kwp στις στέγες των κτιρίων του Στρατοπέδου Παπαστάθη και την παραγωγή 761.279 Kwh παράγονται λιγότεροι 852,632 tn CO<sub>2</sub> (δηλαδή ποσό CO<sub>2</sub> που κατακρατούν 142.105 δέντρα ανά έτος) και το οικονομικό όφελος από το "εξωτερικό" κόστος είναι της τάξης των 60.902 ευρώ.** Όπου τόσο το περιβαλλοντικό όσο και το οικονομικό όφελος αντικατοπτρίζονται στην ελληνική κοινωνία γενικότερα.



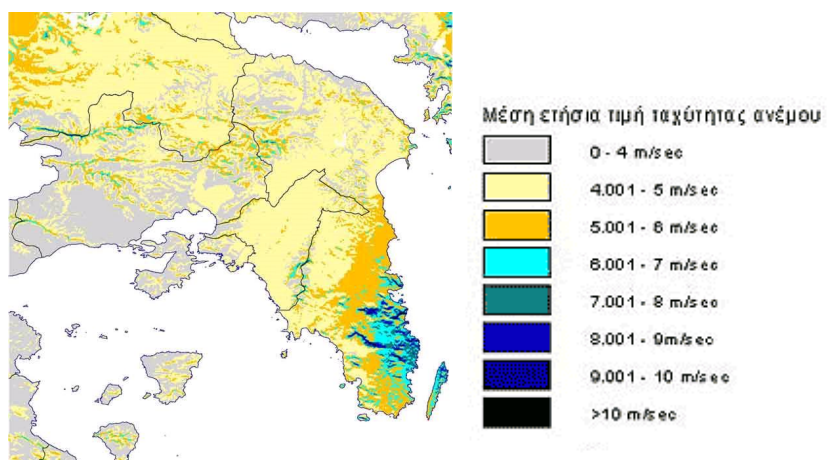


## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

### ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ 20 KW

#### 3.1 Εισαγωγή

Στην παρούσα ενότητα θα μελετηθεί η παραγόμενη ενέργεια από την εγκατάσταση μίας ανεμογεννήτριας 20 kw στον χώρο του στρατοπέδου. Η μελέτη αυτή έχει αποκλειστικά εκπαιδευτικό χαρακτήρα, καθότι το στρατόπεδο βρίσκεται μέσα σε κατοικημένη περιοχή και άρα δεν μπορεί να εγκατασταθεί ανεμογεννήτρια (Απαιτείται ελάχιστη απόσταση 1.000 m από το όριο οικισμού με πληθυσμό μεγαλύτερο των 2000 κατοίκων [95]), αλλά και επειδή η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου στην περιοχή εκτιμάται γύρω στα 4 m/sec [2], ενώ για να είναι εκμεταλλεύσιμη η αιολική ενέργεια θέλουμε μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου (στα 10 μέτρα πάνω από το έδαφος) μεγαλύτερη των 5.5-6 m/s [96], ώστε να έχουμε ένα ικανοποιητικό συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας της τάξης των 25% και άνω και το ανοιγμένο κόστος παραγωγής kWh από την ανεμογεννήτρια, να είναι μικρότερο της τιμής αγοράς της kWh από την ΔΕΗ.

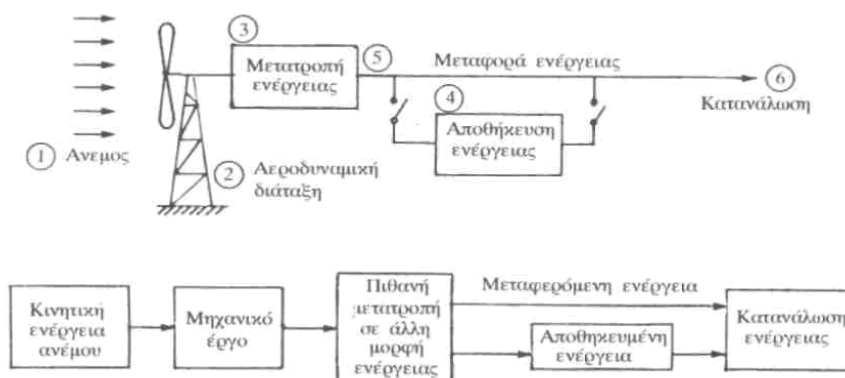


**ΕΙΚΟΝΑ 45:** Χάρτης αιολικού δυναμικού νομού Αττικής  
(<http://www.cres.gr/kape/datainfo/maps.htm>)

### 3.2 Αιολική Ενέργεια

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η κινητική ενέργεια του ανέμου που οφείλεται κυρίως στην ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης από την ηλιακή ακτινοβολία. Περίπου το 2% της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στη Γη, μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια η οποία υπολογίζεται σε 3,6 δις MW. Η κινητική ενέργεια των ανέμων είναι τόση που, με βάση τη σημερινή τεχνολογία εκμετάλλευσής της, θα μπορούσε να καλύψει πάνω από δύο φορές τις ανάγκες της ανθρωπότητας σε ηλεκτρική ενέργεια [12].

Υπολογίζεται ότι στο 25% της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5,1m/sec, σε ύψος 10m πάνω από το έδαφος. Όταν οι άνεμοι πνέουν με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή την τιμή, τότε το αιολικό δυναμικό του τόπου θεωρείται εκμεταλλεύσιμο και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες, σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα [53]. Άλλωστε το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά και μπορεί να θεωρηθεί ότι η αιολική ενέργεια διανύει την πρώτη περίοδο ωριμότητας, καθώς είναι πλέον ανταγωνιστική των συμβατικών μορφών ενέργειας. Η χώρα μας διαθέτει εξαιρετικά πλούσιο αιολικό δυναμικό και η αιολική ενέργεια μπορεί αν γίνει σημαντικός μοχλός ανάπτυξής της. Το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύει το 13,6% του συνόλου των ηλεκτρικών αναγκών της χώρας [50]. Η δε εγκατεστημένη αιολική ισχύς στην Ελλάδα ανέρχεται αυτή την στιγμή στα 1087 MW (τέλος του 2009) [17].



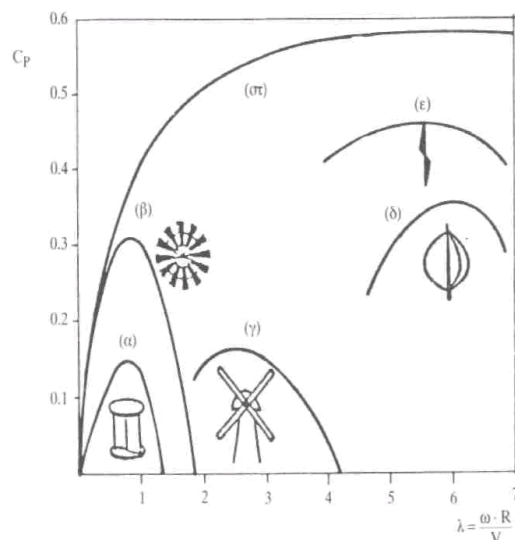
**ΕΙΚΟΝΑ 46:** Διάταξη εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας [2]

### 3.3 Βαθμός Απόδοσης Ανεμογεννήτριας [1,2]

Ο βαθμός απόδοσης  $C_p$  που χαρακτηρίζει τους ανεμοκινητήρες και που ονομάζεται και συντελεστής ισχύος ορίζεται ως: 
$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho A V^3}$$

Όπου  $P$  η ισχύς που αποδίδεται από την ανεμογεννήτρια και στον παρανομαστή είναι η ισχύς που έχει ο άνεμος ταχύτητας  $V$  που περνάει από επιφάνεια  $A$ . ( $\rho$ : η πυκνότητα του ανέμου). Αυτό που είναι σημαντικό είναι ότι η ισχύς του ανέμου ανά τετραγωνικό μέτρο μετωπικής επιφάνειας της ανεμογεννήτριας είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του ανέμου. Ο συντελεστής ισχύος  $C_p$  εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της μηχανής και είναι συνάρτηση της αδιάστατης ταχύτητας ακροπτερυγίου  $\lambda$ : 
$$\lambda = \frac{\omega R}{V}$$

Όπου  $\omega$  η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα,  $R$  η ακτίνα του και  $V$  η ταχύτητα ακροπτερυγίου.



**ΕΙΚΟΝΑ 47:** Συντελεστής ισχύος για διάφορα είδη ανεμογεννητριών [2]

Στο παραπάνω σχήμα δίνονται τυπικές καμπύλες του συντελεστή ισχύος για

διάφορα είδη μηχανών. Φαίνεται καθαρά ότι οι σύγχρονες μηχανές υπερέρχουν των παραδοσιακών, διότι παρουσιάζουν μεγαλύτερους συντελεστές ισχύος και μάλιστα για μεγάλη περιφερειακή ταχύτητα δρομέα.

### **3.4 Αύξηση Ταχύτητας Ανέμου με το Ύψος**

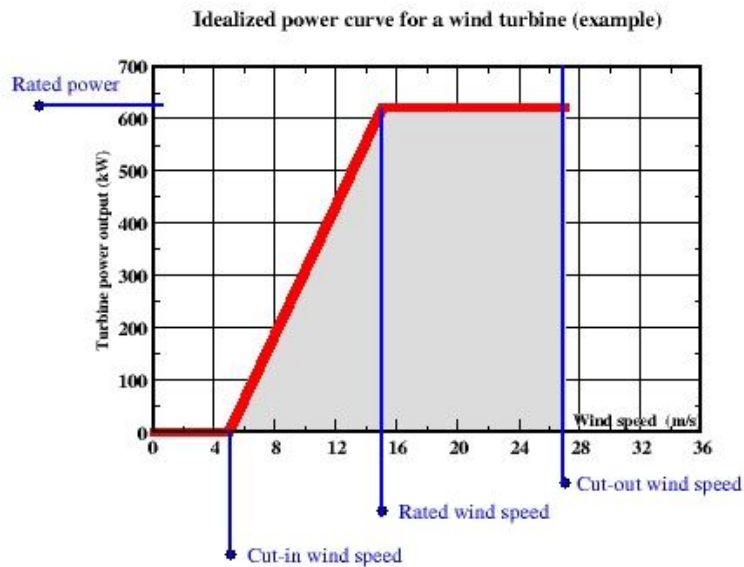
Η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει με το ύψος και γι αυτό οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται πάντα στην κορυφή υψηλών πύργων στήριξης. Για παράδειγμα η εγκατάσταση μιας γεννήτριας 10 kw σε ένα πύργο ύψους 30 m παρά ένα πύργο 18 m προκαλεί μια αύξηση 10% στο κόστος του συστήματος αλλά μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της παραγόμενης ενέργειας κατά 29% [58]. Για διάφορα ύψη  $h$  από το

έδαφος η ταχύτητα μεταβάλλεται με το ύψος με βάση τον εκθετικό νόμο  $\frac{U_h}{U_{10}} = \left(\frac{h}{10}\right)^a$

όπου  $U_{10}$  η μετρούμενη ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 10 m ενώ μία τυπική τιμή του εκθέτη  $a$  για την τοπογραφία του ελληνικού χώρου είναι 0,17 [2]. Παρ' όλα όπως έδειξε ο Albert Betz το 1928, το μέγιστο ποσοστό ισχύος που μπορεί να δεσμευτεί θεωρητικά από μία ιδανική έλικα είναι 59,3% [2].

### **3.5 Καμπύλη Ισχύος [1,2]**

Η παραγωγή ισχύος μίας ανεμογεννήτριας μεταβάλλεται με την ταχύτητα του ανέμου, και κάθε μηχανή χαρακτηρίζεται από την καμπύλη ισχύος της, που εξαρτάται από τα γεωμετρικά της χαρακτηριστικά και τον σχεδιασμό της. Η καμπύλη ισχύος μίας ανεμογεννήτριας χαρακτηρίζεται από την ταχύτητα έναρξης λειτουργίας της ( $V_{cut-in}$ ), όπου η ανεμογεννήτρια ξεκινάει να παράγει ισχύ, την ταχύτητα διακοπής λειτουργίας ( $V_F$ ), όπου η μηχανή τίθεται εκτός λειτουργίας για να προστατευθεί από τον πολύ δυνατό άνεμο, και την ονομαστική ταχύτητα ( $V_R$ ), που είναι η μικρότερη ταχύτητα για την οποία η μηχανή παράγει την ονομαστική της ισχύ ( $P_R$ ). Στην ονομαστική ισχύ, η ανεμογεννήτρια παρέχει την μέγιστη ροπή [2].



**EIKONA 48:** Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας

<http://www.windatlas.ca/en/powercurve-v3.jpg>

### 3.6 Παραγωγή Ενέργειας [1,2]

Όπως γίνεται αντιληπτό οι ανεμογεννήτριες δεν μπορούν να παράγουν όση ενέργεια θα θέλαμε και όση δηλώνει η ονομαστική τους ισχύς διότι πολλές ώρες ετησίως λειτουργούν μακριά από αυτήν. Η παραγόμενη ενέργεια μιας αιολικής μηχανής εξαρτάται τόσο από την καμπύλη ισχύος της μηχανής όσο και από το ρόδο του ανέμου στην περιοχή (η συχνότητα εμφάνισης κάθε κατεύθυνσης). Για κάθε ταχύτητα ανέμου εντός των ορίων λειτουργίας της ανεμογεννήτριας (ανάμεσα στην ταχύτητα έναρξης λειτουργίας  $V_{cut-in}$  και την ταχύτητα διακοπής λειτουργίας  $V_F$ ), η παραγόμενη ενέργεια προκύπτει από το γινόμενο του αριθμού εμφάνισης της συγκεκριμένης ταχύτητας ετησίως με την ταχύτητα που αντιστοιχεί (για δεδομένη καμπύλη ισχύος). Με αυτό τον τρόπο μπορεί κάποιος να φτιάξει την καμπύλη της κατανομής της παραγόμενης ενέργειας. Η συνολική ετήσια ενέργεια προκύπτει από το άθροισμα της παραγόμενης ενέργειας για όλες τις ταχύτητες ανέμου που έχουμε λειτουργία. Η ετήσια παραγόμενη ενέργεια συνδέεται με τη μέση ετήσια ισχύ μέσω

της σχέσης:  $E = 8760 \overline{P}_g$

Πρόσθετοι παράγοντες που επηρεάζουν την παραγόμενη ενέργεια είναι η διαθεσιμότητα της μηχανής, οι απώλειες μεταφοράς και ο βαθμός απόδοσης του αιολικού πάρκου.

Η διαθεσιμότητα εκφράζει το ποσοστό του χρόνου που είναι διαθέσιμη η ανεμογεννήτρια να λειτουργήσει και εκφράζεται με τον συντελεστή διαθεσιμότητας ΣΔ. Να υπογραμμισθεί ότι ο συντελεστής διαθεσιμότητας δεν σχετίζεται με το αιολικό δυναμικό, αλλά το ποσοστό του χρόνου που προορίζεται για συντήρηση. Στο σύνολο του έτους υπάρχουν προγραμματισμένες εργασίες συντήρησης που πρέπει να γίνουν, αλλά υπάρχει περίπτωση να σημειωθεί και κάποια βλάβη, οπότε αναγκαστικά μένει εκτός λειτουργίας η μηχανή μέχρι να επισκευαστεί. Τυπικές τιμές του είναι 0,90-0,98. Σε περιοχές με καλή παροχή υπηρεσιών και εύκολη πρόσβαση στο πάρκο, η συντήρηση, επιδιόρθωση πιθανών βλαβών και παραλαβή των αναγκαίων ανταλλακτικών μπορεί να είναι άμεση, οπότε ο συντελεστής διαθεσιμότητας είναι ιδιαίτερα υψηλός. Το αντίθετο συμβαίνει σε απομονωμένες περιοχές. Ο βαθμός απόδοσης αιολικού πάρκου, εκφράζει τις απώλειες που έχουμε λόγω αλληλεπίδρασης ανεμογεννητριών σε αιολικά πάρκα και οφείλεται κατά κύριο λόγο στο έλλειμμα της ταχύτητας που παρουσιάζεται στο ομόρου της ανεμογεννήτριας.

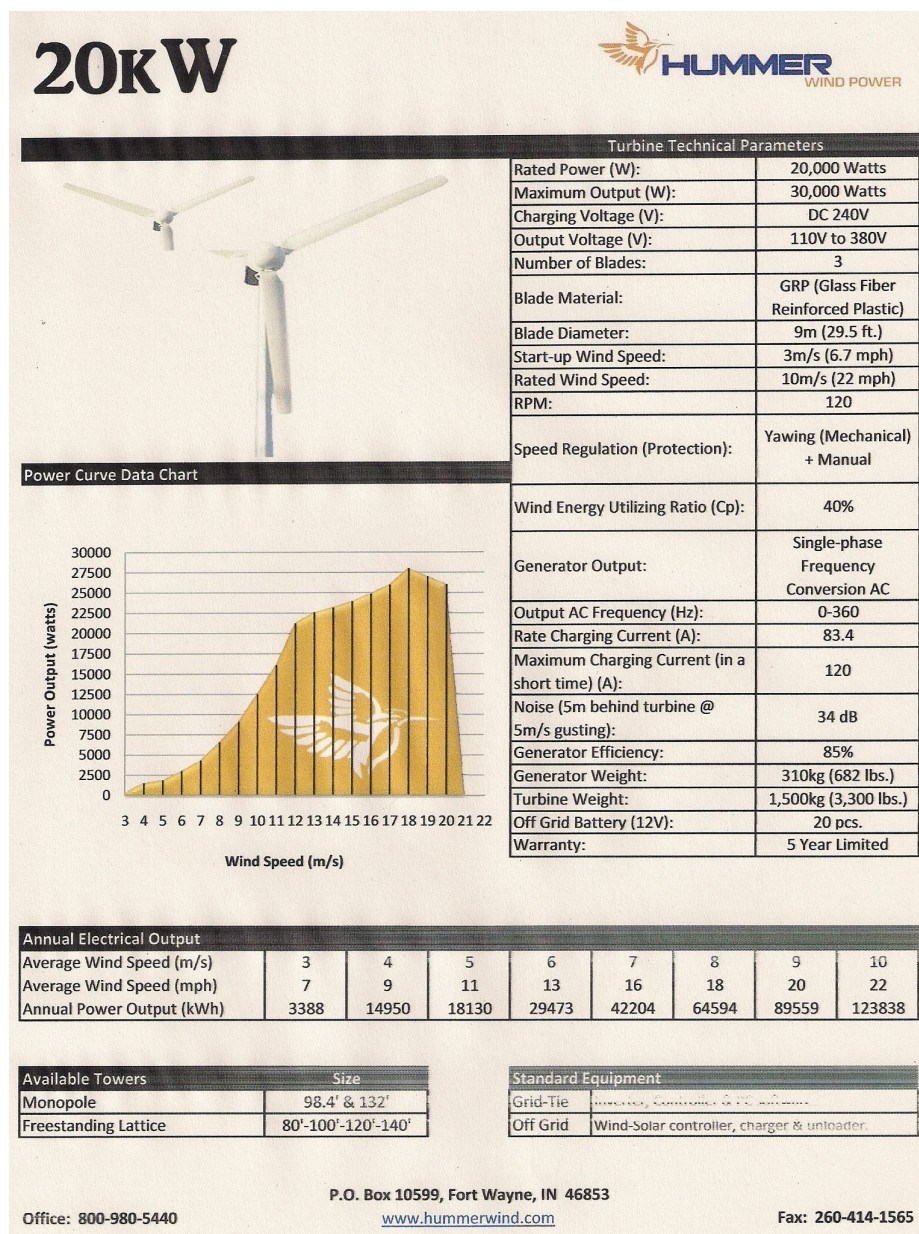
### **3.7 Συντελεστής Εκμεταλλευσιμότητας [1,2]**

Ο συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας της ανεμογεννήτριας ορίζεται ως:

$CF = \frac{E}{E_R} = \frac{\overline{P}}{P_R}$  και ουσιαστικά υποδηλώνει την ποιότητα σχεδίασης και κατασκευής της μηχανής σε σχέση με το αιολικό δυναμικό της περιοχής. Ο συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας δείχνει πόση ενέργεια παράγεται πραγματικά ως ποσοστό της ενέργειας που θα παραγόταν αν η αιολική μηχανή ή το πάρκο λειτουργούσαν όλο τον χρόνο, 8760 ώρες, με την ονομαστική τους ισχύ. Ένας ικανοποιητικός συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας είναι της τάξεως από 0,25 μέχρι 0,35.

### 3.8 Πρόταση Εγκατάστασης Ανεμογεννήτριας Ονομαστικής Ισχύος 20 KW

Θα εξετάσουμε την εγκατάσταση μίας ανεμογεννήτριας HUMMER ονομαστικής ισχύος 20 kw της οποίας τα χαρακτηριστικά φαίνονται στην πιο κάτω εικόνα.



**ΕΙΚΟΝΑ 49:** Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας HUMMER 20 kw

([http://www.hummerwind.com/hummer\\_20kw.htm](http://www.hummerwind.com/hummer_20kw.htm))

Όπως βλέπουμε για ετήσια μέση ταχύτητα ανέμου 4m/s η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι 14.950 kwh. Για αυτή την παραγόμενη ενέργεια ο συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας της ανεμογεννήτριας είναι  $CF = \frac{14.950kwh}{20kw \cdot 8760h} = 8,53\%$ . Πολύ χαμηλός σε σχέση με την τιμή του ελάχιστου ορίου 27,5% κάτι το οποίο όπως έχουμε προαναφέρει κάνει το έργο μη βιώσιμο. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνονται και με την χρήση του λογισμικού RETSCREEN όπου βρίσκουμε CF=9% και ετήσια παραγόμενη ενέργεια 15 Mwh.

Σύμφωνα με τον νέο νόμο ΑΠΕ που ψηφίστηκε τον περασμένο Μάιο [91] η τιμή πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από εγκατάσταση αιολικής ενέργειας ισχύος ίσης ή μικρότερης των 50 kw αντιστοιχεί σε 250€/Mwh . Έτσι για τις 15 Mwh που θα παράγουμε τα έσοδα θα είναι 3.750 €/έτος.

Το κόστος εγκατάστασης της εν λόγω ανεμογεννήτριας υπολογίζεται στα 68.000€ συμπεριλαμβανομένου του ΦΠΑ και περιλαμβάνει την αγορά και εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας (34.000€) [59] καθώς και του inverter (34.000€) [59] για την σύνδεση στο δίκτυο.

Το κόστος συντήρησης υπολογίζεται στα 680 €/ έτος (2% επί του κόστους εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας [1]).

### **3.9 Κόστος Παραγόμενης Ενέργειας [1]**

Ένας τρόπος που χρησιμοποιείται ευρύτατα για να διαπιστωθεί κατά πόσο είναι συμφέρουσα ή όχι η επένδυση σε μία αιολική εγκατάσταση είναι ο υπολογισμός του κόστους της παραγόμενης ενέργειας και η σύγκρισή του με το κόστος των συμβατικών μονάδων [1].

Το κόστος της παραγόμενης ενέργειας EPC (€ ανά kwh) προκύπτει από την

$$\text{σχέση: } EPC = \frac{R \cdot I + M}{EP}$$

Όπου: I είναι το συνολικό κόστος επένδυσης σε ευρώ



**M** το ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας σε ευρώ/έτος

**EP** η ετήσια καθαρή παραγόμενη ενέργεια σε kwh

**R** είναι ο συντελεστής αναγωγής (ετήσια επιβάρυνση κεφαλαίου) που ορίζεται

$$\omega\varsigma: R = \frac{i}{1 - (1+i)^{-n}}$$

Όπου **i** είναι το επιτόκιο αναγωγής και **n** ο χρονικός ορίζοντας της επένδυσης.

Έτσι για  $n=20$  χρόνια και  $i=8\%$  ο συντελεστής αναγωγής προκύπτει  $R=0,102$ .

Και για  $I=68.000\text{€}$  ,  $M=680 \text{ €/έτος}$  και  $EP=14.950 \text{ kwh}$  το κόστος της παραγόμενης ενέργειας προκύπτει:  $EPC=0,509 \text{ €/kwh}$ .

Επομένως προκύπτει ότι η συγκεκριμένη επένδυση είναι μη συμφέρουσα αφού η τιμή που αγοράζουμε την ενέργεια από την ΔΕΗ είναι  $0,122 \text{ €/kwh}$ .





## Κεφάλαιο 4°

### ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΚΤΙΡΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ

#### 4.1 Γενικά περί Κατανάλωσης Ενέργειας στα Κτίρια

Ο κτιριακός τομέας καταναλώνει περίπου το 1/3 των συνολικών ενεργειακών πόρων στη χώρα, ενώ συμβάλλει κατά 40% στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα [52]. Στην Ελλάδα οι ανάγκες για θέρμανση των κατοικιών ανέρχονται περίπου στο 70% της συνολικής ενεργειακής τους κατανάλωσης [12]. Η κατανάλωση ενέργειας για τις οικιακές συσκευές, το φωτισμό και τον κλιματισμό ανέρχεται στο 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου. Οι κατοικίες με κεντρικό σύστημα θέρμανσης, το οποίο χρησιμοποιεί ως καύσιμο αποκλειστικά το πετρέλαιο αντιστοιχούν στο 35,5% του συνόλου. Το υπόλοιπο 64% είναι αυτόνομα θερμαινόμενες κατοικίες που χρησιμοποιούν σε ποσοστό 25% πετρέλαιο, 12% ηλεκτρισμό και 18% καυσόξυλα [12].

Η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια στην Ελλάδα παρουσιάζει αυξητική τάση, λόγω της αύξησης της χρήσης κλιματιστικών και μικροσυσκευών. Η χρήση των κλιματιστικών αποτελεί σημαντικό παράγοντα αύξησης του ηλεκτρικού φορτίου αιχμής στη χώρα, με τεράστιες οικονομικές συνέπειες και σημαντική επιβάρυνση του καταναλωτή [12].

Επί πλέον τα κλιματιστικά επιδεινώνουν το φαινόμενο της υπερθέρμανσης των αστικών κέντρων και τις συνεπαγόμενες δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν το καλοκαίρι [12].

Η εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτίριο εξασφαλίζεται εν μέρει με τον κατάλληλο σχεδιασμό του κτιρίου και τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών δομικών στοιχείων και συστημάτων και εν μέρει μέσω της υψηλής αποδοτικότητας των εγκατεστημένων ενεργειακών συστημάτων η οποία προϋποθέτει την άριστη ποιότητα του σχετικού εξοπλισμού και της

εγκατάστασής του καθώς και των σχετικών τεχνικών μελετών που τον προδιαγράφουν [12].

**Οι επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας σε ένα κτίριο μπορεί να αφορούν [12]:**

**α.** Το κτιριακό κέλυφος (π.χ. θερμομόνωση, διπλά τζάμια στα παράθυρα, κατάλληλα συστήματα ανοιγμάτων, παθητικά ηλιακά συστήματα).

**β.** Τον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου (π.χ. χρήση βλάστησης).

**γ.** Τις εγκαταστάσεις θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού, ζεστού νερού και τις ηλεκτρικές συσκευές (πχ ρύθμιση θερμοστατών στους 19° C, τακτική συντήρηση και ρύθμιση του καυστήρα, αντικατάσταση παλαιών λεβήτων θέρμανσης με νέους σύγχρονης τεχνολογίας, αποφυγή χρήσης ηλεκτρικών θερμαντικών σωμάτων, εγκατάσταση ηλιακών θερμοσιφώνων, χρησιμοποίηση των πιο αποδοτικών ενεργειακά οικιακών ηλεκτρικών συσκευών).

**δ.** Την ορθολογική χρήση του κτιρίου και την αξιοποίηση των δομικών του στοιχείων (π.χ. ενεργειακή διαχείριση, φυσικός αερισμός, αξιοποίηση της θερμικής μάζας) .

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τεχνικές μείωσης θερμικών φορτίων κατά την θερινή περίοδο, το κόστος τους καθώς και το κέρδος σε εξοικονόμηση ενέργειας που θα έχουμε:

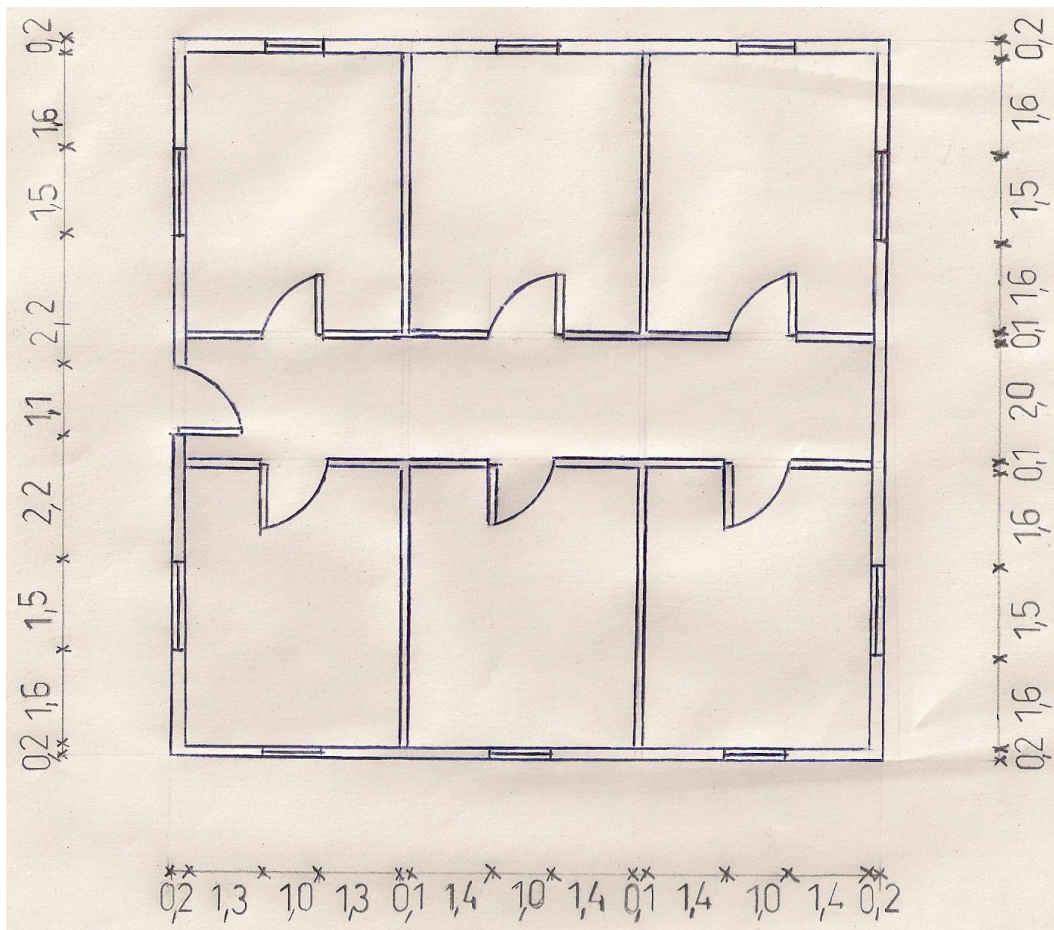
<b>Πεδίο χειρισμού</b>	<b>Περιγραφή της επέμβασης</b>	<b>Κόστος</b>	<b>Κέρδος</b>
<b>Λειτουργική διαχείριση</b>	Ρύθμιση της εσωτερικής θερμοκρασίας σε κάθε χώρο	Μηδενικό	0% - 6%
	Αύξηση της επιθυμητής θερμοκρασίας χώρου (π.χ. 27 °C αντί 25 °C)	Μηδενικό	4% - 8%
	Αύξηση της επιθυμητής σχετικής υγρασίας χώρου (π.χ. 60-55% αντί 50%)	Μηδενικό	1% - 5%
	Ορθή χρήση των φωτιστικών στοιχείων και των ηλεκτρικών συσκευών	Μηδενικό	3% - 7%
	Ορθή διαχείριση των εξωτερικών παραθύρων και παραθυρόφυλλων	Μηδενικό	0% - 5%

<b>Μείωση των εσωτερικών θερμικών κερδών</b>	Ρύθμιση του συστήματος φωτισμού με λαμπτήρες πυρακτώσεως (μεταβολή της έντασης, αισθητήρες ανίχνευσης ανθρώπων, κλπ.)	Χαμηλό	4% - 6%
	Ρύθμιση του συστήματος φωτισμού με λαμπτήρες φθορισμού (μεταβολή της έντασης, αισθητήρες ανίχνευσης κίνησης, κλπ.)	Χαμηλό	2% - 4%
	Χρήση συσκευών φωτισμού χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης (π.χ. λαμπτήρων φθορισμού αντί λαμπτήρων πυρακτώσεως)	Μεσαίο	10% - 13%
<b>Επεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος</b>	Εσωτερικές κατασκευές σκίασης	Χαμηλό	2% - 5%
	Εξωτερικές κατασκευές σκίασης	Μεσαίο	8% - 19%
	Τοποθέτηση κάθετων (0,6m) σκιάστρων	Υψηλό	2% - 18%
	Τοποθέτηση οριζόντιων (1,5m) σκιάστρων	Υψηλό	1% - 9%
	Τοποθέτηση οριζόντιων (0,6m) σκιάστρων	Υψηλό	2% - 8%
	Τοποθέτηση ανακλαστικών διπλών τζαμιών	Υψηλό	4% - 7%
	Τοποθέτηση αντανακλαστικής μεμβράνης στα τζάμια	Μεσαίο	3% - 11%
	Βάψιμο των εξωτερικών τοίχων με ανοιχτά χρώματα χαμηλής απορρόφησης	Χαμηλό	1% - 8%
	Επίστρωση μόνωσης των περιμετρικών τοίχων	Υψηλό	0,6% - 1%
	Τοποθέτηση αεριζόμενων κοίλων τοίχων	Υψηλό	0,2% - 0,6%
	Μόνωση στέγης	Μεσαίο	3% - 6%
	Τοποθέτηση κατασκευών σκίασης στη οροφή	Υψηλό	2% - 8%
	Αεριζόμενη στέγη	Υψηλό	4% - 15%
<b>Επεμβάσεις στην εγκατάσταση</b>	Εγκατάσταση μονάδας ανάκτησης θερμότητας από τον απορριπτόμενο αέρα	Υψηλό	2% - 4%
	Πραγματοποίηση ελεύθερου δροσισμού και νυχτερινού αερισμού	Μεσαίο	4% - 8%
	Εγκατάσταση συστημάτων ρύθμισης αποδοτικότητας	Υψηλό	2% - 8%
	Εγκατάσταση ακτινοβόλων τερματικών (ψυχρές οροφές, ψυχρές δοκοί, κλπ.)	Υψηλό	2% - 8%

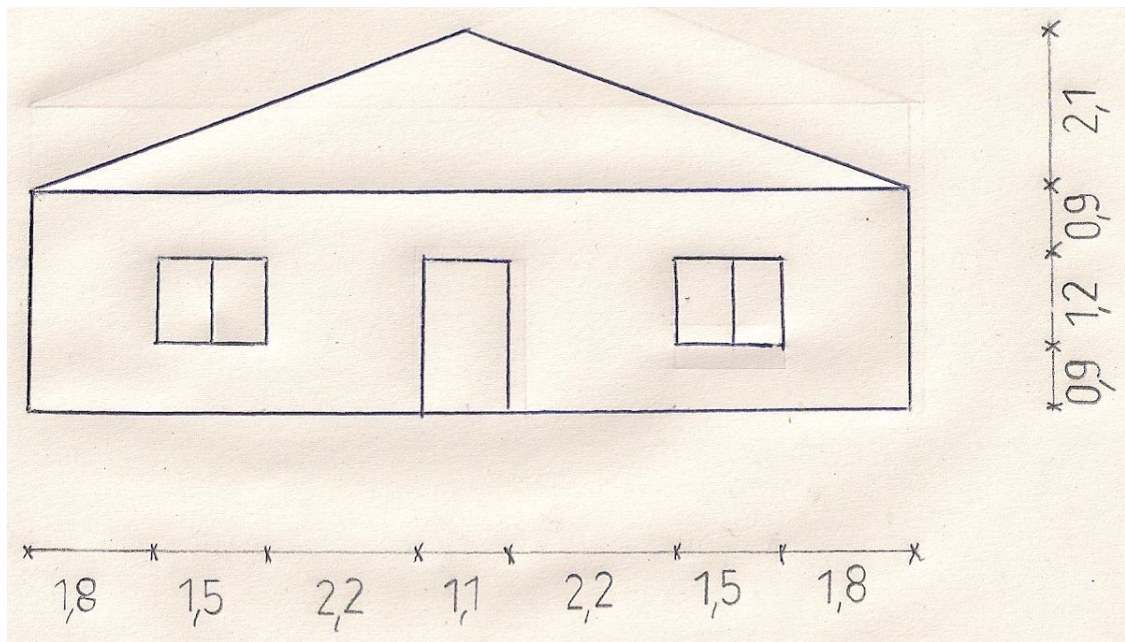
**ΠΙΝΑΚΑΣ 22: Τεχνικές μείωσης θερμικών φορτίων κατά την θερινή περίοδο**  
[http://www.cres.gr/kape/education/solar\\_cooling\\_brochure-SMALL.pdf](http://www.cres.gr/kape/education/solar_cooling_brochure-SMALL.pdf)

## 4.2 Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών Διοικητηρίου 3<sup>ου</sup> ΤΥΛ

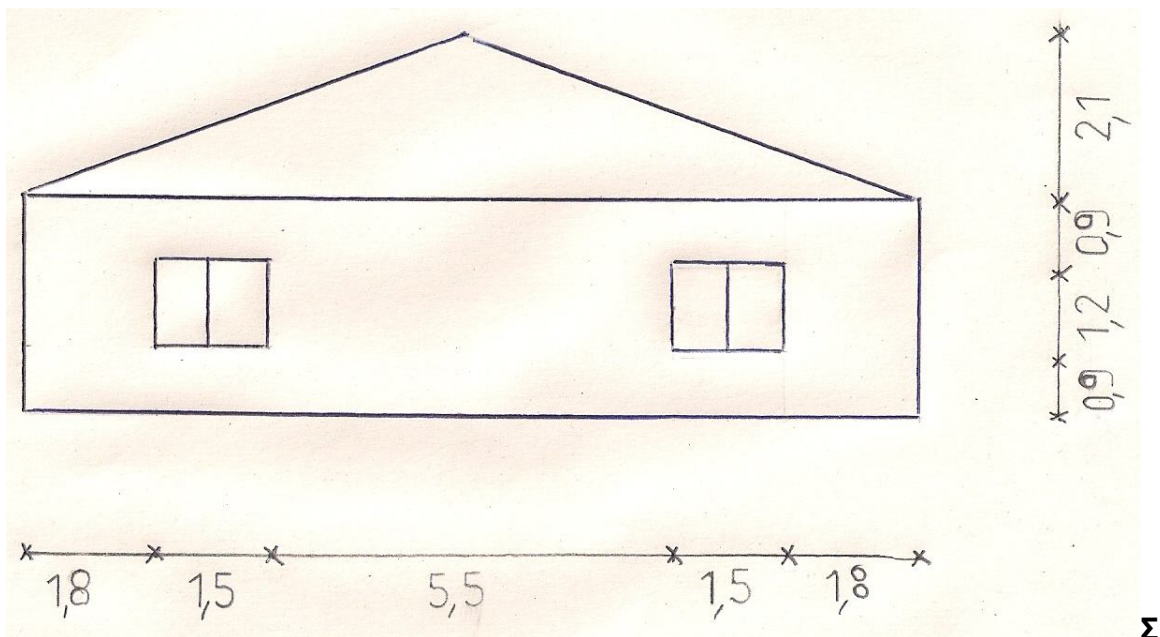
Στην ενότητα αυτή θα υπολογιστούν οι θερμικές απώλειες του Διοικητηρίου του 3ου ΤΥΛ χωρίς μόνωση (παρούσα κατάσταση) αλλά και με μόνωση (υποθετικό σενάριο) με σκοπό να δειχτεί η οικονομία στην ενέργεια που επιτυγχάνεται για την θέρμανση ενός χώρου εάν αυτός είναι θερμομονωμένος. Το διοικητήριο του 3<sup>ου</sup> ΤΥΛ είναι ένα ισόγειο κτίριο εμβαδού 141,6 m<sup>2</sup> το οποίο αποτελείται από 6 γραφεία. Από τις διάφορες μεθοδολογίες υπολογισμού θερμικών απωλειών (DIN, ASHRAE, ISO κα) στην Ελλάδα έχει επικρατήσει αυτή που βασίζεται στους Γερμανικούς Κανονισμούς (Deutsche Industrie Normes) DIN 4701. Έτσι ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών θα γίνει σύμφωνα με την μέθοδο DIN 4701/77



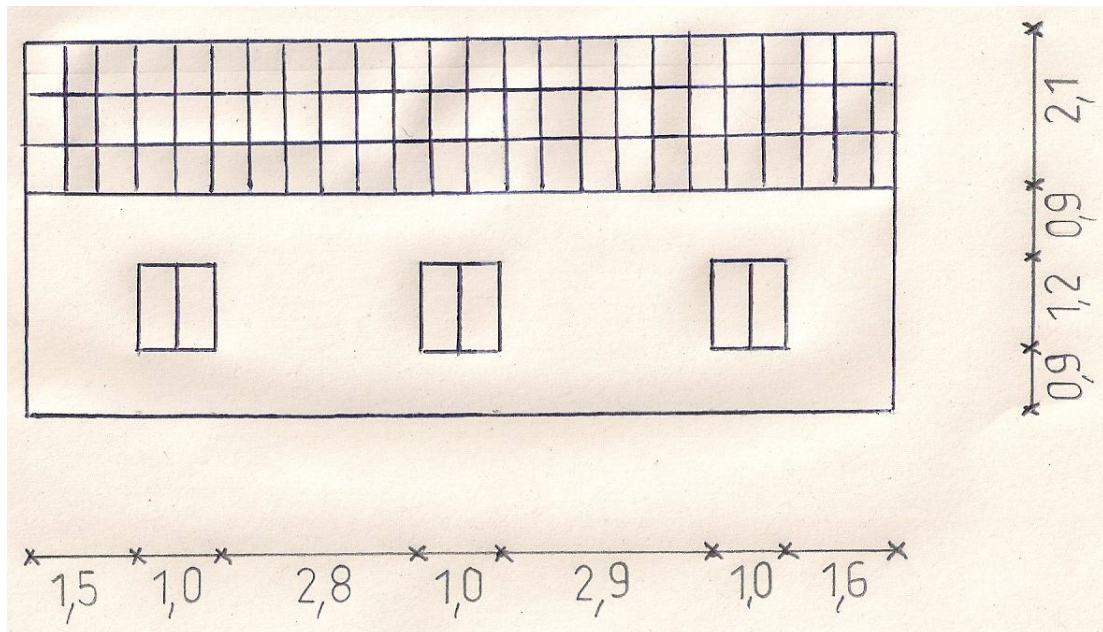
**ΣΧΕΔΙΟ 1:** Κάτοψη Διοικητηρίου 3<sup>ου</sup> ΤΥΛ



**ΣΧΕΔΙΟ 2:** Αριστερή Πλάγια Όψη Διοικητηρίου 3<sup>ου</sup> ΤΥΛ



**ΣΧΕΔΙΟ 3:** Δεξιά Πλάγια Όψη Διοικητηρίου 3<sup>ου</sup> ΤΥΛ



**ΣΧΕΔΙΟ 4:** Πρόσοψη Διοικητηρίου 3<sup>ου</sup> ΤΥΛ

#### **4.2.1 Υπολογισμός Θερμικών Απωλειών κατά DIN 4701/77.**

Οι θερμικές απώλειες ενός κτιρίου συνίστανται από τις απώλειες θερμοπερατότητας και τις απώλειες διείδυσης αέρα ή αερισμού [19].

#### **A. Απώλειες Θερμοπερατότητας [19]**

Αυτές προέρχονται από το κέλυφος του κτιρίου δηλαδή τους τοίχους, τα ανοίγματα (πόρτες, παράθυρα), τα δάπεδα και τις οροφές. Οι απώλειες θερμοπερατότητας ενός δομικού στοιχείου υπολογίζονται από τη σχέση:

$$Q = k \cdot F \cdot (t_i - t_a) \text{ (Kcal/h)}$$

Όπου:

**F** (m<sup>2</sup>) είναι το εμβαδόν του στοιχείου.

**t<sub>i</sub>** (°C) είναι η εσωτερική θερμοκρασία του χώρου.



Στον πίνακα 4 φαίνονται οι εσωτερικές θερμοκρασίες υπολογισμού ανάλογα με την χρήση του χώρου.

Χώροι	°C
<b>1. Κατοικίες</b>	
Καθημερινά, Υπνοδωμάτια, Κουζίνες	20
Προθάλαμοι, Διάδρομοι, WC	15
Κλιμακοστάσια	10
Λουτρά	32
<b>2. Καταστήματα και Γραφεία</b>	
Καταστήματα, Γραφεία, Εστιατόρια, δωμάτια ξενοδοχείων	20
Κλιμακοστάσια, διάδρομοι, WC	15
<b>3. Εκπαιδευτικά κτίρια</b>	
Αίθουσες Διδασκαλίας	20
Χώροι Εργαστηρίων	15 έως 18
Αμφιθέατρα	18
Κλειστά Γυμναστήρια	15
Αίθουσες λουτρών, αποδυτήρια	22
Διάδρομοι, κλιμακοστάσια, κλειστές αίθουσες διαλειμμάτων, WC	5 έως 10
Διάδρομοι, κλιμακοστάσια και WC νηπιαγωγείων	15
Ιατρεία	24
Χώροι διαφυλάξεως οργάνων και βεσιτάρια	15

**ΠΙΝΑΚΑΣ 23:** Εσωτερικές Θερμοκρασίες Διαφόρων Χώρων  
(<http://www.4m.gr/support/webhelpapol/methodgen.htm>)

$t_a$  (°C) είναι η θερμοκρασία στην εξωτερικής πλευρά του στοιχείου, δηλαδή:

Στην περίπτωση εξωτερικού στοιχείου, η εξωτερική θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Στην περίπτωση εσωτερικού στοιχείου προς μη θερμαινόμενο χώρο, η θερμοκρασία του μη θερμαινόμενου χώρου.

Στην περίπτωση δαπέδου ή στοιχείου που έχει επαφή με το έδαφος, ως  $t_a$  λαμβάνεται η θερμοκρασία του εδάφους που θεωρείται σταθερή καθ' όλη την διάρκεια της περιόδου θέρμανσης.

Στην περίπτωση εσωτερικού στοιχείου προς θερμαινόμενο χώρο, διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

Όταν ο θερμαινόμενος χώρος ακολουθεί διαφορετικό χρονοπρόγραμμα θέρμανσης, τότε σαν τα λαμβάνεται η θερμοκρασία μη θερμαινόμενου χώρου.

Όταν ο θερμαινόμενος χώρος ακολουθεί ίδιο χρονοπρόγραμμα θέρμανσης, τότε σαν τα θεωρείται η εσωτερική θερμοκρασία του χώρου, οπότε οι απώλειες θερμοπερατότητας του στοιχείου μηδενίζονται.

$k$  ( $\text{kcal/h}\cdot\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$ ) είναι ο συντελεστής θερμικής διαπερατότητας του στοιχείου.

Ο συντελεστής θερμοπερατότητας υπολογίζεται ως εξής:

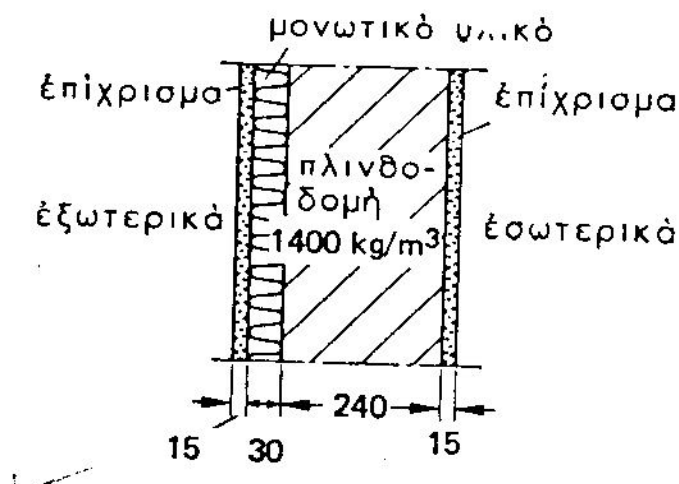
$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{\sum d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a}$$

$\alpha_i$ = εσωτερικός συντελεστής μετάβασης θερμότητας σε  $\text{W/m}^2\text{K}$

$\alpha_a$ = εξωτερικός συντελεστής μετάβασης θερμότητας σε  $\text{W/m}^2\text{K}$

$\lambda$ = συντελεστής θερμοαγωγιμότητας δομικού υλικού σε  $\text{W/mK}$

$d$  = πάχος δομικού υλικού σε  $\text{m}$



**EIKONA 50:** Παράδειγμα εξωτερικού τοίχου με μόνωση

<http://www.arch.auth.gr>

Παράδειγμα υπολογισμού συντελεστή αντίστασης θερμοπερατότητας  $R = 1/k$  για τα

κάτωθι δεδομένα:

$$1/\alpha_a = 0,05 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\lambda(\text{εξ.επ.}) = 1,4 \text{ W/mK}$$

$$\lambda(\text{μον.}) = 0,04 \text{ W/mK}$$

$$\lambda(\text{πλινθ.}) = 0,61 \text{ W/mK}$$

$$\lambda(\text{εσ.επ.}) = 0,7 \text{ W/mK}$$

$$1/\alpha_i = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\frac{1}{k} = 0,05 + \frac{0,015}{1,4} + \frac{0,03}{0,04} + \frac{0,24}{0,61} + \frac{0,015}{0,7} + 0,13 = 1,355 \text{ m}^2\text{K/W} \Rightarrow k = 0,737 \text{ W /m}^2\text{K}$$

Είδος Επιφάνειας	K (kcal/h·m <sup>2</sup> · °C)
Απλό τζάμι με ξύλινο πλαίσιο	4
Διπλό τζάμι με ξύλινο πλαίσιο διακένου 12 mm	2,6
Μαρμάρινο δάπεδο χωρίς μόνωση	2
Μαρμάρινο δάπεδο με μόνωση	0,6
Στέγη αμόνωτη με κεραμίδια	1,6
Στέγη μονωμένη με κεραμίδια	0,4
Πόρτα ξύλινη χωρίς τζάμι	3
Πόρτα μεταλλική χωρίς τζάμι	5
Εσωτερικός τοίχος από τούβλα με σοβάντισμα και στις 2 μεριές	2
Εξωτερικός τοίχος από τούβλα με σοβάντισμα και στις 2 μεριές	1,6
Εξωτερικός τοίχος από τούβλα 20 cm με μόνωση 5 cm	0,6

**ΠΙΝΑΚΑΣ 24:** Διάφοροι Συντελεστές Θερμοπερατότητας

(<http://www.4m.gr/support/webhelpapol/methodgen.htm>)

Για τον υπολογισμό των απωλειών λόγω θερμοπερατότητας ενός στοιχείου υπολογίζονται και οι προσαυξήσεις. Αυτές είναι:

**1. Προσαύξηση λόγω προσανατολισμού (Z<sub>h</sub>).** Το Z<sub>h</sub> παίρνει τις ακόλουθες τιμές:

-5 για Ν, ΝΔ, ΝΑ

+5 για Β, ΒΔ, ΒΑ

0 για Δ και A

## 2. Προσαύξηση λόγω διακοπής λειτουργίας.

Ο συντελεστής προσαύξησης λόγω διακοπής λειτουργίας (Zd) υπολογίζεται:

Με βάση την τιμή D από τον τύπο:  $D = \frac{Q_o}{F_{ges} \cdot \Delta t}$ , όπου Fges η συνολική επιφάνεια που περιβάλλει τον χώρο και Δt η διαφορά θερμοκρασίας (ti-ta).

Και με βάση τις ώρες λειτουργίας του συστήματος θέρμανσης μέσω του παρακάτω πίνακα:

Τρόπος Λειτουργίας	Zd			
	0 ώρες διακοπής	7	7	7
8-12 ώρες διακοπής	20	15	15	15
12-16 ώρες διακοπής	30	25	20	15
Τιμή D	0.1 - 0.29	0.30 - 0.69	0.70 - 1.49	> 1,50

**ΠΙΝΑΚΑΣ 25:** Υπολογισμός συντελεστή προσαύξησης λόγω διακοπής λειτουργίας (Zd) (<http://www.4m.gr/support/webhelpapol/methodgen.htm>)

Επομένως οι απώλειες θερμοπερατότητας (με τις προσαυξήσεις) είναι:

$$Q_T = Q_o \cdot (1 + Z_h + Z_d) = Q_o \cdot Z \quad [19].$$

## **B. Απώλειες Διείσδυσης Αέρα ή Αερισμού (Q<sub>L</sub>) [19]**

Αυτές προέρχονται από την εναλλαγή αέρα με το εξωτερικό περιβάλλον. Υπολογίζονται :

1. Στην περίπτωση που υπάρχει εξαερισμός,  $Q_L = V \cdot \rho \cdot c \cdot (t_i - t_a)$  (kW).

**Όπου:**

**V** ο όγκος εισερχομένου αέρα σε m<sup>3</sup>/s

$\rho$  η πυκνότητα του αέρα σε  $\text{kg/m}^3$

$c$  η ειδική θερμότητα του αέρα σε  $\text{kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$

$(t_i - t_a)$  η διαφορά εσωτερικής - εξωτερικής θερμοκρασίας

2. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει εξαερισμός, τότε υπολογίζονται οι απώλειες από τις χαραμάδες οι οποίες οφείλονται στην διαφορά εσωτερικής – εξωτερικής πίεσης που προκαλεί την διείσδυση του αέρα. Ο τύπος υπολογισμού των απωλειών από τις χαραμάδες είναι:

$$Q_{Ai} = \alpha \cdot \Sigma l \cdot R \cdot H \cdot \Delta t \cdot Z\Gamma \text{ για κάθε άνοιγμα}$$

Όπου:

$\alpha$ : Διείσδυση αέρα ανά περίμετρο ανοίγματος ( $\text{m}^3/\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{Pa}$ )

$\Sigma l$ : Συνολική περίμετρος ανοίγματος (σε m)

$R$ : Συντελεστής διεισδυτικότητας.

$H$ : Συντελεστής θέσης και ανεμόπτωσης

$\Delta t$ : Διαφορά θερμοκρασίας (σε βαθμούς  $^\circ\text{C}$ )

$Z\Gamma$ : Συντελεστής γωνιακών παραθύρων (στην περίπτωση γωνιακών παραθύρων παίρνει την τιμή 1.2 αντί της κανονικής τιμής 1).

Είδος Ανοίγματος		$\alpha$
Άνοιγμα ξύλινο ή πλαστικό	Απλό	3,0
	Διπλό	2,0
Άνοιγμα μεταλλικό	Απλό	1,5
	Διπλό	1,2
Εσωτερική πόρτα	Στεγανή	1,5
	Μη στεγανή	4,0

**ΠΙΝΑΚΑΣ 26:** Συντελεστές διείσδυσης αέρα ανοιγμάτων α

<http://www.4m.gr/support/webhelpapol/methodgen.htm>

Τοποθεσία	Θέση	Άνεμος (m/sec)	Συνεχόμενο Κτίριο	Μεμονωμένο Κτίριο
Συνήθης	Προστατευμένη	4	0,24	0,34
	Εκτεθειμένη	6	0,41	0,58
	Πολύ Εκτεθειμένη	8	0,60	0,84
Ευάλωτη σε ανέμους	Προστατευμένη	6	0,41	0,58
	Εκτεθειμένη	8	0,60	0,84
	Πολύ Εκτεθειμένη	0	0,82	1,14
	Εξαιρετικά Εκτεθειμένη	2	1,04	1,45

**ΠΙΝΑΚΑΣ 27:** Τιμές χαρακτηριστικών αριθμών κτιρίου Η ανάλογα με την θέση και την ανεμόπτωση (<http://www.4m.gr/support/webhelpapol/methodgen.htm>)

Υλικό Παραθύρου	Εσωτερικές Πόρτες	Επιφάν. Παραθύρου/ Εσωτ.Πόρτα	R
Ξύλο ή πλαστικό	Μη Στεγανές	< 3,0	0,9
	Στεγανές	< 1,5	0,9
Μέταλλο	Μη Στεγανές	< 6,0	0,9
	Στεγανές	< 2,5	0,9
Ξύλο ή πλαστικό	Μη Στεγανές	Από 3,0 έως 9,0	0,7
	Στεγανές	Από 1,5 έως 3,0	0,7
Μέταλλο	Μη Στεγανές	Από 6,0 έως 20,0	0,7
	Στεγανές	< 3,0	0,7

**ΠΙΝΑΚΑΣ 28:** Συντελεστές διεισδυτικότητας ανοίγματος (<http://www.4m.gr/support/webhelpapol/methodgen.htm>)

Το σύνολο των θερμικών απωλειών ενός χώρου υπολογίζεται από το άθροισμα των θερμικών απωλειών από θερμοπερατότητα και από διείσδυση αέρα όλων των στοιχείων που περιβάλλουν τον χώρο, δηλαδή:

$$Q_{ολικό} = \Sigma (Q_T + Q_L) [19].$$

#### **4.2.2 Αποτελέσματα Υπολογισμού Θερμικών Απωλειών** **Διοικητηρίου 3<sup>ου</sup> ΤΥΛ**

Εφαρμόζοντας την παραπάνω μέθοδο για καθένα από τα 6 γραφεία και τον διάδρομο με την βοήθεια του excel βρήκαμε ότι χωρίς θερμομόνωση, οι θερμικές απώλειες του κτιρίου είναι 17.041 kcal/h ενώ με θερμομόνωση (σε εξωτερικούς τοίχους, σε οροφή, σε δάπεδο και σε υαλοπίνακες), οι απώλειες αυτές περιορίζονται σε 8.557 kcal/h , δηλαδή περιορίζονται κατά 49,78% , δηλαδή στο μισό!





## Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

### ΓΕΩΘΕΡΜΙΑ

#### 5.1 Εισαγωγή

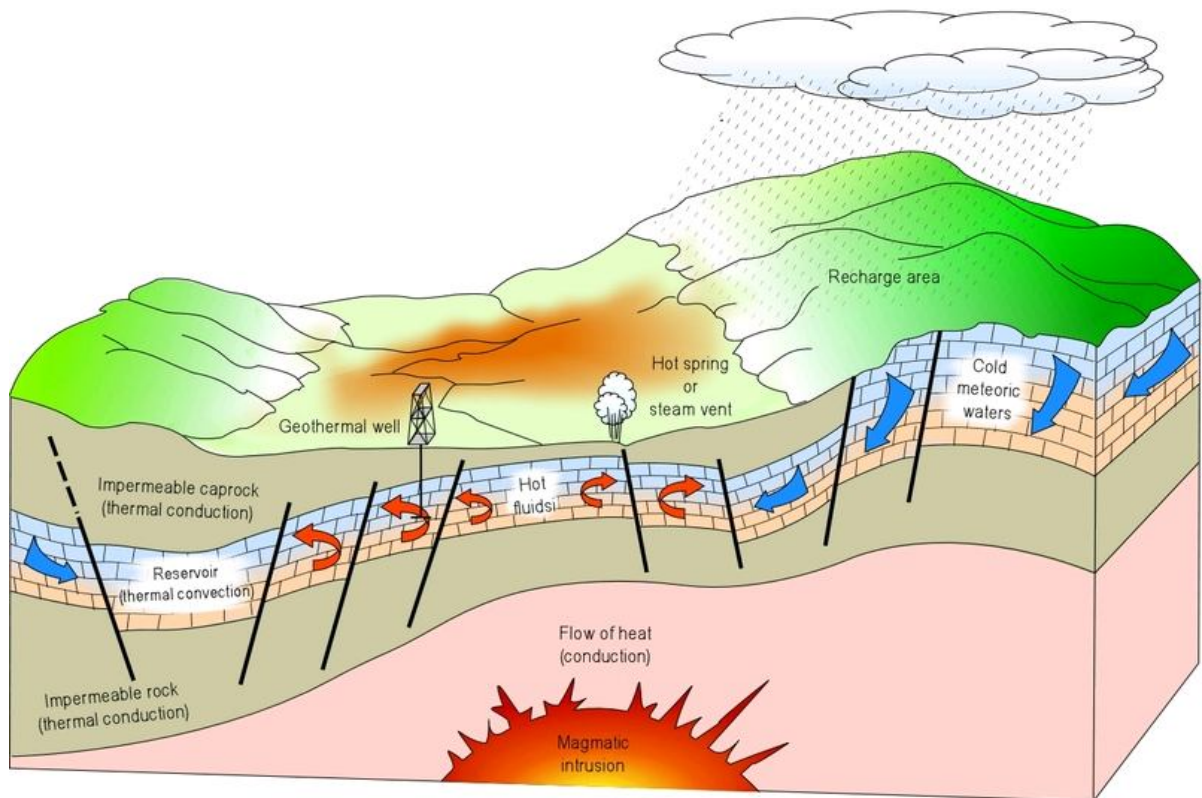
Η γεωθερμική ενέργεια είναι μια φυσική, ήπια και σε σημαντικό βαθμό ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς επιφανειακούς ή υπόγειους ατμούς, με ή χωρίς αέρια, σε θερμά νερά ή σε μίγματα των παραπάνω, καθώς και σε θερμά-ξηρά πετρώματα. Η ενέργεια αυτή είναι εκμεταλλεύσιμη μόνο με την προϋπόθεση ότι οι γεωλογικές συνθήκες σε συνδυασμό με το θερμικό φορτίο, αποτελούν μια βιώσιμη οικονομικά λύση (αξιόλογες ποσότητες ρευστών σε βάθη μέχρι 3000m) [4].

Πιο συγκεκριμένα Γεωθερμία ή Γεωθερμική ενέργεια ονομάζουμε την φυσική θερμική ενέργεια του μάγματος του πυρήνα της Γης που διαρρέει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια, είτε μέσω ηφαιστειακών εκροών, είτε μέσω ρηγμάτων του υπεδάφους που αναβλύζουν ατμούς και θερμό νερό [65].

Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται με δύο τρόπους [64]:

**α)** Με αγωγή θερμότητας από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με ρυθμό 0,06 - 0,08 W/m<sup>2</sup>.

**β)** Με ρεύματα μεταφοράς, (είσοδο στον φλοιό της γης λειωμένου μάγματος από τα βαθύτερα στρώματά της), που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων.



**ΕΙΚΟΝΑ 51:** Ένα γεωθερμικό πεδίο που παράγει ατμό και τα κύρια συστατικά του (Η περιοχή επαναφόρτισης , το μη περατό κάλυμμα, ο ταμιευτήρας ρευστών και η πηγή ενέργειας) (<http://www.geothermal-energy.org/319...html>)

Η θερμοκρασία της γης αυξάνεται με το βάθος (Ήταν ήδη γνωστό από τον 17<sup>ο</sup> αιώνα ότι η θερμοκρασία σε βαθιά ορυχεία είναι μεγαλύτερη από αυτή της επιφάνειας της γης), η μέση δε τιμή της γεωθερμικής βαθμίδας στις ηπείρους για μάζες που βρίσκονται σχετικά κοντά στην επιφάνεια είναι 30°C/km, δηλαδή για κάθε χιλιόμετρο βάθους η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 30°C. Κάθε αύξηση (ανωμαλία) στην τιμή της μέσης γεωθερμικής βαθμίδας μεταφράζεται ως αύξηση της ροής θερμότητας προς την επιφάνεια και βελτιώνει τις γεωθερμικές συνθήκες αποτελώντας γεωθερμικό πεδίο. Σε πολύ μεγάλα βάθη, η θερμοκρασία δεν είναι με ακρίβεια γνωστή. Πιστεύεται ότι στο κέντρο της γης η θερμοκρασία φτάνει λίγο παραπάνω από τους 4.000 °C. [63]



**ΕΙΚΟΝΑ 52:** Θερμοκρασία στο εσωτερικό της γης

(<http://www.allaboutenergy.gr/Paragogi323.html>)

Είναι γνωστός σε όλους ο βασικός φυσικός νόμος που αναγκάζει την θερμότητα να μεταδίδεται από το θερμότερο προς το ψυχρότερο σημείο. Αυτό προκαλεί μια συνεχή ροή θερμότητας από τα πολύ θερμά εσωτερικά σημεία της γης προς τα κρύα επιφανειακά σημεία και εν συνεχεία προς την ακόμα ψυχρότερη ατμόσφαιρα. Έτσι από τον πυρήνα (με θερμοκρασία που υπολογίζεται ότι είναι λίγο μεγαλύτερη των  $4.000^{\circ}\text{C}$ ) μέχρι της επιφάνεια της γης (που έχει μέση ετήσια θερμοκρασία από μερικές μονάδες έως λίγες δεκάδες  $^{\circ}\text{C}$ ) και την ατμόσφαιρα (η θερμοκρασία της οποίας στην τροπόσφαιρα μειώνεται με το ύψος με ρυθμό περίπου  $6^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ), δημιουργείται φυσιολογικά μία συνεχής ροή θερμότητας. Αυτή η ροή μεταφέρει θερμική ενέργεια από το εσωτερικό της γης προς την επιφάνεια της γης, φαινόμενο χρήσιμο για τον άνθρωπο, ο οποίος έχει περιορισμένες επιλογές για να ικανοποιήσει τις ενεργειακές του ανάγκες. Η ροή θερμότητας που προσδιορίζεται στο φλοιό της γης εξαρτάται από την θερμική αγωγιμότητα των πετρωμάτων και από την γεωθερμική βαθμίδα και αποτελεί το γινόμενό τους. Η θερμότητα που περιέχεται στον φλοιό της γης θεωρείται ότι είναι τεράστια της τάξης των  $5,4 \cdot 10^{21} \text{ MJ}$  (Armstead 1983) [4]. Ο White (1965) υπολόγισε ότι η ολική ποσότητα θερμότητας που περιέχεται στα πρώτα 10 km της γης (βάθος που αποτελεί συνήθως το όριο των ερευνητικών γεωτρήσεων, αν και η βαθύτερη γεώτρηση που έχει γίνει προσέγγισε τα 12 km) είναι περίπου  $1,25 \cdot 10^{27} \text{ J}$ , ποσό που είναι 2000 φορές μεγαλύτερο από

την συνολική ποσότητα θερμικής ενέργειας την οποία θα μπορούσαν να προσφέρουν όλα μαζί τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων της γης [4]. Θα πρέπει όμως να διευκρινιστεί , ότι μια τέτοια τεράστια ποσότητα ενέργειας δεν είναι εκμεταλλεύσιμη παρά μόνο σε ένα πολύ μικρό ποσοστό , διότι δυστυχώς δεν βρίσκεται συγκεντρωμένη , αλλά διάχυτη [4].

Τα γεωθερμικά πεδία σε επίπεδο ενεργειακής αξιοποίησης διακρίνονται στις κάτωθι κατηγορίες [64]:

**A.** Υψηλής Ενθαλπίας ( $T > 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) , απόδοση 8-18% , που χρησιμοποιούνται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με εκτόνωση ατμού. Η εγκατεστημένη ισχύς των γεωθερμικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο ανέρχεται σε 6.000 MWe περίπου.

**B.** Μέσης Ενθαλπίας ( $100^{\circ}\text{C} < T < 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) , απόδοσης 2-8% , που χρησιμοποιούνται για θέρμανση οικισμών (Η θερμική ενέργεια που δεσμεύεται από τη γεωθερμική πηγή διοχετεύεται προς τους χρήστες με την βοήθεια ενός δικτύου αγωγών) , για ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων καθώς και για την παραγωγή ηλεκτρισμού με χρησιμοποίηση πτητικού ρευστού π.χ. με κλειστό κύκλωμα φρέον που έχει χαμηλό σημείο ζέσεως .

**Γ.** Χαμηλής Ενθαλπίας ( $25^{\circ}\text{C} < T < 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) , απόδοσης 2-8% , που χρησιμοποιούνται για θέρμανση χώρων, για θέρμανση θερμοκηπίων, για θέρμανση νερού για οικιακή χρήση , στις ιχθυοκαλλιέργειες δεδομένου ότι πολλά είδη υδροβίων οργανισμών, όπως χέλια, γαρίδες ή φύκια αναπτύσσονται γρηγορότερα σε αυξημένες θερμοκρασίες, αλλά και για παραγωγή γλυκού νερού στις άνυδρες νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές μέσω της θερμικής αφαλάτωσης θαλασσινού νερού.

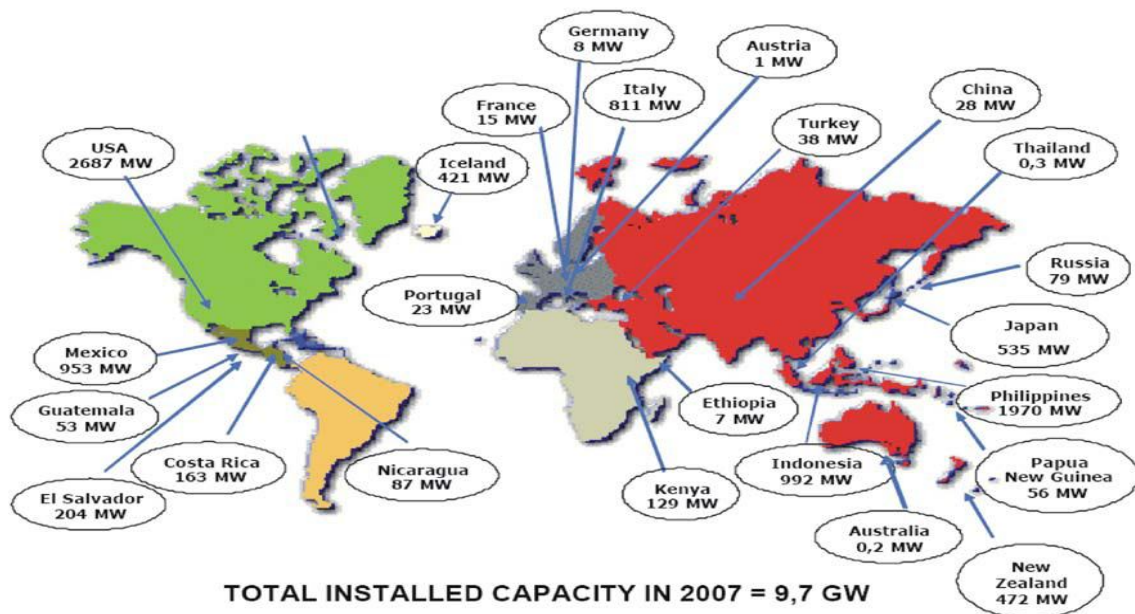
**Δ.** Αβαθής γεωθερμία ( $T < 25^{\circ}\text{C}$ ) , απόδοσης  $< 2\%$  , που χρησιμοποιούνται για θέρμανση-ψύξη κτιρίων.

Όπως γίνεται αντιληπτό, έχει μεγάλη σημασία για τον άνθρωπο η αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για κάλυψη των αναγκών του. Ειδικότερα η εκμετάλλευση της γεωθερμίας μπορεί να συμβάλει [53]:

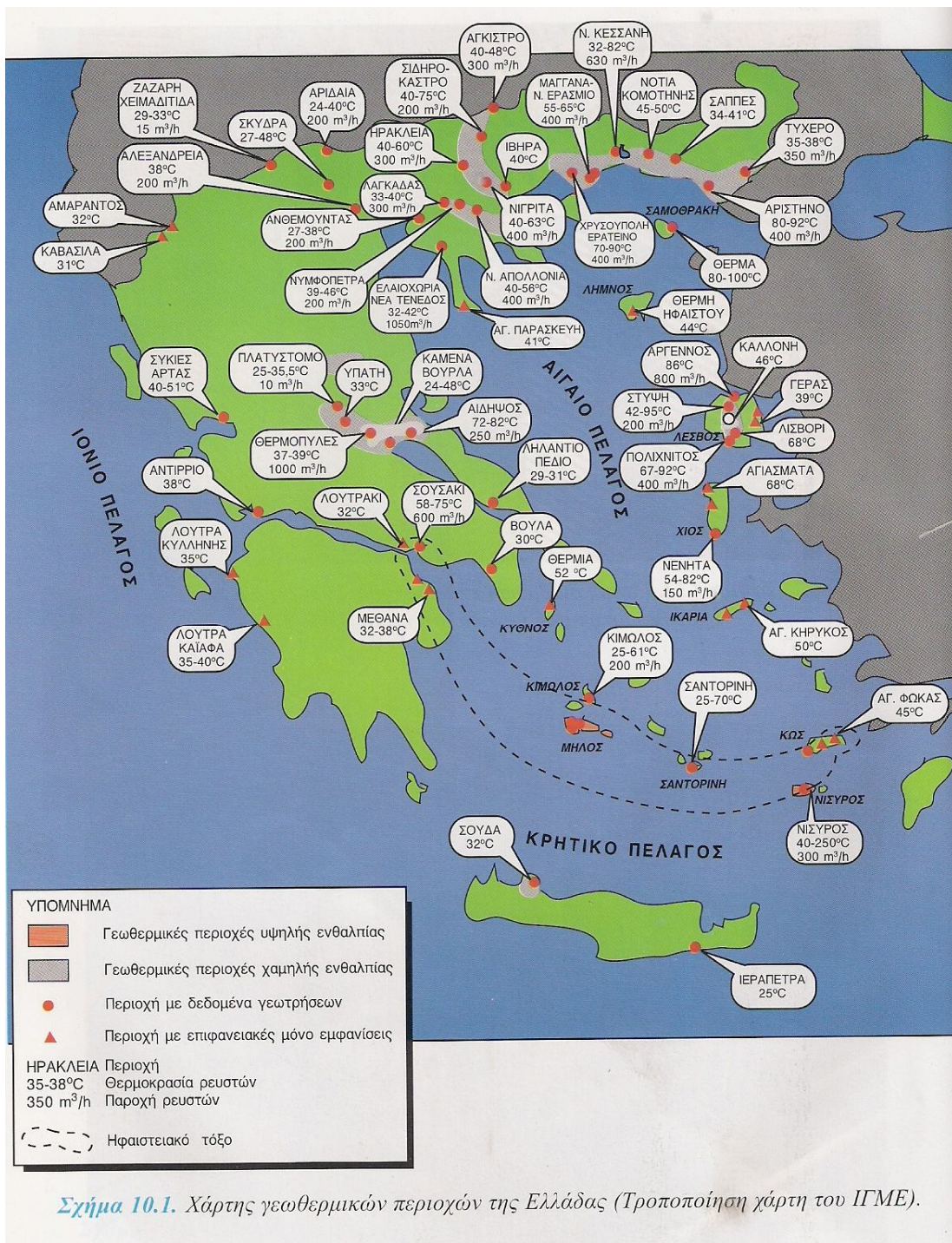
1. Στην εξοικονόμηση συναλλάγματος, αφού θα έχουμε μείωση των εισαγωγών πετρελαίου που χρησιμοποιείται για θέρμανση.

2. Στην εξοικονόμηση φυσικών πόρων, κυρίως με την ελάττωση κατανάλωσης των εγχώριων αποθεμάτων λιγνίτη.

3. Στην καθαρότερη ατμόσφαιρα. Τα σημερινά γεωθερμικά πεδία παράγουν μόνο το 1/6 CO<sub>2</sub> σε σύγκριση με τις γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος που λειτουργούν με φυσικό αέριο, και καθόλου νιτρικά (NO<sub>x</sub>) και θειικά (SO<sub>x</sub>) αέρια. Για κάθε 1.000 MW ηλεκτρικού ρεύματος που προέρχεται από γεωθερμικές πηγές εκπέμπονται 1 εκατομμύριο kg λιγότερα τοξικά αέρια το χρόνο και 4 δισεκατομμύρια kg λιγότερο CO<sub>2</sub>, από ότι αν σαν πρώτη ύλη χρησιμοποιούταν άνθρακας [65] .



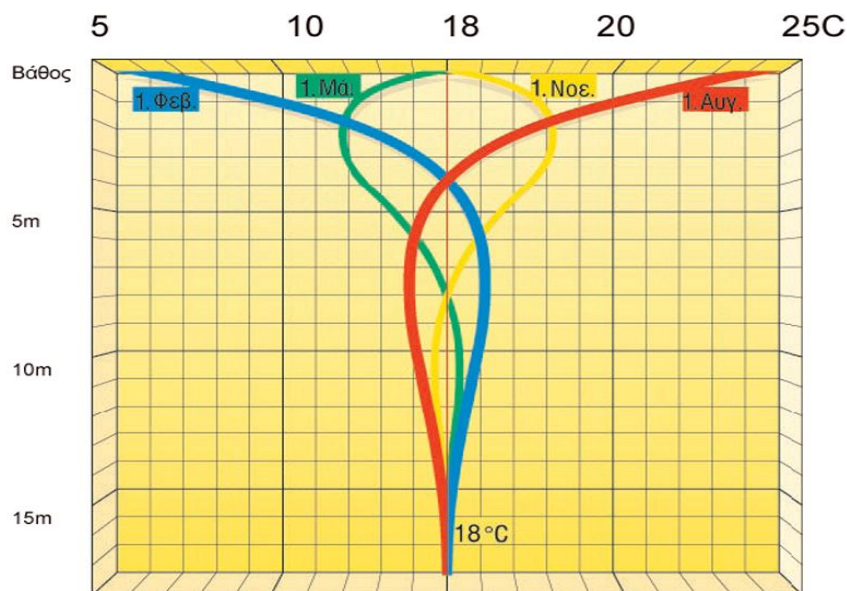
**ΕΙΚΟΝΑ 53:** Χάρτης των χωρών με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ από γεωθερμική ενέργεια (<http://geoheat.oit.edu/bulletin/bull28-3/art3.pdf>)



**ΕΙΚΟΝΑ 54: Γεωθερμικές περιοχές στην Ελλάδα [4]**

## 5.2 Αβαθής Γεωθερμία

Ως αβαθής γεωθερμία χαρακτηρίζεται η μορφή της γεωθερμικής ενέργειας κατά την οποία ενέργεια λαμβάνεται (ή απορρίπτεται) από μικρά βάθη με την χρήση αντλιών θερμότητας. Τα συστήματα αυτά συχνά καλούνται γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ). Η ανάκτηση της θερμότητας επιτυγχάνεται με την ανακυκλοφορία νερού σε κλειστές υδροφόρες ή ξηρές γεωτρήσεις ή σε ρηχές επιφάνειες εδάφους/πετρωμάτων, καθώς και με την απευθείας χρήση νερών. Η τεχνική βασίζεται στο γεγονός ότι η θερμοκρασία του υπεδάφους μένει σχεδόν αμετάβλητη σε βάθος μεγαλύτερο από 6 m , ενώ και στα 2 m δεν μεταβάλλεται σημαντικά. Θα μπορούσαμε δε να πούμε ότι σε βάθος από 6 μ. έως 100 μ. η θερμοκρασία παραμένει σταθερή και είναι περίπου ίση με την μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα για τον συγκεκριμένο τόπο. Στην χώρα μας αυτό σημαίνει ότι σε τέτοιο βάθος η θερμοκρασία βρίσκεται ανάμεσα στους 16-20°C. Για την Αθήνα, η θερμοκρασία αυτή είναι 18°C [66].



**EIKONA 55:** Μέσες θερμοκρασίες εδάφους

<http://sieline.gr/media/Image/graph.jpg>

Αυτή η ενέργεια προέρχεται από την απορρόφηση-αποθήκευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (σχεδόν το 50% απ' τη συνολική ποσότητα που φθάνει στη Γη) απ' τη γήινη επιφάνεια, και όπου στα γεωγραφικά πλάτη της εύκρατης ζώνης κάτω από κάποιο βάθος παραμένει περίπου σταθερή (10-20°C), καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η διατήρηση της θερμοκρασίας αυτής οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την διάρκεια του καλοκαιριού ο ήλιος ζεσταίνει την επιφάνεια του εδάφους, το οποίο απορροφά σε βάθος την θερμότητα που του παρέχεται, ενώ στη διάρκεια του χειμώνα η ίδια επιφάνεια ψύχεται και αφαιρεί θερμότητα από εκείνη που είχε συσσωρευτεί στο υπέδαφος. Αυτό όμως γίνεται πολύ αργά και με μεγάλη διαφορά φάσης, έτσι ώστε ενώ στην επιφάνεια του εδάφους η θερμοκρασία παρουσιάζει σημαντική διακύμανση, όσο προχωρούμε σε βάθος η διακύμανση αυτή στη διάρκεια ενός έτους γίνεται μικρότερη και ουσιαστικά κάτω από τα 6 μ. σχεδόν εξαφανίζεται. Με τον τρόπο αυτό αποκαθίσταται μια κατάσταση ισορροπίας στο επίπεδο των 16-20°C [67].

Έτσι το καλοκαίρι, όπου η θερμοκρασία του εδάφους είναι μικρότερη από εκείνη του περιβάλλοντος, το σύστημα απάγει την θερμότητα του χώρου στο έδαφος, ενώ αντίστροφα, τον χειμώνα, το σύστημα μεταφέρει θερμότητα από το έδαφος στον χώρο. Άρα η σταθερή και μόνιμη αυτή ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί, το μεν χειμώνα για θέρμανση νερού κεντρικής θέρμανσης έως 50°C, το δε καλοκαίρι για ψύξη νερού κλιματισμού έως 10°C, όπως επίσης και για ζεστό νερό χρήσης καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Η εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ υπεδάφους και επιφάνειας μπορεί να γίνει με την χρήση Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ) και δικτύου σωληνώσεων εντός του υπεδάφους. Με τον τρόπο αυτό, χρησιμοποιώντας ένα οριζόντιο ή κατακόρυφο δίκτυο από υπόγειους σωλήνες, η αντλία θερμότητας μπορεί είτε να δροσίσει είτε να θερμάνει το κτίριο, διοχετεύοντας νερό σε σωληνώσεις που καλύπτουν όλο το δάπεδο ή τους τοίχους.

Η αβαθής γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη όλον τον χρόνο και δεν εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες της ατμόσφαιρας. Πλεονεκτεί έναντι της κάθε αυτού γεωθερμίας στο ότι βρίσκεται διαθέσιμη και εκμεταλλεύσιμη παντού, είναι αρκετά εύκολη στην αξιοποίησή της και μπορεί να συνδυαστεί και με άλλες



ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως π.χ. με την ηλιακή.

Σύμφωνα με έρευνα του ΚΑΠΕ, το ποσό για την εγκατάσταση ενός συστήματος αβαθούς γεωθερμίας σε μία κατοικία 150 τετραγωνικών φθάνει τα 10.000 ευρώ περίπου, ποσό στο οποίο συμπεριλαμβάνεται η αγορά, η εγκατάσταση του εξοπλισμού και η εκσκαφή για την τοποθέτηση των υπόγειων σωλήνων. Συγκριτικά με ένα συμβατικό σύστημα ψύξης με ηλεκτρισμό και θέρμανσης με πετρέλαιο, η απόσβεση της αρχικής επένδυσης υπολογίζεται ότι θα γίνει σε 5 χρόνια, χρόνος που αυξάνεται κατά μία διετία περίπου αν συγκριθεί με ένα συμβατικό σύστημα που χρησιμοποιεί λέβητα φυσικού αερίου. Έτσι με τη γεωθερμία επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας έως και 40% για τη θέρμανση και 50% - 70% για την ψύξη [68].

### **5.3 Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας (Ground Source Heat Pumps)**

#### **5.3.1 Γενικά για τις Αντλίες Θερμότητας**

Οι αντλίες θερμότητας (ΑΘ) είναι θερμικές μηχανές οι οποίες λειτουργούν με βάση τη μεταφορά ή την άντληση θερμότητας (με τη μορφή ψύξης ή θέρμανσης) από μια δεξαμενή θερμότητας (αέρας περιβάλλοντος, δεξαμενή νερού, υπόγεια νερά, λίμνη ,έδαφος) προς ένα χώρο, μέσω ενός κύκλου εξάτμισης και συμπύκνωσης ενός εργαζόμενου μέσου, με κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Σημαντικό χαρακτηριστικό τους είναι η δυνατότητα λειτουργίας τόσο για την παραγωγή θέρμανσης όσο και την παραγωγή ψύξης. Έτσι, με μία κεντρική μονάδα μπορεί να αντικατασταθεί ένας αριθμός άλλων θερμικών συσκευών, για θέρμανση και ψύξη, οδηγώντας σε ολοκληρωμένες λύσεις κλιματισμού.

Επιπλέον, οι αντλίες θερμότητας έχουν πολύ καλύτερη ενεργειακή απόδοση από άλλα συστήματα θέρμανσης. Και ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι απλός: αντί

να καταναλώνει καύσιμα, αυτό που κάνει είναι να "μεταφέρει τη θερμότητα". Για το λόγο αυτό οι αντλίες θερμότητας είναι μέχρι πέντε φορές περισσότερο αποδοτικές, από πλευράς ενέργειας, από άλλα συστήματα θέρμανσης [69].

Οι Αντλίες Θερμότητας απορροφούν περίπου το 75% της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη από το περιβάλλον. Το υπόλοιπο 25% το παίρνουμε με την μορφή της ηλεκτρικής ενέργειας και έτσι πετυχαίνουμε θερμική άνεση 100% [70].

**Λειτουργία ψύξης (καλοκαίρι):** Η αντλία θερμότητας «αντλεί» θερμότητα από το εσωτερικό του κτιρίου και την απορρίπτει σε εξωτερική "δεξαμενή" θερμότητας (αέρας , έδαφος , νερό). Όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασία της εξωτερικής δεξαμενής θερμότητας τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση της αντλίας θερμότητας.

**Λειτουργία θέρμανσης (χειμώνας):** Η αντλία θερμότητας «αντλεί» θερμότητα από εξωτερική πηγή θερμότητας (αέρας , έδαφος , νερό) και την προσάγει στο εσωτερικό του κτιρίου. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της εξωτερικής πηγής θερμότητας τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση της αντλίας θερμότητας [71].

Η συνοπτική λειτουργία μιας αντλίας θερμότητας έγκειται στις παρακάτω διαδικασίες [72]:

1. Αντιψυκτικό υγρό κυκλοφορεί σε ένα σωλήνα (συλλέκτη) και απορροφά θερμότητα (ενέργεια) από το έδαφος, το νερό ή τον αέρα.

2. Στην αντλία θερμότητας υπάρχει ένας εναλλάκτης που καλείται εξατμιστής. Εκεί μεταφέρεται η ενέργεια (θερμότητα) από το αντιψυκτικό υγρό στο ψυκτικό υγρό (μέσο). Αυτό έχοντας χαμηλό σημείο ζέσης (εξατμίζεται στους 5-10°C) , εξατμίζεται και κυκλοφορεί σε ένα κλειστό κύκλωμα.

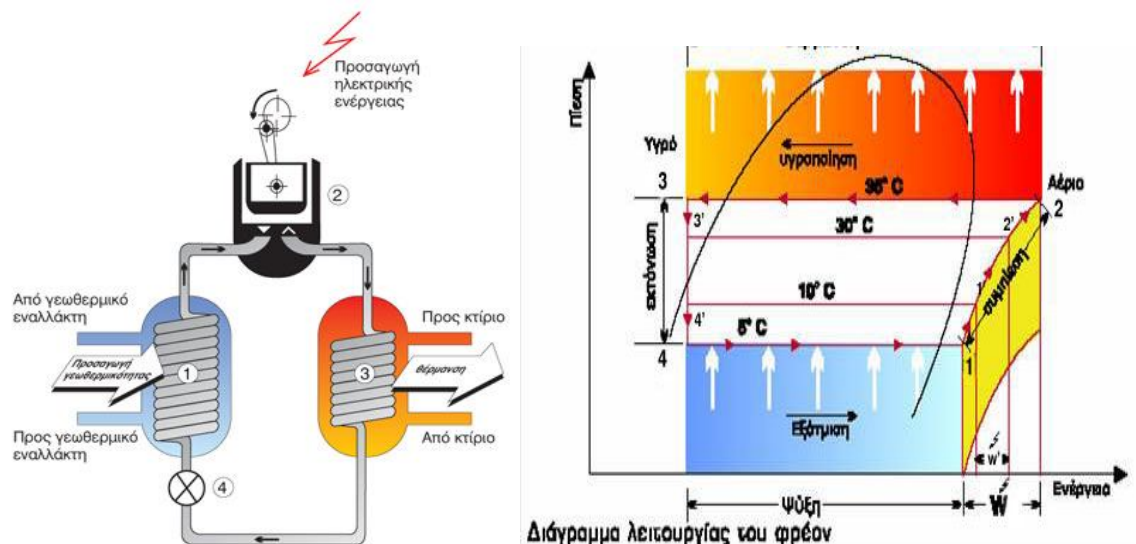
3. Στον συμπιεστή με τη βοήθεια της ηλεκτρικής ενέργειας συμπιέζεται το αέριο πλέον ψυκτικό μέσο, με στόχο την ανύψωση της πίεσης και θερμοκρασίας του.

4. Το αέριο ψυκτικό μέσο συμπυκνώνεται αποδίδοντας την θερμοκρασία του στον κλιματιζόμενο χώρο, όταν έρχεται σε επαφή με το νερό κυκλοφορίας

θέρμανσης του κτιρίου, διαμέσου ενός εναλλάκτη θερμότητας. Το θερμό νερό μεταβιβάζεται στο κτίριο με στόχο τη θέρμανση του, ενώ το υγρό πια ψυκτικό μέσο εκτονώνεται στην βαλβίδα εκτόνωσης για τη πτώση της πίεσης του.

5. Το ψυκτικό υγρό μεταφέρεται πάλι στον εξατμιστή και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Η επανάληψη του κύκλου δημιουργεί τη συνεχή θέρμανση του κτιρίου.

6. Στην καλοκαιρινή λειτουργία, αντιστρέφεται ο κύκλος του ψυκτικού δια της βαλβίδας αντιστροφής, με αποτέλεσμα το έδαφος, το νερό ή ο αέρας να αποτελεί τον αποδέκτη της θερμότητας, ενώ το κτίριο την πηγή ενέργειας (εξατμιστής).



**ΕΙΚΟΝΑ 56:** Αρχή λειτουργίας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας

(<http://www.energyhomes.gr/material/pages/nrginfo/antlies.html>)

Για την ενεργειακή αξιολόγηση των αντλιών θερμότητας χρησιμοποιείται ο βαθμός απόδοσης COP (Coefficient of Performance) που είναι ο λόγος της αποδιδόμενης θερμότητας προς την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

$$COP = \frac{\text{ΜΕΤΑΦΕΡΟΜΕΝΗ\_ΘΕΡΜΙΚΗ\_ΕΝΕΡΓΕΙΑ}(W)}{\text{ΚΑΤΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ\_ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ\_ΕΝΕΡΓΕΙΑ}(W)}$$

Έτσι μία αντλία θερμότητας που έχει COP = 4, μεταφέρει 4 kW θερμικής ισχύος για κάθε 1 kW καταναλισκόμενης ισχύος. Στις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας ο συντελεστής αυτός κυμαίνεται από 3 μέχρι 5. Δηλαδή ένας καυστήρας ορυκτών καυσίμων μπορεί να είναι 78-95% αποδοτικός, ενώ μια γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι 300% -500% [32]. Οι σύγχρονες αντλίες θερμότητας έχουν υψηλούς βαθμούς απόδοσης (COP = 4~6). Η αυξημένη τιμή του είναι επιθυμητή γιατί σημαίνει ότι τόσο πιο αποδοτική ενεργειακά είναι η χρήση της αντλίας αφού παράγεται μεγαλύτερο θερμικό φορτίο σε σχέση με το ηλεκτρικό έργο που προσφέρουμε στον συμπιεστή. Ο βαθμός απόδοσης μίας αντλίας εξαρτάται από τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος και χώρου, και γενικά ισχύει ότι όσο μικρότερη είναι η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας του μέσου από το οποίο αντλείται η θερμότητα και της θερμοκρασίας του μέσου στο οποίο απορρίπτεται η θερμότητα, τόσο υψηλότερος είναι ο βαθμός απόδοσης.

Για την απόδοση της αντλίας κατά τη λειτουργία σε ψύξη χρησιμοποιείται συχνά και ο λόγος ενεργειακής απόδοσης EER (Energy Efficient Ratio) που είναι ο λόγος της αποδιδόμενης ψύξης προς την καταναλισκόμενη ηλεκτρική ενέργεια:

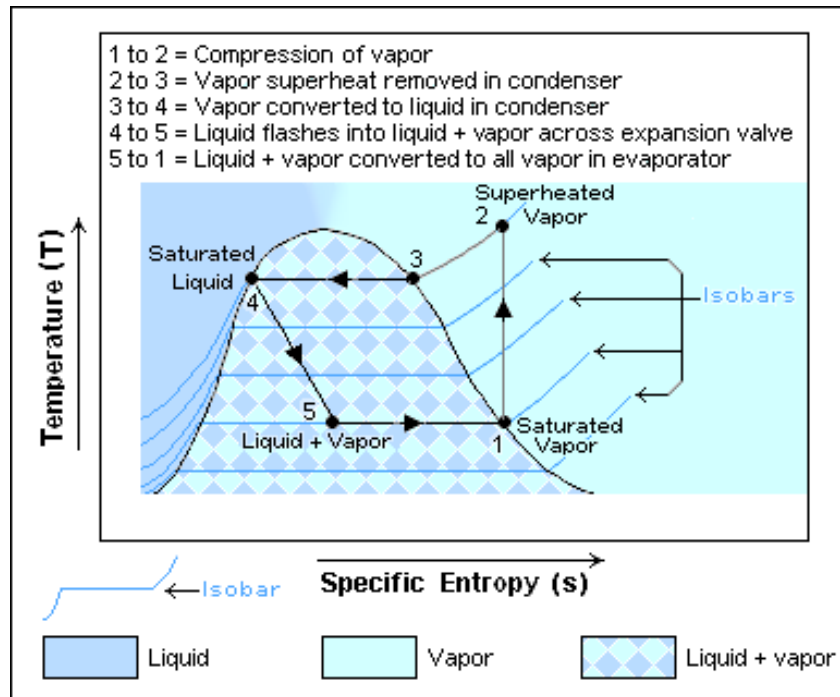
$$EER = \frac{\text{ΨΥΚΤΙΚΗ\_ΙΣΧΥΣ\_ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ}(BTU/h)}{\text{ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ\_ΙΣΧΥΣ\_ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ}(W)}$$

Συνήθεις τιμές για τον συντελεστή αυτόν είναι από 10 μέχρι 17 αλλά μπορούν να φτάσουν ακόμα και το 20 για μεγάλες εφαρμογές [99].

Μία αντλία θερμότητας θεωρείται ότι έχει ικανοποιητική απόδοση, εάν EER>10 και COP >3.

### 5.3.2 Αρχή του Κύκλου Συμπύεσης Ατμού

Στο σχήμα 3 φαίνεται η αρχή λειτουργίας του κύκλου συμπύεσης ατμού μιας αντλίας θερμότητας σε διάγραμμα T-S [99].



**ΣΧΗΜΑ 3:** Αρχή λειτουργίας του κύκλου συμπύεσης ατμού

(<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f7/RefrigerationTS.png>)

Στην αντλία θερμότητας ως ψυκτικό μέσο κυκλοφορεί ένα συνηθισμένο ψυκτικό μέσο ίδιο με αυτά που κυκλοφορούν σε ένα κλιματιστικό μηχάνημα. Ο κορεσμένος ατμός κατάστασεως 1 εισέρχεται στον συμπιεστή και συμπιέζεται. Στην έξοδο του συμπιεστή έχουμε υπέρθερμο ατμό κατάστασεως 2. Αυτός ο ατμός εισέρχεται στη διάταξη του συμπυκνωτή όπου συμπυκνώνεται (3) απορρίπτοντας θερμότητα στο περιβάλλον και διατηρώντας σταθερή την πίεση (4). Η έξοδος του συμπυκνωτή αποτυπώνεται στην κατάσταση (4) όπου έχουμε κορεσμένο ατμό. Αυτός περνά από την βαλβίδα αποτόνωσης από όπου με μειωμένη την πίεση σε μορφή υγρού κατευθύνεται στον ατμοποιητή σε κατάσταση (5). Αφού εισέλθει στον ατμοποιητή, απορροφώντας ενέργεια από τον χώρο που θέλουμε να ψύξουμε εξατμίζεται και

βρίσκεται πάλι στην κατάσταση (1) εισόδου του συμπιεστή.

### **5.3.3 Λειτουργία ΓΑΘ [73]**

Η Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας (Geothermal Heat Pump ή για συντομία GHP) αντί να χρησιμοποιεί τον αέρα του εξωτερικού περιβάλλοντος για να αποβάλλει (καλοκαίρι) ή να αντλήσει (χειμώνας) θερμότητα, χρησιμοποιεί την θερμότητα που περικλείουν τα υπόγεια νερά, τα νερά των λιμνών και της θάλασσας ή την θερμότητα που περικλείει το χώμα. Έτσι η ΓΑΘ χρησιμοποιώντας ένα δίκτυο σωληνώσεων, όπου κυκλοφορεί νερό, κατάλληλα τοποθετημένων ανταλλάζει θερμότητα με το έδαφος ή με τη θάλασσα αναλόγως με την εγκατάσταση.

Αν κάνουμε μία σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα κλιματισμού με αερόψυκτες εξωτερικές μονάδες όπως πχ. τα κλιματιστικά μηχανήματα διαιρούμενου τύπου, τις εξωτερικές μονάδες των οποίων τις συναντούμε στα μπαλκόνια των διαμερισμάτων ή στα δώματα των κτιρίων, θα έχουμε παρατηρήσει ότι το καλοκαίρι κατά τη διάρκεια μιας πολύ ζεστής μέρας (35 ή και 40° C), έχουμε μία μεγάλη πτώση της απόδοσής τους και αδυναμία να μας δροσίσουν ικανοποιητικά. Αυτό συμβαίνει γιατί η συσκευή καλείται να αποβάλει θερμότητα σε ένα ήδη κορεσμένο από θερμικό φορτίο περιβάλλον και καταβάλλει μια μάταιη προσπάθεια καταναλώνοντας υπερβολικά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας.

Αν όμως η κλιματιστική συσκευή απέβαλε την θερμότητα σε ένα ψυχρότερο περιβάλλον, όπως πχ αυτό του εσωτερικού του εδάφους, όπου ακόμα και στις θερμότερες μέρες του καλοκαιριού η θερμοκρασία του δεν ξεπερνάει τους 20° C, τότε η απόδοσή της θα ήταν πάρα πολύ μεγάλη και η οικονομία σε ηλεκτρική ενέργεια τεράστια.

Σε αυτή την αρχή της θερμοδυναμικής βασίζεται η χρήση των γεωθερμικών εναλλακτών, που κατά μια έννοια «μεταφέρουν», με την βοήθεια της αντλίας θερμότητας, τους 20° C του εδάφους μέσα στο σπίτι καταναλώνοντας έτσι την ελάχιστη δυνατή ηλεκτρική ενέργεια.

Κατ' ανάλογο τρόπο, το χειμώνα, το γεωθερμικό σύστημα καλείται να ανυψώσει τους 16-17° C του εδάφους μέχρι τους 20-22° C για να ζεστάνει το χώρο μας. Η οικονομία και εδώ είναι τεράστια σε σχέση με μία συμβατική αντλία θερμότητας αέρα. Να σημειωθεί ότι τα συμβατικά κλιματιστικά μηχανήματα αδυνατούν σχεδόν να ζεστάνουν το χώρο σε θερμοκρασίες κάτω των 0° C. Ουσιαστικά δεν μπορούν να λειτουργήσουν αποδοτικά σε θερμοκρασίες μικρότερες των 5°C. Αντίθετα οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας ξεπερνούν το μειονέκτημα των συστημάτων με ατμοσφαιρικό αέρα και λειτουργούν ικανοποιητικά ακόμα και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος [73].

#### **5.3.4 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας**

Τα πλεονεκτήματα των Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας σε σχέση με τις Αντλίες Θερμότητας με πηγή αέρα είναι τα κάτωθι [74]:

**A.** Ο βαθμός απόδοσης (COP) μιας γεωθερμικής αντλίας θερμότητας, δηλαδή η ποσότητα θερμικής ενέργειας που παράγει σε σχέση με την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει, είναι στην πράξη 4,0 έως 5,5, ενώ στην Αντλία Θερμότητας με πηγή αέρα είναι κατώτερη από 2,8 , εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

**B.** Λειτουργεί χωρίς πρόβλημα σε οποιοδήποτε καιρικές και θερμοκρασιακές συνθήκες περιβάλλοντος, υπό το μηδέν το χειμώνα και πάνω από 40°C το καλοκαίρι, διότι η Γεωθερμική Αντλία τροφοδοτείται από το Γεωθερμικό Εναλλάκτη με νερό αμετάβλητης θερμοκρασίας, ίσης περίπου με αυτή που επικρατεί στο υπέδαφος κάτω από το κτίριο.

**Γ.** Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης του συστήματος Γεωθερμικού Κλιματισμού είναι πολύ χαμηλότερο, απ' ότι στο σύστημα με Αντλία Θερμότητας με πηγή αέρα.

**Δ.** Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας δεν δημιουργούν θόρυβο κατά τη

λειτουργία τους και ο γεωθερμικός εναλλάκτης θερμότητας στο έδαφος διαρκεί τουλάχιστον 25 έτη.

**Ε.** Συμβάλλει θετικά σε δύο υψηλούς αναπτυξιακούς – κοινωνικούς στόχους :

**1.** Στην εξοικονόμηση ενέργειας με την πολύ χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος και την παραγωγή πολλαπλάσιας θερμικής και ψυκτικής ενέργειας από την επιτόπια γεωθερμική ενέργεια. Τα γεωθερμικά συστήματα μπορούν να μειώσουν το κόστος θέρμανσης ως και 70% και το κόστος ψύξης έως και 50% και να παρέχουν ζεστό νερό χρήσης για της ανάγκες της κατοικίας.

**2.** Στην προστασία του περιβάλλοντος, διότι, χρησιμοποιώντας την καθαρή γεωθερμική ενέργεια, εκτοπίζει το ρυπογόνο πετρέλαιο και μειώνει την κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος, που, όπως είναι γνωστό, παράγεται στη χώρα μας κυρίως στους θερμοηλεκτρικούς σταθμούς από τα ρυπογόνα συμβατικά καύσιμα.

Οι Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας λοιπόν λειτουργούν με τον μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης από τα άλλα είδη Αντλιών Θερμότητας έχοντας μικρές και σταθερές διαφορές θερμοκρασιών και με βαθμό απόδοσης στη θέρμανση μέχρι και 500%.

Επίσης σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα τα γεωθερμικά διαρκούν περισσότερο, καθώς αποτελούν «κλειστά» συστήματα, όπως το ηλεκτρικό ψυγείο, που εγκαθίστανται μέσα στα κτίρια ή στο υπόγειο χώρο τους.

Ακόμα τα γεωθερμικά συστήματα δεν παρουσιάζουν βλάβες μετά από παρατεταμένη χρήση όπως ορισμένα συμβατικά συστήματα. Έχοντας ένα παρόμοιο τρόπο κατασκευής με αυτό των ηλεκτρικών ψυγείων, οι Γ.Α.Θ. έχουν πολύ λίγα κινούμενα εξαρτήματα που θα μπορούσαν να χαλάσουν. Ο Γεωθερμικοί Εναλλάκτες είναι κατασκευασμένοι από πιστοποιημένους πλαστικούς σωλήνες και μπορούν να λειτουργούν αποδοτικά πενήντα χρόνια μετά την εγκατάστασή τους.

Ωστόσο τα συστήματα γεωθερμικού κλιματισμού έχουν και κάποια μειονεκτήματα όπως τα παρακάτω:

**A.** Το αρχικό κόστος κατασκευής είναι υψηλότερο από του συμβατικού.

**B.** Υπάρχει δυσκολία στην επιδιόρθωση μιας διαρροής στα κλειστά κυκλώματα.



Γ. Για τα ανοικτού κυκλώματος συστήματα απαιτείται μεγάλη παροχή καθαρού νερού.

### **5.3.5 Κατηγορίες Γεωθερμικών Αντλιών Ανάλογα με την Δεξαμενή Θερμότητας που Λειτουργούν**

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας (ΓΑΘ) χωρίζονται σε 3 κατηγορίες με κριτήριο την δεξαμενή θερμότητας με την οποία λειτουργούν. Έτσι έχουμε [99]:

**A.** ΓΑΘ που λειτουργούν με υπόγεια νερά (ground water open loop heat pumps) με θερμοκρασία μικρότερη των 25°C.

**B.** ΓΑΘ που λειτουργούν με επιφανειακά νερά (surface water heat pumps).

**Γ.** ΓΑΘ που είναι συνδεδεμένες με το υπέδαφος (ground coupled heat pumps).

Όταν αξιοποιείται το νερό γεώτρησης ή πηγαδιού ή λίμνης η ποταμού ή της θάλασσα χρησιμοποιείται γεωεναλλάκτης ανοικτού κυκλώματος.

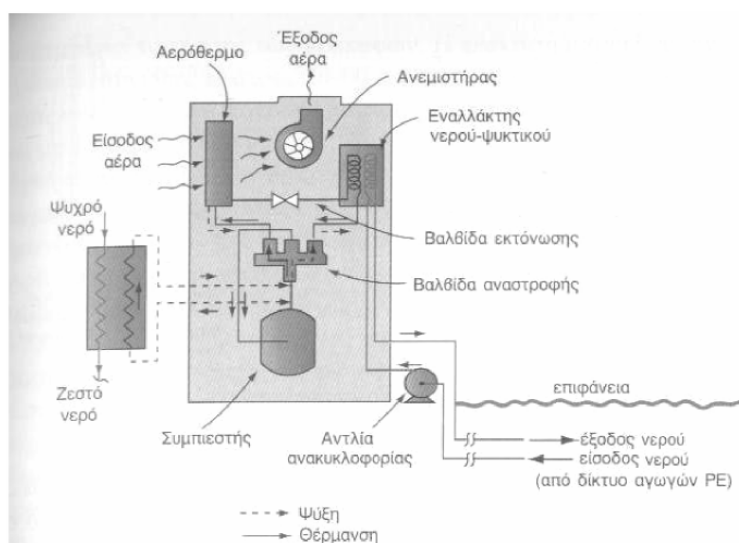
Όταν αξιοποιείται το υπέδαφος χρησιμοποιείται ο γεωεναλλάκτης κλειστού κυκλώματος, σε κατακόρυφο ή οριζόντιο σύστημα.

Όπως γίνεται κατανοητό οι δυο πρώτες κατηγορίες αναφέρονται σε περιπτώσεις όπου υπάρχει ταμιευτήρας νερού σε κάποιο βάθος κάτω από το έδαφος είτε επιφανειακά νερά σε χαμηλή θερμοκρασία κοντά στην εγκατάσταση. Έτσι οι δυο αυτές περιπτώσεις δεν θα μας απασχολήσουν αλλά θα ασχοληθούμε μόνο με τις ΓΑΘ που είναι συνδεδεμένες με το υπέδαφος.

## 5.4 ΓΑΘ Συνδεδεμένες με το Υπέδαφος (Ground Coupled Heat Pumps) [4]

Τα συστήματα αυτά συχνά καλούνται ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος και αποτελούνται ουσιαστικά από σύστημα κύκλου συμπίεσης ατμών , το οποίο είναι συνδεδεμένο με υπεδάφιο εναλλάκτη (εδάφους-νερού) που βρίσκεται θαμμένος στο έδαφος. Η θερμοκρασία του εδάφους όπως έχουμε προαναφέρει μένει σχεδόν αμετάβλητη σε βάθος μεγαλύτερο από 6 m προσεγγίζοντας τη μέση ετήσια θερμοκρασία της ατμόσφαιρας , ενώ ακόμα και σε βάθος 2 m η θερμοκρασία του εδάφους αποκρίνεται στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις , με καθυστέρηση ορισμένης χρονικής περιόδου. Σε αυτά τα βάθη η αποθηκευμένη ενέργεια του εδάφους προέρχεται βασικά από την ηλιακή ακτινοβολία και μόνο ένα μικρό ποσοστό (2-3%) προέρχεται από την θερμότητα της γης. Βέβαια η θερμότητα σε βάθη μεγαλύτερα από 15 m προέρχεται μόνο από την γεωθερμία.

Το πλέον χρησιμοποιούμενο σύστημα είναι μία αντλία θερμότητας νερού-αέρα , στον εξατμιστή της οποίας κυκλοφορεί σε κλειστό κύκλωμα (συχνά υπό πίεση) νερό ή νερό με αντιψυκτικό διάλυμα. Βέβαια για τη λειτουργία της αντλίας για παραγωγή ψύξης το καλοκαίρι , το υγρό του κλειστού κυκλώματος διέρχεται μέσα από το συμπυκνωτή.



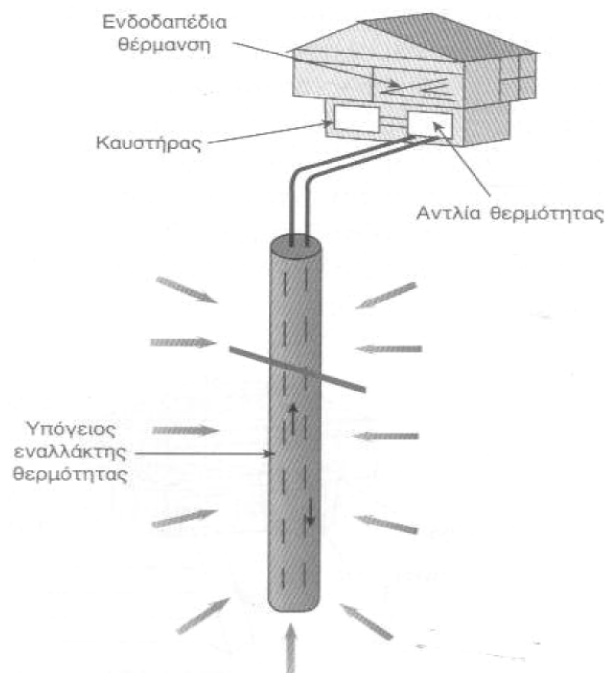
**ΣΧΗΜΑ 4:** Γεωθερμική αντλία θερμότητας κλειστού κυκλώματος [4]

Το υγρό αυτό απορροφά θερμότητα από το έδαφος στην διάρκεια του χειμώνα και απορρίπτει θερμότητα σε αυτό στην διάρκεια του καλοκαιριού. Ως αντιψυκτικά χρησιμοποιούνται οι γλυκόλες (αιθυλένο- και προπυλένο-γλυκόλη) , το χλωριούχο ασβέστιο , το οξικό κάλιο κ.α.

Τα συστήματα ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος διαχωρίζονται περαιτέρω σε κάθετα και οριζόντια ανάλογα με την γεωμετρία του υπόγειου εναλλάκτη.

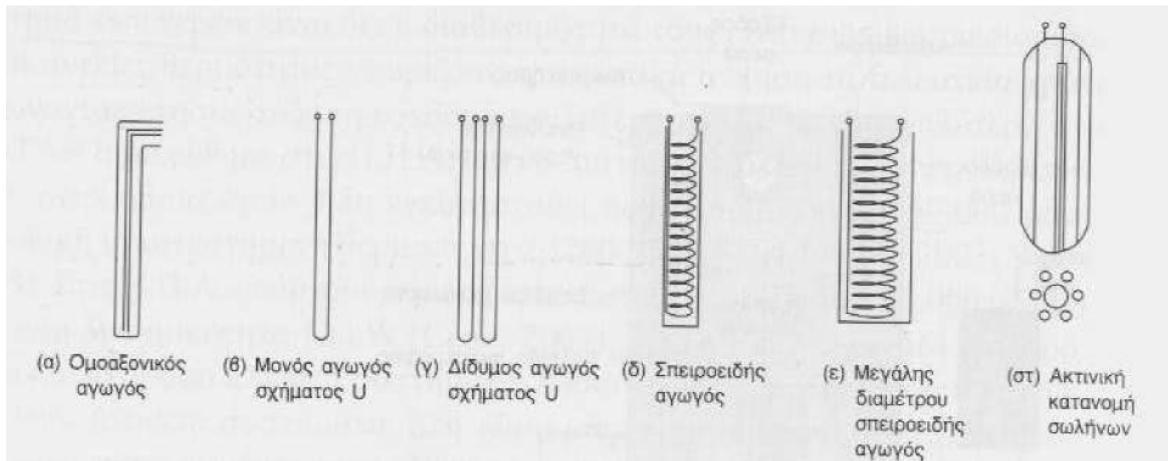
#### **5.4.1 Κάθετα Συστήματα ΓΑΘ Κλειστού Κυκλώματος [4]**

Τα κάθετα συστήματα αποτελούνται συνήθως από ένα ζεύγος σωληνώσεων μικρής διαμέτρου (20-40 mm) από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HPDE) που τοποθετείται συνήθως σε μία ή περισσότερες κατακόρυφες γεωτρήσεις το εσωτερικό των οποίων γεμίζεται εν συνεχεία από στερεό υλικό.



**ΣΧΗΜΑ 5:** Αρχή του κατακόρυφου συστήματος ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος με χρήση υπόγειου εναλλάκτη θερμότητας (Ομοαξονικός διπλός πλαστικός σωλήνας) [4]

Το ζεύγος των σωληνώσεων είναι συνδεδεμένο με θερμοκόλληση στο κάτω άκρο σχηματίζοντας U. Εκτός από αυτό το σχήμα έχουν εφαρμοστεί και άλλες γεωμετρίες , με σκοπό την αύξηση της επιφάνειας του υπόγειου εναλλάκτη όπως τα διπλά ζεύγη σωληνώσεων και η σπειροειδής τοποθέτηση του πλαστικού αγωγού.



**ΣΧΗΜΑ 6:** Διάφοροι τύποι εγκατάστασης των σωληνώσεων (μέσα στην γεώτρηση) στα κατακόρυφα συστήματα [4]

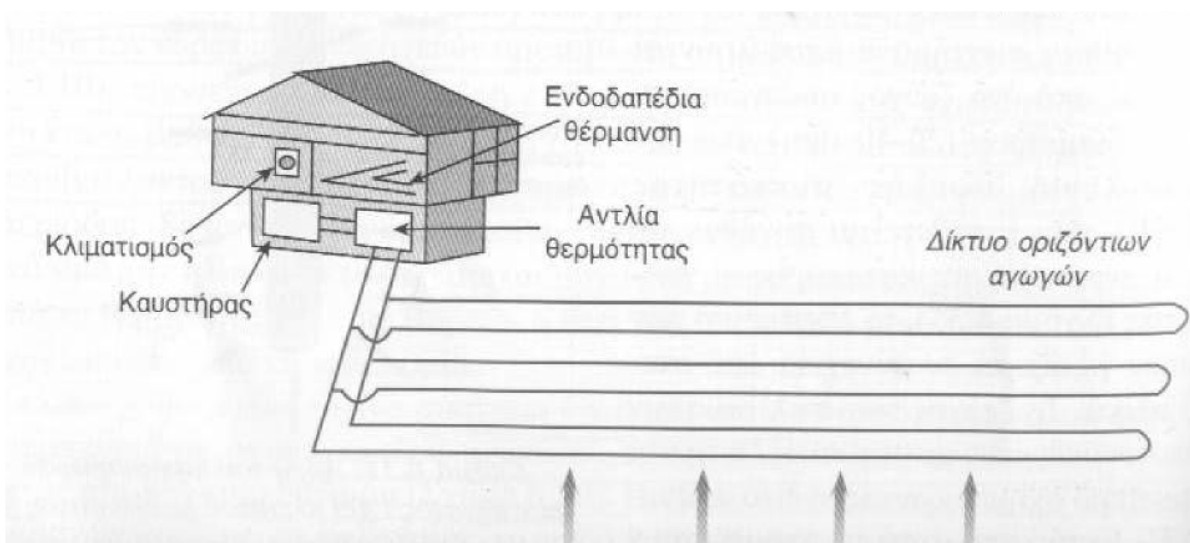
Το βάθος των γεωτρήσεων ποικίλλει από 15 μέχρι και 200 m , ανάλογα με τις συνθήκες , το κόστος διάτρησης και τις ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου. Οι πιο πάνω παράμετροι ρυθμίζουν και τον αριθμό των γεωτρήσεων. Η οριζόντια απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων είναι μικρή (2-3 m) επειδή η επίδραση της μιας γεώτρησης στην άλλη είναι ελάχιστη. Έτσι μπορούμε να έχουμε μεγάλη πύκνωση των γεωτρήσεων και επομένως , εξασφάλιση σημαντικών ποσοτήτων θερμότητας σε μικρό χώρο. Η παροχή θερμότητας στον υπόγειο εναλλάκτη προέρχεται από διάφορες πηγές , από την γεωθερμική ροή θερμότητας , από αγωγή σε οριζόντιο επίπεδο και από την ανοδική πορεία του υπόγειου νερού , αν υπάρχει.

Η απόδοση που επιτυγχάνεται κυμαίνεται μεταξύ 40 – 70 W/m<sup>2</sup> ανάλογα με την σύσταση του υπεδάφους. Οι κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες εφαρμόζονται σε εγκαταστάσεις με περιορισμένο περιβάλλοντα χώρο και για βραχώδη εδάφη. Η απόδοση τους παρουσιάζει σταθερότητα και η λειτουργία της αντλίας θερμότητας είναι ομαλή καθ' όλο το έτος. Το κόστος κατασκευής είναι σχετικά μεγαλύτερο σε

σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους και οδηγεί την εγκατάσταση σε απόσβεση σε 6 έως 9 έτη. Τα πλεονεκτήματα των κάθετων συστημάτων είναι ότι απαιτούν μικρότερο χώρο, λιγότερες σωληνώσεις και μικρότερη παροχή ενέργειας στην αντλία, ενώ ταυτόχρονα λειτουργούν πολύ αποδοτικά. Στα μειονεκτήματα των συστημάτων αυτών θα μπορούσε να αναφερθεί το υψηλό αρχικό κόστος που προέρχεται από την διαθεσιμότητα του κατάλληλου εξοπλισμού αλλά και έμψυχου δυναμικού που απαιτείται για την κατασκευή ενός τέτοιου έργου.

#### **5.4.2 Οριζόντια Συστήματα ΓΑΘ Κλειστού Κυκλώματος [4]**

Στα οριζόντια συστήματα οι σωληνώσεις PE τοποθετούνται οριζόντια στο έδαφος σε ορισμένο βάθος και με διάφορες γεωμετρίες.



**ΣΧΗΜΑ 7:** Αρχή συστήματος ΓΑΘ με χρήση οριζόντιου κυκλώματος αγωγών [4]

Το δίκτυο των αγωγών τοποθετείται σε βάθος 1-2 m ή και βαθύτερα αν το επιτρέπει το κόστος των εκσκαφών. Η εκσκαφή μπορεί να γίνει με τη μορφή ορυγμάτων, συνήθως πλάτους 20-60 cm ή με τη μορφή της ολικής απομάκρυνσης

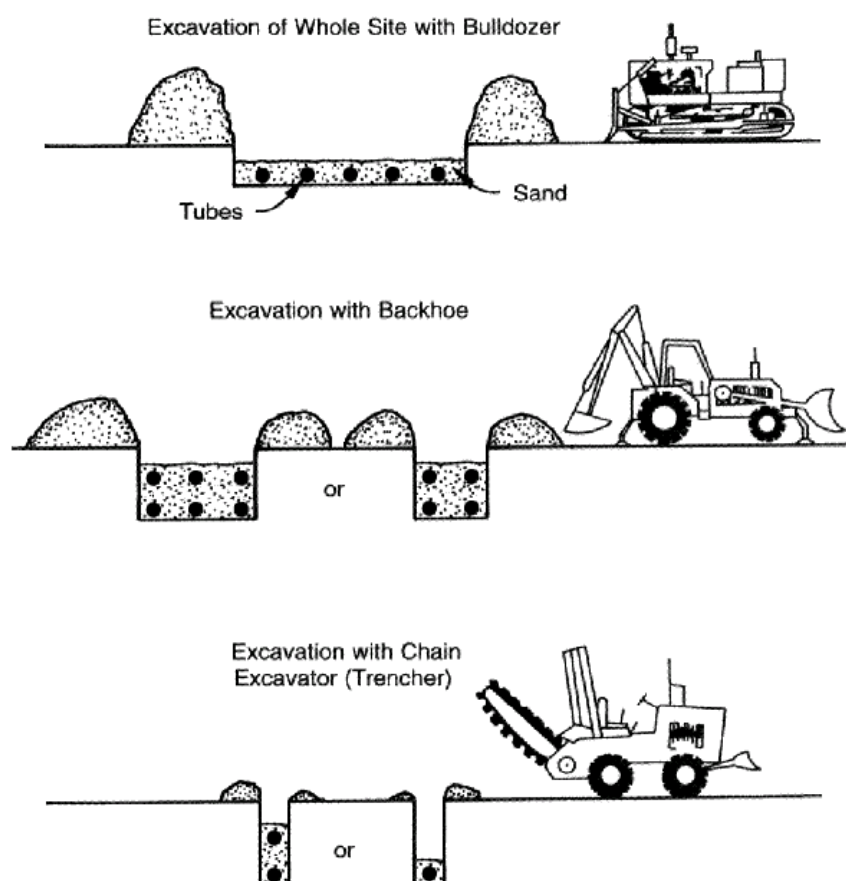
του εδάφους. Μετά την τοποθέτηση του δικτύου των σωληνώσεων, ο χώρος καλύπτεται με το χώμα της εκσκαφής. Τα συστήματα αυτά χωρίζονται σε τρεις ομάδες: μονής σωλήνωσης, πολλαπλής σωλήνωσης και σπειροειδούς σωλήνωσης. Τα συστήματα μονής σωλήνωσης τοποθετούνται σε στενά αυλάκια τουλάχιστον 1-2m βαθιά. Αυτά τα συστήματα απαιτούν τον μεγαλύτερο χώρο για την εγκατάστασή τους. Τα συστήματα πολλαπλής σωλήνωσης συνίστανται στην τοποθέτηση συνήθως 2 ή 4 σωληνώσεων σε ένα αυλάκι κι έτσι μειώνεται ο χώρος που απαιτείται. Οι σωλήνες απέχουν μεταξύ τους 30-70 cm. Με τη χρήση πολλαπλών σωληνώσεων μπορεί το μήκος των αυλακώσεων να μειωθεί, όμως πρέπει να αυξηθεί το συνολικό μήκος των σωληνώσεων για να υπερνικηθούν οι θερμικές επιδράσεις που υπάρχουν ανάμεσα στις γειτονικές σωληνώσεις. Τα συστήματα σπειροειδών σωληνώσεων μειώνουν ακόμα περισσότερο την απαιτούμενη επιφάνεια. Τα μήκη των αυλακώσεων σε αυτή την περίπτωση είναι μόνο το 20-30% του μήκους για μονές σωληνώσεις, όμως πάλι πρέπει να αυξηθεί σημαντικά το μήκος των σωληνώσεων για να υπερνικηθούν οι θερμικές επιδράσεις που υπάρχουν ανάμεσα στις γειτονικές σωληνώσεις.



**ΕΙΚΟΝΑ 57:** Εκσκαφή μορφής ολικής απομάκρυνσης εδάφους και πολλαπλές σωληνώσεις



**ΕΙΚΟΝΑ 58:** Εκσκαφή μορφής ορύγματος και σπειροειδείς σωληνώσεις



**ΕΙΚΟΝΑ 59:** Τρόποι εκσκαφής για οριζόντια συστήματα ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος

<http://www.geo4va.vt.edu/A2/A2.htm>

Κύριο πλεονέκτημα των οριζόντιων συστημάτων σε σύγκριση με τα κάθετα είναι το μικρότερο κόστος εγκατάστασης, (η απόσβεση της γίνεται σε 2 έως 4 έτη) και η ευκολία κατασκευής. Η απόδοση του γεωεναλλάκτη αυτού κυμαίνεται μεταξύ 20 – 35 W/m<sup>2</sup> ανάλογα με την σύσταση του εδάφους εγκατάστασης. Σοβαρός περιορισμός είναι η ανάγκη ύπαρξης ικανού χώρου για την τοποθέτηση των υπεδάφινων σωληνώσεων, γεγονός που περιορίζει την χρήση αυτών των συστημάτων σε εξοχικές κατοικίες. Οι κατακόρυφες γεωτρήσεις πάντως καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο (έτσι μπορούν να εγκατασταθούν σε περιοχές με πολλά κτίρια) και είναι περισσότερο αποδοτικές, γιατί η θερμοκρασία του υπεδάφους είναι περισσότερο σταθερή σε μεγαλύτερα βάθη αφού δεν έχουμε την εποχική διακύμανση των θερμοκρασιών και των θερμικών χαρακτηριστικών που έχουμε στο βάθος των 2 m.

### **5.5 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Αποδοτικότητα μιας Εγκατάστασης ΓΑΘ**

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτικότητα μιας εγκατάστασης ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος είναι [66]:

- A.** Το κλίμα
- B.** Οι θερμικές ιδιότητες του υπεδάφους
- Γ.** Το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας
- Δ.** Το κόστος ανόρυξης της γεώτρησης ή της εκσκαφής των ορυγμάτων
- E.** Οι τυχόν επιδοτήσεις και τα κίνητρα για την εγκατάσταση μονάδων εξοικονόμησης ενέργειας

Είναι φανερό ότι η αύξηση των ΓΑΘ στον κόσμο και οι τεχνολογική πρόοδος των τελευταίων χρόνων έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους εγκατάστασης. Έτσι στην μελέτη για το στρατόπεδο επιλέγεται ως λύση η εγκατάσταση ενός κάθετου συστήματος ΓΑΘ κλειστού κυκλώματος για την παραγωγή ψύξης και θέρμανσης.



## **Κεφάλαιο 6<sup>ο</sup>**

### **ΗΛΙΑΚΗ ΨΥΞΗ**

#### **6.1 Γενικά [12]**

Οι απαιτήσεις κλιματισμού στις κατοικίες και στον τριτογενή τομέα αυξάνονται συνεχώς, ιδιαίτερα λόγω των μεγαλύτερων απαιτήσεων θερμικής άνεσης και των υψηλότερων θερμοκρασιών που έχουν εμφανιστεί κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας. Παράλληλα, εφαρμογές παθητικών και ημι-ενεργητικών συστημάτων, που χρησιμοποιούνται για αιώνες για τη διατήρηση άνετων συνθηκών σε εσωτερικούς χώρους, φαίνεται να μην αξιοποιούνται σε πολλά νέα κτίρια. Έτσι η όλο και περισσότερο εκτενής χρήση των ηλεκτροκίνητων συστημάτων ψύξης με συμπύεση είναι υπεύθυνη για την αυξανόμενη ζήτηση αιχμής της ηλεκτρικής ενέργειας το καλοκαίρι, η οποία φτάνει σε διάφορες περιπτώσεις στο ανώτατο όριο του δικτύου. Η "ενεργειακή έλλειψη" είναι πιο έντονη κατά τη διάρκεια των "ξηρών" υδρολογικά ετών λόγω της ανεπάρκειας των υδροηλεκτρικών σταθμών, ώστε να καλυφθεί ποσοστό του φορτίου αιχμής. Ακόμα η εκπομπή αερίων ρύπων υπεύθυνων για το φαινόμενο του θερμοκηπίου αυξάνεται, είτε από την ενεργειακή παραγωγή, είτε από τυχόν διαρροές των ψυκτικών ρευστών, γεγονός που ενισχύει το φαύλο κύκλο των κλιματικών αλλαγών.

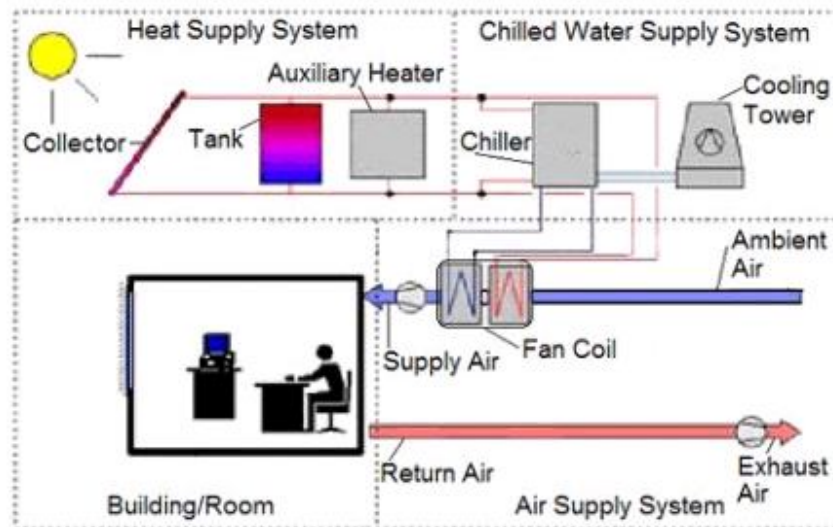
Έτσι η χρήση της ηλιακής ενέργειας για τη λειτουργία συστημάτων κλιματισμού χώρων είναι ελκυστική, δεδομένου ότι το ψυκτικό φορτίο συμπίπτει γενικά με τη διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας και επομένως οι απαιτήσεις σε ψύξη ενός κτιρίου συμπίπτουν με την υψηλή ηλιακή ακτινοβολία. Τα συστήματα ηλιακής ψύξης έχουν το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιούν απολύτως αβλαβή ρευστά όπως το νερό, ή διαλύματα αλάτων για την λειτουργία τους. Είναι ενεργειακά αποδοτικά και περιβαλλοντικά φιλικά. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ως αυτόνομα συστήματα, είτε σε συνδυασμό με συμβατικό κλιματισμό, για να βελτιώσουν την ποιότητα της

ατμόσφαιρας του εσωτερικού όλων των τύπων κτιρίων. Ο κύριος στόχος είναι να χρησιμοποιηθούν τεχνολογίες "μηδενικών εκπομπών" με σκοπό τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών CO<sub>2</sub>.

Ωστόσο 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 σχετικά 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 αφού συνεχώς αυξομειώνονται.

Έτσι, παρόλο που η χρησιμοποιούμενη ενέργεια παρέχεται δωρεάν (ηλιακή ενέργεια), τα συστήματα ηλιακής ψύξης είναι προς το παρόν ακριβότερα από τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού αντίστοιχης ψυκτικής ισχύος. Επομένως, αν αποφασισθεί η εγκατάσταση ενός συστήματος ηλιακής ψύξης, πρέπει να γίνει προσεκτική ανάλυση των παραμέτρων του κτιρίου που θα κλιματίζεται και να υιοθετηθούν όλα τα μέτρα που απαιτούνται για τη μείωση των ενεργειακών αναγκών [12].

Μια τυπική εγκατάσταση ηλιακού κλιματισμού συνήθως αποτελείται από [75]: **(α)** ηλιακούς συλλέκτες (παρέχουν την απαιτούμενη θερμότητα για την λειτουργία του ψύκτη), **(β)** μια δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού, **(γ)** τη μονάδα ψύξης, **(δ)** το σύστημα κλιματισμού και **(ε)** το εφεδρικό σύστημα θέρμανσης – ψύξης (ενσωματώνεται στην εγκατάσταση είτε σαν εφεδρική θέρμανση, είτε σαν εφεδρικός ψύκτης ή και τα δύο).



**ΣΧΗΜΑ 8:** Διάγραμμα ενός ηλιακού συστήματος ψύξης

([http://s3.hubimg.com/u/101378\\_f520.jpg](http://s3.hubimg.com/u/101378_f520.jpg))

## **6.2 Πλεονεκτήματα Ηλιακού Κλιματισμού**

Ο κλιματισμός με τη χρήση ηλιακής ενέργειας έχει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των άλλων μεθόδων [39]:

**A. Είναι περιβαλλοντολογικά φιλικός:** Τα κλιματιστικά γενικώς χρησιμοποιούν πάρα πολύ ηλεκτρική ενέργεια. Μειώνοντας την κατανάλωση αυτών των ενεργειακών πηγών, μειώνεται και το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

**B. Έχει ευελιξία:** Με τη χρήση εναλλακτών θερμότητας και συγκεκριμένα με εναλλάκτες θερμότητας με σωλήνες, τα υγρά μπορούν να θερμανθούν σε υψηλές θερμοκρασίες.

**Γ. Είναι οικονομικά πρόσφορος:** Η χρήση της ηλιακής ενέργειας για τη λειτουργία των κλιματιστικών, των ψυκτών και κατ' επέκταση της κεντρικής θέρμανσης και της παροχής ζεστού νερού, μειώνει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικά τον αντίστοιχο λογαριασμό.

**Δ. Έχει ευρεία εφαρμογή:** Τα κλιματιστικά που λειτουργούν με ηλιακή ενέργεια είναι ιδανικά για εφαρμογές μεγάλου μεγέθους, όπως ξενοδοχεία, σουπερ μάρκετ, σχολεία, εργοστάσια κ.λπ.

**Ε. Έχει συγχρονισμό:** Τα κλιματιστικά είναι περισσότερο αναγκαία το καλοκαίρι, ακριβώς τότε που ο ήλιος λάμπει περισσότερο, χαρίζοντας άφθονη ενέργεια.

### **6.3 Συστήματα Ηλιακού Κλιματισμού**

Τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού που χρησιμοποιούνται μέχρι τώρα μπορούν να ταξινομηθούν σε [12]:

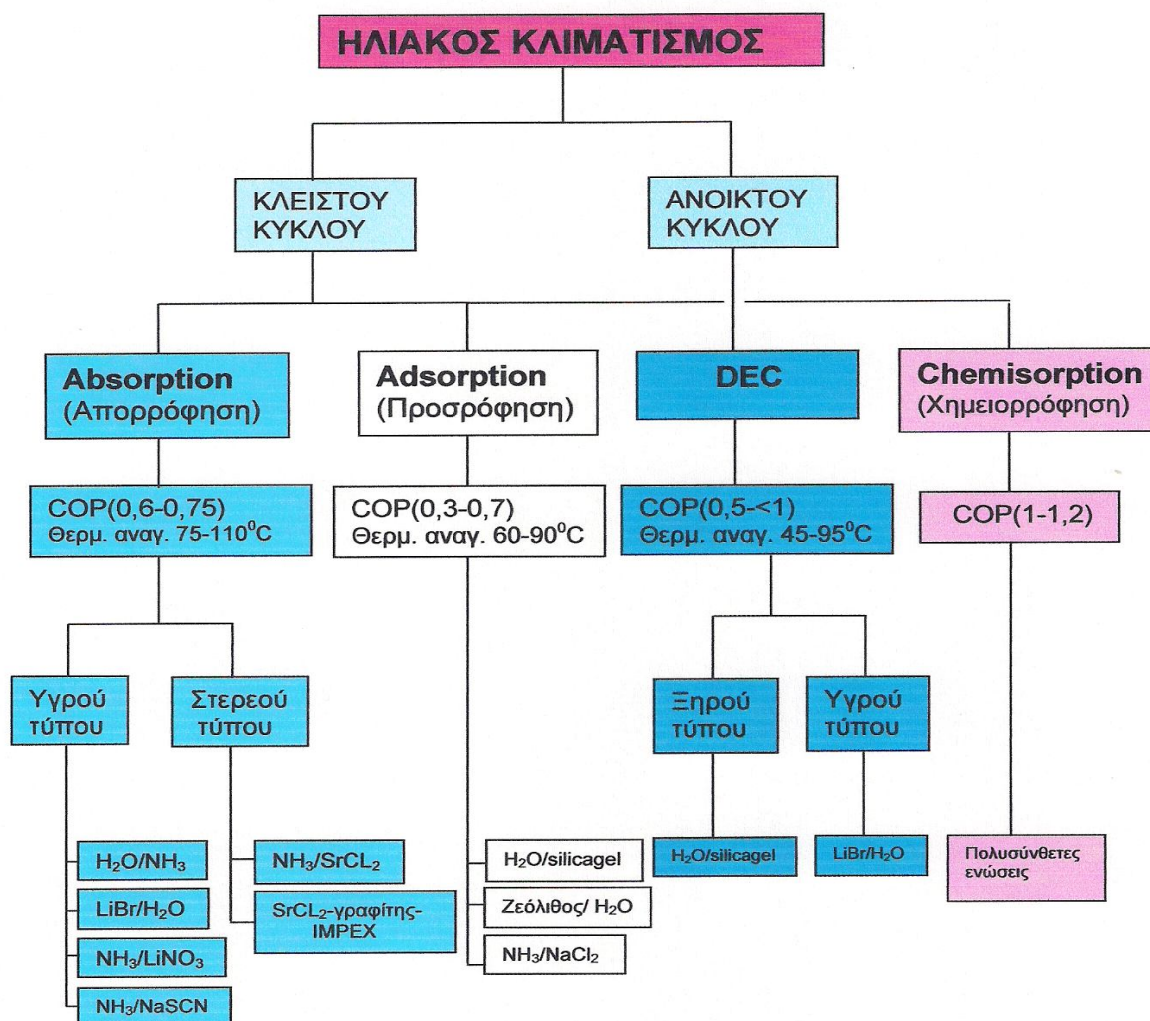
**A. Κλειστά Συστήματα:** αυτά είναι **θερμοκίνητοι ψύκτες που παρέχουν ψυχρό νερό**, το οποίο είτε χρησιμοποιείται στις κεντρικές κλιματιστικές μονάδες για να παρέχει πλήρως κλιματισμένο αέρα (ψυχρό, ξηρό) είτε διανέμεται μέσω ενός δικτύου ψυχρού νερού σε καθορισμένους χώρους για να ενεργοποιήσει τις τοπικές μονάδες των δωματίων (π.χ. fan coils , ενδοδαπέδια ή ψύξη αέρα με εναλλάκτη)

Στην αγορά των κλειστών συστημάτων υπάρχουν σήμερα διαθέσιμοι οι **ψύκτες απορρόφησης** (πιο κοινοί) και οι **ψύκτες προσρόφησης** (μερικές εκατοντάδες συστήματα παγκοσμίως, αλλά συνεχώς αυξανόμενου ενδιαφέροντος για τον ηλιακό κλιματισμό).

Στα κλειστά συστήματα υπάρχει μία ακόμα κατηγορία, αυτή των **ψυκτών χημειορρόφησης**, η οποία όμως έχει πολύ μικρή εφαρμογή ακόμα.

**B. Ανοικτά Συστήματα:** που επιτρέπουν πλήρη κλιματισμό **παρέχοντας ψυχρό και ξηρό αέρα** σύμφωνα με τις απαιτούμενες συνθήκες άνεσης. Το ψυκτικό μέσο είναι πάντα νερό, δεδομένου ότι είναι σε άμεση επαφή με τον αέρα. Τα πιο κοινά συστήματα είναι συστήματα ψύξης ανοικτού κύκλου (desiccant\*), που χρησιμοποιούν έναν περιστρεφόμενο τροχό αφύγρανσης με στερεό πορώδες

ροφητικό υλικό. Χωρίζονται σε μονάδες με στερεό ροφητή (στερεού τύπου) και μονάδες με ψεκαζόμενο ροφητή (υγρού τύπου).



Διάγραμμα 1: Διάγραμμα ταξινόμησης συστημάτων Ηλιακού Κλιματισμού.  
Η διάταξη είναι κατά τον φθίνοντα αριθμό εφαρμογών στην αγορά, από αριστερά προς τα δεξιά.

### ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: Ταξινόμηση συστημάτων ηλιακού κλιματισμού

([http://www.ebhe.gr/library/8\\_4\\_10/3%20heliakos\\_klimatismos%20kleistos\\_kykos.pdf](http://www.ebhe.gr/library/8_4_10/3%20heliakos_klimatismos%20kleistos_kykos.pdf))

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 (απλής βαθμίδας)	0,6 - 0,75 (απλής βαθμίδας)	0,5 <1(απλής βαθμίδας)	> 1(απλής βαθμίδας)
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

**ΠΙΝΑΚΑΣ 29:** Επισκόπηση των πιο κοινών τεχνολογιών ηλιακού κλιματισμού

([http://www.cres.gr/kape/education/solar\\_cooling\\_brochure-SMALL.pdf](http://www.cres.gr/kape/education/solar_cooling_brochure-SMALL.pdf))

### **6.3.1 Ψύκτες Απορρόφησης-Προσρόφησης [12]**

Με τους ψύκτες απορρόφησης – προσρόφησης (θερμοκίνητοι ψύκτες) πραγματοποιείται μετατροπή της θερμότητας σε ψύξη. Οι τεχνολογίες της ψύξης απορρόφησης-προσρόφησης βρίσκουν επιτυχή εφαρμογή στις περιπτώσεις όπου υπάρχει διαθέσιμη θερμότητα και δεν υπάρχουν ανάγκες για θερμότητα αλλά υπάρχουν ανάγκες για ψύξη. Τέτοια παραδείγματα είναι τα συστήματα συμπαραγωγής, στα οποία η συμπαραγόμενη θερμότητα κατά τη διάρκεια του χειμώνα χρησιμοποιείται για τη θέρμανση χώρων (π.χ. ξενοδοχεία, νοσοκομεία, μεγάλα δημόσια κτίρια κλπ.), ενώ το καλοκαίρι διοχετεύεται σε ψύκτες απορρόφησης/προσρόφησης, οι οποίοι παράγουν ψύξη για τον κλιματισμό των χώρων.

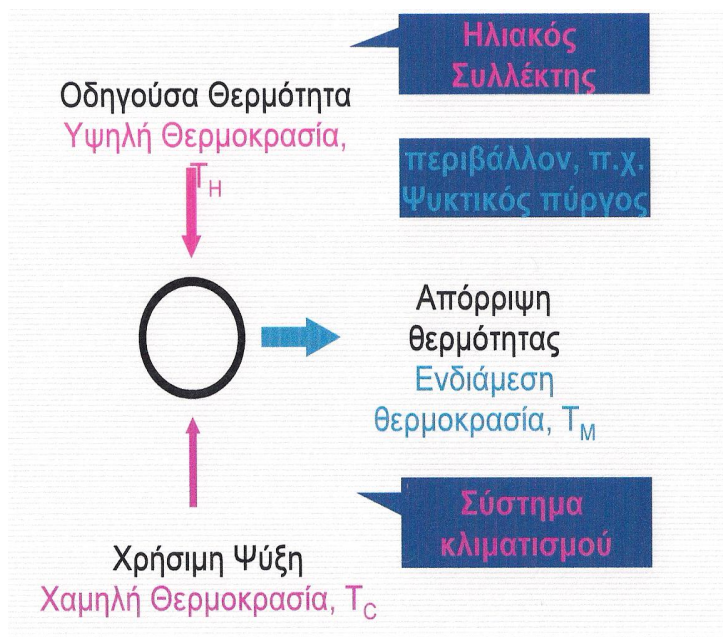
Οι θερμοκίνητοι ψύκτες μπορούν να χαρακτηριστούν από τρία θερμοκρασιακά επίπεδα :

**A.** Επίπεδο υψηλής θερμοκρασίας στο οποίο παρέχεται η θερμοκρασία αναγέννησης της διεργασίας ρόφησης (sorption).

**B.** Επίπεδο χαμηλής θερμοκρασίας στο οποίο λειτουργεί η διαδικασία ψύξης.

**Γ.** Μέσο επίπεδο θερμοκρασίας στο οποίο και η θερμότητα που απορρίπτεται από τον κύκλο ψυχρού νερού και η θερμότητα αναγέννησης πρέπει να απομακρυνθούν.

Για την απομάκρυνση αυτής της θερμότητας, στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται πύργος ψύξης υγρού τύπου.



**ΣΧΕΔΙΟ 5:** Θερμοκρασιακά επίπεδα θερμοκίνητων ψυκτών [9]

Σε γενικές γραμμές, ο κύκλος απορρόφησης-προσρόφησης αποτελείται από τέσσερα βασικά στάδια :

1. Το ψυκτικό μέσο που χρησιμοποιείται είναι το νερό. Με τον ψεκασμό του νερού σε ένα δοχείο, στο οποίο υπάρχουν συνθήκες κενού και την εξάτμισή του, προκαλείται πτώση της θερμοκρασίας.

2. Οι υδρατμοί που παράγονται απορροφούνται-προσροφούνται από ένα διαλυτικό μέσο απορρόφησης-προσρόφησης. Τα απορροφητικά μέσα που χρησιμοποιούνται είναι το Βρωμιούχο Λίθιο (LiBr) και η Αμμωνία. Το διάλυμα αμμωνίας χρησιμοποιείται για να επιτευχθούν χαμηλότερες θερμοκρασίες, ενώ αποφεύγεται η τοποθέτηση τέτοιων ψυκτών σε κλειστούς χώρους. Το προσροφητικό μέσο που χρησιμοποιείται είναι το Silica Gel.

3. Το κορεσμένο διάλυμα αναγεννιέται από μια πηγή θερμότητας (νερό θερμοκρασίας μεγαλύτερης από 70°C ή ατμό χαμηλής πίεσης) και ελευθερώνονται οι υδρατμοί.

4. Οι υδρατμοί συμπυκνώνονται από ένα κατάλληλο ρευστό ψύξης



Μια βασική παράμετρος που περιγράφει την αποδοτικότητα ενός ψύκτη απορρόφησης/προσρόφησης είναι ο Θερμικός Συντελεστής Απόδοσης (Coefficient of Performance, COP), που ορίζεται ως το κλάσμα της θερμότητας που απορρίπτεται από το κύκλωμα ψυχρού νερού και της απαραίτητης θερμότητας αναγέννησης, δηλαδή  $COP_{thermal} = Q_{cold}$  (αποδιδόμενη ψύξη) /  $Q_{heat}$  (καταναλισκόμενη θερμική ενέργεια). Είναι δε διαφορετικός από το  $COP_{conv}$  ενός συμβατικού, ηλεκτροκίνητου ψύκτη συμπίεσης, που ορίζεται ως  $COP_{conv} = Q_{cold} / E_{electric}$ , με τον όρο  $E_{electric}$  να αντιπροσωπεύει την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας του ψύκτη.

Ο ορισμός του  $COP_{thermal}$  δεν περιλαμβάνει οποιαδήποτε άλλη πρόσθετη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, μια ρεαλιστική σύγκριση διαφορετικών τεχνολογιών απαιτεί την εκτίμηση της συνολικής ενέργειας που απαιτείται για τροφοδοσία θερμότητας, για αντλίες, ανεμιστήρες, κλπ.

Πρέπει να σημειωθεί ότι όσο μικρότερος είναι ο COP, τόσο περισσότερη τροφοδοσία θερμότητας απαιτείται και περισσότερη θερμότητα πρέπει να απορριφθεί από τον ψυκτικό πύργο. Αντίστροφα, η υψηλή τιμή COP είναι πλεονεκτική στη μείωση και της τροφοδοσίας θερμότητας και της ηλεκτρικής ενέργειας για τις αντλίες στον κύκλο θέρμανσης και στον κύκλο επανάψυξης (re-cooling cycle).

Έτσι ο βαθμός απόδοσης ενός ψύκτη είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας του θερμού νερού που προσάγεται για την αναγέννηση του διαλύματος. Για τους ψύκτες απορρόφησης οι τιμές κυμαίνονται από 0,5 (για θερμό νερό 70 °C) έως και 1,1 (για ατμό). Για τους ψύκτες προσρόφησης οι τιμές κυμαίνονται από 0,7 (για θερμό νερό 70 °C) έως 0,9 (για ατμό) .

Η απαιτούμενη θερμοκρασία ψυχρού νερού εξαρτάται από το εγκατεστημένο σύστημα ψύξης στους επιμέρους χώρους. Σε περίπτωση που απαιτείται αφύγρανση του αέρα, π.χ. πτώση κάτω από το σημείο κορεσμού της θερμοκρασίας δωματίου με τη χρήση τοπικών κλιματιστικών μονάδων, απαιτούνται θερμοκρασίες ψυχρού νερού της τάξης 6°C-9°C . Για την απομάκρυνση μόνο των αισθητών ψυκτικών φορτίων, δεδομένου ότι επιτυγχάνεται με παροχή ψυχρού αέρα ή με ψυχρές οροφές κλπ., η

θερμοκρασία ψυχρού νερού 12°C- 15°C είναι ικανοποιητική, επιτρέποντας έτσι να λειτουργήσει ο ψύκτης με υψηλότερη απόδοση .

Υπάρχει επίσης και η δυνατότητα άμεσης παραγωγής ψύξης από συμβατικό καύσιμο (π.χ. φυσικό αέριο) σε ψύκτες απορρόφησης άμεσης καύσης. Η διαφορά με τους προαναφερόμενους ψύκτες είναι ότι η αναγέννηση του διαλύματος (στάδιο 3) επιτυγχάνεται με τη θερμότητα καύσης φυσικού αερίου και όχι από θερμό νερό ή ατμό.

Όπως γίνεται αντιληπτό για τη λειτουργία αυτών των ψυκτών απαιτείται θερμική ενέργεια (καύση αερίων ή υγρών καυσίμων, υδρατμός, θερμικά απόβλητα βιομηχανιών, ηλιακή ενέργεια κλπ.) και ελάχιστη ή καθόλου μηχανική ενέργεια.

## **6.4 Απορρόφηση**

### **6.4.1 Γενικά περί Ψυκτών Απορρόφησης [18,39]**

Οι ψύκτες απορρόφησης είναι οι πιο διαδεδομένοι ψύκτες παγκοσμίως. Ο δε κλιματισμός με τη μέθοδο της απορρόφησης, έχει αποδειχθεί ότι είναι οικονομικά βιώσιμος, όταν υπάρχει μια φθηνή πηγή ενέργειας, στο εύρος των θερμοκρασιών από 100 έως 200°C. Η θερμική συμπίεση του ψυκτικού μέσου επιτυγχάνεται με τη χρήση υγρού διαλύματος ψυκτικού μέσου/υλικού απορρόφησης και πηγή θερμότητας, αντικαθιστώντας με αυτόν τον τρόπο την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ενός μηχανικού συμπιεστή. Για ψυχρό νερό άνω των 0°C, όπως απαιτείται στον κλιματισμό, τυπικά χρησιμοποιείται ένα υγρό διάλυμα H<sub>2</sub>O/LiBr, με το νερό ως ψυκτικό μέσο και το LiBr ως απορροφητή. Τα περισσότερα συστήματα χρησιμοποιούν εσωτερική αντλία για το διάλυμα, καταναλώνοντας όμως μικρή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Στη λειτουργία του ψύκτη απορρόφησης H<sub>2</sub>O/LiBr, η κρυστάλλωση του διαλύματος πρέπει να αποφευχθεί με εσωτερικό έλεγχο της θερμοκρασίας απόρριψης θερμότητας στη μηχανή.

Ακόμα λειτουργούν με μείγμα απορροφητικού/ψυκτικού H<sub>2</sub>O/NH<sub>3</sub> ή σε

ορισμένες περιπτώσεις χλωριούχο ασβέστιο και νερό. Πάντως ο μέγιστος COP του ψυκτικού κύκλου για τη χαμηλότερη θερμοκρασία λειτουργίας των ηλιακών συλλεκτών, επιτυγχάνεται με τη χρήση του συνδυασμού νερού - βρωμιούχου λιθίου.

<b>Μέσο απορρόφησης</b>	<b>Ψυκτικό Μέσο</b>
Διάλυμα LiBr/H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
H <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>
LiBr	NH <sub>3</sub>
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O
Γλυκερίνη	NH <sub>3</sub>
H <sub>2</sub> O	CH <sub>3</sub> OH

**ΠΙΝΑΚΑΣ 30:** Διμερή μίγματα μονάδων απορρόφησης [9]

Η αποτελεσματικότητα ενός κύκλου απορρόφησης εξαρτάται από τις δύο ουσίες που αποτελούν το ψυκτικό και το απορροφητικό μέσο. Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά αυτών των δύο ουσιών είναι τα εξής:

**A.** Η απουσία απορροφητή στερεού τύπου.

**B.** Ένα ψυκτικό που θα είναι περισσότερο πτητικό από τον απορροφητή, ώστε να διαχωρίζεται εύκολα από το απορροφητικό μέσο.

**Γ.** Ένα απορροφητικό μέσο που δεν θα έχει συγγένεια με το ψυκτικό.

**Δ.** Υψηλού βαθμού χημική σταθερότητα, για μακροχρόνια λειτουργία.

**Ε.** Ένα ψυκτικό που θα έχει μεγάλη λανθάνουσα θερμότητα.

**ΣΤ.** Μικρό βαθμό διάβρωσης και καθόλου τοξικότητα, για λόγους ασφαλείας.

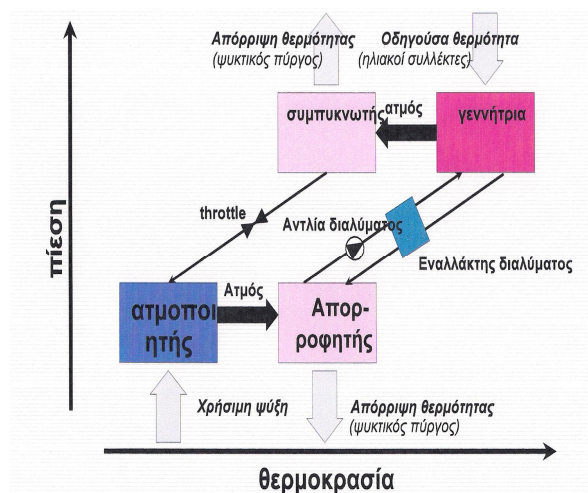
Μετά από εμπειρία πολλών ετών και σύμφωνα με την βιβλιογραφία επικρατέστερη επιλογή είναι οι υγροί απορροφητές με σημαντικότερους τους εξής: αμμωνία και βρωμιούχο λίθιο (LiBr). Από τα δυο αυτά το βρωμιούχο λίθιο προτιμάται έναντι της αμμωνίας στον κλιματισμό λόγω της τοξικότητας της τελευταίας. Ο συνδυασμός του βρωμιούχου λιθίου με το νερό κατά την ηλιακή ψύξη έχει δώσει πολύ καλά αποτελέσματα ως τώρα και γι' αυτό θεωρείται αξιόπιστη επιλογή.

Παρουσιάζει παρόλα αυτά κάποια μειονεκτήματα: (α) το βρωμιούχο λίθιο κρυσταλλώνεται και διαχωρίζεται από το διάλυμα όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη και η συγκέντρωση υψηλότερη από την κατάσταση κορεσμού, (β) είναι πάρα πολύ διαβρωτικό στα μέταλλα ειδικά με την παρουσία αέρα και (γ) το κόστος του είναι σχετικά μεγάλο. Πάντως η χρήση του είναι πολύ διαδεδομένη και θεωρείται συγκριτικά πιο αξιόπιστο από την αμμωνία.

Στις ΗΠΑ και στην Ασία (Κίνα, Ιαπωνία, Ινδία) οι μονοβάθμιοι ψύκτες απορρόφησης (με COP από 0,7 έως 0,8) και διβάθμιοι (με COP από 1,0 έως 1,2) αποτελούν σήμερα δοκιμασμένα και εμπορικά διαθέσιμη τεχνολογία. Η έρευνα επικεντρώνεται πλέον σε ψύκτες τριών και τεσσάρων βαθμίδων, οι οποίοι μπορούν να πετύχουν βελτιωμένες αποδόσεις, με COP λειτουργίας από 1,7 έως 2,2 , πλησιάζοντας έτσι τις αποδόσεις των συμβατικών ψυκτών συμπίεσης.

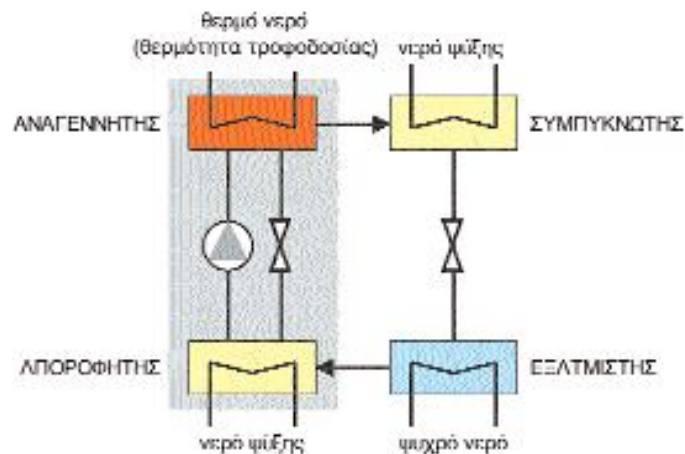
Οι εμπορικά διαθέσιμοι ψύκτες απορρόφησης κυμαίνονται από μέσης ψυκτικής ισχύος μηχανήματα (40 έως 100 kW) μέχρι μεγάλες μονάδες (>300 kW). Με δεδομένη όμως τη συνεχιζόμενη αύξηση των απαιτήσεων για κλιματισμό σε κατοικίες και μικρά κτίρια, υπάρχει μια συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση για μικρά μηχανήματα (<10 kW) [75].

Το μεγαλύτερο και σημαντικότερο πλεονέκτημα των ψυκτών απορρόφησης είναι η απουσία κινούμενων μερών (εκτός από κάποιες πολύ μικρές αντλίες) το οποίο έχει σαν αποτέλεσμα την απουσία θορύβου ακόμα και σε πολύ μεγάλα μεγέθη εκατοντάδων ψυκτικών τόνων.



**ΣΧΗΜΑ 9:** Διεργασία απορρόφησης μονής βαθμίδα [9]

## 6.4.2 Λειτουργία Ψύκτη Απορρόφησης



**ΣΧΗΜΑ 10:** Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας ενός ψύκτη απορρόφησης

[http://www.ebhe.gr/library/8\\_4\\_10/3%20heliakos\\_klimatismos%20kleistos\\_kyklos.pdf](http://www.ebhe.gr/library/8_4_10/3%20heliakos_klimatismos%20kleistos_kyklos.pdf)

Η ψύξη βασίζεται στην εξάτμιση του ψυκτικού μέσου στον εξατμιστή (ατμοποιητή) σε πολύ χαμηλές πιέσεις. Έτσι η λειτουργία ενός ψύκτη απορρόφησης έγκειται στα παρακάτω στάδια [18,39]:

**A.** Το υγρό ψυκτικό μέσο εισέρχεται στον εξατμιστή (ατμοποιητή) και εξατμίζεται σε χαμηλή θερμοκρασία (θερμοκρασία του ψυχόμενου μέσου) ενώ απορροφά θερμότητα από το ψυχόμενο μέσο (νερό κλιματιστικών μονάδων).

**B.** Το ατμοποιημένο ψυκτικό μέσο, παραμένοντας στην χαμηλή πίεση και διατηρούμενο στην υγρή και όχι στην ατμώδη φάση, κατευθύνεται στον απορροφητή όπου απορροφάται από ένα πλούσιο διάλυμα σε απορροφητή, το οποίο και αραιώνει. Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή πλούσιας διάλυσης (πλούσιο σε ψυκτικό μέσο διάλυμα) η οποία με τη βοήθεια της αντλίας καταθλίβεται στον αναγεννητή (ατμογεννήτρια).

**Γ.** Το διάλυμα αντλείται συνεχώς, από την χαμηλή πίεση στην υψηλή, δηλαδή από τον απορροφητή στον αναγεννητή (γεννήτρια ατμού), με την βοήθεια μηχανικής αντλίας (solution pump) ή κατάλληλης θερμοσιφωνικής αντλίας (χρησιμοποιείται αδρανές αέριο). Εισερχόμενο θερμαίνεται μέχρι την υψηλή θερμοκρασία που παρέχεται από την πηγή ηλιακής ενέργειας (θερμότητα

αναγέννησης-τροφοδοσίας) και η πίεση του ατμού του αυξάνεται σε σημείο που πλέον το διάλυμα δεν μπορεί να περιέχει την ποσότητα του ψυκτικού μέσου που είχε απορροφήσει. Έτσι η ποσότητα αυτή απελευθερώνεται σε υψηλή πίεση και οδηγείται στον συμπυκνωτή. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι όμοιο με την έξοδο του συμπιεστή στο συμβατικό σύστημα συμπίεσης ατμού .

**Δ.** Προϊόντα της μερικής ατμοποίησης είναι ο ατμός και το υπόλοιπο διάλυμα το οποίο παραμένει (περιέχει λιγότερη ποσότητα ψυκτικού μέσου και για αυτό καλείται πτωχή διάλυση σε ψυκτικό μέσο).

**Ε.** Η πτωχή διάλυση καταλήγει στον απορροφητή μέσω της εκτονωτικής βαλβίδας (πτώση πίεσης).

**ΣΤ.** Ο παραγόμενος ατμός στην ατμογεωήτρια (αναγεννητή) οδηγείται στη συνέχεια στο συμπυκνωτή όπου συμπυκνώνεται αποβάλλοντας θερμότητα.

**Ζ.** Το συμπύκνωμα καταλήγει μέσω της δεύτερης εκτονωτικής βαλβίδας στον ατμοποιητή (εξαμιστή) όπου με την απορρόφηση θερμότητας από το εισερχόμενο νερό από τις κλιματιστικές μονάδες ατμοποιείται και παράγει την ψυκτική ισχύ.

**Η.** Ο ατμός χαμηλής πίεσης που παράγεται στον εξαμιστή οδεύει στη συνέχεια στον απορροφητή όπου και απορροφάται από την πτωχή διάλυση. Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή πλούσιας διάλυσης η οποία με τη βοήθεια της αντλίας καταθλίβεται στην ατμογεννήτρια κ.ο.κ

**Ας δούμε την παραπάνω διαδικασία , εξειδικευμένα για νερό ως ψυκτικό μέσο και LiBr ως απορροφητή [18,39]:**

**A.** Το συμπύκνωμα νερού (στους 70°C) εισέρχεται στον εξαμιστή, όπου προσλαμβάνει θερμότητα από το εξερχόμενο από τις κλιματιστικές μονάδες νερό , το ψύχει, και εξατμίζεται. [Το νερό εξατμίζεται σε χαμηλές θερμοκρασίες, όταν βρίσκεται σε συνθήκες χαμηλής πίεσης. Με την εξάτμιση του νερού προκαλείται πτώση της θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα να παράγεται ψυχρό νερό.]

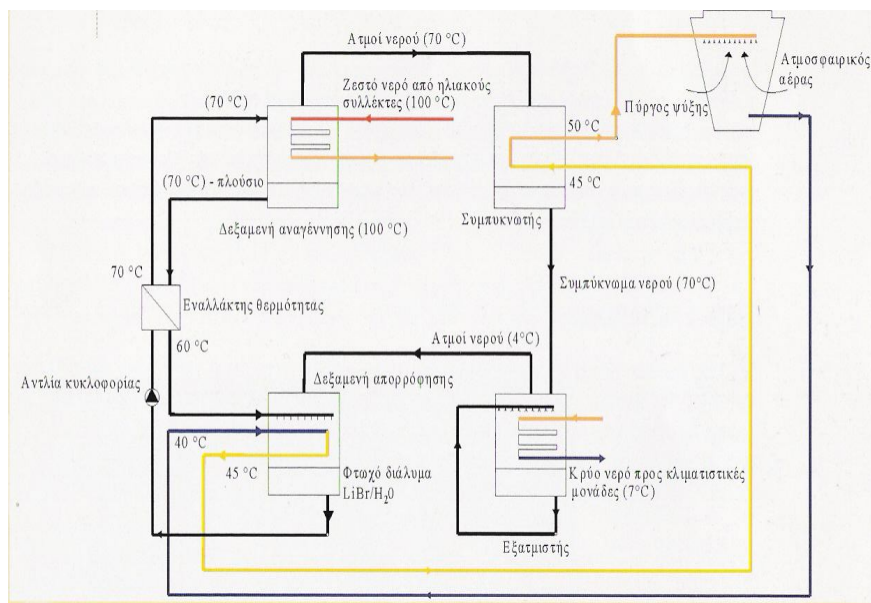
**B.** Ο υδρατμός (στους 4°C) φεύγοντας από τον εξαμιστή μπαίνει στον απορροφητή, όπου διαλύεται και αντιδρά με το LiBr, για να σχηματιστεί το

LiBr/H<sub>2</sub>O. [Οι υδρατμοί απορροφούνται από το LiBr, συνεπώς προκαλείται πτώση της πίεσης και επαναλαμβάνεται ο κύκλος (μέχρι η πίεση των υδρατμών να εξομοιωθεί).]

Γ. Το πτωχό σε ατμοποιητή διάλυμα στη συνέχεια αντλείται προς μεγαλύτερη πίεση και εισάγεται (στους 70°C) στον αναγεννητή, όπου προσλαμβάνει θερμότητα (στους 100°C) και έτσι το νερό διαχωρίζεται ατμοποιούμενο.

Δ. Το ατμοποιημένο νερό εισέρχεται (στους 70°C) στο συμπυκνωτή, όπου και συμπυκνώνεται λόγω του νερού ψύξης (στους 45°C), για να επιστρέψει ως συμπύκνωμα (στους 70°C) στον εξατμιστή και έτσι να κλείσει το κύκλωμα υδρατμών του κύκλου απορρόφησης.

Ε. Με την επιστροφή του πλούσιου διαλύματος σε απορροφητή στον απορροφητή, διαμέσου ενός εναλλάκτη θερμότητας, ολοκληρώνεται το κύκλωμα διαλύματος του κύκλου απορρόφησης.



**ΣΧΗΜΑ 11:** Σχηματική παράσταση της αρχής λειτουργίας ενός ηλιακού ψύκτη απορρόφησης (LiBr/H<sub>2</sub>O)

[http://www.ebhe.gr/library/8\\_4\\_10/3%20heliakos\\_klimatismos%20kleistos\\_kyklos.pdf](http://www.ebhe.gr/library/8_4_10/3%20heliakos_klimatismos%20kleistos_kyklos.pdf)

## **6.5 Ηλιακοί Συλλέκτες**

### **6.5.1 Εισαγωγή**

Οι ηλιακοί συλλέκτες είναι οι συσκευές που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε χρήσιμη θερμική ενέργεια. Έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν με πολύ καλή απόδοση στην θέρμανση χώρων. Η λειτουργία των συλλεκτών βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου που αναπτύσσεται στο χώρο ανάμεσα στην πλάκα απορρόφησης και τη γυάλινη επικάλυψη. Καταρχάς η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει πάνω στην (συνήθως μαύρη) απορροφητική πλάκα, ανεβάζοντας της θερμοκρασία της. Η πλάκα με τη σειρά της εκπέμπει μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμική ακτινοβολία) για την οποία το τζάμι που καλύπτει την πλάκα είναι σχεδόν αδιαφανές. Έτσι η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμική ακτινοβολία) παγιδεύεται ανάμεσα στην πλάκα και το τζάμι, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η απόδοση όσον αφορά τη θέρμανση του νερού (που κυκλοφορεί σε σωλήνες που είναι σ' επαφή με την πλάκα στο πίσω μέρος της ή ενσωματωμένοι σ' αυτή) [64].

Οι κρίσιμοι παράγοντες για την καλή απόδοση του συστήματος είναι η μεγάλη απορροφητικότητα της πλάκας στην ηλιακή ακτινοβολία, ο μικρός συντελεστής εκπομπής της πλάκας στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία και η μεγάλη αδιαφάνεια του κρυστάλλου για τη δεύτερη. Τα υλικά που προσφέρουν την καλύτερη σχέση απόδοσης-τιμής είναι γυαλί και επιφάνεια από αλουμίνιο ή χαλκό χρωματισμένη μαύρη [64].

Ο βαθμός απορρόφησης των διάφορων απορροφητήρων κυμαίνεται από 0,8 μέχρι 0,98 με το υπόλοιπο 0,2 και 0,02 αντίστοιχα να ανακλάται [99].

Οι ηλιακοί συλλέκτες λοιπόν εκμεταλλευόμενοι το φαινόμενο του θερμοκηπίου που περιγράφηκε παραπάνω είναι οι μηχανισμοί που πραγματοποιούν τη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα.

Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους οι ηλιακοί συλλέκτες διακρίνονται στους



επίπεδους και τους συγκεντρωτικούς [7].

Στους επίπεδους συλλέκτες η ηλιακή ενέργεια (άμεση και διάχυτη) απορροφάται κατευθείαν και μετατρέπεται σε θερμότητα στην απορροφητική επιφάνεια. Στους συγκεντρωτικούς συλλέκτες αξιοποιείται μόνο η άμεση ηλιακή ακτινοβολία, η οποία συλλέγεται από μία μεγάλη επιφάνεια και με την βοήθεια κατάλληλων οπτικών συστημάτων συγκεντρώνεται για να απορροφηθεί από μία πολύ μικρότερη επιφάνεια [7].

“Ένας βελτιωμένος τύπος επίπεδου συλλέκτη είναι ο συλλέκτης κενού. Βασική ιδέα της κατασκευής είναι η δημιουργία κενού αέρα μεταξύ της διαφανούς και της απορροφητικής επιφάνειας, το οποίο μειώνει τις θερμικές απώλειες και αυξάνει τον βαθμό απόδοσης του συλλέκτη [7].

Τέλος ανάλογα με το ρευστό που απάγει την θερμότητα οι ηλιακοί συλλέκτες διακρίνονται στους συλλέκτες υγρού και τους συλλέκτες αερίου. Στους πρώτους το ρευστό είναι συνήθως το νερό με διάφορα πρόσθετα και στους δεύτερους είναι συνήθως ο αέρας [7].

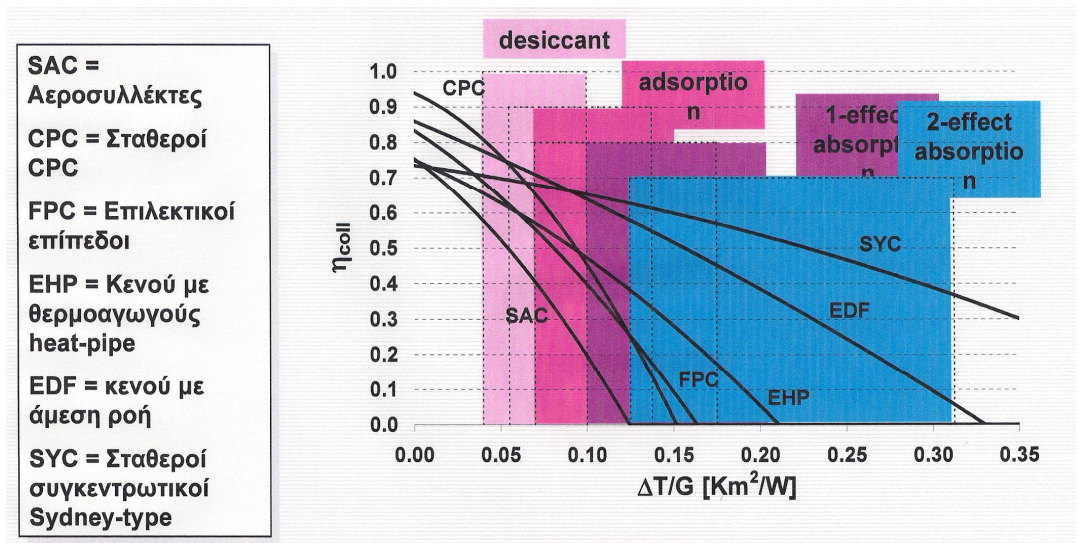
Στον πίνακα που ακολουθεί βλέπουμε την αρχή λειτουργίας κάθε ηλιακού συλλέκτη, τις ιδιότητες και την κύρια εφαρμογή τους.

Τύπος συλλεκτών	Ηλιακός συλλέκτης αέρα	Επίπεδος συλλέκτης	Σταθερός παραβολικός σύνθετος συλλέκτης	Συλλέκτης Σωλήνων Κενού
Αρχή λειτουργίας	Άμεση θέρμανση του αέρα	Θέρμανση υγρού (νερό, νερό-γλυκόλη)	Θέρμανση υγρού (νερό, νερό-γλυκόλη)	Γυάλινος σωλήνας κενού για μείωση των θερμικών απωλειών

<b>Ιδιότητες</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Μεσαίου κόστους</li> <li>- Κάλυμμα από γυαλί ή πλαστικό, πάχους 3-4mm</li> <li>-Συντελεστή διαπερατότητας 91%</li> <li>-Επιλεκτική επιφάνεια: μεγάλη απορροφητικότητα (90-95%) και ελάχιστη ανάκλαση (5-15%) στα μικρά μήκη κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας. Δηλαδή απορροφά την ενέργεια του Ήλιου χωρίς να την ανακλά.</li> <li>- Συντελεστής απώλειας θερμότητας <math>k &lt; 3.5 \text{ W/m}^2\text{K}</math></li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>-Υψηλό κόστος</li> <li>-Κύλινδροι από γυαλί με εσωτερικό απορροφητή, εκκενωμένοι (10-5 bar)</li> <li>-Απώλειες θερμότητας μόνο λόγω ακτινοβολίας (και όχι συναγωγής)</li> <li>- Υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας</li> <li>- Ιδανικό για ψυχρά κλίματα</li> </ul>
<b>Κύρια εφαρμογή</b>	Προθέρμανση του αέρα προσαγωγής	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Για ζεστό νερό χρήσης</li> <li>-Για θέρμανση χώρου</li> <li>-Για ηλιακό κλιματισμό (επιλεκτική επιφάνεια)</li> </ul>	Παραγωγή ζεστού νερού οικιακής και βιομηχανικής χρήσης	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Δεν συνιστώνται σε κατοικίες, αφού το καλοκαίρι <math>T &gt; 300^\circ\text{C}</math>.</li> <li>-Όταν απαιτείται <math>T &gt; 80^\circ\text{C}</math> (ηλιακός κλιματισμός, βιομηχανία)</li> </ul>
<b>Κύρια εφαρμογή στον ηλιακό κλιματισμό</b>	Ανοικτά συστήματα ψύξης, π.χ. συστήματα ψύξης DEC	Συστήματα ψύξης DEC θερμοκίνητοι ψύκτες μιας βαθμίδας	Θερμοκίνητοι ψύκτες μιας βαθμίδας	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Θερμοκίνητοι ψύκτες μιας βαθμίδας</li> <li>-Θερμοκίνητοι ψύκτες διπλής βαθμίδας (SYC)</li> </ul>

**ΠΙΝΑΚΑΣ 31: Ιδιότητες ηλιακών συλλεκτών**

[http://www.cres.gr/kape/education/solar\\_cooling\\_brochure-SMALL.pdf](http://www.cres.gr/kape/education/solar_cooling_brochure-SMALL.pdf)



**ΣΧΗΜΑ 12:** Ηλιακοί συλλέκτες και θερμοκίνητοι ψύκτες [9]

## 6.5.2 Επίπεδος Ηλιακός Συλλέκτης

### A. Γενικά περί του Επίπεδου Συλλέκτη

Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες παράγουν θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας, η οποία αξιοποιείται για την θέρμανση του νερού και των χώρων ενός κτιρίου. Η σχετικά χαμηλή ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του συλλέκτη και οι αυξημένες θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον λόγω των μεγάλων επιφανειών δεν μας επιτρέπουν να πετύχουμε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 150°C. Η συνήθης περιοχή λειτουργίας τους είναι από 40°C έως 100°C [7].

Το μεγαλύτερο ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας (άμεσης και διάχυτης) απορροφάται από μία επιφάνεια, που συμπεριφέρεται σαν μέλαν σώμα στην ηλιακή ακτινοβολία. Ένα μέρος της απορροφούμενης ακτινοβολίας μεταφέρεται σε κάποιο ρευστό, ενώ το υπόλοιπο χάνεται στο περιβάλλον. Το ποσό της θερμότητας που απάγεται από το ρευστό είναι το ωφέλιμο ενεργειακό κέρδος του συλλέκτη και αποθηκεύεται ή τροφοδοτεί απευθείας το φορτίο. Το κέρδος αυτό για ένα επίπεδο ηλιακό συλλέκτη είναι 350-400 kWh/m<sup>2</sup>έτος για ετήσια ηλιακή

ακτινοβολία 1000 kWh/m<sup>2</sup>έτος [7].

Μερικά από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών σε σχέση με τους συγκεντρωτικούς συλλέκτες μπορούν να συνοψισθούν ως εξής:

1. Χρησιμοποίηση σε εφαρμογές που απαιτούν απόδοση ενέργειας σε μέσες θερμοκρασίες δηλαδή μέχρι περίπου 100°C πάνω από την θερμοκρασία περιβάλλοντος.

2. Εκμετάλλευση και της αμέσου και της διάχυτου ακτινοβολίας.

3. Δεν απαιτούν μηχανισμό κίνησης για την παρακολούθηση του ήλιου και συνεπώς είναι μηχανικά απλούστεροι των συγκεντρωτικών συλλεκτών και απαιτούν μικρή μόνο συντήρηση.

4. Κύριες εφαρμογές είναι η θέρμανση νερού χρήσης και η θέρμανση κτιρίων ενώ στις δυνατές εφαρμογές συμπεριλαμβάνεται ο κλιματισμός και η παραγωγή θερμότητας για βιομηχανική χρήση.

Τα βασικά στοιχεία ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη είναι τα εξής [76] :

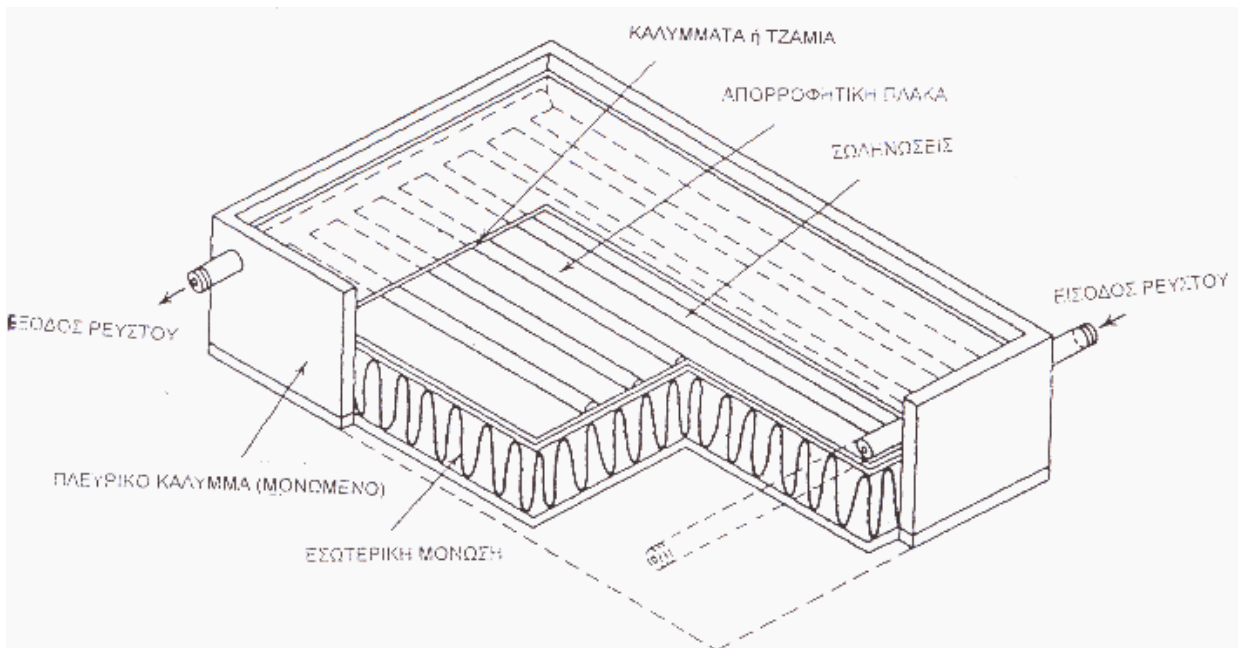
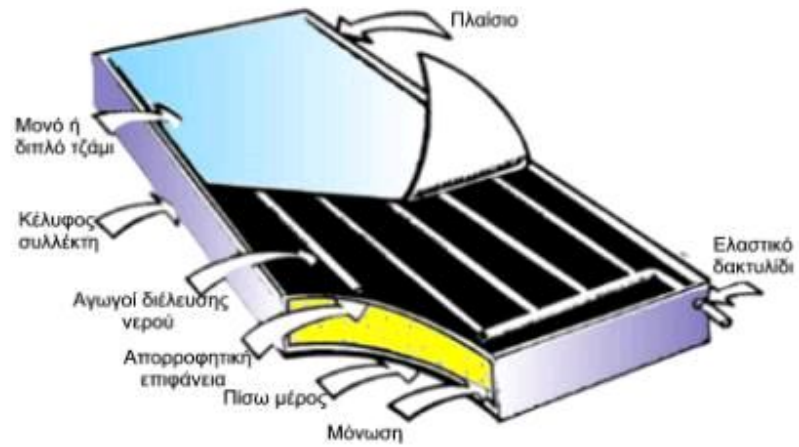
**A)** Ένα ή περισσότερα διαφανή καλύμματα πάνω από τον απορροφητήρα ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες δια συναγωγής και ακτινοβολίας προς το περιβάλλον. Το κάλυμμα είναι συνήθως από γυαλί αλλά μπορεί να είναι και από διαφανές πλαστικό.

**B)** Ο απορροφητήρας ή πλάκα απορρόφησης , η οποία είναι μία μεταλλική επιφάνεια με υψηλή θερμική αγωγιμότητα (συνήθως από χαλκό ή αλουμίνιο) και σκουρόχρωμη επικάλυψη.

**Γ)** Το δίκτυο μεταφοράς του ρευστού. Αποτελείται από σωλήνες ή αεραγωγούς που κατασκευάζονται συνήθως από χαλκό και είναι σε επαφή με τον απορροφητήρα. Μέσα σε αυτούς κυκλοφορεί το ρευστό που απάγει την θερμότητα από τον απορροφητήρα.

**Δ)** Η μόνωση της πίσω και των παράπλευρων επιφανειών ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον. Μόνωση πάχους μεγαλύτερου από 15 cm για την πίσω πλευρά του συλλέκτη θεωρείται συνήθως επαρκής.

Ε) Το περίβλημα , μεταλλικό ή πλαστικό πλαίσιο , που συγκρατεί την κατασκευή και προσφέρει προστασία από το περιβάλλον (βροχή, υγρασία, σκόνη).



**ΕΙΚΟΝΑ 60:** Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης

<http://13tee-thess.thess.sch.gr/SOLAR/thermansi%20nerou.files/image010.jpg>

<http://members.fortunecity.com/outopia/image21.gif>

Το διαφανές κάλυμμα του συλλέκτη πρέπει να αφήνει να περάσει το μεγαλύτερο δυνατό ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας και παράλληλα να απορροφά και να ανακλά το μικρότερο τμήμα της. Δηλαδή θα πρέπει να έχει μεγάλο συντελεστή διαπερατότητας  $\tau$  και μικρούς συντελεστές απορροφητικότητας  $\alpha$  και ανακλαστικότητας  $\rho$ . Η διερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία θεωρείται χρήσιμη και απορροφάται στη συνέχεια από τον απορροφητήρα ο οποίος βρίσκεται πίσω από το διαφανές κάλυμμα. Αυτό σημαίνει αύξηση της θερμοκρασίας του απορροφητήρα και εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας από αυτόν. Έτσι το διαφανές κάλυμμα θα πρέπει να έχει την δυνατότητα να εμποδίσει την υπέρυθρη ακτινοβολία να απομακρυνθεί από τον ηλιακό συλλέκτη. Με απλά λόγια το κάλυμμα του συλλέκτη πρέπει να είναι διαφανές για ακτινοβολίες από 0,2  $\mu\text{m}$  έως 2,7  $\mu\text{m}$  και αδιαφανές για ακτινοβολίες μεγαλύτερου μήκους κύματος [7].

Οι επίπεδοι συλλέκτες τοποθετούνται στραμμένοι προς τον ισημερινό ( $\gamma=0^\circ$ ) και με κλίση  $\omega$  ως προς το οριζόντιο επίπεδο  $\beta$  τέτοια ώστε να μεγιστοποιείται η προσπίπτουσα ακτινοβολία κατά την περίοδο του έτους που ενδιαφέρει η χρησιμοποίηση του συλλέκτη.

## **B. Συλλέκτες Κενού [7]**

Η ανάγκη για μείωση των θερμικών απωλειών του συλλέκτη τόσο κατά τη συλλογή της ηλιακής ενέργειας, όσο και κατά τη μετάδοση της θερμότητας από τον απορροφητήρα στο ρευστό, οδήγησε στην επινόηση των συλλεκτών κενού. Οι συλλέκτες αυτοί είναι επίπεδοι συλλέκτες βελτιωμένου τύπου και έχουν σαν βασική κατασκευαστική αρχή την δημιουργία κενού αέρα μεταξύ της διαφανούς επιφάνειας και του απορροφητήρα.

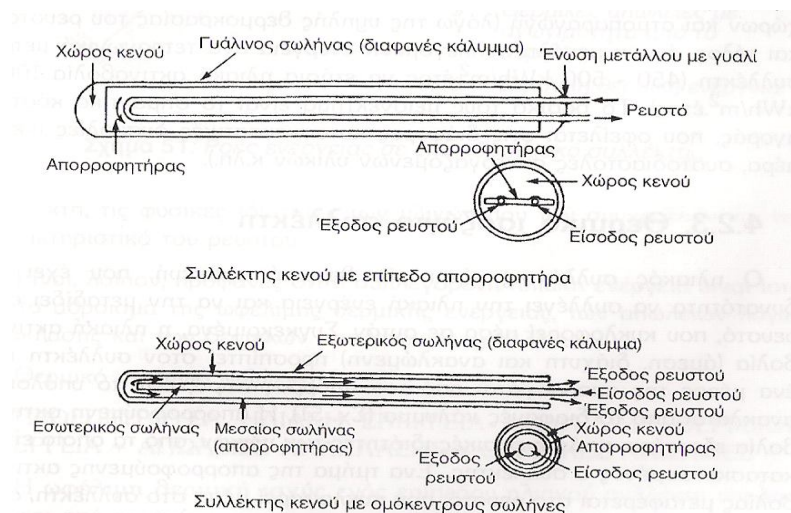
Δύο χαρακτηριστικοί τύποι τέτοιων συλλεκτών είναι ο συλλέκτης κενού με επίπεδο απορροφητήρα και ο συλλέκτης κενού με ομόκεντρους σωλήνες. Στην πρώτη περίπτωση ο απορροφητήρας είναι μία επίπεδη επιφάνεια, που περιλαμβάνει τους σωλήνες εισόδου και εξόδου του ρευστού, η οποία τοποθετείται μέσα σε γυάλινο σωλήνα χωρίς αέρα.

Στην δεύτερη περίπτωση ο συλλέκτης αποτελείται από τρεις ομόκεντρους

σωλήνες. Ο εξωτερικός σωλήνας κατασκευάζεται από γυαλί και αποτελεί το διαφανές κάλυμμα του συλλέκτη. Ο μεσαίος σωλήνας είναι ο απορροφητήρας και μεταξύ αυτού και του εξωτερικού σωλήνα υπάρχει κενό αέρα. Ο εσωτερικός σωλήνας αποτελεί τον σωλήνα προσαγωγής του ρευστού στο συλλέκτη, το οποίο απάγει την θερμότητα και εξέρχεται από τον χώρο μεταξύ εσωτερικού και μεσαίου σωλήνα.

Το χρησιμοποιούμενο ρευστό είναι υδατικό διάλυμα προπυλενογλυκόλης, αλλά στο συλλέκτη κενού μπορεί να χρησιμοποιηθεί και αέριο. Για να αποφύγουμε τους διαβρωτικούς ατμούς στα τοιχώματα των σωλήνων, οι οποίοι οφείλονται στις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο υγρό, θεωρείται απαραίτητη η χρήση ειδικών πρόσθετων.

Οι συλλέκτες κενού μεταφέρονται εύκολα λόγω του μικρού βάρους τους, μπορούν να τοποθετηθούν οριζόντια σε επίπεδη οροφή, έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης ακόμα και για μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ απορροφητήρα και περιβάλλοντος, είναι κατάλληλοι για θέρμανση ή ψύξη χώρων και ατμοπαραγωγή (λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του ρευστού) και τέλος έχουν μεγάλη συλλεγόμενη ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο συλλέκτη (450-500 kWh/m<sup>2</sup>έτος για ετήσια ηλιακή ακτινοβολία 1000 kWh/m<sup>2</sup>έτος). Το βασικό τους μειονέκτημα είναι το σημαντικό κόστος αγοράς, που οφείλεται στις διάφορες κατασκευαστικές δυσκολίες (κενό αέρα, συστοδιαστολές συνεργαζόμενων υλικών κτλ)



**ΣΧΗΜΑ 13:** Συλλέκτες κενού [7]

### Γ. Αποδιδόμενη Ισχύς και Απόδοση Συλλέκτη [3]

Το ισοζύγιο ενέργειας σε έναν επίπεδο ηλιακό συλλέκτη δίνει την ποσότητα θερμότητας που αποδίδει ο συλλέκτης συναρτήσει του εμβαδού της επιφανείας του, την απορροφούμενη από τον απορροφητήρα ηλιακή ακτινοβολία, το συνολικό συντελεστή θερμικών απωλειών του συλλέκτη και της διαφοράς ανάμεσα στην μέση θερμοκρασία του συλλέκτη και την θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα:

$$Q_u = A_c \cdot [S - U_L \cdot (T_m - T_a)]$$

Όπου:

**Q<sub>u</sub>** η ωφέλιμη θερμότητα (ισχύς) που αποδίδεται από τον συλλέκτη (W)

**A<sub>c</sub>** η επιφάνεια του συλλέκτη (επιφάνεια καλύμματος) (m<sup>2</sup>)

**S** η απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία, δηλαδή η διαφορά μεταξύ της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και των οπτικών απωλειών (W / m<sup>2</sup>)

**U<sub>L</sub>** ο συντελεστής συνολικών θερμικών απωλειών του συλλέκτη, που εκφράζει τις θερμικές απώλειες από τον συλλέκτη στο περιβάλλον δια αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας (W / m<sup>2</sup> °C)

**T<sub>m</sub>** η μέση θερμοκρασία του απορροφητήρα (°C)

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

· Ο συντελεστής συνολικών θερμικών απωλειών του συλλέκτη **U<sub>L</sub>** αποτελείται από τρεις όρους :

$$U_L = U_t + U_b + U_e$$

Όπου

**U<sub>t</sub>** ο συντελεστής θερμικών απωλειών κορυφής

**U<sub>b</sub>** ο συντελεστής θερμικών απωλειών πυθμένος

**U<sub>e</sub>** ο συντελεστής πλευρικών θερμικών απωλειών

· Η απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία από τον απορροφητήρα υπολογίζεται



θεωρώντας ότι στον κεκλιμένο συλλέκτη κλίσης  $\beta$  προσπίπτει ακτινοβολία (i) άμεση (ii) διάχυτη από τον ουρανό και (iii) διάχυτη προερχόμενη από ανάκλαση στο έδαφος.

Συνεπώς σε ωριαία βάση ισχύει:

$$S = I_b \cdot R_b \cdot (\tau\alpha)_b + I_d \cdot (\tau\alpha)_d \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho \cdot (I_b + I_d) \cdot (\tau\alpha)_g \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2}$$

Όπου:

$\beta$  η γωνία κλίσης της επιφάνειας

$\rho$  ο συντελεστής ανακλάσεως του εδάφους

$I_b$  η ωριαία άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

$$R = \frac{I_T}{I} , R_b = \frac{I_{bT}}{I_b} , R_d = \frac{I_{dT}}{I_d}$$

$I_d$  η ωριαία διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου

$(\tau\alpha)_b$  ,  $(\tau\alpha)_d$  ,  $(\tau\alpha)_g$  τα γινόμενα διαπερατότητας-απορροφητικότητας για την άμεση , την διάχυτη από τον ουρανό και την διάχυτη προερχόμενη από ανάκλαση στο έδαφος

Η παραπάνω σχέση για τον υπολογισμό της απορροφούμενης ενέργειας από τον απορροφητήρα μπορεί να απλοποιηθεί θεωρώντας αντί των τριών γινομένων διαπερατότητας-απορροφητικότητας ένα μέσο γινόμενο  $(\tau\alpha)_m$  οπότε:

$$S = (\tau\alpha)_m \cdot I_T$$

Όπου  $I_T$  είναι η ολική προσπίπτουσα ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο του συλλέκτη.

· Το γινόμενο της διαπερατότητας του καλύμματος επί την απορροφητικότητα του απορροφητήρα  $(\tau\alpha)$  είναι ένα μέγεθος που απαιτείται για τους υπολογισμούς των ηλιακών φορτίων. Η ηλιακή ακτινοβολία, αφού διαβεί το διαφανές κάλυμμα και φθάσει στην απορροφητική επιφάνεια, χωρίζεται, και ένα μέρος της απορροφάται, ενώ ένα άλλο ανακλάται πίσω στο κάλυμμα προκαλώντας μια διαδοχική σειρά ανακλάσεων

και απορροφήσεων.

Για συνήθεις πρακτικές εφαρμογές μπορεί να γίνεται χρήση της προσέγγισης  
(τα) = 1,01 · τ · α

Όπου:

τ ο συντελεστής διάβασης του γυάλινου καλύμματος

α ο συντελεστής απορρόφησης της μαύρης απορροφητικής επιφάνειας.

Όμως η μέση θερμοκρασία του συλλέκτη είναι δύσκολο να υπολογιστεί. Για το λόγο αυτό εισάγεται ένα νέο μέγεθος, ο **Παράγων Θερμικής Απολαβής του συλλέκτη  $F_R$** , ο οποίος εκφράζει το λόγο της πραγματικής αποδιδόμενης ισχύος  $Q_u$  προς την θερμική ισχύ που θα απεδίδετο αν ολόκληρος ο απορροφητήρας είχε την

θερμοκρασία εισόδου του ρευστού  $T_{f,i}$ :

$$F_R = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{f,o} - T_{f,i})}{A_c \cdot [S - U_L \cdot (T_{f,i} - T_a)]}$$

Όπου:

$T_{f,o}$  η θερμοκρασία εξόδου του ρευστού από τον συλλέκτη (°C)

$T_{f,i}$  η θερμοκρασία εισόδου του ρευστού στο συλλέκτη (°C)

$T_a$  η θερμοκρασία περιβάλλοντος (°C)

$C_p$  η ειδική θερμοχωρητικότητα του ρευστού (J/Kgr °C)

$\dot{m}$  η συνολική παροχή μάζας του συλλέκτη (Kgr/sec)

Το μέγιστο δυνατό θερμικό κέρδος σε ένα ηλιακό συλλέκτη επιτυγχάνεται, όταν όλος ο συλλέκτης βρίσκεται στην θερμοκρασία εισόδου του ρευστού σε αυτόν. Τότε το πραγματικό θερμικό κέρδος είναι:  $Q_u = A_c \cdot F_R \cdot [S - U_L \cdot (T_{f,i} - T_a)]$

Μέτρο της συμπεριφοράς του συλλέκτη είναι ο βαθμός απόδοσης  $\eta$  δηλαδή ο λόγος τη ωφελίμου αποδιδόμενης ενέργειας κατά την διάρκεια χρονικού διαστήματος  $\tau$  προς την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια κατά το ίδιο χρονικό διάστημα.

Σαν στιγμιαίος βαθμός απόδοσης του συλλέκτη  $\eta_i$  ορίζεται ο λόγος της αποδιδόμενης ισχύος  $Q_u$  προς την αντίστοιχη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία  $A_c \cdot G_T$ :

$$\eta_i = \frac{Q_u}{A_c \cdot G_T} = F_R \cdot (\tau\alpha) - F_R \cdot U_L \cdot \frac{T_i - T_a}{G_T}$$

Ο στιγμιαίος βαθμός απόδοσης του συλλέκτη μπορεί επίσης να εκφραστεί και συναρτήσει των θερμοκρασιών εισόδου  $T_i$  και εξόδου  $T_o$  του θερμαινόμενου ρευστού δηλαδή:

$$\eta_i = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_o - T_i)}{A_c \cdot G_T}$$

Περιγραφή Συλλέκτη	$F_R \cdot (\tau\alpha)_n$	$F_R \cdot U_L$
Μαύρος απορροφητήρας με μονό τζάμι	0,82	$7,5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Μαύρος απορροφητήρας με διπλό τζάμι ή επιλεκτική επιφάνεια με μονό τζάμι	0,75	$5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Κενού	0,45	$1,25 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
Πλαστικός χωρίς τζάμι και μόνωση (δοκιμή σε ταχύτητα 2,2 m/s)	0,86	$21,5 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

**ΠΙΝΑΚΑΣ 32:** Χαρακτηριστικά μεγέθη επίπεδων ηλιακών συλλεκτών [7]

### **6.5.3 Συγκεντρωτικοί Ηλιακοί Συλλέκτες [7]**

Οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες είναι συσκευές που συγκεντρώνουν την ηλιακή ενέργεια με οπτικά μέσα και στην συνέχεια την απορροφούν και την μετατρέπουν σε χρήσιμη θερμική ενέργεια. Η συγκέντρωση της ηλιακής ενέργειας επιτρέπει τη συλλογή θερμότητας σε θερμοκρασίες πολύ υψηλότερες σε σχέση με τους επίπεδους συλλέκτες, η οποία αξιοποιείται σε βιομηχανικές χρήσεις και στην παραγωγή ηλεκτρισμού.



**ΕΙΚΟΝΑ 61:** Συγκεντρωτικός συλλέκτης με επιμήκη παραβολικά κάτοπτρα

Ένας συγκεντρωτικός ηλιακός συλλέκτης αποτελείται από το οπτικό σύστημα ή συγκεντρωτήρα και τον δέκτη. Ο συγκεντρωτήρας δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία, την συγκεντρώνει και την οδηγεί στον δέκτη, ο οποίος την απορροφά. Η πολλαπλασιασμένη ένταση της προσπίπτουσας στον δέκτη ακτινοβολίας

συνεπάγεται μικρότερη επιφάνεια για ένα δεδομένο ποσό ενέργειας, άρα και μειωμένες απώλειες προς το περιβάλλον.

Ο συγκεντρωτήρας μπορεί να είναι καθρέπτης και να ανακλά την ηλιακή ακτινοβολία ή να είναι φακός και να την διαθλά. Ακόμα μπορεί να είναι επίπεδος, παραβολικός, ή να αποτελείται από μία σειρά κινούμενων επίπεδων κατόπτρων, τα οποία με κατάλληλους μηχανισμούς παρακολουθούν την πορεία του ήλιου. Ο δέκτης μπορεί να είναι σημείο, γραμμή, επίπεδη επιφάνεια, κυρτή ή κοίλη επιφάνεια.

Χαρακτηριστικό μέγεθος των συγκεντρωτικών συλλεκτών είναι ο δείκτης συγκέντρωσης  $C$ , που ορίζεται ως το πηλίκο της επιφανείας του συγκεντρωτήρα  $F_a$  προς την επιφάνεια του δέκτη  $F_r$

Δηλαδή  $C = F_a / F_r$

Οι βασικότεροι τύποι συγκεντρωτικών συλλεκτών είναι οι εξής:

- A.** Συγκεντρωτικός συλλέκτης με επίπεδα κάτοπτρα
- B.** Συγκεντρωτικός συλλέκτης με επιμήκη παραβολικά κάτοπτρα
- Γ.** Συγκεντρωτικός συλλέκτης με παραβολοειδές κάτοπτρο
- Δ.** Συγκεντρωτικός συλλέκτης με φακό Fresnel
- Ε.** Ηλιακός πύργος



## Κεφάλαιο 7<sup>ο</sup>

### ΒΙΟΜΑΖΑ

#### 7.1 Γενικά περί Βιομάζας

Με τον όρο βιομάζα ονομάζουμε την ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση , δηλαδή οποιοδήποτε υλικό προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα δασικά προϊόντα, τα υπολείμματα καλλιεργειών, τα κτηνοτροφικά απόβλητα, τα απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.), και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας [12].



**ΕΙΚΟΝΑ 62:** Μια μορφή βιομάζας: *Pellets* (συσσωματώματα) τα οποία προκύπτουν από τη μηχανική συμπίεση πριονιδιού, χωρίς την προσθήκη χημικών ή συγκολλητικών ουσιών

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. Η διεργασία αυτή μπορεί να παρασταθεί σχηματικά ως εξής:

Νερό + Διοξείδιο του άνθρακα + Ηλιακή ενέργεια (φωτόνια) + Ανόργανα στοιχεία  
=>Βιομάζα + Οξυγόνο [12]

Από τη στιγμή που σχηματίζεται η βιομάζα, μπορεί κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας . Οι ζωικοί οργανισμοί αυτή την ενέργεια την προσλαμβάνουν μέσω της τροφής και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα, κατά την χρήση της. Είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γιατί στην πραγματικότητα είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά την φωτοσύνθεση [64].

Η βιομάζα είναι η μόνη φυσικά ευρισκόμενη πηγή ενέργειας με άνθρακα που τα αποθέματά της είναι ικανά ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως υποκατάστατο των ορυκτών καυσίμων. Σε αντίθεση με αυτά, η βιομάζα είναι ανανεώσιμη καθώς απαιτείται μόνο μια σύντομη χρονική περίοδος για να αναπληρωθεί ό,τι χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας. Εν γένει, για τις διάφορες τελικές χρήσεις υιοθετούνται διαφορετικοί όροι. Έτσι, ο όρος "βιοισχύς" περιγράφει τα συστήματα που χρησιμοποιούν πρώτες ύλες βιομάζας αντί των συνήθων ορυκτών καυσίμων (φυσικό αέριο, άνθρακα) για ηλεκτροπαραγωγή, ενώ ως "βιοκαύσιμα" αναφέρονται κυρίως τα υγρά καύσιμα μεταφορών που υποκαθιστούν πετρελαϊκά προϊόντα, π.χ. βενζίνη ή ντίζελ [50].

Η βιομάζα είναι η πιο παλιά και διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Ο πρωτόγονος άνθρωπος, για να ζεσταθεί και να μαγειρέψει, χρησιμοποίησε την ενέργεια (θερμότητα) που προερχόταν από την καύση των ξύλων, που είναι ένα είδος βιομάζας. Αλλά και μέχρι σήμερα, κυρίως οι αγροτικοί πληθυσμοί, τόσο της Αφρικής, της Ινδίας και της Λατινικής Αμερικής, όσο και της Ευρώπης, για να ζεσταθούν και να μαγειρέψουν χρησιμοποιούν ξύλα, φυτικά υπολείμματα (άχυρα, πριονίδια, άχρηστους καρπούς ή κουκούτσια κ.ά.) και ζωικά απόβλητα (κοπριά, λίπος ζώων, άχρηστα αλιεύματα κ.ά.) [50].



## **7.2 Παγκόσμιο και Ελληνικό Δυναμικό [12]**

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.

## **7.3 Τύποι Βιομάζας**

Στην πράξη υπάρχουν δύο τύποι βιομάζας. Οι υπολειμματικές μορφές (τα κάθε είδους φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα και τα απορρίμματα) και η βιομάζα που παράγεται από ενεργειακές καλλιέργειες [50].

### **7.3.1 Υπολειμματικές Μορφές Βιομάζας**

Οι υπολειμματικές μορφές βιομάζας κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες

οι οποίες είναι [12]:

- A. Βιομάζα γεωργικής προέλευσης
- B. Βιομάζα ζωϊκής προέλευσης
- Γ. Βιομάζα δασικής προέλευσης
- Δ. Αστικά απόβλητα

### **7.3.2 Ενεργειακές Καλλιέργειες**

Οι ενεργειακές καλλιέργειες είναι είτε παραδοσιακές καλλιέργειες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων , είτε φυτά που δεν καλλιεργούνται εμπορικά, προς το παρόν, όπως ο μίσχανθος, η αγριαγκινάρα και το καλάμι και που το τελικό προϊόν τους προορίζεται για την παραγωγή ενέργειας και βιοκαυσίμων. Οι ενεργειακές καλλιέργειες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες οι οποίες είναι [12]:

- A. Ετήσιες
- B. Πολυετείς:
  - I . Γεωργικές
  - II . Δασικές

### **7.4 Τεχνολογίες που Χρησιμοποιούνται για την Αξιοποίηση της Βιομάζας**

Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την αξιοποίηση της βιομάζας είναι οι εξής [21]:

- A. Η καύση
- B. Η αεριοποίηση

Γ. Η πυρόλυση

Δ. Η αναερόβια χώνευση

Ε. Η αλκοολική ζύμωση

Στ. Η μετεστεροποίηση

### **7.5 Κύριες Εφαρμογές με Καύσιμο Βιομάζα**

Οι κύριες εφαρμογές με καύσιμο την βιομάζα είναι [12]:

A. Η θέρμανση θερμοκηπίων

B. Η θέρμανση κτιρίων με καύση βιομάζας σε ατομικούς ή κεντρικούς λέβητες

Γ. Η παραγωγή ενέργειας σε γεωργικές βιομηχανίες

Δ. Η παραγωγή ενέργειας σε βιομηχανίες ξύλου

Ε. Η τηλεθέρμανση

ΣΤ. Η Παραγωγή ενέργειας σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού και Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ)

Z. Υγρά βιοκαύσιμα

### **7.6 Πλεονεκτήματα Βιομάζας**

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρησιμοποίηση της βιομάζας για παραγωγή ενέργειας είναι τα ακόλουθα [12]:

A. Είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που παρέχει ενέργεια αποθηκευμένη με χημική μορφή.

B. Η αποτροπή του φαινομένου του θερμοκηπίου, το οποίο οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που παράγεται από την καύση ορυκτών

καυσίμων. Η βιομάζα δεν συνεισφέρει στην αύξηση της συγκέντρωσης του ρύπου αυτού στην ατμόσφαιρα γιατί, ενώ κατά την καύση της παράγεται CO<sub>2</sub>, κατά την παραγωγή της και μέσω της φωτοσύνθεσης επαναδεσμεύονται σημαντικές ποσότητες αυτού του ρύπου.

**Γ.** Η αποφυγή της επιβάρυνσης της ατμόσφαιρας με το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>) που παράγεται κατά την καύση των ορυκτών καυσίμων και συντελεί στο φαινόμενο της “όξινης βροχής”. Η περιεκτικότητα της βιομάζας σε θείο είναι πρακτικά αμελητέα.

**Δ.** Η μείωση της ενεργειακής εξάρτησης, που είναι αποτέλεσμα της εισαγωγής καυσίμων από τρίτες χώρες, με αντίστοιχη εξοικονόμηση συναλλάγματος..

**Ε.** Η ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας σε μια περιοχή, αυξάνει την απασχόληση στις αγροτικές περιοχές με τη χρήση εναλλακτικών καλλιεργειών (διάφορα είδη ελαιοκράμβης, σόργο, καλάμι, κενάφ) , την δημιουργία εναλλακτικών αγορών για τις παραδοσιακές καλλιέργειες (ηλίανθος κ.ά.) , και τη συγκράτηση του πληθυσμού στις εστίες τους, συμβάλλοντας έτσι στη κοινωνικό-οικονομική ανάπτυξη της περιοχής. Μελέτες έχουν δείξει ότι η παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων έχει θετικά αποτελέσματα στον τομέα της απασχόλησης τόσο στον αγροτικό όσο και στο βιομηχανικό χώρο.

## **7.7 Μειονεκτήματα Βιομάζας**

Τα μειονεκτήματα που συνδέονται με τη χρησιμοποίηση της βιομάζας και αφορούν, ως επί το πλείστον, δυσκολίες στην εκμετάλλευσή της, είναι τα εξής [12]:

**A.** Ο αυξημένος όγκος και η μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα δυσχεραίνουν την ενεργειακή αξιοποίηση της βιομάζας.

**B.** Η μεγάλη διασπορά και η εποχιακή παραγωγή της βιομάζας δυσκολεύουν την συνεχή τροφοδοσία με πρώτη ύλη των μονάδων ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας.

**Γ.** Η δυσκολία στη συλλογή, μεταποίηση, μεταφορά και αποθήκευσή της, έναντι

των ορυκτών καυσίμων.

Δ. Οι δαπανηρότερες εγκαταστάσεις και εξοπλισμός που απαιτούνται για την αξιοποίηση της βιομάζας, σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

## **7.8 Συσσωματώματα Ξύλου-Wood Pellets**

Μια μορφή βιοκαυσίμων είναι τα λεγόμενα pellets (συσσωματώματα) τα οποία προκύπτουν από τη μηχανική συμπίεση πριονιδιών σε πρέσες, χωρίς την προσθήκη χημικών ή συγκολλητικών ουσιών. Προέρχονται από τα υπολείμματα των βιομηχανιών ξυλείας και των υλοτομικών δραστηριοτήτων και επεξεργάζονται κατάλληλα με κύριο σκοπό την αφαίρεση της υγρασίας τους και την συμπίεση τους ώστε να αποκτήσουν κυλινδρικό σχήμα. Η θερμική τους απόδοση ανέρχεται στα 4000-4500 kcal/kg [99].

Τα pellets ξύλου συγκρινόμενα με τα υπόλοιπα καύσιμα αποτελούν μια νέα και ελκυστική μορφή καυσίμου. Όταν καίγονται, γίνεται εκμετάλλευση μιας πηγής ενέργειας που θα είχε γίνει απόβλητο και θα είχε εναποτεθεί σε μια χωματερή. Χρησιμοποιούνται σε μεγάλες ποσότητες από συστήματα θέρμανσης στην περιφέρεια. Απαντώνται σε μήκη από 1-3 cm και πάχος περίπου 1 cm . Είναι καθαρά, ευχάριστα στην οσμή , και απαλά (λεία) στην αφή. Έχουν αρκετά χαμηλό περιεχόμενο σε υγρασία (κάτω από 10-12% κ.β.) ιδιότητα που τους προσδίδει υψηλότερη αξία καύσης από τα υπόλοιπα καυσόξυλα [43].

Το γεγονός ότι πιέζονται (πρεσάρονται) σημαίνει ότι καταλαμβάνουν λιγότερο χώρο και έχουν υψηλή πυκνότητα, άρα έχουν περισσότερη ενέργεια ανά μονάδα όγκου (υψηλότερη ογκομετρική ενέργεια). Η μείωση του όγκου συμβάλει και στην ευκολότερη και οικονομικότερη αποθήκευσή τους. Η διαδικασία της καύσης τους είναι υψηλής ποιότητας, ενώ κατά την καύση τους δεν μένει μεγάλο υπόλειμμα. Ορισμένες χώρες έχουν απαλλάξει (εξαιρέσει) τις συσκευές που χρησιμοποιούν pellets από τις απαιτήσεις για εκπομπές αιθάλης [43].

Τα τυπικά χαρακτηριστικά ενός pellet ξύλου είναι τα κάτωθι [43]:

Διάμετρος : 6-8 mm

Μήκος : max. 30 mm

Πυκνότητα : min. 650 kg/m<sup>3</sup>

Υγρασία : max. 8% του βάρους

Ενεργειακό Περιεχόμενο : 4.5-5.2 kWh/kg

2 kg pellets = 1 liter πετρελαίου θέρμανσης

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης pellets ως καύσιμη ύλη είναι τα εξής [43]:

**A.** Για την δημιουργία των pellets δεν απαιτείται να κοπούν δέντρα αφού παρασκευάζονται από τα κατάλοιπα των ξυλουργικών και υλοτομικών διαδικασιών.

**B.** Η καύση των pellets βοηθά ουσιαστικά στην μείωση των δασικών αποβλήτων , των αποβλήτων από την παραγωγή ξυλείας και των αποβλήτων από την βιομηχανία επίπλων.

**Γ.** Παρασκευάζονται από παρθένα ξυλεία και έτσι δεν είναι επεξεργασμένα με καυστικές ουσίες, κόλλες ή χρώμα.

**Δ.** Η καύση τους έχει μηδενικό ισοζύγιο διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και έτσι δεν συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου – αφού όπως είδαμε οι ποσότητες του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) που απελευθερώνονται κατά την καύση της βιομάζας δεσμεύονται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας.

**Ε.** Η μηδαμινή ύπαρξη του θείου συμβάλλει σημαντικά στον περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) που είναι υπεύθυνο για την όξινη βροχή.

**Στ.** Ο μικρός χώρος που καταλαμβάνουν τα καύσιμα και η μεγάλη περιεκτικότητα των δοχείων αποθήκευσης.

Τα δε πλεονεκτήματα κατά την καύση των pellets, σε σχέση με την καύση ακατέργαστων απόβλητων ξύλου είναι:

- A.** Έχουν μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση
- B.** Έχουν υψηλή θερμιδική αξία (μέχρι 19 GJ/τόνο)
- Γ.** Έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε τέφρα (έως 1%)
- Δ.** Έχουν χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία (περίπου 10%)
- E.** Λόγω της μείωσης του όγκου έχουμε χαμηλή ζήτηση για αποθηκευτικούς χώρους (περίπου 650 kg/m<sup>3</sup>)
- Στ.** Έχουμε πλήρως αυτόματη λειτουργία χωρίς επίβλεψη και ρύθμιση
- Z.** Έχουμε παραγωγή χαμηλών εκπομπών ρύπων καύσης
- H.** Αποτελούν ένα πλήρες υποκατάστατο για άλλα είδη καυσίμων

Μια σόμπα pellets καίει κατά μέσο όρο από 0,6 έως 2,5 κιλά καυσίμου την ώρα, ενώ το κόστος των pellets αυτή τη στιγμή είναι περίπου 0,20 Ευρώ ανά κιλό. Δηλαδή είναι σαν να αγοράζουμε πετρέλαιο με 0,40 Ευρώ ανά λίτρο, δεδομένου ότι τα 2 κιλά pellets έχουν την ίδια θερμογόνο δύναμη με 1 λίτρο πετρελαίου [64].

Αυτή η τεχνολογία εκτός από τη χρήση της σε σπίτια είναι πολύτιμη και σε μη οικιακά κτίσματα όπως ξενοδοχεία, καταφύγια, εστιατόρια, καταστήματα, γραφεία, νοσοκομεία και σχολεία. Στη Νότιο Αμερική ήδη χρησιμοποιούνται με επιτυχία σε πάνω από 500.000 σπίτια [43].

Στην Ελλάδα υπάρχει μεγάλη διαθεσιμότητα pellets καθώς λειτουργούν 5 εργοστάσια παραγωγής των, με δυναμικό παραγωγής 60.000 tn/έτος, ενώ κατασκευάζονται ακόμα τρία, το μεγαλύτερο εκ των οποίων θα έχει δυναμικό 70.000 tn/έτος [77]. Στην ηλεκτρονική διεύθυνση του προγράμματος για την προώθηση των Pellets στην Ευρώπη [81] φαίνονται τα εργοστάσια παραγωγής pellets στην Ευρώπη και στην Ελλάδα ενώ κλικάροντας πάνω στο σημείο του χάρτη που βρίσκεται το εργοστάσιο φαίνεται η εταιρεία και η ιστοσελίδα της.





## **Κεφάλαιο 8<sup>ο</sup>**

### **ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ**

#### **8.1 Εισαγωγή**

Στην ενότητα αυτή θα μελετηθεί, για κάθε μία τεχνολογία ξεχωριστά, το μεγαλύτερο σε έκταση κτίριο του Στρατοπέδου , δηλαδή το Διοικητήριο του 306 ΕΒΤ που περιλαμβάνει γραφεία και επισκευαστικά τμήματα , με σκοπό την κάλυψή τους σε κλιματισμό και θέρμανση κατά την θερινή και την χειμερινή περίοδο αντίστοιχα (Για την μελέτη αυτή θα ακολουθηθεί η διαδικασία που παρουσιάζει η κ. Αραπογιάννη Αθανασίας στην Διπλωματική της με θέμα την Εφαρμογή Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο Τεχνολογικό και Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου [99]). Το κτίριο αυτό έχει συνολικό εμβαδόν 4382 m<sup>2</sup>. Από την μελέτη που έχει γίνει από την 736 ΔΣΕ βρίσκεται ότι έχει ψυκτικό φορτίο 771 kw και θερμικό φορτίο ίσο με 750 kw.

#### **8.2 Εγκατάσταση Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας**

Η μελέτη για την κάλυψη των αναγκών του κτιρίου αυτού με Γεωθερμική αντλία θερμότητας περιλαμβάνει σαν πρώτο βήμα τον υπολογισμό του απαιτούμενου βάθους των γεωτρήσεων που θα χρειαστούν.

Θα εξετάσουμε την εγκατάσταση ενός κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη αφού αυτός έχει 2 σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τον οριζόντιο γεωθερμικό εναλλάκτη [37,38]:

**A.** Σε αυτά τα βάθη η θερμοκρασία του εδάφους  $t_g$  παραμένει σταθερή καθ' όλη την διάρκεια του έτους και ίση με το μέσο όρο των χειμερινών και θερινών μέσων θερμοκρασιών της ατμόσφαιρας.

**B.** Οι οριζόντιοι εναλλάκτες παρόλο που είναι ευκολότερο να εγκατασταθούν απαιτούν σημαντικά περισσότερη περιοχή (περίπου 232,25 m<sup>2</sup>/RT) από άλλους τύπους εναλλακτών. Αντίθετα οι κάθετοι βρόχοι απαιτούν μόνο τα περίπου 23,23 έως 27,87 m<sup>2</sup>/RT.

Το βάθος της γεώτρησης επηρεάζει άμεσα το κόστος του συστήματος. Μεγαλύτερο βάθος γεώτρησης σημαίνει, μεγαλύτερες δαπάνες διάτρησης και μεγαλύτερο μήκος σωλήνα ο οποίος πρέπει να αγοραστεί. Επομένως ο ακριβής υπολογισμός του βάθους αυτού είναι πολύ σημαντικός στην επίτευξη μιας ακριβούς εκτίμησης του κόστους εγκατάστασης του συστήματος. Για το λόγο αυτό , για μεγάλες (πάνω από 50 ψυκτικούς τόνους) εφαρμογές, πρέπει να εξεταστεί το χώμα ώστε να διαπιστωθούν επακριβώς οι ιδιότητες του εδάφους. Το πλεονέκτημα στη δοκιμή είναι ότι τα ακριβέστερα εδαφολογικά στοιχεία θα παράσχουν στο σχεδιαστή ακριβείς πληροφορίες για την θερμική αγωγιμότητα και έτσι θα μπορέσει να υπολογίσει με μεγαλύτερη ασφάλεια το απαιτούμενο βάθος γεώτρησης. Επομένως οι εδαφολογικές ιδιότητες δηλαδή η αγωγιμότητα και η θερμική διαχυτότητα πρέπει να προέλθουν είτε από μια δοκιμή στην περιοχή της εγκατάστασης (ground testing) είτε από μια ακριβή εκτίμηση [37,38]. Στην προκειμένη περίπτωση θα υποθέσουμε τις ιδιότητες του μέσου εδάφους, ήτοι βαρύ, υγρό έδαφος.

### **8.2.1 Υπολογισμός Απαιτούμενου Βάθους**

Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου βάθους εφαρμόζεται Μεθοδολογία που προτείνει η ASHRAE [9]. Έτσι ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα:

## A. Υπολογισμός της Μέσης Ετήσιας Ροής Θερμότητας στο Έδαφος

### qa

Ο υπολογισμός της μέσης ετήσιας ροής θερμότητας στο έδαφος  $q_a$  θα γίνει βάσει του τύπου:

$$q_a = \frac{C_{fc} \cdot q_{lc} \cdot EFL_{HOURS_c} + C_{fh} \cdot q_{lh} \cdot EFL_{HOURS_h}}{8760_{HOURS}}$$

Όπου:

$q_{lc}$  και  $q_{lh}$  το ψυκτικό και θερμικό φορτίο του κτιρίου αντίστοιχα σε BTU/h

$EFL_{HOURS}$  οι ισοδύναμες ώρες σε ολικό φορτίο ψύξης και θέρμανσης

$C_{fc}$  και  $C_{fh}$  διορθωτικοί συντελεστές που σχετίζονται με τους συντελεστές COP και EER αντίστοιχα

Αφού  $1 \text{ kw} = 3413 \text{ BTU/h}$  θα είναι:

$$q_{lh} = 2.559.750 \text{ BTU/h}$$

$$q_{lc} = -2.631.423 \text{ BTU/h}$$

Η αντλία που επιλέγεται για αυτές τις ανάγκες είναι η HYDROCIAT 3400BX HPS [82] με στοιχεία:

$$P_{\text{heating}} = 970 \text{ kw}$$

$$P_{\text{cooling}} = 780 \text{ kw}$$

$$P_{\text{absorbed}} = 175 \text{ kw}$$

Χρειάζεται να ορίσουμε τις ισοδύναμες ώρες (EFL Hours) σε ολικό φορτίο ψύξης και θέρμανσης. Αυτές ορίζονται περίπου σε 1000 ώρες ετησίως.

Έτσι έχουμε  $EFL_{HOURS_c} = EFL_{HOURS_h} = 1000 \text{ h}$

Οι διορθωτικοί συντελεστές Cfc, Cfh σχετίζονται με τους χαρακτηριστικούς συντελεστές COP και EER αντίστοιχα. Οι τιμές τους βάσει του βιβλίου της ASHRAE δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Cooling EER	Cfc	Heating COP	Cfh
11	1,31	3	0,75
13	1,26	3,5	0,77
15	1,23	4	0,8
17	1,2	4,5	0,82

**ΠΙΝΑΚΑΣ 33:** Διορθωτικοί συντελεστές αντλιών θερμότητας [9]

Έτσι μετά τους υπολογισμούς έχουμε το εξής αποτέλεσμα για τη μέση ετήσια ροή θερμότητας στο έδαφος:

$$q_a = \frac{1,2 \cdot (-2.631.423) \cdot 1000 + 0,82 \cdot 2.559.750 \cdot 1000}{8760} = -120.858 \text{ BTU/h}$$

## **Β. Υπολογισμός Απαιτούμενου Βάθους Γεώτρησης Βάσει του Ψυκτικού Φορτίου**

Ο σωλήνας, το ρευστοκονίαμα και το έδαφος περιορίζουν με τις θερμικές αντιστάσεις τους την ενεργειακή μετακίνηση ως εξής [37]:  $Q_c = \Lambda \frac{t_g - t_w}{R}$ . Όπου Qc

είναι το φορτίο θερμότητας (Btu/hr) ,  $L$  είναι το μήκος των σωλήνων (ft) ,  $t_g$  είναι η επίγεια θερμοκρασία ( $^{\circ}\text{F}$ ) ,  $t_w$  είναι η θερμοκρασία του ρευστού ( $^{\circ}\text{F}$ ) και  $R$  είναι η θερμική αντίσταση στη μεταφορά θερμότητας ( $\text{hr}\cdot\text{ft}\cdot^{\circ}\text{F}/\text{Btu}$ ). Η πρόκληση στο σχεδιασμό των βρόχων είναι ότι η επίγεια θερμοκρασία δεν μένει σταθερή. Για τους οριζόντιους βρόχους, όπου ο σωλήνας είναι κοντά στην επιφάνεια, η επίγεια θερμοκρασία αλλάζει εποχιακά με τον καιρό. Σε όλες τις περιπτώσεις όμως, ο ίδιος ο βρόχος επηρεάζει την επίγεια θερμοκρασία. Για το λόγο αυτό για τον σχεδιασμό των βρόχων, είναι σύνηθες να σπαστούν τα αποτελέσματα σε τρία μέρη [37]:

**A. Μακροπρόθεσμη Επίδραση.** Αυτή είναι η αλλαγή στην επίγεια θερμοκρασία κατά την διάρκεια πολλών ετών. Εάν το κτήριο έχει ένα καθαρό κέρδος θερμότητας ή μια καθαρή απώλεια θερμότητας, η επίγεια θερμοκρασία θα αλλάξει. Όσο πιο πυκνά τοποθετημένες είναι οι γεωτρήσεις, τόσο μεγαλύτερη η επίδραση. Το νερό του εδάφους που κινείται μέσω του πεδίου των γεωτρήσεων μπορεί να βοηθήσει στην αφαίρεση της ενέργειας και να περιορίσει τη μακροπρόθεσμη αλλαγή της θερμοκρασίας. Στις εμπορικές εφαρμογές, η επίγεια θερμοκρασία γενικά αυξάνεται. Ένα παράδειγμα της μακροπρόθεσμης επίδρασης θα ήταν μια μέση άνοδος της επίγεια θερμοκρασίας κατά  $6^{\circ}\text{F}$  στα 10 έτη λόγω της θερμότητας που προστίθεται στο τομέα των γεωτρήσεων. Η ποινική ρήτρα δεν θα παρουσιαστεί κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους, αλλά η συγκέντρωση θερμότητας θα αλλάξει την απόδοση του συστήματος με την πάροδο του χρόνου.

**B. Ετήσια Επίδραση.** Κατά τη διάρκεια ενός έτους, το φορτίο θερμότητας σε ένα τομέα γεώτρησης θα αλλάξει , και αυτό θα έχει επιπτώσεις στην επίγεια θερμοκρασία σε μηνιαία βάση. Είναι αυτή η επίδραση «σφονδύλων» που μπορεί να αναγκάσει να εμφανιστεί η θερμότερη θερμοκρασία επίγειων βρόχων αφότου έχει εμφανιστεί το μέγιστο φορτίο.

**Γ. Βραχυπρόθεσμη Επίδραση.** Το πραγματικό ωριαίο φορτίο έχει επίσης επιπτώσεις στη δυνατότητα του τομέα των γεωτρήσεων να διαλύσει την θερμότητα. Έτσι, η επίγεια θερμοκρασία θα αλλάξει με το ωριαίο φορτίο.

Επομένως οι 3 αυτές επιδράσεις πρέπει να υπολογιστούν, ώστε να ληφθούν υπόψη οι μακροπρόθεσμες αλλαγές θερμότητας στο χώμα που μπορούν να

προκύψουν κατά την διάρκεια ζωής του συστήματος και να βρεθεί έτσι επακριβώς το απαραίτητο μήκος σωλήνων. Έτσι εισάγονται οι τιμές αντίστασης  $R_{ga}$  (ετήσια),  $R_{gm}$  (μηνιαία), και  $R_{gd}$  (καθημερινή) , που είναι υπολογισμένες με βάση τρεις διαφορετικούς παλμούς.

Επίσης η μέθοδος υπολογισμού του βάθους που απαιτείται για την γεώτρηση βασίζεται και στην εκτίμηση του τελευταίου συντελεστή  $t_p$  [99]. Ο συντελεστής αυτός αντιπροσωπεύει την μακροπρόθεσμη αλλαγή της θερμοκρασίας του εδάφους λόγω της υπερβολικής απόρριψης ή εξαγωγής θερμότητας μετά από πολλά χρόνια λειτουργίας των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας και συνδέεται τόσο με τις ώρες λειτουργίας του συστήματος όσο και με την απόσταση μεταξύ των γεωτρήσεων. Αν εξετάσουμε πχ ένα σχολείο και ένα νοσοκομείο, και τα δύο με το ίδιο φορτίο σχεδιασμού πχ 200 τόνων, το γεγονός ότι το νοσοκομείο λειτουργεί επί εικοσιτετραώρου βάσεως το κάνει να κινεί πολύ περισσότερη ενέργεια προς και από τον τομέα των γεωτρήσεων από ότι το σχολείο που λειτουργεί 8 ώρες. Επίσης ένα στενό πεδίο γεωτρήσεων περιορίζει την δυνατότητα του πεδίου να διαλύσει την θερμότητα [37].

Χρησιμοποιώντας λοιπόν τον κατάλληλο πίνακα στο βιβλίο της ASHRAE που παρουσιάζεται παρακάτω (πίνακας 36 ) γίνεται η εκτίμηση του συντελεστή  $t_p$ .

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου βάθους γεώτρησης βάσει του ψυκτικού φορτίου θα γίνει σύμφωνα με τον τύπο:

$$L_c = \frac{q_a \cdot R_{ga} + (C_{fc} \cdot q_{lc}) \cdot (R_b + PLF_m \cdot R_{gm} + R_{gd} \cdot F_{sc})}{t_g - \frac{t_{wi} + t_{wo}}{2} - t_p}$$

Όπου:

$R_{ga}$ ,  $R_{gm}$ ,  $R_{gd}$ : ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις του εδάφους για ετήσιο, μηνιαίο και ημερήσιο παλμό αντίστοιχα (σε h·ft·°F/Btu)

$R_b$ : θερμική αντίσταση σωλήνωσης (σε h·ft·°F/Btu)

$PLF_m$  : ο μηνιαίος συντελεστής μερικού φορτίου

$F_{sc}$  : ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων

$t_g$  : η θερμοκρασία του εδάφους (σε °F)

$t_{wi}$  : η θερμοκρασία εισόδου του υγρού στη γεωθερμική αντλία (σε °F)

$t_{wo}$  : η θερμοκρασία εξόδου του υγρού από την γεωθερμική αντλία (σε °F)

$t_p$  : διορθωτικός συντελεστής για την θερμοκρασία λόγω της παρεμβολής παρακείμενων σωληνώσεων (σε °F)

Αρχικά θα πρέπει να υπολογιστούν οι θερμικές αντιστάσεις καθώς και οι θερμικές ιδιότητες του εδάφους.

Σύμφωνα με τους Carslaw και Jaeger όσο αφορά τις ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις έχουμε ότι εκτός από την εξωτερική διάμετρο των σωληνώσεων , ο χρόνος λειτουργίας και η διάχυση θερμότητας του εδάφους σχετίζονται με τον αδιάστατο αριθμό Fourier:

$$F_o = \frac{4 \cdot a_g \cdot \tau}{d^2}$$

Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των ισοδύναμων θερμικών αντιστάσεων για διάφορους θερμικούς χρονικούς παλμούς. Ακολουθώντας το παράδειγμα που παρατίθεται στην βιβλιογραφία της ASHRAE μοντελοποιούμε το σύστημά μας σε τρεις τέτοιους παλμούς και έχουμε:

**A.** Έναν δεκαετή παλμό των 3650 ημερών ,  $q_a$

**B.** Έναν μηνιαίο παλμό των 30 ημερών ,  $q_m$

**Γ.** Έναν δωρο παλμό των 25% της ημέρας

Αυτοί οι τρεις χρόνοι (σε μονάδες ημερών) ορίζονται ως εξής:

$$\tau_1 = 3650$$

$$\tau_2 = 3650 + 30 = 3680$$

$$\tau_f = 3650 + 30 + 0,25 = 3680,25$$

Ο υπολογισμός του αριθμού Fourier για τον κάθε παλμό γίνεται σύμφωνα με τους τύπους:

$$F_{O1} = \frac{4 \cdot a \cdot (\tau_f - \tau_1)}{d^2}$$

$$F_{O2} = \frac{4 \cdot a \cdot (\tau_f - \tau_2)}{d^2}$$

$$F_{Of} = \frac{4 \cdot a \cdot \tau_f}{d^2}$$

Ο υπολογισμός των ισοδύναμων θερμικών αντιστάσεων γίνεται σύμφωνα με τους τύπους:

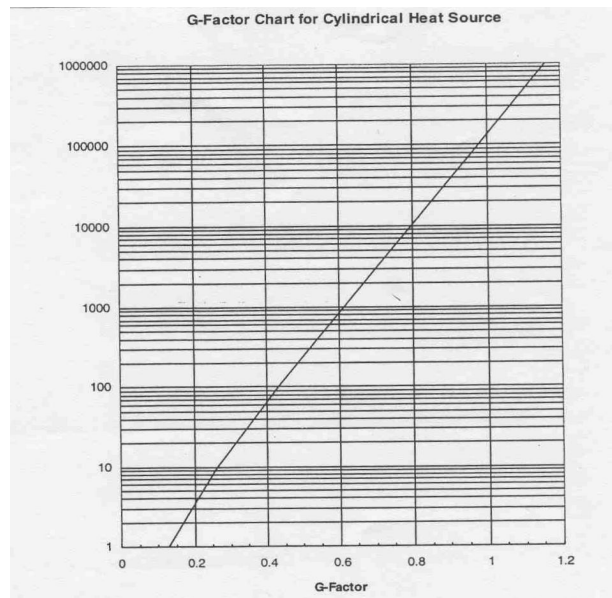
$$R_{ga} = \frac{G_f - G_1}{K_g}$$

$$R_{gm} = \frac{G_1 - G_2}{K_g}$$

$$R_{gd} = \frac{G_2}{K_g}$$

Ο συντελεστής G ,  $G = 0,0769 \ln(F_o) + 0,0901$  , που αντιστοιχεί σε κάθε αριθμό Fourier εξάγεται από το παρακάτω σχήμα:





**ΣΧΗΜΑ 14:** Συντελεστής *G*-Αριθμός Fourier [9]

Για τις θερμοκρασιακές ιδιότητες του εδάφους (θερμική αγωγιμότητα  $k$  [Btu/h ft °F] και θερμική διαχυτότητα  $\alpha$  [ft<sup>2</sup>/day] γίνεται χρήση του παρακάτω πίνακα.

*Table 5 – Thermal Properties of Rocks At 77°F<sup>6</sup>*

Rock Type	% <sup>1</sup> Occurrence in Earth's Crust	$k$ - All <sup>2</sup> Ther. Con. Btu/h·ft·°F	$K$ - 80% <sup>3</sup> Ther. Con. Btu/h ft·°F	$c_p$ Spec. Heat Btu/lb·°F	$\rho$ Density lb/ft <sup>3</sup>	$\alpha$ ( $k/\rho c_p$ ) Ther. Diff. ft <sup>2</sup> /day
<b>Igneous Rocks</b>						
Granite (10% Quartz)	10.4	1.1–3.0	1.3–4.9	0.21	165	0.9–4.3
Granite (25% Quartz)			1.5–2.1			1.0–1.4
Amphibolite	42.8	1.1–2.7	1.5–2.2	0.12	175–195	1.1–4.7
Andesite		0.8–2.8	0.9–4.4		180	
Basalt		1.2–1.4		0.17–0.21	180	0.7–0.9
Gabbro (Cen. Plains)		0.9–1.6		0.18	185	0.65–1.15
Gabbro (Rocky Mtns.)	11.2	1.2–2.1		0.22	180	0.85–1.5
Diorites		1.2–1.9	1.2–4.7			180
Grandiorites		1.2–2.0		0.21	170	0.8–4.3
<b>Sedimentary Rocks</b>						
Claystone		1.1–4.7				
Dolomite		0.9–3.6	1.6–3.6	0.21	170–475	1.1–2.3
Limestone		0.8–3.6	1.4–2.2	0.22	150–475	1.0–4.4
Rock Salt		3.7		0.20	130–435	
Sandstone	1.7	1.2–2.0		0.24	160–470	0.7–4.2
Siltstone		0.8–1.4				
Wet Shale (25% Qtz.)	4.2	0.6–2.3	1.0–4.8	0.21	130–165	0.9–1.2
Wet Shale (No Qtz.)			0.6–0.9			0.5–0.6
Dry Shale (25% Qtz.)			0.8–4.4			0.7–1.0
Dry Shale (No Qtz.)			0.5–0.8			0.45–0.55
<b>Metamorphic Rocks</b>						
Gneiss	21.4	1.0–3.3	1.3–2.0	0.22	160–175	0.9–1.2
Marble	0.9	1.2–3.2	1.2–1.9	0.22	170	0.8–1.2
Quartzite		3.0–4.0		0.20	160	2.2–3.0
Schist	5.1	1.2–2.6	1.4–2.2		170–200	
Slate		0.9–4.5		0.22	170–475	0.6–0.9

**ΠΙΝΑΚΑΣ 34:** Θερμικές ιδιότητες πετρωμάτων[9]

Σύμφωνα με την μεθοδολογία ο αριθμός των γεωτρήσεων θα είναι περίπου ίδιος με το εκάστοτε φορτίο μετρούμενο σε ψυκτικούς τόνους.

Όπου 1 R.T (ψυκτικός τόνος)=3,5169 kw

Στην περίπτωση μας θα έχουμε ψυκτικό φορτίο ίσο περίπου με 220 τόνους , οπότε θα χρειαστούμε 220 γεωτρήσεις.

Αυτό αναφέρεται γιατί ο πίνακας που έχουμε αντιστοιχεί σε ένα πλέγμα  $10 \times 10 = 100$  γεωτρήσεων.

Υπάρχουν όμως κατάλληλοι συντελεστές αναγωγής  $C_f$  για διαφορετικά πλέγματα.

Correction Factors for Other Grid Patterns			
1 x 10 Grid	2 x 10 Grid	5 x 5 Grid	20 x 20 Grid
$C_f=0.36$	$C_f=0.45$	$C_f=0.75$	$C_f=1.14$

**ΠΙΝΑΚΑΣ 35:** Διορθωτικοί συντελεστές για διαφορετικά πλέγματα [9]

Η επιλογή του διορθωτικού συντελεστή για την περίπτωση μας θα γίνει βάσει του πιο πάνω πίνακα αλλά κάπως προσεγγιστικά μιας και δεν διαθέτει τιμή του συντελεστή για 200 γεωτρήσεις. Έτσι για επιλογή συντελεστή ακριβώς ανάμεσα στις 400 και στις 25 γεωτρήσεις (δηλαδή για 212,5 γεωτρήσεις) , αυτός βγαίνει  $C_f=0,945$ .

Η απόσταση των γεωτρήσεων επιλέγεται να είναι 15 ft , έχουμε ισοδύναμες ώρες ψύξης και θέρμανσης , η θερμοκρασία του εδάφους είναι  $t_g=60^\circ\text{F}$  , η θερμοκρασία εισαγωγής του νερού κατά την διαδικασία ψύξης είναι  $85^\circ\text{F}$  και το  $k_g$  του εδάφους είναι 1. Έτσι επιλέγεται από τον πίνακα 36 ο συντελεστής διόρθωσης της θερμοκρασίας  $t_p=4,7^\circ\text{F}$  .

Table 6 – Long Term Temperature Change in Ground Field Temperature for a 10 By 10 Vertical Ground Loop with a 100 Ton Load<sup>10</sup>

Eqv. Full-Load Hrs. Heating Cooling	Bore Separation (ft)	Ground Temp. ( $t_g$ ) & Entering Water Temps. (Htg. & Clg.)					
		$t_g = 50^\circ\text{F}$ (EWT = 35/80)		$t_g = 60^\circ\text{F}$ (EWT = 45/85)		$t_g = 70^\circ\text{F}$ (EWT = 60/95)	
		$kg = 1.0$	$kg = 1.5$	$kg = 1.0$	$kg = 1.5$	$kg = 1.0$	$kg = 1.5$
		$\Delta t_g$ (ft/ton)	$\Delta t_g$ (ft/ton)	$\Delta t_g$ (ft/ton)	$\Delta t_g$ (ft/ton)	$\Delta t_g$ (ft/ton)	$\Delta t_g$ (ft/ton)
1500 500	15	-4.4°F (318)	-4.4°F (248)	-	-	-	-
	20	-2.3°F (276)	-2.3°F (216)	-	-	-	-
	25	-1.2°F (258)	-1.2°F (202)	-	-	-	-
1000 1000	10	12.9°F(318)	11.8°F(245)	NR	11.8°F(313)	-	-
	15	5.4°F(237)	4.3°F(186)	4.7°F(245)	4.7°F (225)	-	-
	20	3.4°F(220)	1.9°F(172)	2.5°F(263)	2.4°F(206)	-	-
500 1500	15	15.1°F(379)	15.1°F(294)	NR	12.8°F(345)	NR	NR
	20	7.8°F (277)	8.0°F (216)	6.7°F (326)	6.7°F (254)	6.7°F (336)	6.7°F (259)
	25	4.1°F(224)	4.3°F(190)	3.5°F(287)	3.5°F(224)	3.5°F(293)	3.5°F(229)
0 2000	15	-	-	NR	NR	NR	NR
	20	-	-	10.3°F (406)	10.4°F (316)	10.4°F (4L4)	10.5°F (322)
	25	-	-	5.4°F (325)	5.5°F (252)	5.4°F (332)	5.5°F (257)

**ΠΙΝΑΚΑΣ 36:** Μακροπρόθεσμη αλλαγή της θερμοκρασίας του υπεδάφους [9]

Για να υπολογίσουμε το βάθος της γεώτρησης χρειαζόμαστε ακόμα την διάμετρο των σωληνώσεων που θα χρησιμοποιηθούν αλλά και τις ιδιότητες του υλικού με το οποίο θα γεμίσουμε την γεώτρηση μετά την εγκατάσταση των σωληνώσεων.

Με την βοήθεια των πινάκων του βιβλίου της ASHRAE επιλέγεται σωλήνωση σχήματος U από πολυαιθυλένιο, ονομαστικής διαμέτρου 1 ½ in, δηλαδή εξωτερικής διαμέτρου  $d_{out}=1,9in=0,04826m=0,1583ft$  και εσωτερικής διαμέτρου  $d_{in}=1,554in=0,03947ft$ , δηλαδή ονομαστικής διαμέτρου 1 ½ in με SDR 11.

Επίσης βρίσκεται ότι το υλικό πλήρωσης της γεώτρησης έχει θερμική αγωγιμότητα  $k=1.1-1,7 Btu/h \cdot ft \cdot F^\circ$  (οι τσιμεντοενέσεις είναι το πιο διαδεδομένο υλικό για την επίχωση).

Το υλικό πλήρωσης παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση. Τα κενά αέρα ή ο χωρισμός πρέπει να αποφευχθούν δεδομένου ότι ο αέρας είναι ένας φυσικός μονωτής. Το ρευστοκονίαμα είναι το πιο διαδεδομένο υλικό για επίχωση. Μπορεί να σφραγίσει τη γεώτρηση από την διείσδυση νερού επιφάνειας. Το τυποποιημένο ρευστοκονίαμα έχει πραγματικά μια φτωχή αγωγιμότητα, έτσι η διάμετρος των τρυπών πρέπει να ελαχιστοποιηθεί (διάμετρος περίπου 5 in) ώστε να περιοριστεί η

επιρροή του ρευστοκονιάματος. Τα ενισχυμένα ρευστοκονιάματα μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την απόδοση γεωτρήσεων, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε λιγότερες ή τις πιο ρηχές γεωτρήσεις. Εντούτοις, είναι δαπανηρότερα [37].

**Table 1 – Equivalent Diameters and Thermal Resistances for Polyethylene U-Tubes<sup>2</sup>**

U-Tube Dia.	SDR or Schedule	Pipe (Bore) Thermal Resistance (h•ft•F°/Btu)			
		For Water Flows Above 2.0 US gpm	20% Prop. Glycol Flow 3.0 US gpm	20% Prop. Glycol Flow 5.0 US gpm	20% Prop. Glycol Flow 10.0 US gpm
¾ in. (0.15 ft)	SDR 11	0.09	0.12	NR	NR
	SDR 9	0.11	0.15	NR	NR
	Sch 40	0.10	0.14	NR	NR
1.0 in. (0.18 ft)	SDR 11	0.09	0.14	0.10	NR
	SDR 9	0.11	0.16	0.12	NR
	Sch 40	0.10	0.15	0.11	NR
1 ¼ in. (0.22 ft)	SDR 11	0.09	0.15	0.12	0.09
	SDR 9	0.11	0.17	0.15	0.11
	Sch 40	0.09	0.15	0.12	0.09
1 ½ in. (0.25 ft)	SDR 11	0.09 <sup>1</sup>	0.16	0.15	0.09
	SDR 9	0.11 <sup>1</sup>	0.18	0.17	0.11
	Sch 40	0.08 <sup>1</sup>	0.14	0.14	0.08

Based on using borehole cuttings for backfilling around u-tube. Use **Table 2** corrections for other conditions.

<sup>1</sup> Water flow must be at least 3.0 US gpm to avoid laminar flow for these cases.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 37: Ισοδύναμη διάμετρος και θερμική αντίσταση σωλήνωσης πολυαιθυλενίου[9]**

**Table 2 – Thermal Resistance Adjustments For Other Borehole Backfills or Grouts<sup>3</sup>**

(Add value to Base Resistances in )

Natural Soil Cond.	0.9 Btu/h•ft•F°		1.3 Btu/h•ft•F°			1.7 Btu/h•ft•F°	
	0.5 Btu/h•ft•F°	2.0 Btu/h•ft•F°	0.5 Btu/h•ft•F°	1.0 Btu/h•ft•F°	2.0 Btu/h•ft•F°	0.5 Btu/h•ft•F°	1.0 Btu/h•ft•F°
4 in. Bore							
¾ in. U-tube	0.11 (NR)	-0.05	0.14 (NR)	0.03	-0.02	0.17 (NR)	0.05
1 in U-tube	0.07	-0.03	0.09	0.02	-0.02	0.13 (NR)	0.04
5 in. Bore							
¾ in. U-tube	0.14 (NR)	-0.06	0.18 (NR)	0.04	-0.04	0.21 (NR)	0.06
1 in U-tube	0.11 (NR)	-0.04	0.14 (NR)	0.03	-0.02	0.16 (NR)	0.05
1 ¼ in U-tube	0.06	-0.03	0.09	0.02	-0.02	0.12 (NR)	0.04
6 in. Bore							
¾ in. U-tube	0.18 (NR)	-0.07	0.21 (NR)	0.04	-0.05	0.24 (NR)	0.07
1 in U-tube	0.14 (NR)	-0.06	0.17 (NR)	0.03	-0.04	0.21 (NR)	0.06
1 ¼ in U-tube	0.09	-0.04	0.12 (NR)	0.03	-0.02	0.15 (NR)	0.05
1 ½ in U-tube	0.07	-0.03	0.09	0.02	-0.02	0.11 (NR)	0.04

(NR) Not Recommended

Air Gaps add 0.2 to 0.4 h•ft•F°/Btu to Bore Resistance

Note some adjustments are negative, which indicates a thermal enhancement and a lower net thermal resistance compared to natural backfills.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 38: Διόρθωση θερμικής αντίστασης σωλήνωσης πολυαιθυλενίου σχήματος U [9]**

**Table 3 – Thermal Conductivities of Typical Grouts and Backfills<sup>4</sup>**

Grouts and Additives	k (Btu/h•ft•F°)	Thermal Enhanced Grouts	k (Btu/h•ft•F°)
20% Bentonite	0.42	20% Bentonite – 40% Quartzite	0.85
30% Bentonite	0.43	30% Bentonite – 30% Quartzite	0.70-0.75
Cement Mortar	0.40-0.45	30% Bentonite – 30% Iron Ore	0.45
Concrete @ 130/150 lb/ft <sup>3</sup>	0.60-0.80	60% Quartzite – Flowable Fill (Cement + Fly Ash+ Sand)	1.07
Concrete (50% quartz sand)	1.1-1.7		

**ΠΙΝΑΚΑΣ 39:** Θερμική αγωγιμότητα τυπικών εγχυτικών υλικών και επιχώσεων[9]

Έτσι η θερμική αντίσταση της σωλήνωσης σύμφωνα με τους πίνακες 37 και 38 είναι  $R_b=0,13 \text{ h}\cdot\text{ft}\cdot^\circ\text{F}/\text{Btu}$ .

Όσο αφορά τον μηνιαίο συντελεστή μερικού φορτίου αυτός υπολογίζεται σε  $PLF_m=12,22\%=0,1222$ , από την σχέση:

$$PLF_m = \left( \frac{\text{ΦΟΡΤΙΟ} \cdot \Omega \text{ΡΕΣ} \_ \text{ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ}}{\text{ΜΕΓΙΣΤΟ} \_ \text{ΦΟΡΤΙΟ} \cdot 24\text{H}} \right) \times \left( \frac{\text{ΜΕΡΕΣ} \_ \text{ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ} \_ \text{ΑΝΑ} \_ \text{ΜΗΝΑ}}{\text{ΜΕΡΕΣ} \_ \text{ΤΟΥ} \_ \text{ΜΗΝΑ}} \right)$$

Τέλος ο συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων  $F_{sc}$ , που εκφράζει την θερμότητα που χάνεται μεταξύ των παρακείμενων σωληνώσεων στην ίδια γεώτρηση υπολογίζεται σε  $F_{sc}=1,02$  βάση του παρακάτω πίνακα.

# Of bores per parallel loop	One	Two	Three
2 gpm/ton	1.06	1.03	1.02
3pgm/ton	1.04	1.02	1.01

Table 5. Short circuit heat loss factors for various flow rates and numbers of bores per parallel loop

**ΠΙΝΑΚΑΣ 40:** Συντελεστής θερμικών απωλειών του κυκλώματος των σωληνώσεων  $F_{sc}$  συναρτήσει της ογκομετρικής παροχής του υγρού μέσα στη σωλήνωση και των οπών ανά βρόγχο [9]

Μετά τους υπολογισμούς το απαιτούμενο βάθος γεώτρησης προκύπτει

$L_c=69037 \text{ ft}=21.042\text{m}=314 \text{ ft/ψυκτικό τόνο.}$

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα RETSCREEN για την ίδια ψυκτική ισχύ βρίσκουμε συνολικό βάθος γεώτρησης 21.281 m , γεγονός που σημαίνει ότι το βάθος που προέκυψε από τους υπολογισμούς θεωρείται αξιόπιστο.

Έτσι θα φτιαχτεί ένα πλέγμα 15x15 γεωτρήσεων βάθους 93,52 m έκαστη. Η κάθε γεώτρηση θα έχει διάμετρο 8 in=0,2032m ενώ θα απέχουν μεταξύ τους 15 ft=4,572 m. Επομένως η συνολική επιφάνεια που απαιτείται για την πραγματοποίηση των γεωτρήσεων είναι 4.497 m<sup>2</sup>.

### **8.2.2 Εγκατάσταση Εξοπλισμού [99]**

#### **Παροχή Ρευστού**

Για τον καθορισμό των τεχνικών χαρακτηριστικών του συστήματος πρέπει να υπολογιστεί η απαιτούμενη παροχή μέσα από την αντλία θερμότητας.

Η παροχή αυτή προκύπτει μέσω της παρακάτω σχέσης που την συνδέει με την απαιτούμενη ισχύ της αντλίας και την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του εισερχομένου και εξερχομένου μέσου.

$$P(kw) = \frac{Q(l/s) \cdot \Delta T(K) \cdot 3600}{860}$$

Στο εξεταζόμενο κτίριο η ανάγκη για ψύξη είναι μεγαλύτερη από την ανάγκη για θέρμανση. Έτσι στον υπολογισμό της παροχής από την παραπάνω σχέση θα λάβουμε υπόψη την ψυκτική ισχύ της αντλίας που επιλέξαμε και την διαφορά θερμοκρασίας εισερχομένου και εξερχομένου μέσου κατά την διαδικασία της ψύξης. Μετά την εκτέλεση των υπολογισμών καταλήγουμε στο αποτέλεσμα:

$$Q=28,58 \text{ l/s}$$

Η παροχή αυτή είναι η συνολική παροχή που φτάνει στην αντλία θερμότητας. Επειδή όμως έχουμε 225 γεωτρήσεις είναι προφανές ότι το σύνολο των παροχών των 225 γεωτρήσεων θα πρέπει σύμφωνα με το νόμο διατήρησης της μάζας να

ισούται με την συνολική (τελική) παροχή.

### **Ταχύτητα Ροής Ρευστού**

Σύμφωνα με αυτή την παρατήρηση και έχοντας επιλέξει την εσωτερική διάμετρο των σωληνώσεων ίση με  $d_{in}=0,03949$  m μπορούμε να υπολογίσουμε την απαιτούμενη ταχύτητα ροής του νερού. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας την σχέση:

$$Q(l/s) = u(m/s) \cdot A(m^2) \cdot 1000$$

Το κριτήριο για τον υπολογισμό εντοπίζεται στο ότι πρέπει να υπολογισθεί μια ταχύτητα, δεδομένης της διαμέτρου της σωλήνωσης, η οποία θα προσεγγίζει κατά πολύ την απαιτούμενη παροχή στην κάθε γεώτρηση που ασφαλώς θα είναι η υπο225η της συνολικής παροχής που φτάνει στην αντλία θερμότητας.

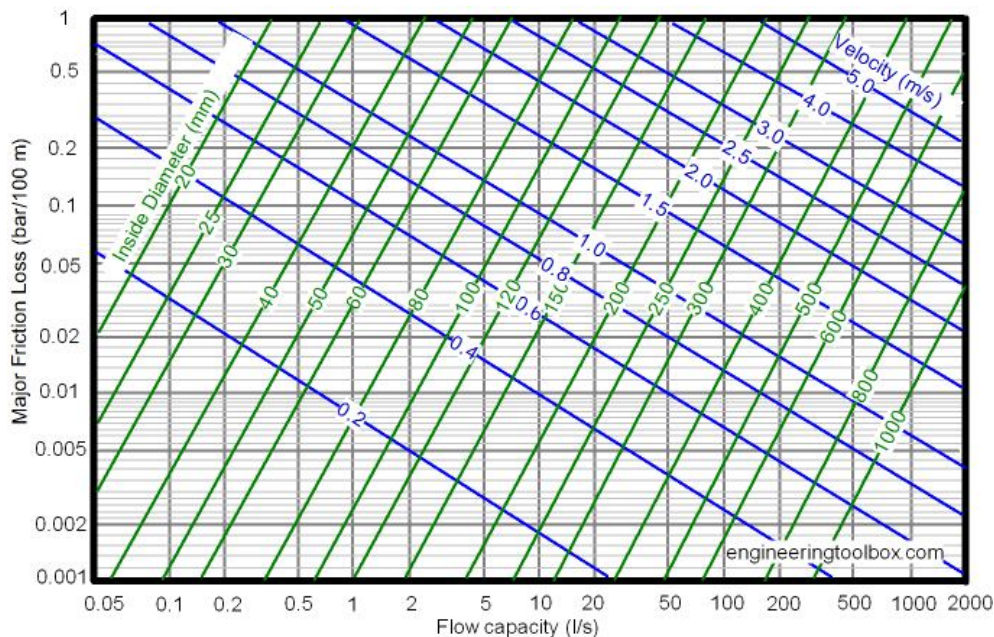
Το αποτέλεσμα αυτού του υπολογισμού είναι η απαιτούμενη ταχύτητα ροής μέσα στη σωλήνωση πολυαιθυλενίου που βρίσκεται μέσα στην κάθε γεώτρηση. Έτσι έχουμε:  $u= 0,103$  m/s

### **Απώλειες Πίεσης**

Το επόμενο στάδιο είναι να υπολογίσουμε τις απώλειες μέσα στον γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας καθώς και στο συνολικό κύκλωμα των σωληνώσεων με σκοπό την επιλογή του κατάλληλου κυκλοφορητή. Οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των παρακάτω απωλειών [99]:

- A.** Γραμμικές απώλειες δικτύου.
- B.** Απώλειες ενδιάμεσου δικτύου (μέχρι την αντλία θερμότητας).
- Γ.** Τοπικές απώλειες πίεσης δικτύου γεωτρήσεων με τυπική τιμή ίση με 0,005 bar.
- Δ.** Τοπικές απώλειες πίεσης ΓΑΘ με τυπική τιμή 0,25-0,3 bar.
- E.** Τοπικές απώλειες πίεσης λοιπών εξαρτημάτων με τυπική τιμή 0,2 bar. Οι

σωληνώσεις είναι κατασκευασμένες από ενισχυμένης πυκνότητας πολυαιθυλένιο , υλικό που συνηθίζεται στις γεωθερμικές εφαρμογές λόγω των σημαντικών ιδιοτήτων του στην μεταφορά θερμότητας. Το διάγραμμα 2 μας δίνει την απώλεια πίεσης σε bar ανά 100 μέτρα σωλήνωσης, σε σχέση με την παροχή, την ταχύτητα και την διάμετρο της σωλήνωσης.



**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2:** Απώλειες πίεσης ανά 100 μέτρα σωλήνωσης πολυαιθυλενίου

[http://www.engineeringtoolbox.com/peh-pvc-pipes-pressure-drop-d\\_317.html](http://www.engineeringtoolbox.com/peh-pvc-pipes-pressure-drop-d_317.html)

### **Γραμμικές Απώλειες Δικτύου Γεωτρήσεων**

Έτσι σύμφωνα με την παραπάνω διάγραμμα οι απώλειες πίεσης ανά 100m σωλήνωσης , όσο αφορά το σύστημα του κάθετου γεωεναλλάκτη θερμότητας , για παροχή ρευστού 0,127 l/s και  $d_{in}=39,49$  mm , θα είναι:  $\Delta p/100m=0,075$  bar.

Επειδή οι σωληνώσεις στις 225 γεωτρήσεις είναι παράλληλες η πτώση πίεσης είναι ίδια και έτσι υπολογίζεται για τον ένα γεωθερμικό εναλλάκτη θερμότητας. Το μήκος του κάθε εναλλάκτη θα είναι 187,04 m (διπλάσιο του βάθους της γεώτρησης). Έτσι οι γραμμικές απώλειες πίεσης θα είναι 0,14 bar.



## **Απώλειες Ενδιάμεσου Δικτύου (μέχρι την αντλία θερμότητας)**

Το δίκτυο των σωληνώσεων από την έξοδο της γεώτρησης ως την είσοδο της αντλίας θερμότητας ονομάζεται ενδιάμεσο δίκτυο. Οι απώλειες του δικτύου αυτού θα υπολογιστούν με την τιμή που θα προκύψει από το παραπάνω διάγραμμα πολλαπλασιασμένη τώρα με το συνολικό μήκος του δικτύου.

Η παροχή στο μέρος αυτό του συστήματος είναι  $Q=28,58$  l/s ενώ η εσωτερική διάμετρος των σωληνώσεων επιλέγεται να είναι 120mm. Έτσι η τιμή από το διάγραμμα προκύπτει τώρα περίπου  $\Delta p/100m=0,5$  bar.

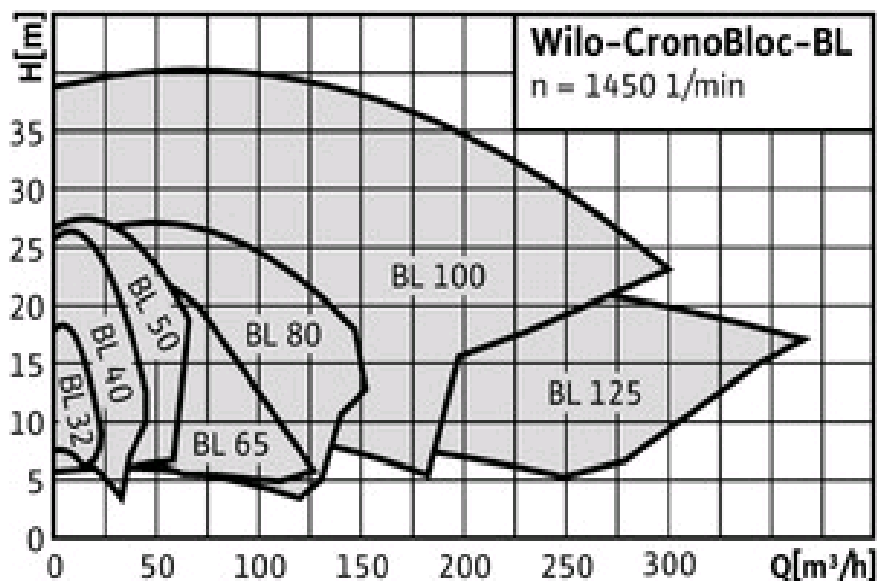
Το δίκτυο των σωληνώσεων που θα χρειαστεί από την έξοδο των γεωτρήσεων ως την είσοδο της αντλίας θερμότητας έχει μήκος 520m. Έτσι οι απώλειες πίεσης στο ενδιάμεσο δίκτυο προκύπτουν ίσες με 2,6 bar.

## **Συνολικές Απώλειες Συστήματος**

Λαμβάνοντας υπόψη τις τυπικές τιμές για τις υπόλοιπες συνιστώσες των συνολικών απωλειών όπως αυτές αναφέρονται παραπάνω οι συνολικές απώλειες του συστήματος θα είναι ίσες με  $3,245$  bar =  $33,10$  m H<sub>2</sub>O.

## **Επιλογή Κυκλοφορητή**

Με γνωστές πλέον τις απώλειες και την παροχή μπορούμε μέσω της αναζήτησης WILCO Product Finder [35] της εταιρείας κατασκευής αντλιών και αντλητικών συστημάτων για θέρμανση, ψύξη, κλιματισμό και παροχή νερού WILCO να επιλέξουμε τον κυκλοφορητή αποστολή του οποίου είναι η κυκλοφορία του νερού στο κύκλωμα.



**ΕΙΚΟΝΑ 63:** Σειρά προϊόντων Wilo-CronoblocC-bl

(<http://www.wilo.gr/cps/rde/xchg/gr-el/layout.xsl/924.htm>)

Έτσι λοιπόν με παροχή  $Q=102,9 \text{ m}^3/\text{h}$  και ολικές απώλειες  $H=33,10 \text{ m H}_2\text{O}$  ο κυκλοφορητής θα είναι ο WILO-CRONOBLOC-BL 100.

### Υπολογισμός Όγκων Δοχείων Διαστολής

Επόμενο στάδιο είναι να υπολογιστεί ο όγκος των δοχείων διαστολής του συστήματος. Σε κάθε υδραυλικό σύστημα είναι απαραίτητη η ύπαρξη των δοχείων αυτών. Το δοχείο διαστολής είναι ένα μικρό δοχείο που χρησιμοποιείται σε κλειστά συστήματα θέρμανσης με σκοπό να απορροφά την αύξηση πίεσης του νερού και έτσι να διατηρεί την πίεση του δικτύου σε αποδεκτά όρια. Η διατήρηση της πίεσης είναι απαραίτητη για:

**A.** Να αναπληρώνονται οι απώλειες του νερού του δικτύου που οφείλονται σε τυχόν μικροδιαρροές.

**B.** Να παραλαμβάνεται η θερμική διαστολή του νερού λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του.

**Γ.** Να μην δημιουργούνται υποπίεσεις οι οποίες γίνονται αιτία ατμοποιήσεων

στο δίκτυο.

**Δ.** Να αποτρέπεται η σπηλαιώση στην αναρόφηση των κυκλοφορητών.

Το δοχείο διαστολής συνήθως αποτελείται από ένα ελαστικό διάφραγμα το οποίο χωρίζει σε δύο τομείς. Η μία πλευρά περιέχει μία μικρή ποσότητα αέρα συμπιεσμένο με ίση και αντίθετη πίεση από αυτή του νερού. Η άλλη πλευρά περιέχει νερό που είναι σε ελεύθερη επαφή με την αντλητική εγκατάσταση. Οποιαδήποτε στιγμή αυξάνεται η πίεση του νερού πιέζεται το διάφραγμα και συμπιέζεται ο αέρας. Η συμπιεστικότητα του αέρα έχει ως αποτέλεσμα να απορροφάται αυτή η καταστροφική αύξηση της πίεσης για το αντλητικό σύστημα.

Ο υπολογισμός του δοχείου διαστολής γίνεται ως εξής:

Ο όγκος του δοχείου διαστολής δίνεται από τον τύπο:

$$V_t = V_s \cdot \frac{\left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{\gamma} - 1}{1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\gamma}}}$$

Όπου:

**V<sub>t</sub>**: ο όγκος του δοχείου διαστολής σε m<sup>3</sup>

**V<sub>s</sub>**: ο όγκος του νερού στην εγκατάσταση σε m<sup>3</sup>

**t<sub>1</sub>**: η χαμηλότερη θερμοκρασία του δικτύου (0° C)

**t<sub>2</sub>**: η υψηλότερη θερμοκρασία του δικτύου (50° C)

**P<sub>1</sub>**: η πίεση στην χαμηλότερη θερμοκρασία του δικτύου σε kPa

**P<sub>2</sub>**: η πίεση στην υψηλότερη θερμοκρασία του δικτύου σε kPa

**v<sub>1</sub>**: ο ειδικός όγκος του νερού στην χαμηλότερη θερμοκρασία σε m<sup>3</sup>/kgf

**v<sub>2</sub>**: ο ειδικός όγκος του νερού στην υψηλότερη θερμοκρασία σε m<sup>3</sup>/kgf

Το πρώτο βήμα είναι να υπολογιστεί ο όγκος του νερού που διακινείται στο σύστημα των σωληνώσεων. Ο όγκος αυτού του νερού είναι άθροισμα δύο μεγεθών:

**A.** Του όγκου στις σωληνώσεις του γεωθερμικού εναλλάκτη

## B. Του όγκου στις σωληνώσεις του οριζοντίου συστήματος

Θεωρώντας και στις δύο περιπτώσεις τις σωληνώσεις ως απλούς κυλίνδρους έχουμε:

$$V_{\text{γεωθ.εναλ.}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \times \text{μήκος}_{\text{σωλήνωσης}} = 51,342 \text{ m}^3 = 51.342 \text{ lt}$$

$$V_{\text{οριζ.σωλ.}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \times \text{μήκος}_{\text{σωλήνωσης}} = 1,962 \text{ m}^3 = 1962 \text{ lt}$$

Άρα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι ο συνολικό όγκος του νερού του κυκλώματος είναι:  $V_s = 53.304 \text{ lt}$ .

Ο ειδικός όγκος του νερού στην θερμοκρασία των  $0^\circ \text{C}$  είναι  $v_1 = 0,0010002 \text{ m}^3/\text{kg}$  ενώ στην θερμοκρασία των  $50^\circ \text{C}$  είναι  $v_2 = 0,0010121 \text{ m}^3/\text{kg}$ .

Ός χαμηλότερη πίεση λαμβάνεται η απαραίτητη στατική πίεση του δικτύου προσαυξημένη κατά  $0,7 \text{ bar}$  ώστε να μειωθεί ο κίνδυνος να παρουσιαστεί υποπίεση, ατμοποίηση ή σπηλαιώση [78]. Με δεδομένο ότι το μέγιστο ύψος της εγκατάστασης του δοχείου διαστολής πάνω από την θέση εγκατάστασης της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας (πρωτεύων κύκλωμα) είναι  $2 \text{ m}$  ( $0,2 \text{ bar}$ ), η χαμηλότερη πίεση στο δίκτυο λαμβάνεται:  $P_1 = 0,7 + 0,2 = 0,9 \text{ bar} = 90 \text{ kPa}$

Ός υψηλότερη πίεση λαμβάνεται το άνω επιτρεπτό όριο πίεσης πριν το άνοιγμα της βαλβίδας ασφαλείας. Αυτή σύμφωνα με τις οδηγίες [78] πρέπει να είναι:  $P_2 = P_1 + 1,3 \text{ bar} = 2,2 \text{ bar} = 220 \text{ kPa}$ .

Έτσι τελικά υπολογίζεται ο απαιτούμενος όγκος του δοχείου διαστολής που είναι:  $V_t = 1066 \text{ lt}$  Και επιλέγεται 1 δοχείο διαστολής όγκου  $1000 \text{ lt}$ .

## **Fan-Coils**

Η τελική αξιοποίηση του συστήματος των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας γίνεται με την οδήγηση των σωληνώσεων που βγαίνουν από την αντλία θερμότητας σε fan-coils κατάλληλα κατανομημένα στον προς κλιματισμό χώρο.

Το σύστημα Σωμάτων Εξαναγκασμένης Κυκλοφορίας - (Fan Coils) είναι ένα σύστημα από εσωτερικές μονάδες που μεταφέρει την θερμότητα ή την ψύξη στους

διάφορους χώρους μέσω της τροφοδοσίας τους με νερό κατάλληλης θερμοκρασίας [74].

Δηλαδή τα συστήματα αυτά είναι συστήματα κλιματισμού που λειτουργούν ως εξής: Τοποθετείται ένας ανεμιστήρας σε κάθε χώρο που απαιτείται ψύξη ή θέρμανση. Μία κεντρική σωλήνωση που διαρρέεται από ψυχρό ή θερμό νερό διακλαδώνεται και περνάει από όλους τους προς κλιματισμό χώρους. Ο κάθε ανεμιστήρας αναρροφά αέρα από το περιβάλλον, τον κατευθύνει πάνω στην σωλήνωση που διαρρέεται από το ψυχρό ή θερμό νερό όπου γίνεται η μεταφορά θερμότητας και ο ψυχρός ή θερμός πλέον αέρας απορρίπτεται μέσα στον χώρο και κλιματίζει.

Στο συγκεκριμένο κτίριο των επισκευαστικών τμημάτων του 306 ΕΒΤ ο κλιματισμός γίνεται ήδη με fan-coils. Η μετατροπή του παρόντος συστήματος στο νέο με την χρήση της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας δεν είναι δύσκολη αφού η τεχνολογία διανομής της θερμότητας παραμένει η ίδια.

### **8.2.3 Κόστος Συστήματος**

Το κόστος παραγόμενης ενέργειας από το σύστημα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας συνίσταται στα εξής επιμέρους κόστη:

**A. Λειτουργικό κόστος:** Ορίζεται ως το κόστος χρήσης της ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτούν για τη λειτουργία τους η αντλία και ο κυκλοφορητής.

**B. Κόστος εξοπλισμού:** Ορίζεται ως το κόστος αγοράς της αντλίας θερμότητας, του κυκλοφορητή, των δοχείων διαστολής και όλων των επιμέρους εξαρτημάτων του ενδιάμεσου υδραυλικού κυκλώματος (βαλβίδες, σωληνώσεις κ.α.)

**Γ. Κόστος εγκατάστασης:** Συνίσταται από το κόστος διάνοιξης της γεώτρησης, το κόστος των σωληνώσεων του γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας και το κόστος της εισαγωγής κατάλληλου πληρωτικού υλικού στην γεώτρηση.

**Δ. Κόστος συντήρησης:** Είναι το απαιτούμενο κόστος για την συντήρηση του

μηχανολογικού εξοπλισμού , η οποία διασφαλίζει την καλή του λειτουργία.

### **A. Λειτουργικό Κόστος**

Για τον υπολογισμό του λειτουργικού κόστους λαμβάνονται υπόψη οι ηλεκτρικές κιλοβατώρες, όπως αυτές υπολογίζονται από το RETSCREEN, ότι θα καταναλώνονται ετησίως για την ψύξη και θέρμανση του κτιρίου με την γεωθερμική αντλία θερμότητας, και είναι 197.265 kWh.

Για να υπολογιστεί το λειτουργικό κόστος πρέπει η τιμή αυτή να πολλαπλασιαστεί με την σημερινή τιμή της κιλοβατώρας η οποία ορίζεται στα 0,122 €/kWh. Έτσι λοιπόν προκύπτει ότι:

$$\text{Λειτουργικό Κόστος} = 197.265 \text{ kWh} \cdot 0,122 \text{ €/kWh} = 24.066 \text{ €}$$

### **B. Κόστος Εξοπλισμού**

Το κόστος εξοπλισμού αποτελείται από:

**A.** Το κόστος της αντλίας θερμότητας: Το κόστος της αντλίας θερμότητας υπολογίζεται στα 104.340 € (470 ευρώ ανά ψυκτικό τόνο, όπως με ενημέρωσε ο κ. Παναγιώτης Σκαντζίκας από την Εταιρεία Συστημάτων Κεντρικού Κλιματισμού Iklima).

**B.** Το κόστος του κυκλοφορητή: Το κόστος του κυκλοφορητή είναι 11.131 €  
[83]

**Γ.** Το κόστος του δοχείου διαστολής: Το κόστος των δοχείου διαστολής είναι 3.490 € [84]

**Δ.** Το κόστος του λοιπού εξοπλισμού: Στο κόστος αυτό συμπεριλαμβάνεται το κόστος της εργασίας και των υλικών για το οριζόντιο τμήμα των γεωεναλλακτών. Το μήκος αυτού υπολογίζεται γύρω στα 1610 m. Σύμφωνα με τις πληροφορίες από το ΚΑΠΕ [12] η τιμή των σωληνώσεων από υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο είναι της τάξεως των 2,5 €/m. Το συνολικό κόστος των σωληνώσεων για την περίπτωση

αυτή θα είναι:

Κοριζ.σωλ. =  $2,5 \text{ €/m} \cdot 1610\text{m} = 4.025\text{€}$

Στο κόστος λοιπού εξοπλισμού μπορούμε να εντάξουμε το κόστος των υδραυλικών εργασιών που εκτιμάται στην τιμή των 400 €. Επίσης πρέπει να λάβουμε υπόψη το κόστος του μηχανοστασίου και των λοιπών απαραίτητων μικρών εξαρτημάτων (βαλβίδες κ.α.) που εκτιμάται στο ύψος των 4.000€.

### **Γ. Κόστος Εγκατάστασης**

Το κόστος εγκατάστασης δίνεται ως το σύνολο για τα εξής επιμέρους κόστη:

1. Το κόστος διάνοιξης της γεώτρησης.
2. Το κόστος των σωληνώσεων του γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας.
3. Το κόστος του υγρού και του αντιψυκτικού.
4. Το κόστος του υλικού πλήρωσης της γεώτρησης μετά την τοποθέτηση του εναλλάκτη.

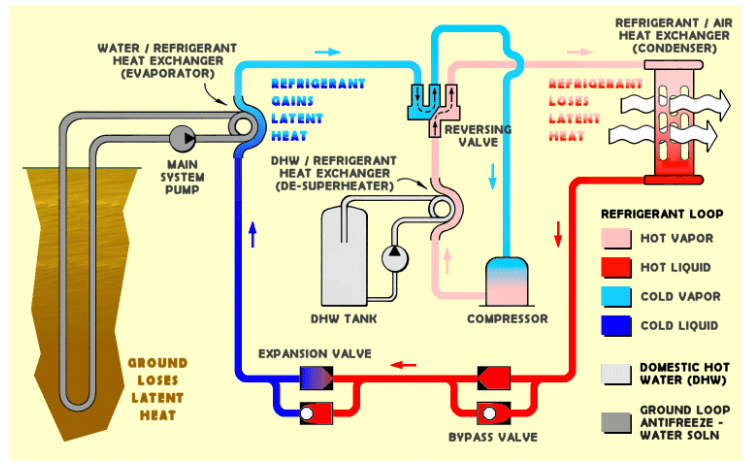
Το κόστος όλων αυτών προσθετικά είναι της τάξεως των 2.000€/RT [Δέλτα Τεχνική]. Έτσι για 222 RT το κόστος αυτό είναι 444.000 €.

### **Δ. Κόστος Συντήρησης**

Το κόστος συντήρησης εκτιμάται σε 1000 € το χρόνο (Σχεδόν μηδενικό).

### **Ε. Συνολικό Κόστος Επένδυσης**

Έτσι το συνολικό κόστος επένδυσης είναι περίπου 571.386 €.



**ΣΧΗΜΑ 15:** Θέρμανση με γεωθερμική αντλία θερμότητας

(<http://www.geo4va.vt.edu/A3/A3.htm>)

## 8.3 Σύστημα Ηλιακής Θέρμανσης και Ψύξης με Απορρόφηση

### 8.3.1 Ψύξη

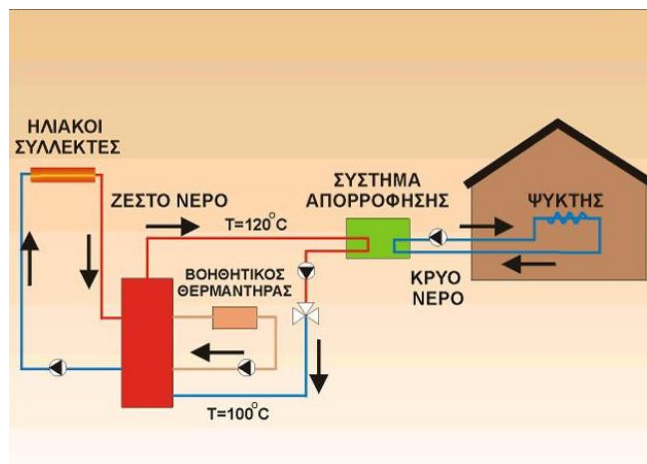
Η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται από τους ηλιακούς συλλέκτες και θερμαίνει το νερό το οποίο οδηγείται στην δεξαμενή αποθήκευσης. Η θερμότητα αυτή χρησιμοποιείται για να διαχωριστεί το διάλυμα  $H_2O/LiBr$  σε αμούς νερού και πλούσιο διάλυμα σε  $LiBr$ . Ο παραγόμενος αμός οδηγείται στο συμπυκνωτή όπου συμπυκνώνεται αποβάλλοντας θερμότητα. Το συμπύκνωμα καταλήγει στον εξατμιστή όπου με την απορρόφηση θερμότητας από το εισερχόμενο νερό από τις κλιματιστικές μονάδες ατμοποιείται ενώ παράλληλα ψύχει το νερό των κλιματιστικών μονάδων, παράγοντας έτσι την ψυκτική ισχύ. Σε περίπτωση που η συλλεχθείσα ηλιακή ενέργεια δεν επαρκεί για την κάλυψη του απαιτούμενου φορτίου, τότε ο ψύκτης υποστηρίζεται από την εφεδρική πηγή θερμότητας.

Έτσι για την εγκατάσταση του συστήματος ηλιακής ψύξης χρειάζονται τα παρακάτω κύρια στοιχεία του κυκλώματος:

**A.** Οι ηλιακοί συλλέκτες

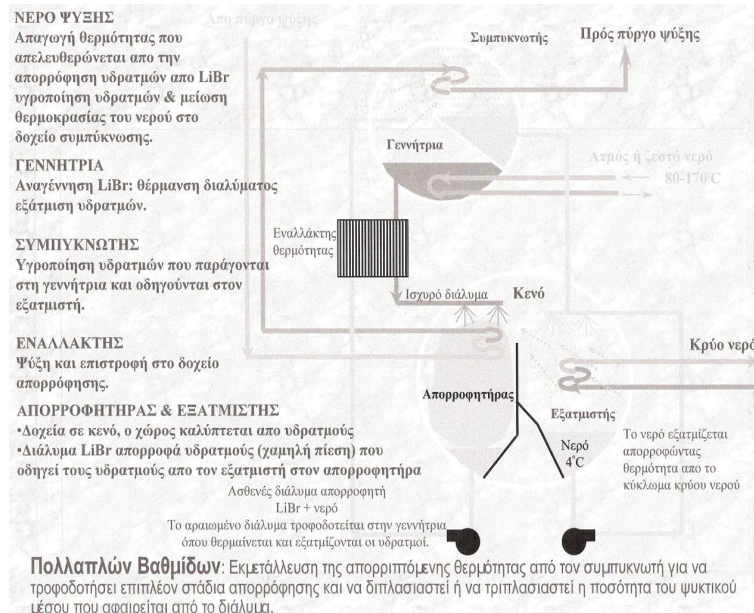


- Β.** Το δοχείο αποθήκευσης θερμότητας
- Γ.** Η βοηθητική πηγή θερμότητας
- Δ.** Το σύστημα του ψύκτη απορρόφησης
- Ε.** Ο ψυκτικός πύργος
- ΣΤ.** Αντλίες που να κυκλοφορούν το νερό μέσα στην εγκατάσταση



**ΕΙΚΟΝΑ 64:** Σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος ηλιακού κλιματισμού

[http://www.nirsepes.eu/docs/Aidonis\\_SolarTH.pdf](http://www.nirsepes.eu/docs/Aidonis_SolarTH.pdf)



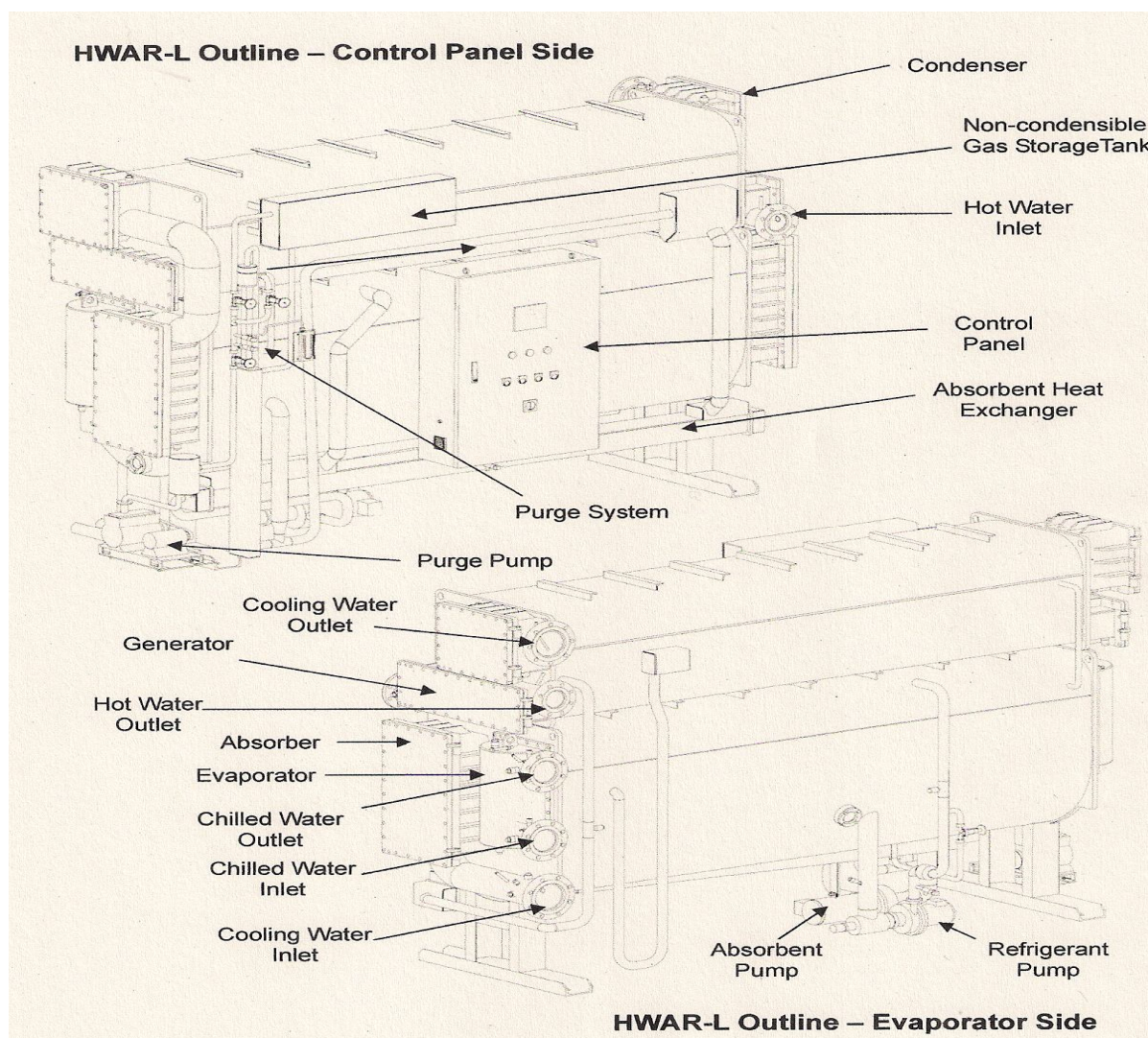
**ΕΙΚΟΝΑ 65:** Αρχή λειτουργίας ενός ψύκτη απορρόφησης H<sub>2</sub>O/LiBr

[http://library.tee.gr/digital/m2385/m2385\\_balaras.pdf](http://library.tee.gr/digital/m2385/m2385_balaras.pdf)

## A. Ψύκτης Απορρόφησης

Θα χρησιμοποιήσουμε ψύκτη απορρόφησης που χρησιμοποιεί ζεστό νερό της εταιρείας CENTION , μοντέλο HWARL240 , ψυκτικής ικανότητας 240 RT (844 KW)

[40]



**ΣΧΗΜΑ 16:** Κύρια μέρη ενός ψύκτη απορρόφησης Cention

Ο συγκεκριμένος ψύκτης παράγει ψύξη από ζεστό νερό το οποίο έχει θερμανθεί είτε μέσω ηλιακής ενέργειας είτε μέσω θερμών καυσαερίων ενώ τα χαρακτηριστικά του είναι τα κάτωθι:

A. Ψυκτική ικανότητα: 844 KW (240 RT)

B. Θερμοκρασία παγωμένου νερού (chilled water) από και προς κλιματιστικές μονάδες: 12,232 ° C κατά την είσοδο και 6,672 ° C κατά την έξοδο

Γ. Παροχή παγωμένου νερού 36,27 l/s

Δ. Θερμοκρασία ζεστού νερού από και προς τους ηλιακούς συλλέκτες, 95,076 ° C κατά την είσοδο και 80,064 ° C κατά την έξοδο

E. Παροχή ζεστού νερού 19,43 l/s

ΣΤ. Θερμοκρασία νερού ψύξης (cooling water) από και προς τον ψυκτικό πύργο , 29,468 ° C κατά την είσοδο και 35,028 ° C κατά την έξοδο

Z. Παροχή νερού ψύξης 87,187 l/s

H. COP=0,69

$$\text{Όπου } COP = \frac{\text{Φορτίο } \_ \Psiύκτη(KW)}{\text{Εισερχόμενη } \_ \Thetaερμική \_ \text{Ισχύς}(KW)}$$

Έτσι αφού η ψυκτική ικανότητα του ψύκτη είναι 844 KW και με δεδομένη την απόδοση της μηχανής απορρόφησης (COP=0,69) είναι φανερό ότι η εισερχόμενη θερμική ισχύς θα πρέπει να είναι: 1223,2 KW

## **B. Ηλιακοί Συλλέκτες**

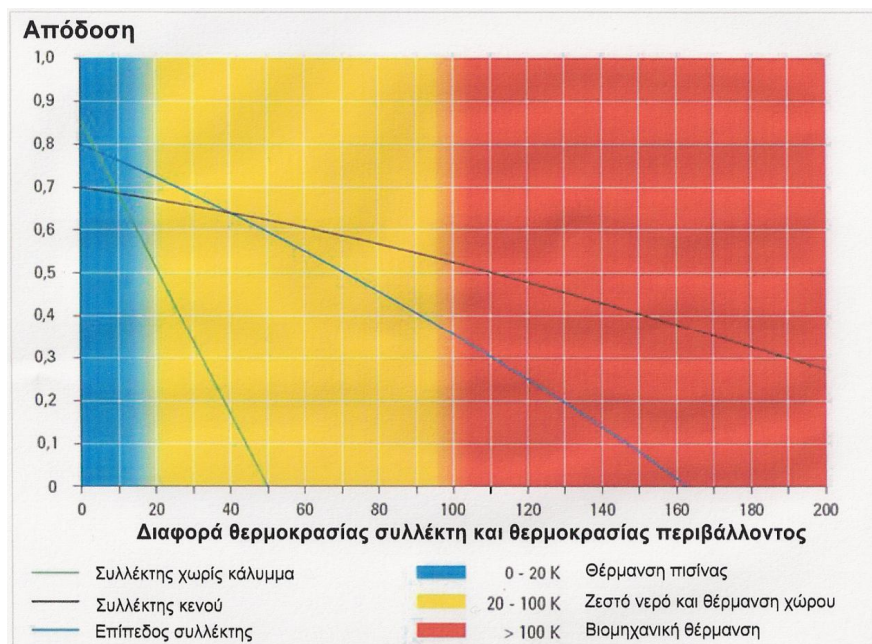
Για τον υπολογισμό του συστήματος των ηλιακών συλλεκτών ακολουθείται η εξής διαδικασία:

Η απόδοση του συλλέκτη δίνεται από τον τύπο:

$$n = F_R \cdot (\tau\alpha) - F_R \cdot U_L \cdot \frac{T_i - T_a}{I_T} \quad n = F_R \cdot (\tau\alpha) - F_R \cdot U_L \cdot \frac{T_i - T_a}{I_T}$$

Αν επιλέξουμε επίπεδο συλλέκτη με μαύρο απορροφητήρα και διπλό τζάμι έχουμε από τον σχετικό πίνακα (πιν.32) ότι  $F_R \cdot (\tau\alpha) = 0,75$  και  $F_R \cdot U_L = 5$ .

Είδαμε ότι η θερμοκρασία εισόδου του νερού είναι  $T_i = 80,064 \text{ } ^\circ\text{C}$  και βρίσκουμε ότι η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος στην Αθήνα είναι  $19,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Αν θεωρήσουμε την τιμή της ηλιακής ακτινοβολία περίπου  $I = 1000 \text{ W/m}^2$ , τότε προκύπτει η απόδοση του συλλέκτη ίση με 55%, γεγονός το οποίο προκύπτει και από το κάτωθι σχήμα.



**ΣΧΗΜΑ 17:** Απόδοση συλλέκτη συναρτήσει της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ αυτού και του περιβάλλοντος

([http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/prodes3/PRODES\\_solar%20thermal.pdf](http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/prodes3/PRODES_solar%20thermal.pdf))

Αυτό σημαίνει ότι η παραγωγή ενέργειας από τους συλλέκτες είναι της τάξεως των  $0,55 \cdot 1000 \text{ W/m}^2 = 550 \text{ W/m}^2$ . Έτσι για την παραγωγή των 1223,2 KW που χρειαζόμαστε απαιτούνται  $2224 \text{ m}^2$  επιφάνειας επίπεδων ηλιακών συλλεκτών τύπου μαύρου απορροφητήρα με διπλό τζάμι.

Στο κλειστό κύκλωμα των ηλιακών συλλεκτών κυκλοφορεί μίγμα νερού με προπυλενογλυκόλη ώστε να μειωθεί το σημείο πήξης στους  $-23 \text{ } ^\circ\text{C}$  και να αυξηθεί το

σημείο βρασμού στους 150°C [7].

Οι επίπεδοι συλλέκτες κατασκευάζονται συνήθως για παροχή  $0,0111 \frac{lit}{sec \cdot m^2}$  με  $0,0222 \frac{lit}{sec \cdot m^2}$  [7]. Οπότε για μία μέση παροχή της τάξης των  $0,015 \frac{lit}{sec \cdot m^2}$  και για συνολική επιφάνεια συλλεκτών  $2224 m^2$  η παροχή θα είναι  $33,36 lit/sec$ .

## **Γ. Δοχείο Αποθήκευσης Θερμού Νερού Ομοιόμορφης**

### **Θερμοκρασίας**

Σε μία αποθήκη ομοιόμορφης θερμοκρασίας το νερό έχει την ίδια θερμοκρασία σε οποιοδήποτε σημείο. Έτσι όταν προσδίδεται ενέργεια η θερμοκρασία ανεβαίνει ομοιόμορφα σε όλο τον χώρο της αποθήκης [7].

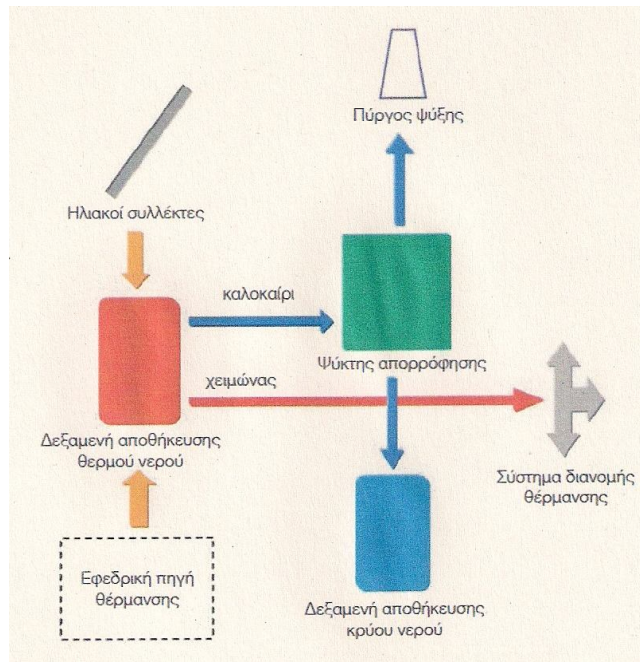
Στην πράξη η ομοιόμορφη θερμοκρασία εξασφαλίζεται όταν η παροχή του νερού είναι υψηλή και ο χρόνος ανακύκλωσης μικρός [7].

Τέτοιες αποθήκες χρησιμοποιούνται στα ηλιοθερμικά συστήματα παραγωγής ζεστού νερού και θέρμανσης χώρων, κλειστού κυκλώματος [7].

Σε μία τέτοια εγκατάσταση ο όγκος της αποθήκης ομοιόμορφης θερμοκρασίας είναι  $V=50-100 lit/m^2$  συλλέκτη [7]. Οπότε για ένα μέσο όγκο της τάξης των  $75 lit/m^2$  συλλέκτη, και για συνολική επιφάνεια συλλεκτών  $2224 m^2$  ο απαιτούμενος όγκος του δοχείου αποθήκευσης θερμού νερού είναι  $166.800 lit$ . Αυτός ο απαιτούμενος όγκος μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας 34 θερμοδοχεία χωρητικότητας  $5.000 lit$  έκαστο [41].

Με διάμετρο  $1,72 m$  και ύψος  $2,93 m$  το καθένα απαιτείται συνολικός χώρος  $80 m^2$  για την εγκατάστασή τους. Εφόσον γίνει ειδική παραγγελία κατασκευάζονται και θερμοδοχεία των  $10.000 lit$  οπότε σε αυτή την περίπτωση απαιτούνται 17 τέτοια θερμοδοχεία.

Η παροχή νερού που κυκλοφορεί στο κλειστό κύκλωμα είναι της τάξης των  $0,022 \frac{lit}{sec \cdot m^2}$  συλλεκτικής επιφάνειας [99]. Έτσι λαμβάνοντας υπόψη την επιφάνεια των συλλεκτών η συνολική παροχή στην δεξαμενή θα είναι  $48,93 lit/sec$ .



**ΕΙΚΟΝΑ 66:** Βασική διάταξη εγκατάστασης ηλιακού κλιματισμού για χρήση χειμώνα-καλοκαίρι ([http://www.solcoproject.net/docs/SOLCO\\_SolarCooling\\_guide\\_Greek.pdf](http://www.solcoproject.net/docs/SOLCO_SolarCooling_guide_Greek.pdf))

#### **Δ. Βοηθητική Πηγή Θερμότητας**

Επειδή η ηλιακή ακτινοβολία δεν είναι διαθέσιμη καθ' όλη τη διάρκεια της μέρας και του χρόνου, είναι απαραίτητο να υπάρχει μία εφεδρική μονάδα κεντρικής θέρμανσης για να θερμαίνει το νερό όταν δεν επαρκεί η ηλιακή ενέργεια. Εφεδρική μονάδα θέρμανσης μπορεί να είναι ένας συμβατικός λέβητας πετρελαίου ή υγραερίου, ένας λέβητας βιομάζας ή ηλεκτρισμός.

#### **Ε. Πύργος Ψύξης**

Ο πύργος ψύξης χρησιμοποιείται για να ψύξει το νερό που εξέρχεται από τον συμπυκνωτή του ψύκτη απορρόφησης το οποίο (νερό) προηγουμένως έχει συμπυκνώσει τους ατμούς νερού που εισέρχονται από την δεξαμενή αναγεννήσεως.

Η δε λειτουργία του πύργου ψύξης περιγράφεται συνοπτικά ως εξής [79]: Το καταιονιζόμενο νερό στον πύργο ψύξης έχει αυξημένη θερμοκρασία. Καθώς έρχεται σε επαφή με τον ψυχρό αέρα ανεβάζει την θερμοκρασία του αέρα, κυρίως με αγωγή. Όταν όμως η θερμοκρασία του αέρα αυξάνεται, μειώνεται η σχετική υγρασία του.

Έτσι, ανεξάρτητα από τον βαθμό κορεσμού που είχε αρχικά, γίνεται ακόρεστος. Επομένως εξατμίζει νερό προσπαθώντας να φέρει σε ισορροπία τις θερμοκρασίες υγρής και ξηρής σφαίρας. Καθώς το νερό εξατμίζεται, απορροφά την λανθάνουσα θερμότητα εξατμίσις από το υπόλοιπο νερό και μειώνει την θερμοκρασία του. Με αυτόν τον τρόπο απομακρύνεται το 65 - 70 % της αποβαλλόμενης θερμότητας, ενώ το υπόλοιπο αποβάλλεται με αγωγή, επαφή και ακτινοβολία. Επειδή ο αέρας που βγαίνει είναι περίπου κορεσμένος και σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από την θερμοκρασία περιβάλλοντος, την στιγμή που εξέρχεται από τον πύργο ψύξης ψύχεται και αποβάλλει μέρος από την θερμοκρασία που έχει απορροφήσει. Έτσι εμφανίζεται ένα σύννεφο υδρατμών πάνω από τον πύργο ψύξης.

Μεγάλη ποικιλία πύργων ψύξης μπορούμε να βρούμε στην ιστοσελίδα της εταιρείας MITA [42]



**ΕΙΚΟΝΑ 67:** Πύργος ψύξης κλειστού κυκλώματος της εταιρείας MITA

<http://www.mita-tech.it/-526265439.d2.asp>

## **ΣΤ. Εναλλάκτες Θερμότητας**

Εναλλάκτες θερμότητας ονομάζονται οι συσκευές που έχουν την δυνατότητα να μεταφέρουν την θερμική ενέργεια μεταξύ δύο ρευστών διαφορετικής θερμοκρασίας. Ανάλογα με την διαδικασία μεταφοράς της θερμότητας διακρίνονται στους

εναλλάκτες άμεσης και έμμεσης επαφής [7].

Στους εναλλάκτες άμεσης επαφής δύο ρευστά διαφορετικής φάσης έρχονται σε άμεση επαφή , ανταλλάσσουν θερμότητα και στη συνέχεια διαχωρίζονται και πάλι. Στους εναλλάκτες έμμεσης επαφής τα ρευστά παραμένουν χωρισμένα και η ανταλλαγή θερμότητας γίνεται μέσω μιας διαχωριστικής επιφάνειας. Στην περίπτωση αυτή η μετάδοση θερμότητας από το ζεστό στο κρύο ρευστό γίνεται με την εξής διαδικασία [7]:

A. Με συναγωγή από το ζεστό ρευστό στο τοίχωμα

B. Με αγωγιμότητα μέσα στο τοίχωμα

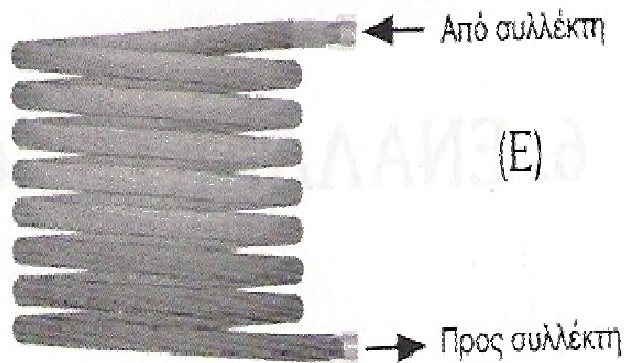
Γ. Με μετάβαση από το τοίχωμα στο ψυχρό ρευστό

Στα ηλιοθερμικά συστήματα κλειστού κυκλώματος, δηλαδή στα συστήματα εκείνα όπου το ρευστό των ηλιακών συλλεκτών είναι διαφορετικό από το ρευστό της δεξαμενής αποθήκευσης , χρησιμοποιούνται οι εναλλάκτες θερμότητας έμμεσης επαφής. Σκοπός τους η μεταφορά της θερμικής ενέργειας του ζεστού ρευστού των συλλεκτών (υδατικό διάλυμα προπυλενογλυκόλης) στο κρύο ρευστό της δεξαμενής (νερό) [7].

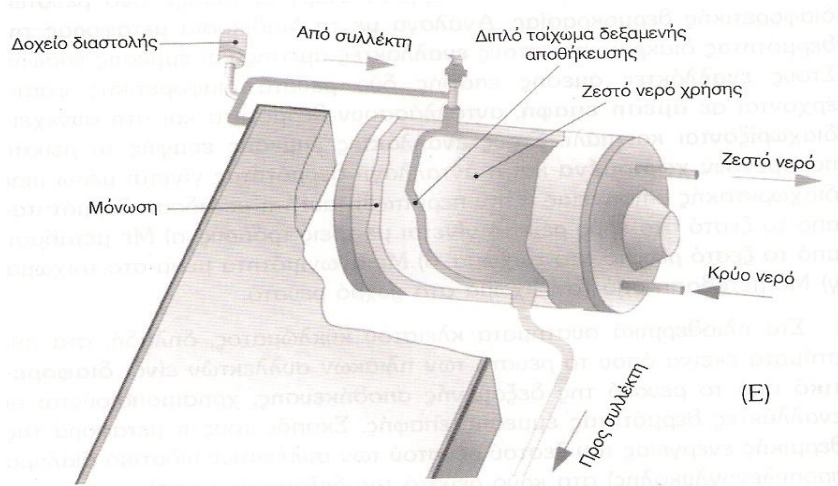
Ανάλογα με την θέση τους οι εναλλάκτες διακρίνονται σε εσωτερικούς και εξωτερικούς [7].

Ο εσωτερικός εναλλάκτης θερμότητας τοποθετείται μέσα στην δεξαμενή αποθήκευσης και αποτελείται από σωλήνες χαλκού ή ανοξειδωτου χάλυβα. Στα θερμοσιφωνικά συστήματα χρησιμοποιείται συχνά δεξαμενή αποθήκευσης (μπόιλερ) διπλού τοιχώματος , η οποία λειτουργεί και σαν εναλλάκτης θερμότητας. Έτσι το ζεστό υδατικό διάλυμα από τον συλλέκτη εισέρχεται στον χώρο μεταξύ των δύο τοιχωμάτων της αποθήκης (έναλλάκτης θερμότητας) και μετά από εναλλαγή θερμότητας επιστρέφει στο συλλέκτη για να θερμανθεί. Ταυτόχρονα κρύο νερό εισέρχεται στην δεξαμενή, θερμαίνεται από την διαδικασία εναλλαγής θερμότητας και οδεύει για χρήση [7].



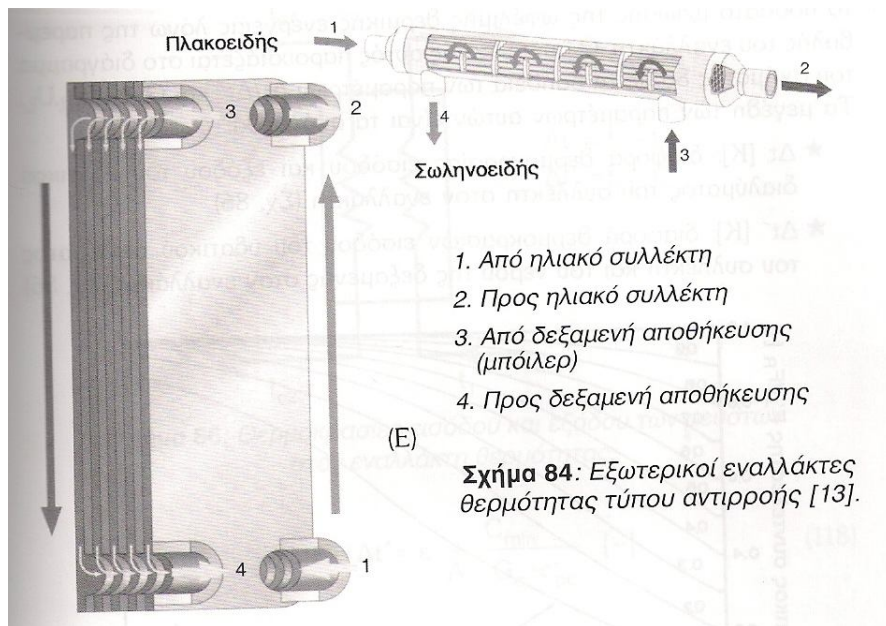


**ΕΙΚΟΝΑ 68:** Εσωτερικός εναλλάκτης θερμότητας [7]



**ΕΙΚΟΝΑ 69:** Δεξαμενή αποθήκευσης διπλού τοιχώματος σε θερμοσιφωνικό σύστημα [7]

Ο εξωτερικός εναλλάκτης θερμότητας τοποθετείται μεταξύ του συλλέκτη και της δεξαμενής αποθήκευσης και είναι τύπου αντιρροής (τα δύο ρευστά κινούνται με αντίθετη φορά). Χρησιμοποιούνται πλακοειδείς ή σωληνοειδείς εναλλάκτες, που κατασκευάζονται από χαλκό ή ανοξείδωτο χάλυβα και η κυκλοφορία των δύο ρευστών γίνεται με την βοήθεια αντίστοιχων αντλιών [7].



**ΕΙΚΟΝΑ 70:** Εξωτερικοί εναλλάκτες θερμότητας τύπου αντιρροής [7]

Οι εσωτερικοί εναλλάκτες έχουν μικρότερο κόστος, αλλά η απόδοσή τους μειώνεται λόγω της απόθεσης αλάτων από το νερό. Ένα στρώμα 2mm μειώνει την ικανότητα μεταφοράς θερμότητας κατά 20% [7].

Στους εσωτερικούς εναλλάκτες θερμότητας η διαφορά των θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του υδατικού διαλύματος του συλλέκτη στον εναλλάκτη πρέπει να είναι μεγαλύτερη των 10°C περίπου από την διαφορά των θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του νερού στην δεξαμενή. Για μία τέτοια διαφορά θερμοκρασίας η επιφάνεια μεταφοράς θερμότητας του εναλλάκτη είναι  $A=0,1-0,2 \text{ m}^2 / \text{m}^2$  συλλέκτη [7].

Στους εξωτερικούς εναλλάκτες θερμότητας η διαφορά των θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του υδατικού διαλύματος του συλλέκτη στον εναλλάκτη, πρέπει να είναι μεγαλύτερη κατά 5°C περίπου από την διαφορά των θερμοκρασιών εισόδου και εξόδου του νερού στην δεξαμενή [7].

### 8.3.2 Θέρμανση

Η χρήση του συστήματος που παρουσιάστηκε δεν κρίνεται οικονομική αν η λειτουργία του περιορίζεται μόνο στην ψύξη κατά την διάρκεια των θερινών μηνών. Έτσι στην διάταξη που παρουσιάστηκε έχει προβλεφθεί η χρήση των ηλιακών συλλεκτών για την θέρμανση των χώρων κατά την διάρκεια του χειμώνα. Η λειτουργία αυτή δεν επιβαρύνει το σύστημα με πρόσθετο εξοπλισμό αφού συνίσταται ουσιαστικά στην παράκαμψη του συστήματος του ψύκτη απορρόφησης και την κατεύθυνση του ζεστού νερού από τους συλλέκτες σε μονάδες διανομής θερμότητας στο κτίριο.

### Υπολογισμός Κάλυψης Θερμικού Φορτίου μέσω της Μεθόδου των Καμπυλών f [3,7]

Για την κάλυψη του θερμικού φορτίου με την τεχνολογία των ηλιακών συλλεκτών έχει αναπτυχθεί από τους Αμερικανούς S.Klein, W.Beckman και J.Duffie του πανεπιστημίου του Wisconsin η προσεγγιστική μέθοδος των καμπυλών f.

Η "Μέθοδος των Καμπυλών f" είναι μία συσχέτιση με την οποία γίνεται εκτίμηση της μηνιαίας απόδοσης των ενεργητικών συστημάτων θέρμανσης χώρων και νερού χρήσης, στα οποία το κατώτατο θερμοκρασιακό επίπεδο παράδοσης της ενέργειας είναι 20°C.

Η συσχέτιση αυτή συνδέει το κλάσμα του μηνιαίου θερμικού φορτίου που καλύπτεται από την ηλιακή ενέργεια f με τις παρακάτω αδιάστατες μεταβλητές X και Y:

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

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

Όπου:

$F_R \bullet U_L, F_R \bullet (\tau\alpha)_n$ : Χαρακτηριστικά μεγέθη του συλλέκτη

$A_c$ : Επιφάνεια επίπεδων ηλιακών συλλεκτών (m<sup>2</sup>)

$\frac{F'_R}{F_R}$ : Λόγος του παράγοντα θερμικής απολαβής του συστήματος συλλέκτη-εναλλάκτη

προς τον αντίστοιχο παράγοντα του συλλέκτη

$\frac{F'_R}{F_R} = 0,90-0,95$  για ηλιοθερμικό σύστημα κλειστού κυκλώματος

$\frac{F'_R}{F_R} = 1$  για ηλιοθερμικό σύστημα ανοικτού κυκλώματος

$T_{ref}$ : Θερμοκρασία αναφοράς (100° C)

$\overline{T_a}$ : Μηνιαίως μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος κατά την διάρκεια της ημέρας (° C)

$\Delta\tau$ : Διάρκεια μηνός σε sec

$\overline{H_T}$ : Μηνιαίως μέση ακτινοβολία ημέρας που προσπίπτει στο επίπεδο του συλλέκτη, ανά μονάδα επιφανείας (J/m<sup>2</sup>day)

N: Πλήθος ημερών του μήνα

$\frac{\overline{(\tau\alpha)}}{(\tau\alpha)_n}$ : Λόγος του μηνιαίως μέσου γινομένου διαπερατότητας-απορροφητικότητας

προς το αντίστοιχο γινόμενο καθέτου πρόσπτωσης. Για συλλέκτη στην Ελλάδα με βέλτιστη κλίση και προσανατολισμό ο λόγος λαμβάνεται για ένα τζάμι 0,94 κατά τον χειμώνα και 0,90 το καλοκαίρι, ενώ για δύο τζάμια 0,93 και 0,89 αντιστοίχως.

L: Μηνιαίο ολικό θερμικό φορτίο (J). Αποτελείται από το φορτίο θέρμανσης χώρων  $L_s$  και το φορτίο θέρμανσης νερού χρήσης  $L_w$ , τα οποία μπορούν να υπολογισθούν από τις σχέσεις:

$$L_s = (UA)_h \bullet DD$$

$$L_w = C_p \cdot M \cdot (T_w - T_m)$$

Όπου:

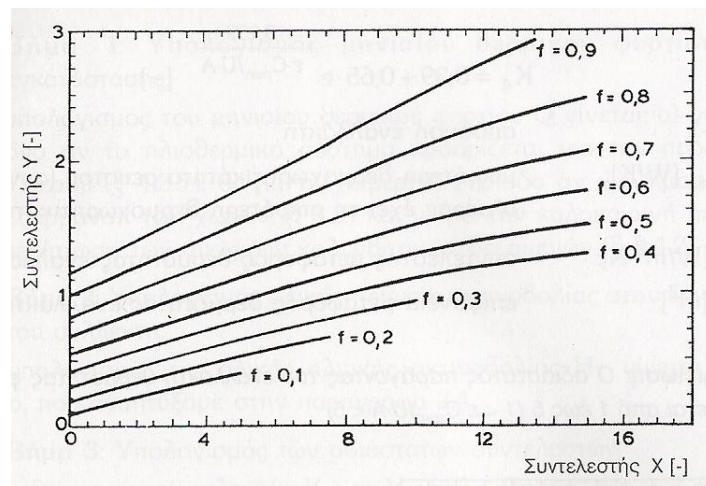
$(UA)_h$  είναι το γινόμενο της θερμικής διαπερατότητας επί την επιφάνεια του κτιρίου ( $W/^\circ C$ )

$DD$  είναι οι βαθμομέρες θέρμανσης του μηνός ( $^\circ C$  days)

$C_p$  η θερμοχωρητικότητα του νερού ( $4190 \text{ J/kg}^\circ C$ )

$M$  η μηνιαία κατανάλωση θερμού νερού (kg) θερμοκρασίας  $T_w$

$T_m$  η θερμοκρασία νερού του δικτύου



**ΣΧΗΜΑ 18:** Διάγραμμα καμπυλών  $f$  [7]

Έτσι για  $F_R \cdot U_L = 5 \text{ W/m}^2 K$ ,  $F_R \cdot (\tau\alpha)_n = 0,75$ ,  $A_c = 2224 \text{ m}^2$ ,  $T_{ref} = 100^\circ C$ ,

$\bar{T}_a = 12,43^\circ C$ ,  $\Delta\tau = 2.952.000 \text{ sec}$ ,  $N = 30$  ημέρες,  $\frac{(\bar{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n} = 0,93$ ,  $\frac{F'_R}{F_R} = 0,93$ ,

$\bar{H}_T = 1000 \text{ W/m}^2 = 86.400.000 \text{ J/m}^2 \text{ day}$ ,  $L = 750 \text{ kw} = 1,944 \cdot 10^{12} \text{ J}$  (στην περίπτωση που εξετάζουμε και με βάση την χρήση των χώρων δεν απαιτείται η θέρμανση του νερού και έτσι το μηνιαίο ολικό φορτίο θα περιλαμβάνει μόνο αυτό για την θέρμανση των χώρων). Οπότε με βάσει τα πιο πάνω αριθμητικά δεδομένα θα έχουμε:

$$X = 5 \text{ W/m}^2 K \cdot 0,93 \cdot (100 - 12,43) K \cdot 2.952.000 \text{ sec} \cdot 2224 \text{ m}^2 / 1,944 \cdot 10^{12} \text{ J} \Rightarrow$$

$$X=1,375$$

$$Y=0,75 \cdot 0,93 \cdot 0,93 \cdot 86.400.000 \text{ J/ m}^2 \text{ day} \cdot 30 \text{ days} \cdot 2224 \text{ m}^2 / 1,944 \cdot 10^{12} \text{ J} \Rightarrow$$

$$Y=1,923$$

Αν τοποθετηθούν οι τιμές αυτές στο Διάγραμμα καμπυλών  $f$  ή στην εξίσωση

$f = 1,029 \cdot Y - 0,065 \cdot X - 0,245 \cdot Y^2 + 0,0018 \cdot X^2 + 0,0215 \cdot Y^3$  φαίνεται ότι η κάλυψη του φορτίου από τους ηλιακούς συλλέκτες είναι της τάξης του 115%.

### **8.3.3 Κόστος Αγοράς και Εγκατάστασης Ηλιακών Θερμικών Συστημάτων**

Σήμερα το κόστος αγοράς και εγκατάστασης ενός τυπικού συστήματος θέρμανσης με ηλιακά θερμικά πλαίσια κοστίζει περίπου 300 € ανά  $\text{m}^2$  ηλιακού συλλέκτη [80] (συμπεριλαμβανομένης της εγκατάστασης και όλων των άλλων εξόδων). Για τον ηλιακό κλιματισμό απαιτείται επιπρόσθετα και ο ψύκτης (chiller) που κοστίζει περίπου 1500 € ανά kW [80]. Όμως δεν πρέπει να παραλείψουμε και το κόστος της βοηθητικής πηγής θερμότητας. Βέβαια στην περίπτωση που εξετάζουμε υπάρχει λέβητας πετρελαίου και έτσι δεν μας απασχολεί αυτό το κόστος.

Έτσι το κόστος εγκατάστασης για την συγκεκριμένη εφαρμογή φτάνει τα 1.933.200 €. Κόστος πολύ υψηλό αν αναλογιστούμε ότι για την εγκατάσταση του συστήματος αβαθούς γεωθερμίας απαιτείται το ποσό των 571.386 € ενώ για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων ισχύος 642 kw απαιτούνται 2.247.000 €.

### **8.3.4 Παρατηρήσεις επί της Εγκατάστασης Ηλιακών Θερμικών Συστημάτων**

Εκτός από το πολύ μεγάλο κόστος αγοράς και εγκατάστασης του συστήματος

ψύξης-θέρμανσης με ηλιακά θερμικά πλαίσια υπάρχει ακόμα ένα πρόβλημα στην συγκεκριμένη εφαρμογή. Αυτό , του απαραίτητου χώρου για την εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών.

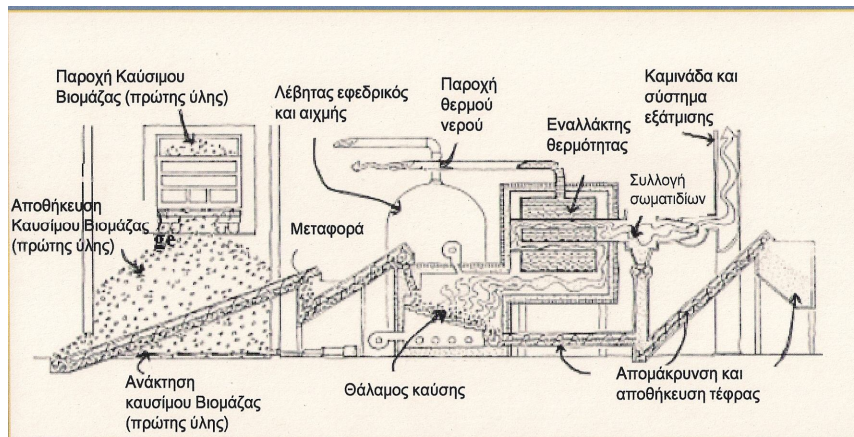
Έτσι η διαθέσιμη επιφάνεια στη στέγη του συγκεκριμένου κτιρίου είναι μόλις 1769 m<sup>2</sup> ενώ δεν υπάρχει διαθέσιμη ελεύθερη έκταση κοντά στο κτίριο ώστε να καλυφθεί η απαιτούμενη επιφάνεια σε συλλέκτες. Με αυτή την διαθέσιμη επιφάνεια στην οροφή του κτιρίου θα μπορέσουμε να καλύψουμε θερμική ισχύ 972,95 KW ενώ τα υπόλοιπα 250,25 KW που απαιτούνται πρέπει να καλυφθούν μέσω κάποιας άλλης πηγής ενέργειας.

Όμως ενδέχεται να μην διαθέσιμη ούτε αυτή η επιφάνεια των 1769 m<sup>2</sup> εφόσον αποφασίσουμε να καλύψουμε τις στέγες που κοιτάνε προς τον νότο με φωτοβολταικά πλαίσια.

Ως εκ τούτου κρίνεται απαραίτητο να εξεταστεί και κάποιο άλλο εναλλακτικό σενάριο για τον κλιματισμό του συγκεκριμένου κτιρίου που δεν θα περιλαμβάνει ηλιακούς συλλέκτες , αλλά η πηγή θερμότητας θα παραμένει ανανεώσιμη. Μια τέτοια λύση θα μπορούσε να είναι ένας καυστήρας βιομάζας.

#### **8.4 Σύστημα Θέρμανσης και Ψύξης με Λέβητα Βιομάζας**

Λόγω των “κωλυμάτων” που αναλύθηκαν πιο πάνω , μία καλή εναλλακτική πρόταση αντί της χρησιμοποίησης ηλιακών συλλεκτών για την παραγωγή θέρμανσης και ψύξης , θα ήταν η παραγωγή θερμότητας με σκοπό την ψύξη και την θέρμανση μέσω ενός λέβητα βιομάζας και συγκεκριμένα μέσω ενός λέβητα συσσωματωμάτων ξύλου.

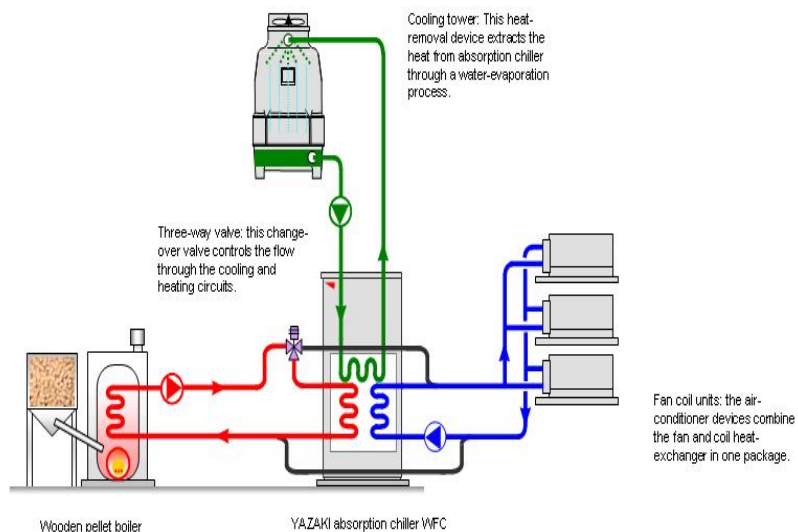


**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3:** Διάγραμμα καύσης βιομάζας για μικρό εμπορικό σύστημα

([www.retscreen.net/download.php/el/809/1/Course\\_bioh\\_el.ppt](http://www.retscreen.net/download.php/el/809/1/Course_bioh_el.ppt))

### 8.4.1 Ψύξη με Λέβητα Βιομάζας

Για την περίπτωση της ψύξης θα μπορούσε κάλλιστα το θερμό νερό που εισέρχεται στον ψύκτη απορρόφησης να θερμαίνεται όχι μέσω της ηλιακής ενέργειας, αλλά μέσω ενός λέβητα βιομάζας. Το υπόλοιπο σύστημα μπορεί να παραμείνει το ίδιο αφού δεν εξαρτάται από την πηγή θερμότητας.



**ΕΙΚΟΝΑ 71:** Σύστημα ψύξης με χρήση λέβητα βιομάζας

([http://www.yazakiairconditioning.com/en/applications/waste\\_heat\\_from\\_biomass.html](http://www.yazakiairconditioning.com/en/applications/waste_heat_from_biomass.html))



Έτσι για την ψύξη , με δεδομένη την απόδοση του συστήματος του ψύκτη απορρόφησης που έχει εκλεγεί  $COP = \frac{\text{Φορτίο}_\psi \text{ (KW)}}{\text{Εισερχόμενη}_\psi \text{ - Θερμική}_\psi \text{ - Ισχύς (KW)}} = 0,69$  , και αφού η ψυκτική ικανότητα του ψύκτη είναι 844 KW, θα πρέπει η εισερχόμενη θερμική ισχύς που θα παραχθεί από τον καυστήρα να είναι: 1223,2 KW

Για την παραγωγή του μεγέθους αυτού θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένας λέβητας βιομάζας MARINA CS 950 ισχύος 1102 kw συνεπικουρούμενος από έναν λέβητα MARINA CS 950130 ισχύος 150 kw [45]. Οι λέβητες Pellets της CTP χρησιμοποιούν ως καύσιμες ύλες Pellets ξύλου και γενικά οποιοδήποτε στερεό καύσιμο υλικό κομμένο σε μικρά κομμάτια όπως πυρηνόξυλο (ελαιοπυρήνας), σπασμένα κουκούτσια βερίκοκου ροδάκινου κ.α. Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας λέβητας προϊόντων ξύλου PYROTEC 1250 της εταιρείας KOB ισχύος 1250 KW [46].

Θα επιλέξουμε τον δεύτερο λόγω της απλότητας της κατασκευής αφού θα έχουμε έναν και όχι δύο λέβητες.

Πρέπει να τονίσουμε εδώ ότι πρέπει από τις τεχνικές περιγραφές του λέβητα να δώσουμε σημασία στην θερμοκρασία εξόδου του νερού από αυτόν ώστε να είναι μέσα στα όρια που χρειάζεται στο σύστημα του ψύκτη απορρόφησης για να λειτουργήσει [99].

Ο τελευταίος καίει συσσωματώματα ξύλου, πριονίδια, ροκανίδια ή μείγμα από ροκανίδια, πριονίδια και φλοιό ξύλου. Δηλαδή μία ποικιλία ακατέργαστης, υψηλής ποιότητας καύσιμης ξυλείας που ποικίλει σε θερμαντική αξία, σε απαιτούμενη αποθηκευτική χωρητικότητα και κόστος.

Το είδος καυσίμου που επιλέγουμε εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την χωρητικότητα της αποθήκευσης μας, από τις απαιτήσεις του συστήματος και την διαθεσιμότητα των καυσίμων στην περιοχή μας. Ως προς την ποιότητα των καυσίμων , τις επιπτώσεις στην αποτελεσματικότητα του συστήματος και το προσδόκιμο ζωής του, είναι καλύτερο να επιλέγουμε μιας καλής ποιότητας, ακατέργαστης καύσιμης ξυλείας με χαμηλή περιεκτικότητα σε νερό.

Έτσι καταλήγουμε στην επιλογή ως καύσιμης ύλης συσσωματωμάτων ξύλου τα οποία σε σχέση με τα υπόλοιπα έχουν μικρότερη απαίτηση σε αποθηκευτικό χώρο και επίσης έχουν και υψηλή θερμαντική αξία.

Η κατώτερη ή καθαρή θερμογόνος δύναμη του Pellet είναι περίπου 5,0 kWh/kg=18 MJ/kg [12] και αντιπροσωπεύει την ενέργεια που παράγεται από την καύση ενός κιλού του συγκεκριμένου καυσίμου.

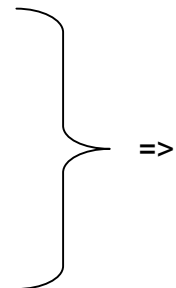
Η απόδοση του λέβητα βιομάζας PYROTEC 1250 είναι 85%. Όταν μιλάμε για βαθμό απόδοσης εννοούμε το λόγο της ποσότητας ενέργειας που παίρνουμε από τη λειτουργία του λέβητα (του παραγόμενου ζεστού νερού δηλαδή) προς την ποσότητα της ενέργειας που δίνουμε σ' αυτόν (δηλαδή την θερμαντική ικανότητα του εκάστοτε καυσίμου). Έτσι για εγκατεστημένη ισχύ λέβητα 1250 kw, η ενέργεια που παράγεται μέσα στον λέβητα είναι της τάξης των 1471 kw.

Αν συσχετίσουμε την παραγόμενη ενέργεια από την καύση των συσσωματωμάτων ξύλου με την απαιτούμενη παραγόμενη ενέργεια στον λέβητα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Παραγόμενη ενέργεια στον λέβητα: 1471 kw=1.471.000 J/sec=>

1.471.000 J/sec·3.600 sec/h=5.296 MJ/h

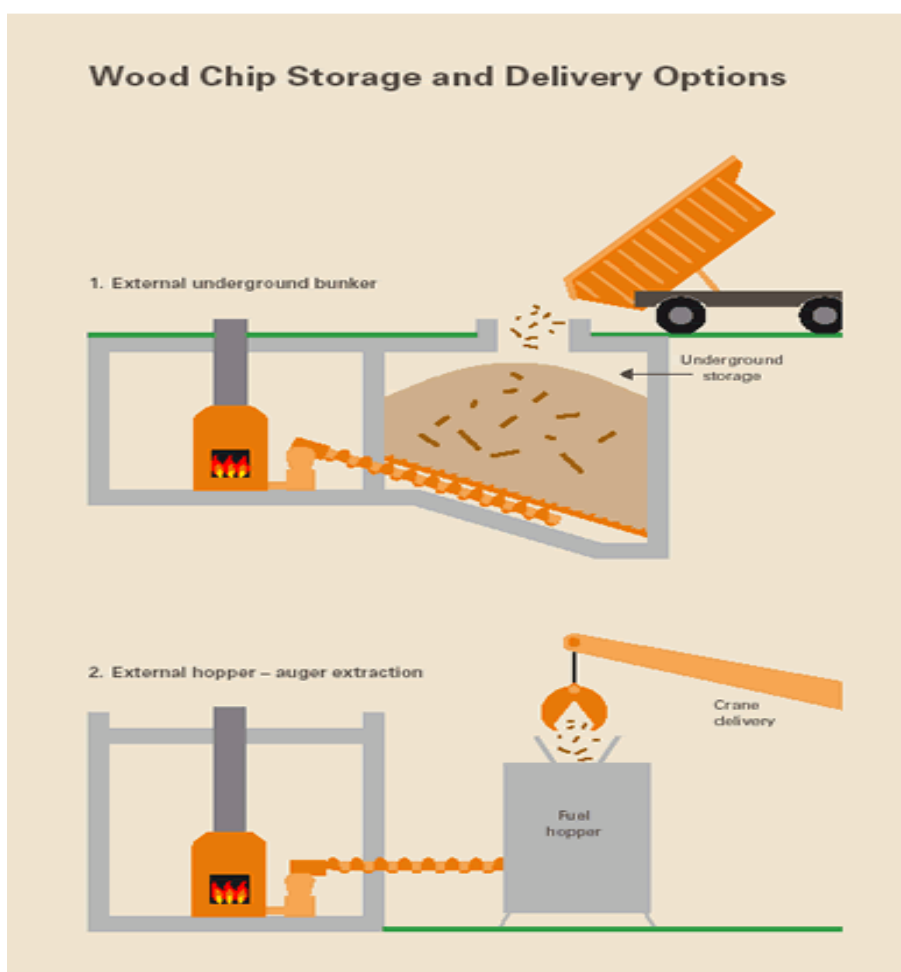
Κατώτερη θερμογόνος ικανότητα συσσωματωμάτων ξύλου: 18MJ/kg



Απαραίτητη ποσότητα καυσίμου:  $\frac{5.296\text{MJ/h}}{18\text{MJ/kg}} = 294,222 \text{ kgr/h}$

Η χρήση του λέβητα, για την παραγωγή αυτής της θερμότητας και με αυτή την κατανάλωση συσσωματωμάτων θα γίνεται για περίπου 7,5 ώρες ημερησίως, στις 22 εργάσιμες μέρες ανά μήνα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη καύσης συνολικά 2207 kgr συσσωματωμάτων ξύλου ανά ημέρα, δηλαδή 48.546 kgr συσσωματωμάτων ξύλου ανά μήνα και άρα 242.733 kgr =242,733 tn συσσωματωμάτων ξύλου για τους μήνες από Μάιο μέχρι Σεπτέμβριο.

Είναι φανερό ότι στην εγκατάσταση αυτή απαιτείται κάποιος χώρος για την αποθήκευση των συσσωματωμάτων ξύλου. Για την συγκεκριμένη περίπτωση με την παραδοχή των 2 τροφοδοσιών τον χρόνο (αν υπολογιστεί και η ανάγκη για θέρμανση τους χειμερινούς μήνες) , απαιτείται ένας αποθηκευτικός χώρος (σιλό) ικανότητας 243 tn. Ακόμα ένας χώρος για την εγκατάσταση του λέβητα είναι απαραίτητος και πρέπει σύμφωνα με τους κανονισμούς πυρασφαλείας να είναι ξεχωριστός από τον χώρο αποθήκευσης των συσσωματωμάτων.

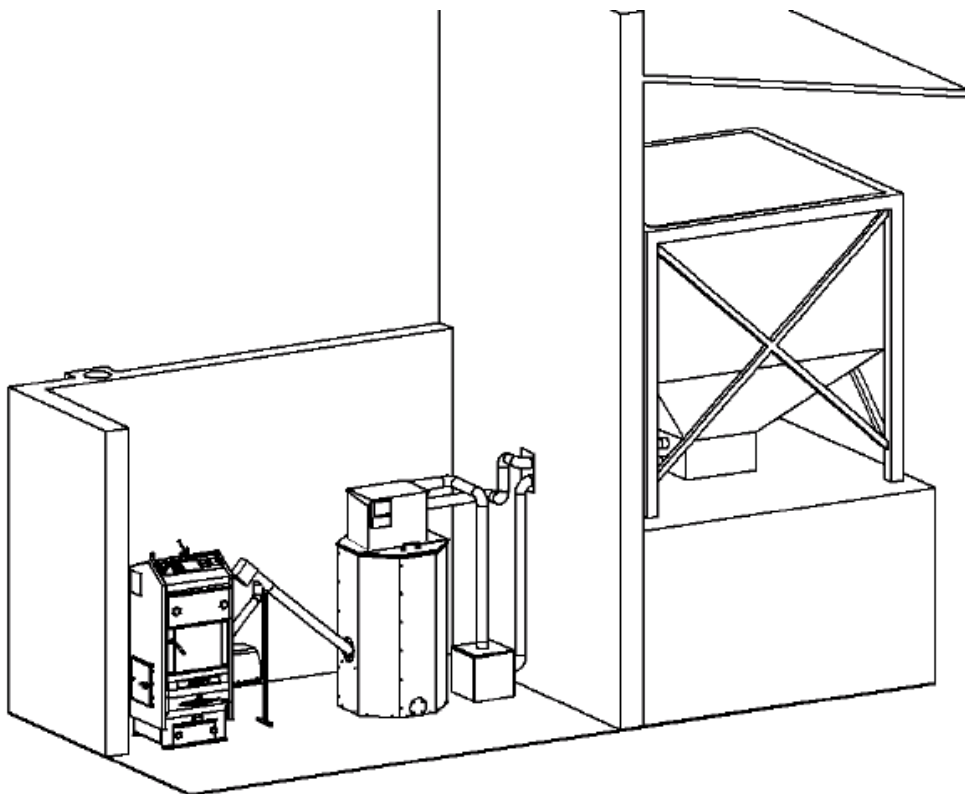


**ΕΙΚΟΝΑ 72:** Τρόποι τροφοδοσίας και εναποθήκευσης των pellets

<http://www.usewoodfuel.co.uk/Storage.stm>

Η καύσιμη ύλη είναι αποθηκευμένη στο σιλό (δεξαμενή) και οδηγείται αυτόματα από την χοάνη τροφοδοσίας που βρίσκεται δίπλα στο κέντρο καύσης με την βοήθεια ενός κοχλίας συνδεδεμένου με ηλεκτρομοτέρ, στην περιοχή της καύσης. Ο κοχλίας

προωθεί με ανάλογα επιλεγμένη ταχύτητα την ποσότητα που χρειάζεται για την επίτευξη της θερμοκρασίας που χρειάζεται. Το τελευταίο στάδιο της μεταφοράς, γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται απόλυτα η αδυναμία μεταφοράς στις φλόγες στο σιλό αποθήκευσης του υλικού. Για ακόμη μεγαλύτερη ασφάλεια, υπάρχει η δυνατότητα παρεμβολής στο κανάλι τροφοδοσίας μίας πυροσβεστικής βαλβίδας. Η φλόγα που δημιουργείται θερμαίνει την ποσότητα νερού που κυκλοφορεί μέσα στα υδατοστεγή διαμερίσματα του σώματος του λέβητα. Παράλληλα ο καπνός απάγεται οδηγούμενος διαμέσου μιας διαδρομής η οποία τον υποχρεώνει γυρνώντας τρεις φορές μέσα στην κατασκευή, να αφήσει όλες τις θερμίδες στο νερό [45].



**ΕΙΚΟΝΑ 73:** Λεβητοστάσιο με 325 kgρ σιλό pellet και πνευματική τροφοδοσίας pellet από το εξωτερικό σιλό pellet (<http://www.atmos.cz/english/instalece-kotelny-na-pelety>)

Σύμφωνα με στοιχεία που αντλούμε από την ιστοσελίδα της εταιρείας ÖkoFEN [48] η οποία ερευνά και εμπορεύεται οικολογικά συστήματα θέρμανσης που χρησιμοποιούν βιομάζα έχουμε τα εξής δεδομένα σχετικά με τον υπολογισμό των απαιτούμενων χώρων:

### **Χώρος Αποθήκευσης**

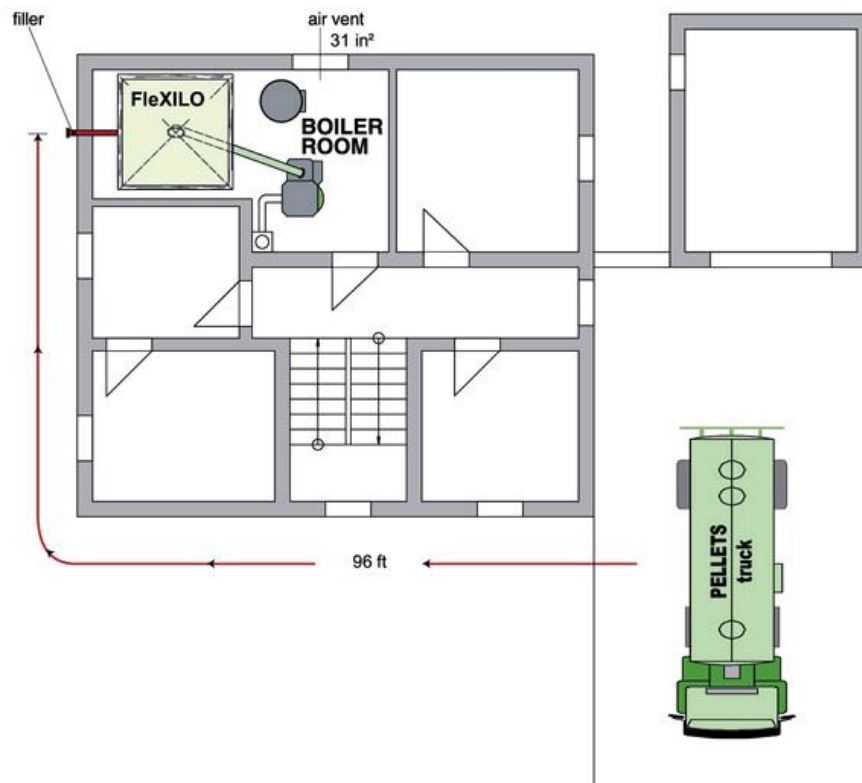
Τα pellet παραδίδονται με φορτηγό και διοχετεύονται στο χώρο ή την δεξαμενή εναποθήκευσης. Η μάνικα άντλησης του φορτηγού έχει το μέγιστο 99 πόδια (30 μέτρα) μήκος, συνεπώς η δεξαμενή εναποθήκευσης δεν πρέπει να είναι σε απόσταση μεγαλύτερη του 30 μέτρων από την θέση στάθμευσης του φορτηγού. Εάν είναι δυνατόν, ο χώρος της δεξαμενής πρέπει να συνορεύει τουλάχιστον με ένα εξωτερικό τοίχο, αφού η σύνδεση πλήρωσης πρέπει να είναι προσβάσιμη από έξω. Σε περίπτωση που αυτό δεν είναι δυνατό, οι σωληνώσεις αερισμού και πλήρωσης πρέπει να κατευθύνονται προς μία σύνδεση πλήρωσης στο εξωτερικό του κτιρίου. (Προσοχή στο να τηρούνται οι κανονισμοί πυρασφαλείας της εκάστοτε νομοθεσίας). Το λεβητοστάσιο πρέπει επίσης να έχει τουλάχιστον ένα εξωτερικό τοίχο, ώστε να επιτρέπει τον άμεσο εξαερισμό. Για τα λεβητοστάσια που δεν συνορεύουν με εξωτερικό τοίχο, θα πρέπει ένας σωλήνας εξαερισμού (διαμέτρου τουλάχιστον 31 ιντσών=0,7 m), να κατευθύνεται προς ένα εξωτερικό τοίχο.

### **Διαστάσεις Χώρου Αποθήκευσης**

Ο χώρος εγκατάστασης της δεξαμενής πρέπει να είναι τουλάχιστον 7,62 έως 10,16 εκατοστά ευρύτερος από ότι η ίδια η δεξαμενή. Για παράδειγμα για πλάτος δεξαμενής 1,97 m το ελάχιστο πλάτος του χώρου = 2,05 m.

Για λόγους εγκατάστασης, από την πλευρά της δεξαμενής, όπου έχει τοποθετηθεί η σύζευξη πλήρωσης, το δωμάτιο πρέπει να είναι 30,48 cm μεγαλύτερο από το ελάχιστο μήκος του. Για παράδειγμα για ελάχιστο μήκος δωματίου 2,01 m + 30,48 cm = 2,311m.

**Ύψος της αίθουσας:** Το ελάχιστο απαιτούμενο ύψος του δωματίου είναι 2,14 m.



**ΕΙΚΟΝΑ 74:** *Εναπόθεση-αποθήκευση pellet*

<http://www.oekofen-usa.com/en-us/planning/flexi-tank.html>

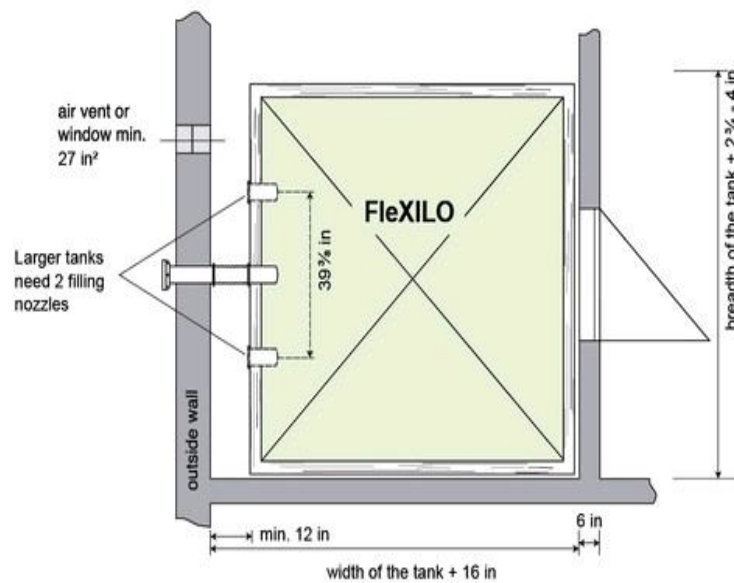
**Σύνδεση με το σύστημα θέρμανσης:** Ο λέβητας έχει το δικό του κέντρο τροφοδοσίας. Απαιτεί ένα τροφοδοτικό των 6 Amp.

**Εξωτερικός διακόπτης παύσης εκτάκτου ανάγκης:** Έξω από το λεβητοστάσιο, και κοντά στην πόρτα του λεβητοστασίου, προτείνεται ένας "διακόπτης στάσης εκτάκτου ανάγκης".

**Τοίχοι:** Οι τοίχοι και οι οροφές για τους χώρους της δεξαμενής και του λεβητοστασίου για να έχουν αντοχή στην φωτιά, πρέπει να είναι τάξης Class F 90 που καθορίζει ότι πρέπει να αντέξουν σε συνθήκες φωτιάς τουλάχιστον για 90 λεπτά.

**Πόρτες:** Όπως και για όλα τα συστήματα θέρμανσης, η αποθήκη των pellets και οι πόρτες λεβητοστασίου πρέπει να αντέχουν στην φωτιά και να ανοίγουν προς τα έξω.

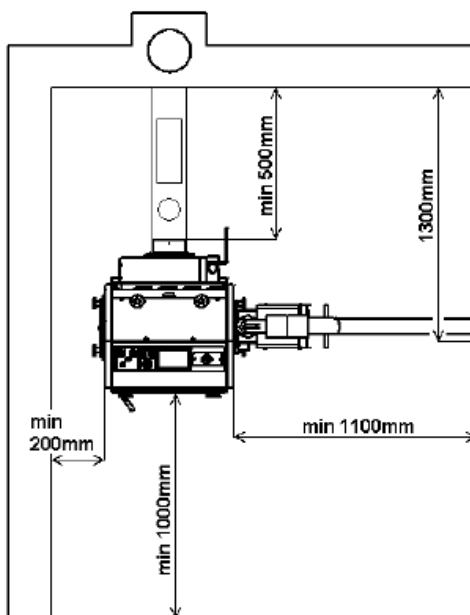
**Πλήρωση του συστήματος:** Το δωμάτιο όπου είναι εγκατεστημένη η δεξαμενή πρέπει να διαθέτει επαρκές άνοιγμα εξαερισμού (παράθυρο) εμβαδού τουλάχιστον 68,58 cm<sup>2</sup>. Ανάλογα με το μέγεθος της δεξαμενής ή τη θέση του συστήματος εφοδιασμού θα χρειαστεί έως και δύο σωλήνες πλήρωσεως για την πλήρωση της δεξαμενής ομοιόμορφα.



**ΕΙΚΟΝΑ 75:** Κάτοψη χώρου εναποθήκευσης pellet

<http://www.oekofen-usa.com/en-us/planning/flexi-tank.html>

Για την περίπτωση του κτιρίου που εξετάζεται και το συγκεκριμένο φορτίο ο απαιτούμενος χώρος για την αποθήκευση των συσσωματωμάτων είναι ένα δωμάτιο με όγκο 374 m<sup>3</sup> δηλαδή για παράδειγμα ένα δωμάτιο 7 m μήκους, 9m ύψους και 6 m πλάτους.



**ΕΙΚΟΝΑ 76:** Κάτοψη χώρου λέβητα

<http://www.atmos.cz/english/instalece-kotelny-na-pelety>

Οι διαστάσεις του λέβητα που έχουμε επιλέξει είναι 4,38 m μήκος, 3,23m πλάτος και 1,612m ύψος. Οπότε με βάση τα ελάχιστα περιθώρια που πρέπει να υπάρχουν γύρω του ώστε να είναι εφικτή η επισκευή (εικ.78) του το δωμάτιο που θα τον περιέχει θα πρέπει να έχει διαστάσεις 5,68m μήκος, 4,73m πλάτος και 2,76 m ύψος. Αν τώρα μέσα στο δωμάτιο του λέβητα υπάρχει και ένα μικρό σιλό πχ 325 kgf (διαμέτρου 0,76m) τότε το μήκος του δωματίου γίνεται 7,14 m. (χρειάζεται 0,7m απόσταση του σιλό από τον τοίχο , ενώ η ελάχιστη απόσταση δεξιά του καυστήρα παραμένει 1,1 m).

Άρα για την εγκατάσταση του λέβητα βιομάζας και του χώρου αποθήκευσης των pellets απαιτείται επιφάνεια περίπου 69 m<sup>2</sup>.



### 8.4.2 Θέρμανση με Λέβητα Βιομάζας

Όπως και στην περίπτωση του κλιματισμού με ηλιακή ενέργεια η λειτουργία αυτή δεν επιβαρύνει το σύστημα με πρόσθετο εξοπλισμό αφού συνίσταται ουσιαστικά στην παράκαμψη του συστήματος του ψύκτη απορρόφησης και την κατεύθυνση του ζεστού νερού από τον καυστήρα βιομάζας σε μονάδες διανομής θερμότητας στο κτίριο.

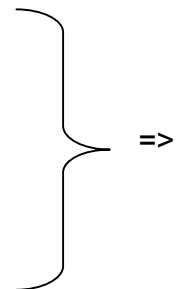
Αφού θέλουμε παραγωγή θερμικής ισχύος 750 kw και με δεδομένη την απόδοση του λέβητα  $\eta=0,85$  θα πρέπει να η ενέργεια που παράγεται μέσα στον λέβητα να είναι 883 kw.

Αν συσχετίσουμε την παραγόμενη ενέργεια από την καύση των συσσωματωμάτων ξύλου με την απαιτούμενη παραγόμενη ενέργεια στον λέβητα έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Παραγόμενη ενέργεια στον λέβητα:  $883 \text{ kw}=883.000 \text{ J/sec}=>$

$883.000 \text{ J/sec} \cdot 3.600 \text{ sec/h}=3.178,8 \text{ MJ/h}$

Κατώτερη θερμογόνο ικανότητα συσσωματωμάτων ξύλου:  $18 \text{ MJ/kg}$



$$\text{Απαραίτητη ποσότητα καυσίμου: } \frac{3.178,8 \text{ MJ/h}}{18 \text{ MJ/kg}} = 176,6 \text{ kgr/h}$$

Η χρήση του λέβητα , για την παραγωγή αυτής της θερμότητας και με αυτή την κατανάλωση συσσωματωμάτων θα γίνεται για περίπου 7,5 ώρες ημερησίως , στις 22 εργάσιμες μέρες ανά μήνα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη καύσης συνολικά  $1324,5 \text{ kgr}$  συσσωματωμάτων ξύλου ανά ημέρα , δηλαδή  $29.139 \text{ kgr}$  συσσωματωμάτων ξύλου ανά μήνα και άρα  $145.695 \text{ kgr} = 145,695 \text{ tn}$  συσσωματωμάτων ξύλου για τους μήνες από Νοέμβριο μέχρι Μάρτιο

Άρα με την χρήση ενός αποθηκευτικού χώρου  $243 \text{ tn}$  και με την τροφοδοσία του

2 φορές τον χρόνο το σύστημα θα καλύψει επαρκώς τις ανάγκες του σε κλιματισμό.

**Τροφοδοσία σε καύσιμο:** Όπως έχουμε πει το καύσιμο που θα χρησιμοποιηθεί είναι τα συσσωματώματα ξύλου (wood pellets) αφού έχουν χαμηλό περιεχόμενο σε υγρασία, έχουν μεγάλη ενέργεια ανά μονάδα όγκου, αποθηκεύονται εύκολα, η καύση τους είναι υψηλής ποιότητας και δεν αφήνουν μεγάλα υπολείμματα τέφρας. Για περιπτώσεις αυτού του μεγέθους ανάγκης σε βιομάζα η τροφοδοσία γίνεται με φορτηγά που έρχονται στον χώρο τουλάχιστον δύο φορές τον χρόνο. Στην ιστοσελίδα του ΚΑΠΕ [12] βλέπουμε ότι οι εταιρείες που δραστηριοποιούνται στην παραγωγή και εμπορία pellets στην Ελλάδα είναι οι κάτωθι:

**A.** Αγγελούσης ΕΠΕ στο Βελεστίνο

**B.** Bioenergy Hellas στο Συκούριο

**Γ.** Hellenic Pellets στην Κομοτηνή

**Δ.** Μακη ΑΕ στη Λάρισα

**Ε.** Σακκάς ΑΕ στην Καρδίτσα

Ενώ ετοιμάζονται και άλλες 2 εταιρείες, οι:

**A.** Alfawood στο Νευροκόπι

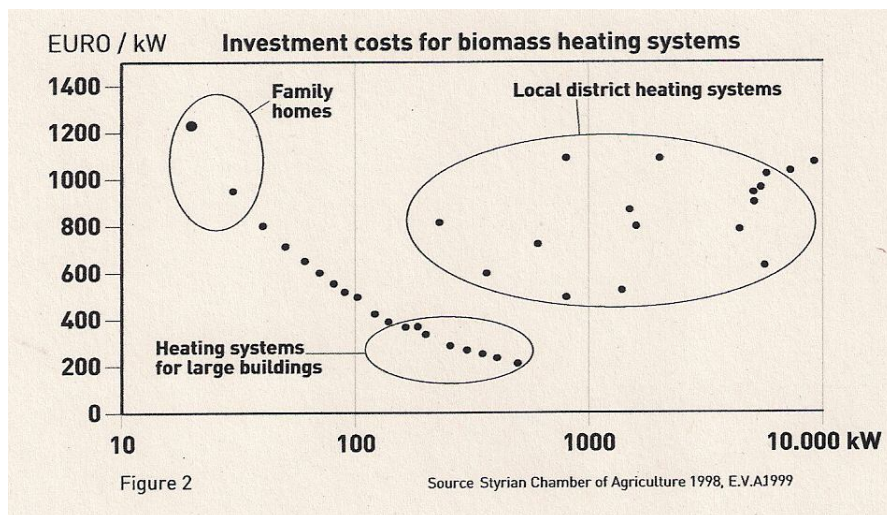
**B.** Fos Bussines Development στην Πάτρα

### **8.4.3 Κόστος Συστήματος**

#### **Κόστος Εγκατάστασης:**

Σύμφωνα με πραγματικά στοιχεία [47] τα οποία συλλέχθηκαν στην Αυστρία το 2004 το κόστος του λέβητα είναι 109.314 € , το κόστος της δεξαμενής θερμικής αποθήκευσης 100.080 €, το κόστος για την βελτίωση της καμινάδας 18.144 € , το κόστος του αποθηκευτικού σιλό 83.096 € , το κόστος για την κατασκευή των

δωματίων του σιλό και του λέβητα 46.033 € και το κόστος εγκατάστασης 18.333 €. Δηλαδή το συνολικό κόστος είναι 375.000 €.



**ΕΙΚΟΝΑ 77:** Κόστη επένδυσης συστημάτων θέρμανσης με βιομάζα  
([http://www.cres.gr/kape/pdf/download/teknikos\\_final.pdf](http://www.cres.gr/kape/pdf/download/teknikos_final.pdf))

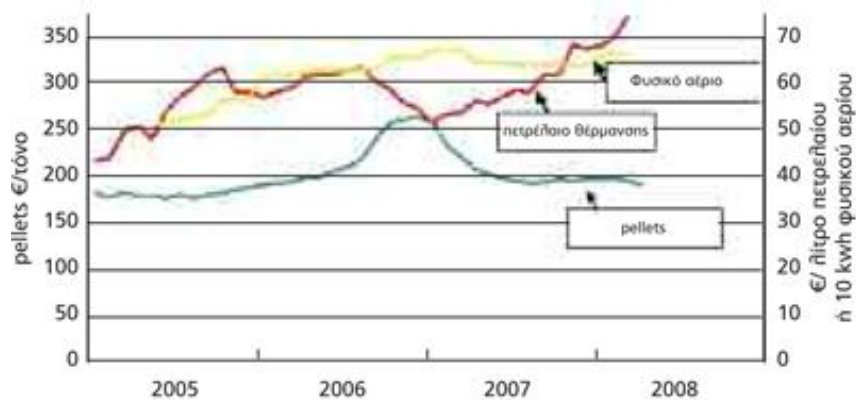
Θα πρέπει όμως στο σύστημα της εγκατάστασης να συμπεριλάβουμε και το κόστος του ψύκτη απορρόφησης που είναι 1500 €/kw και άρα όπως έχουμε δει στον ηλιακό κλιματισμό είναι 1.266.000 για ψυκτική ικανότητα 844 kw. Έτσι το συνολικό κόστος του συστήματος για την εφαρμογή ψύξης-θέρμανσης με καυστήρα βιομάζας ανέρχεται στα 1.641.000 ευρώ.

Το αντίστοιχο κόστος εγκατάστασης για σύστημα ηλιακού κλιματισμού είναι 1.933.200 € και για την εγκατάσταση του συστήματος αβαθούς γεωθερμίας είναι 571.386 €.

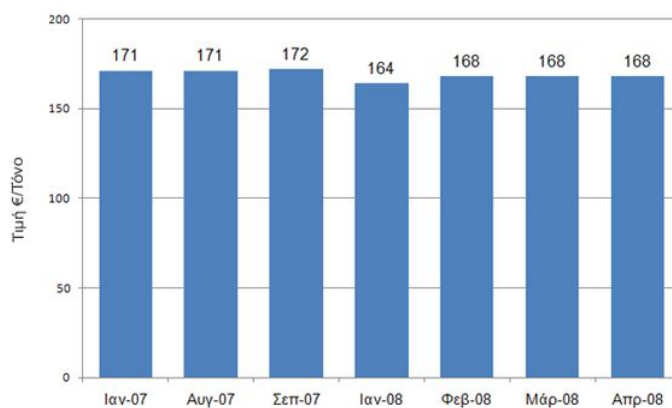
### **Κόστος καυσίμου:**

Ερευνώντας στο διαδίκτυο για το κόστος του καυσίμου βρήκαμε ότι 1 τόνος pellets κοστίζει 180-220 ευρώ [85]

Θεωρούμε ότι λόγω της μεγάλης ποσότητας που χρειαζόμαστε μπορούμε να πετύχουμε τιμή 180 ευρώ/τόνο. Επίσης όπως είδαμε συνολικά χρειαζόμαστε 388,428 tn/έτος. Επομένως το συνολικό κόστος του καυσίμου είναι: 69.917 €/έτος.



**ΕΙΚΟΝΑ 78:** Πορεία τιμών wood pellets σε σύγκριση με το πετρέλαιο και το φυσικόαέριο (<http://www.buildnet.gr/default.asp?pid=88&catid=79&artid=1227>)



**ΕΙΚΟΝΑ 79:** Τιμές (ευρώ/τόνο) ασυσκευάστων pellets στην Ελληνική αγορά την περίοδο 2007-2008 (<http://www.buildnet.gr/default.asp?pid=88&catid=79&artid=1227>)

**Σύγκριση κόστους καύσης πετρελαίου με κόστος καύσης pellets:**

Θα ήταν ενδιαφέρουσα η σύγκριση της τιμής αυτής με την αντίστοιχη τιμή του πετρελαίου θέρμανσης που θα χρειαζόταν για την κάλυψη των αναγκών αυτών , αν

είχαμε έναν συμβατικό λέβητα. Η λογική της σύγκρισης βασίζεται στην θερμογόνο ικανότητα του πετρελαίου και έχει ως εξής: Η θερμογόνος ικανότητα του πετρελαίου θέρμανσης είναι 10.250 Kcal/Kgr [61] = 42,89 MJ/Kgr. Αντίστοιχα των συσσωματωμάτων ξύλου είναι 18 MJ/Kgr. Ο λόγος των δύο αυτών αριθμών μας δείχνει ότι το πετρέλαιο είναι 2,382 φορές καλύτερο σε απόδοση από ότι τα συσσωματώματα. Έτσι έχουμε:

Συνολική ποσότητα συσσωματωμάτων: 388,428 tn/έτος

Αντίστοιχη απαιτούμενη ποσότητα πετρελαίου:  $\frac{388,428}{2,382} = 163,068$  tn/έτος

Για να μετατρέψουμε την απαιτούμενη ποσότητα πετρελαίου από kg σε λίτρα θα χρησιμοποιήσουμε την πυκνότητα του πετρελαίου που είναι 0,82 kg/lit. Έτσι οι 163,068 tn πετρελαίου/έτος αντιστοιχούν σε  $\frac{163.068 \text{kg} / \text{έτος}}{0,82 \text{kg} / \text{lit}} = 198.863$  lit πετρελαίου/έτος.

Αυτό σημαίνει ότι με τιμή πετρελαίου θέρμανσης 60 λεπτά/λίτρο το κόστος καυσίμου θα φτάνει τα 119.318 €/έτος. Δηλαδή 49.401 ευρώ περισσότερο από ότι θα κόστιζε η κατανάλωση pellets [Να επισημάνουμε εδώ ότι φέτος 2010 η τιμή του πετρελαίου θέρμανσης αναμένεται να "αγγίξει" τα 80 λεπτά/λίτρο λόγω της αύξησης του ΦΠΑ]. Έτσι για ένα σύστημα θέρμανσης-ψύξης με λέβητα βιομάζας έχουμε 41,4% οικονομία σε σχέση με ένα σύστημα θέρμανσης-ψύξης με ένα συμβατικό καυστήρα πετρελαίου. Βέβαια ούτως ή άλλως δεν θα χρησιμοποιούσαμε λέβητα πετρελαίου για κλιματισμό, βλέπουμε όμως πόσο συμφέρει η αντικατάσταση ενός λέβητα πετρελαίου από ένα λέβητα βιομάζας έστω και μόνο για θέρμανση τον χειμώνα.

#### **8.4.4 Παρατηρήσεις επί της Εγκατάστασης Λέβητα Βιομάζας**

Όπως είδαμε το συνολικό κόστος εγκατάστασης ενός συστήματος ψύξης-θέρμανσης με λέβητα βιομάζας ανέρχεται στα 1.641.000 ευρώ.

Τα αντίστοιχα κόστη για την εγκατάσταση ενός συστήματος ηλιακού κλιματισμού είναι 1.933.200 € και ενός συστήματος αβαθούς γεωθερμίας είναι 571.386€

Καταρχάς όπως βλέπουμε το σύστημα αβαθούς γεωθερμίας είναι το φθηνότερο από τα άλλα δύο ενώ το σύστημα του ηλιακού κλιματισμού το ακριβότερο. Έπειτα συγκρίνοντας το σύστημα του λέβητα βιομάζας σε σχέση με το σύστημα του ηλιακού κλιματισμού βλέπουμε ότι έχουν μια διαφορά στο κόστος της εγκατάστασης της τάξης των 292.200 ευρώ. Όμως θα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας ότι το σύστημα της ηλιακής ψύξης έχει το βασικό πλεονέκτημα ότι δεν απαιτεί κανένα καύσιμο και έτσι δεν έχει το κόστος της κατανάλωσης του καυσίμου. Επίσης δεν υπάρχει και η εξάρτηση του συστήματος από εξωγενείς παράγοντες όπως πχ ο τόπος παραγωγής και ο τρόπος τροφοδοσίας του καυσίμου. Η δε διαφορά του κόστους εγκατάστασης των 292.200 ευρώ αποσβένεται σε 4,2 χρόνια αφού όπως είδαμε η κατανάλωση pellets κοστίζει 69.917 €/έτος.

#### **8.5 Τεχνικο-Οικονομικά Στοιχεία για τον Κλιματισμό του Στρατοπέδου**

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τεχνικο-οικονομικά στοιχεία για την εφαρμογή κάθε μιας από τις τρεις τεχνολογίες κλιματισμού σε τέσσερις άλλους χώρους του στρατοπέδου. Επιλέχθηκαν οι συγκεκριμένοι χώροι γιατί σε αυτούς εργάζεται και διαμένει το περισσότερο προσωπικό (οι υπόλοιποι χώροι είναι αποθήκες) και επειδή για αυτούς γνωρίζουμε το θερμικό και ψυκτικό φορτίο. Για τον υπολογισμό τους ακολουθήθηκε η διαδικασία που παρουσιάστηκε αναλυτικά παραπάνω για το Διοικητήριο του 306 EBT.

	<b>Διοικητήριο 3<sup>ου</sup> ΤΥΛ</b>	<b>Λογιστήρια 3<sup>ου</sup> ΤΥΛ</b>	<b>Λόχος Οπλιτών</b>	<b>Μηχανουργείο 306 ΕΒΤ</b>
<b>Θερμικό Φορτίο</b>	20 kw	86 kw	187 kw	56 kw
<b>Ψυκτικό Φορτίο</b>	16,57 kw	71,25 kw	154,93kw	46,4 kw
<b>Αβαθής Γεωθερμία</b>				
Αριθμός Γεωτρήσεων	5	20	44	13
Βάθος κάθε Γεώτρησης	88 m	95,15 m	130 m	96 m
Επιφάνεια που Απαιτείται	48 m <sup>2</sup>	280 m <sup>2</sup>	695 m <sup>2</sup>	142 m <sup>2</sup>
Ετήσια Ηλεκτρική Κατανάλωση	3.804 kwh	16.293 kwh	58.165 kwh	10.660 kwh
<b>Λειτουργικό Κόστος</b>	<b>464 €/έτος</b>	<b>1.988 €/έτος</b>	<b>7.096 €/έτος</b>	<b>1.300 €/έτος</b>
<b>Κόστος Συντήρησης Συστήματος</b>	<b>400 €/έτος</b>	<b>400 €/έτος</b>	<b>1000 €/έτος</b>	<b>400 €/έτος</b>
Κόστος Αντλίας Θερμότητας	2350 €	9.400 €	20.680 €	6.110 €
Κόστος Κυκλοφορητή	230 €	995 €	2.159 €	649 €
Κόστος Δοχείου Διαστολής	50 €	140 €	366 €	110 €
Κόστος Υλικών και Εργασίας Για τους Κατακόρυφους Γεωεναλλάκτες	10.000 €	40.000 €	88.000 €	26.000€
Κόστος Υλικών και Εργασίας Για το Οριζόντιο Τμήμα Των Γεωεναλλακτών	618 €	795 €	1800 €	1670 €
Κόστος Εργασιών και Λοιπά Εξαρτήματα Μηχανοστασίου	4.000 €	4.000 €	4.000 €	4.000 €
<b>Συνολικό Κόστος Εγκατάστασης Συστήματος</b>	<b>17.248 €</b>	<b>55.330 €</b>	<b>117.005 €</b>	<b>38.539 €</b>

**Πίνακας 41:** Τεχνικά-Οικονομικά στοιχεία περί της Αβαθούς Γεωθερμίας για καθένα από τους 4 χώρους

	<b>Διοικητήριο 3<sup>ου</sup> ΤΥΛ</b>	<b>Λογιστήρια 3<sup>ου</sup> ΤΥΛ</b>	<b>Λόχος Οπλιτών</b>	<b>Μηχανουργείο 306 ΕΒΤ</b>
<b>Θερμικό Φορτίο</b>	20 kw	86 kw	187 kw	56 kw
<b>Ψυκτικό Φορτίο</b>	16,57 kw	71,25 kw	154,93kw	46,4 kw
<b>Ηλιακός Κλιματισμός</b>				
Ψυκτική Ικανότητα Ψύκτη Απορόφησης	17,6 kw	73,85kw	158,26 kw	52,73kw
COP	0,6	0,6	0,6	0,6
Απαιτούμενη Εισερχόμενη Θερμική Ισχύς στον Ψύκτη	29,33 kw	123,08 kw	263,76 kw	87,88 kw
Απαιτούμενη Επιφάνεια Επίπεδου Ηλιακού Συλλέκτη Τύπου Μαύρου Απορροφητήρα με Διπλό Τζάμι	54 m <sup>2</sup>	224 m <sup>2</sup>	480 m <sup>2</sup>	160 m <sup>2</sup>
Κόστος Ηλιακών Συλλεκτών	16.200 €	67.200 €	144.000 €	48.000 €
Κόστος Ψύκτη	26.400 €	110.775 €	237.390 €	79.095 €
<b>Συνολικό Κόστος Εγκατάστασης Συστήματος Ηλιακής Ψύξης</b>	<b>42.600€</b>	<b>177.975€</b>	<b>381.390€</b>	<b>127.095€</b>
<b>Κόστος Συντήρησης Συστήματος</b>	<b>426 €/έτος</b>	<b>1780 €/έτος</b>	<b>3.814 €/έτος</b>	<b>1271 €/έτος</b>

**Πίνακας 41 (συνέχεια): Τεχνικά-Οικονομικά στοιχεία περί του Ηλιακού Κλιματισμού για καθένα από τους 4 χώρους**



	<b>Διοικητήριο 3<sup>ου</sup> ΤΥΛ</b>	<b>Λογιστήρια 3<sup>ου</sup> ΤΥΛ</b>	<b>Λόχος Οπλιτών</b>	<b>Μηχανουργείο 306 ΕΒΤ</b>
<b>Θερμικό Φορτίο</b>	20 kw	86 kw	187 kw	56 kw
<b>Ψυκτικό Φορτίο</b>	16,57 kw	71,25 kw	154,93kw	46,4 kw
<b>Κλιματισμός-Θέρμανση με Λέβητα Βιομάζας</b>				
Ψυκτική Ικανότητα Ψύκτη Απορόφησης	17,6 kw	73,85kw	158,26 kw	52,73kw
Ισχύς Λέβητα Pellets	46,4 kw	150,8 kw	266,8 kw	92,8 kw
Ετήσια Απαιτούμενη Ποσότητα Pellets	12.888 kgr	46.090 kgr	256.320 kgr	28.875 kgr
Όγκος Silo που Απαιτείται για 2 τροφοδοσίες τον χρόνο	10m <sup>3</sup>	36 m <sup>3</sup>	198 m <sup>3</sup>	23 m <sup>3</sup>
Απαιτούμενη Επιφάνεια για την Εγκατάσταση του Λέβητα και του Σιλό	14,5 m <sup>2</sup>	24 m <sup>2</sup>	45,4 m <sup>2</sup>	15,3 m <sup>2</sup>
<b>Ετήσιο Κόστος Κατανάλωσης Pellets</b>	<b>2320 €/έτος</b>	<b>8.296 €/έτος</b>	<b>46.138 €/έτος</b>	<b>5.198 €/έτος</b>
Κόστος Εγκατάστασης Συστήματος Βιομάζας	18.560€	60.320€	106.720€	37.120€
Κόστος Ψύκτη	26.400 €	110.775 €	237.390 €	79.095 €
<b>Συνολικό Κόστος Εγκατάστασης Συστήματος Βιομάζας</b>	<b>44.960€</b>	<b>171.095€</b>	<b>344.110€</b>	<b>116.215€</b>
<b>Ετήσιο Κόστος Συντήρησης</b>	<b>450 €/έτος</b>	<b>1711 €/έτος</b>	<b>3.441 €/έτος</b>	<b>1.162 €/έτος</b>

**Πίνακας 41 (συνέχεια): Τεχνικά-Οικονομικά στοιχεία περί του Κλιματισμού με Λέβητα Βιομάζας για καθένα από τους 4 χώρους**

## 8.6 Υπολογισμός Κόστους Παραγόμενης Ενέργειας κάθε Τεχνολογίας για τον Κλιματισμό του Στρατοπέδου

Για την σύγκριση σε οικονομικό επίπεδο, των τεχνολογιών κλιματισμού που παρουσιάστηκαν, θα υπολογιστεί το κόστος παραγόμενης ενέργειας. Το κόστος αυτό εκφράζει το πόσο κοστίζει η κάλυψη των θερμικών και ψυκτικών αναγκών από κάθε μία από τις τεχνολογίες που εφαρμόστηκαν.

Όπως είδαμε και στην ενότητα 3.9 ο τύπος που εφαρμόζεται είναι ο εξής:

$$ΚΩΕ(€/kwh) = \frac{ΚΕ(€) \cdot R + ΚΣΛ(€/έτος)}{\Omega\Phi\epsilon\lambda\iota\mu\eta \_ \epsilon\eta\epsilon\rho\gamma\epsilon\iota\alpha(kwh / \acute{\epsilon}\tau\omicron\varsigma)}$$

Όπου:

ΚΕ: Το κόστος επένδυσης της τεχνολογίας

R: Ο συντελεστής αναγωγής (ετήσια επιβάρυνση κεφαλαίου) που ορίζεται ως:

$$R = \frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}}$$

Όπου i είναι το επιτόκιο αναγωγής που είναι της τάξεως του 8% και n ο χρονικός ορίζοντας της επένδυσης που ορίζεται συνήθως στα 20 χρόνια.

Ο συντελεστής αυτός υπολογίζεται γιατί θεωρούμε ότι η αρχική επένδυση επιβαρύνεται με τους τόκους του δανείου του κεφαλαίου επένδυσης καθώς και με το ετήσιο κεφάλαιο αποπληρωμής του. Οι τόκοι του δανείου όμως εξαρτώνται από το ετήσιο επιτόκιο, ενώ το ετήσιο κεφάλαιο αποπληρωμής εξαρτάται από την διάρκεια αποπληρωμής του.

Η ωφέλιμη ενέργεια υπολογίζεται ως εξής: Υπολογίζουμε ότι ανάγκη για ψύξη έχουμε τέσσερις μήνες. Το ψυκτικό φορτίο του κτιρίου του Διοικητηρίου είναι 771 kw. Η ωφέλιμη ενέργεια για ψύξη προκύπτει λοιπόν ως εξής:

$$771kw \cdot 4\mu\eta\acute{\nu}\epsilon\varsigma \cdot 22\frac{\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\epsilon\varsigma}{\mu\eta\acute{\nu}\alpha} \cdot 7,5\frac{\acute{\omega}\rho\epsilon\varsigma}{\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\alpha} = 508,86Mwh$$

Αντίστοιχα η ανάγκη για θέρμανση παρατηρείται κατά την διάρκεια έξι μηνών. Το θερμικό φορτίο είναι 750 kw. Άρα η ωφέλιμη ενέργεια για θέρμανση είναι:

$$750kw \cdot 6\text{μηνες} \cdot 22 \frac{\text{ημέρες}}{\text{μήνα}} \cdot 7,5 \frac{\text{ώρες}}{\text{ημέρα}} = 742,5Mwh$$

Το άθροισμα αυτών των δύο μας δίνει τη συνολική ωφέλιμη ενέργεια για το κτίριο του Διοικητηρίου: Ωφέλιμη Ενέργεια=1251,36 Mwh

Ακολουθώντας την ίδια διαδικασία και για τα υπόλοιπα κτίρια που εξετάσαμε έχουμε: Α. Διοικητήριο 3<sup>ου</sup> ΤΥΛ: 30,73 Mwh

Β. Λογιστήρια 3<sup>ου</sup> ΤΥΛ: 132,17 Mwh

Γ. Λόχος Οπλιτών: 836,02 Mwh

Δ. Μηχανουργείο 306 ΕΒΤ: 86,06 Mwh

Έτσι η συνολική ωφέλιμη ενέργεια και για τα 5 κτίρια είναι: 2336,34 Mwh

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα για το κόστος ωφέλιμης ενέργειας για την κάθε τεχνολογία στο σύνολο των 5 κτιρίων:

Τεχνολογία	Κόστος Επένδυσης (€)	Ετήσια Επιβάρυνση Κεφαλαίου R	Κόστος Συντήρησης &Λειτουργίας (€/έτος)	Ωφέλιμη Ενέργεια (kwh)	Κόστος Παραγόμενης Ενέργειας (€/kwh)
Γεωθερμία	799.508	0,102	38.114	2.336.340	0,051
Ηλιακός Κλιματισμός	2.662.260	0,102	26.623	2.336.340	0,128
Βιομάζα	2.317.380	0,102	155.043	2.336.340	0,167

**ΠΙΝΑΚΑΣ 42:** Κόστος Παραγόμενης Ενέργειας

Η κάθε τεχνολογία, όπως έχει ήδη παρουσιαστεί, έχει διαφορετικό κόστος επένδυσης και διαφορετικό κόστος συντήρησης. Το σύστημα των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας έχει ένα κόστος συντήρησης περίπου 1000€/έτος συν το κόστος της καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος συντήρησης στους ηλιακούς συλλέκτες υπολογίζεται στο 1% του κόστους επένδυσης. Τέλος όσο αφορά στην βιομάζα το ετήσιο κόστος συντήρησης υπολογίζεται πάλι στο 1% του κόστους επένδυσης συν το κόστος καυσίμου.

Όπως παρατηρούμε η γεωθερμία έχει το μικρότερο κόστος παραγόμενης ενέργειας. Αυτό προφανώς οφείλεται στο μικρότερο κόστος εγκατάστασης σε σχέση με τις δύο άλλες τεχνολογίες.

Επίσης παρόλο που το κόστος εγκατάστασης της τεχνολογίας της βιομάζας είναι κατά 344.880 € φθηνότερο της τεχνολογίας του ηλιακού κλιματισμού, έχει μεγαλύτερο κόστος παραγόμενης ενέργειας από αυτόν. Αυτό φυσικά οφείλεται στο κόστος λειτουργίας της, αφού απαιτούνται ετησίως 131.869 € για την αγορά του καυσίμου.

## **Κεφάλαιο 9<sup>ο</sup>**

### **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Από την παραπάνω ανάλυση σχετικά με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τον κλιματισμό με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον χώρο του Στρατοπέδου προέκυψαν τα κάτωθι συμπεράσματα:

#### **9.1 Φωτοβολταικά Πλαίσια**

Όπως είδαμε λόγω χώρου δεν μπορούμε να εγκαταστήσουμε περιστρεφόμενα πλαίσια και για αυτό μελετήσαμε την εγκατάσταση σταθερών πλαισίων στις στέγες που έχουν προσανατολισμό. Έτσι διαπιστώσαμε ότι στην διαθέσιμη ελεύθερη επιφάνεια σε δώμα και στέγες με κατάλληλο προσανατολισμό χωρούν να εγκατασταθούν περίπου 642 kWp σταθερών πλαισίων με συλλέκτες πολυκρυσταλλικού πυριτίου τα οποία θα αποδίδουν 761.279 kWh/έτος. Η εγκατάσταση αυτή των 642 kWp είναι ικανοποιητική γιατί καλύπτεται έτσι το ετήσιο ισοζύγιο ηλεκτρικής κατανάλωσης.

Καταλήξαμε δε στα κάτωθι κύρια συμπεράσματα:

**A.** Με κόστος επένδυσης 3500 €/kwp, τιμή της πωλούμενης ενέργειας 351,01 €/Mwh (Αύγουστος 2011), 30% Ιδία Κεφάλαια και 70% Δάνειο, η επένδυσή μας είναι συμφέρουσα.

**B.** Αν πετύχουμε μέσω του Διαγωνισμού προσφορά 3000 €/kwp, τότε η επένδυσή μας θα είναι συμφέρουσα με εσωτερικό συντελεστή απόδοσης IRR=12,92% και καθαρή παρούσα αξία NPV=+343.295€.

**Γ.** Εφόσον η σύμβαση πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας παραταθεί, θα έχουμε

και μετά τα 20 χρόνια έσοδα από την πώληση της παραγόμενης ενέργειας, αν και η απόδοσή τους θα έχει μειωθεί στο 80%.

**Δ.** Με την εγκατάσταση 642 kwp στις στέγες των κτιρίων του Στρατοπέδου Παπαστάθη και την παραγωγή 761.279 Kwh παράγονται λιγότεροι 852,632 tn CO<sub>2</sub> (δηλαδή ποσό CO<sub>2</sub> που κατακρατούν 142.105 δέντρα ανά έτος) και το οικονομικό όφελος από το “εξωτερικό” κόστος είναι της τάξης των 60.902 ευρώ.

Όπως γίνεται αντιληπτό η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων στις στέγες του Στρατοπέδου θα έχει οικονομικό όφελος:

**A.** Για τον Στρατό από τα έσοδα που θα έχει λόγω της πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας

**B.** Για την ΔΕΗ και το κοινωνικό σύνολο λόγω της αποφυγής έκλυσης ρύπων CO<sub>2</sub> και άρα της αποφυγής πληρωμής προστίμων στην Ευρωπαϊκή Ένωση (πρόστιμο 40-100€/ tn CO<sub>2</sub>). Μάλιστα από την 1η Ιανουαρίου του 2013 η ΔΕΗ θα πρέπει να καταβάλει ολόκληρο το κόστος ρύπων των θερμικών μονάδων της (Παραγωγή περίπου 5.000 μεγαβάτ από λιγνίτες) ως «πρόστιμο ρύπανσης από το διοξείδιο του άνθρακα», δηλαδή περίπου 800 εκατ. ευρώ ετησίως τον χρόνο. Τα πρόστιμα αυτά τελικά θα περάσουν στον καταναλωτή [86].

**Γ.** Για το κράτος λόγω της εξοικονόμησης σε αποθέματα λιγνίτη ή της εξοικονόμησης σε συνάλλαγμα.

**Δ.** Τέλος να αναφέρουμε το όφελος για την κοινωνία λόγω της μη έκλυσης επιβλαβών για την υγεία ρύπων που θα είχαμε από την καύση λιγνίτη ή την καύση πετρελαίου .

## **9.2 Ανεμογεννήτριες**

Για να είναι εκμεταλλεύσιμο το αιολικό δυναμικό με τις υφιστάμενες τιμές πώλησης της παραγόμενης ενέργειας θέλουμε μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου μεγαλύτερη από 6 m/sec. Στην Αθήνα και ειδικά στην περιοχή που βρίσκεται το

Στρατόπεδο η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται περίπου στα 4 m/sec. Ως εκ τούτου η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας ονομαστικής ισχύος 20 kw στον χώρο του Στρατοπέδου είναι 14.950 kwh. Για αυτή την παραγόμενη ενέργεια ο συντελεστής εκμεταλλευσιμότητας της ανεμογεννήτριας είναι 8,53%. Πολύ χαμηλός σε σχέση με την τιμή του ελάχιστου ορίου 27,5% , που θα έκανε το έργο βιώσιμο. Επίσης το κόστος της παραγόμενης ενέργειας προκύπτει: EPC=0,509 €/ kwh και άρα η συγκεκριμένη επένδυση είναι μη συμφέρουσα αφού η τιμή που αγοράζουμε την ενέργεια από την ΔΕΗ είναι 0,122 €/ kwh. Όμως και συμφέρουσα να ήταν η επένδυση δεν θα μπορούσαμε να την εφαρμόσουμε αφού το Στρατόπεδο βρίσκεται μέσα σε πόλη και δεν απέχει τουλάχιστον 1000 m από αυτή, όπως καθορίζει το ειδικό χωροταξικό πλαίσιο για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών. Παρόλα αυτά η συγκεκριμένη μέθοδος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να εφαρμοστεί κάλλιστα σε στρατόπεδα της περιφέρειας τα οποία βρίσκονται σε περιοχές με εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό (πχ στα νησιά του Αιγαίου).

### **9.3 Εξοικονόμηση Ενέργειας στα Κτίρια**

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο είδαμε ότι με την χρήση θερμομόνωσης σε ένα κτίριο επιτυγχάνουμε την παρεμπόδιση της διαφυγής της θερμικής ενέργειας από ένα χώρο προς την ατμόσφαιρα ή ένα άλλο ψυχρότερο γειτονικό χώρο, με αποτέλεσμα οι θερμικές απώλειες να περιορίζονται στο μισό! Ειδικά τώρα που τα ορυκτά καύσιμα έπαψαν να είναι φθηνά, συνειδητοποιούμε τη μεγάλη σημασία της θερμομόνωσης στην εξοικονόμηση ενέργειας και ως εκ τούτου στην εξοικονόμηση χρημάτων αλλά και στον περιορισμό των εκλυόμενων ρύπων.

#### **9.4 Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας**

Λόγω έλλειψης χώρου για την διάνοιξη των γεωτρήσεων μελετήθηκε η εγκατάσταση κάθετων εναλλακτών που απαιτεί 23 έως 28 m<sup>2</sup> ελεύθερης επιφανείας ανά ψυκτικό τόνο. Έτσι για το σύνολο των 5 κτιρίων που μελετήθηκαν απαιτείται ελεύθερη επιφάνεια 5.662 m<sup>2</sup> η οποία υπάρχει, ενώ το συνολικό κόστος επένδυσης του συστήματος είναι της τάξης των 799.508 € συμπεριλαμβανομένου του κόστους διάνοιξης των απαραίτητων γεωτρήσεων. Επίσης υπολογίστηκε ότι το κόστος της παραγόμενης ενέργειας για την εφαρμογή της αβαθούς γεωθερμίας είναι 0,051 €/kwh.

Η μέθοδος αυτή κλιματισμού προέκυψε φθηνότερη τόσο στο συνολικό κόστος επένδυσης όσο και στο κόστος παραγόμενης ενέργειας σε σχέση με τις 2 άλλες μεθόδους που εξετάστηκαν.

Τέλος πλεονεκτεί έναντι της ηλιακής ψύξης και της ψύξης με χρήση λέβητα βιομάζας αφού έχει ελάχιστη απαίτηση χώρων και μειωμένη (σχεδόν μηδενική) συντήρηση.

#### **9.5 Ηλιακή Θέρμανση και Ψύξη**

Για την περίπτωση της θέρμανσης-ψύξης των 5 κτιρίων με σύστημα ηλιακών συλλεκτών απαιτούνται 3.142 m<sup>2</sup> επιφάνειας επίπεδων ηλιακών συλλεκτών τύπου μαύρου απορροφητήρα με διπλό τζάμι. Ωστόσο στην εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου υπάρχει το πρόβλημα της έλλειψης χώρου για την τοποθέτηση των ηλιακών συλλεκτών αφού η διαθέσιμη επιφάνεια στις στέγες των συγκεκριμένων κτιρίων είναι μόλις 2.111 m<sup>2</sup>. Επίσης εφόσον αποφασιστεί η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων δεν θα είναι διαθέσιμη ούτε αυτή η επιφάνεια στις στέγες



των κτιρίων. Τα μόνα κτίρια στα οποία θα μπορούσε ίσως να εφαρμοστεί η τεχνολογία αυτή, είναι το Διοικητήριο και τα Λογιστήρια του 3<sup>ου</sup> ΤΥΛ, στα οποία υπάρχει γειτονικός επίγειος διαθέσιμος χώρος αυτής της επιφάνειας για την εγκατάστασή τους, με την προϋπόθεση βέβαια ότι η δέσμευση αυτού του χώρου, δεν θα δημιουργεί πρόβλημα στην λειτουργικότητα του στρατοπέδου.

Το κόστος εγκατάστασης της τεχνολογίας αυτής είναι 2.662.260€ και περιλαμβάνει το κόστος των συλλεκτών και των ψυκτών απορρόφησης ενώ το κόστος ωφέλιμης ενέργειας είναι 0,128 €/kwh. Στο κόστος αυτό δεν έχει συμπεριληφθεί το κόστος της βοηθητικής πηγής θερμότητας θεωρώντας ότι θα χρησιμοποιηθούν οι ήδη υπάρχοντες λέβητες πετρελαίου.

## **9.6 Θέρμανση και Ψύξη με Καύση Βιομάζας**

Η αντικατάσταση των ηλιακών συλλεκτών με λέβητα καύσης συσσωματωμάτων ξύλου (pellets) είναι μια ενδιαφέρουσα εναλλακτική πρόταση για την ψύξη και θέρμανση του κτιρίων. Το κόστος επένδυσης είναι πιο οικονομικό, της τάξης των 2.317.380 €, και περιλαμβάνει τον λέβητα βιομάζας, το σύστημα αποθήκευσης και τροφοδοσίας του καυσίμου και το σύστημα παραγωγής ψύξης. Όμως το κόστος παραγόμενης ενέργειας είναι υψηλότερο, της τάξης των 0,167 €/kwh, γεγονός που οφείλεται στο ετήσιο κόστος καυσίμου που υπολογίστηκε στα 131.869 €/έτος. Παρόλα αυτά είδαμε πόσο συμφέρει η αντικατάσταση ενός λέβητα πετρελαίου για την παραγωγή θέρμανσης από ένα λέβητα βιομάζας αφού και οικονομικότερο είναι το καύσιμο αλλά και παράγεται και στην Ελλάδα από υπολείμματα ξύλων σε αντίθεση με το πετρέλαιο που εισάγεται από το εξωτερικό.

Ωστόσο υπάρχει ένα σημαντικό πρόβλημα στην εγκατάσταση λεβητών βιομάζας σε Λεκανοπέδιο Αττικής, Θεσσαλονίκη και Σαλαμίνα. Αυτό της απαγόρευσης εγκατάστασής τους στις συγκεκριμένες περιοχές σύμφωνα με την υπουργική απόφαση 103 του 1993. Η απόφαση αυτή αιτιολογήθηκε από την «ανάγκη μείωσης των εκπομπών ατμοσφαιρικών ρύπων», προφανώς γιατί τα τότε διαθέσιμα συστήματα καύσης βιομάζας (ξυλεία, υπολείμματα αγροτικών

καλλιεργειών κ.λπ.) χαρακτηρίζονταν από σχετικά υψηλές εκπομπές αιωρούμενων μικροσωματιδίων και άλλων ρύπων. Όμως σήμερα η απαγόρευση αυτή έχει ξεπεραστεί από τις τεχνολογικές εξελίξεις, γιατί οι σύγχρονοι λέβητες βιομάζας έχουν ελάχιστες εκπομπές και εξαιρετική καύση [54].

## **9.7 Συμπεράσματα-Προτάσεις**

Βάσει των παραπάνω εξάγονται τα κάτωθι συμπεράσματα:

**A.** Πρέπει να γίνει άμεσα η εγκατάσταση της ισχύος των 642 kwp σε φ/β πλαίσια και μάλιστα να γίνει προσπάθεια ώστε να επιτευχθεί κόστος επένδυσης 3000€/kwp. Επίσης θα πρέπει μετά τα 20 έτη να γίνει ανανέωση της σύμβασης με την ΔΕΗ τουλάχιστον για 10 χρόνια ακόμα (αφού η διάρκεια ζωής των φωτοβολταϊκών είναι 25-30 χρόνια).

**B.** Η μοναδική τεχνολογία κλιματισμού (ανανεώσιμης μορφής) που μπορεί να εγκατασταθεί στο συγκεκριμένο στρατόπεδο είναι η αβαθής γεωθερμία με χρήση κάθετων εναλλακτών. Άλλωστε είναι φθηνότερη τόσο στο συνολικό κόστος επένδυσης όσο και στο κόστος παραγόμενης ενέργειας σε σχέση με τις 2 άλλες μεθόδους που εξετάστηκαν. Το κόστος εγκατάστασης της είναι 799.508 € ενώ το ετήσιο λειτουργικό της κόστος είναι 34.914€.

Αυτή την στιγμή στο στρατόπεδο καταναλώνονται 136.166 lt πετρελαίου ετησίως για θέρμανση και 106.727 kwh ηλεκτρικού ρεύματος για κλιματισμό με ετήσιο λειτουργικό κόστος  $136.166 \text{ lt} \cdot 0,6 \text{ €/lit} + 106.727 \text{ kwh} \cdot 0,122 \text{ €/kwh} = 94.721 \text{ €}$ . Παρατηρούμε δηλαδή μία διαφορά της τάξης των 59.807 €/έτος στα λειτουργικά έξοδα. Αυτό σημαίνει ότι με αυτό το κόστος εγκατάστασης και με αυτή την διαφορά στα λειτουργικά έξοδα θέλουμε 13,4 έτη για να κάνουμε απόσβεση. Αν τώρα υποθέσουμε ότι την προσεχή χειμερινή περίοδο η τιμή του πετρελαίου θα είναι 0,8€/lit τότε χρειαζόμαστε 9,1 έτη για να κάνουμε απόσβεση. Αν πάλι ληφθεί υπόψη ότι ο γεωεναλλάκτης δεν απαιτεί καμία συντήρηση και έχει διάρκεια ζωής 50 χρόνια, έχουμε ότι με τον κλιματισμό με γεωθερμία θα καταναλώσουμε στα 50 χρόνια 1.745.700 € για θέρμανση και κλιματισμό, ενώ με το υπάρχων σύστημα

4.736.050 €. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης είναι 7% για την παρούσα τιμή πώλησης του πετρελαίου θέρμανσης ενώ με τιμή πώλησης 0,8 €/lt γίνεται 11% γεγονός που κάνει την επένδυση συμφέρουσα.

**Γ.** Κρίνεται απαραίτητη η θερμομόνωση σε όποια κτίρια απαιτείται καθώς και η αντικατάσταση των μονών υαλοπινάκων με διπλούς, αφού για να έχει νόημα η εγκατάσταση μιας τεχνολογίας κλιματισμού, θα πρέπει το κτίριο να έχει πολύ καλή μόνωση, αλλιώς όπως και είναι λογικό θα σπαταλείται ενέργεια, χωρίς οι εσωτερικοί χώροι να φτάνουν στην επιθυμητή θερμοκρασία.

**Δ.** Στην περίπτωση που δεν εφαρμοστεί ο κλιματισμός με αβαθή γεωθερμία θα πρέπει να εγκατασταθούν στην στέγη του Λόχου των οπλιτών ηλιακοί συλλέκτες ώστε η θέρμανση του νερού χρήσης να γίνεται μέσω ηλιακής ενέργειας και όχι μέσω λέβητα πετρελαίου ή ηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι αν υποθέσουμε ότι διαμένουν εκεί 40 άτομα ημερησίως και δεδομένου ότι η ημερήσια κατανάλωση νερού ανά άτομο είναι 80l/ατ.ημ τότε η συνολική κατανάλωση ζεστού νερού είναι  $V_N=3.200$  l/ημέρα. Για επίπεδο ηλιακό συλλέκτη μαύρου απορροφητήρα με μονό τζάμι, μέση ετήσια κάλυψη  $F_e=75\%$  και επιθυμητή θερμοκρασία ζεστού νερού  $T_n=50^\circ\text{C}$  απαιτούνται 74 m<sup>2</sup> επιφάνειας ηλιακού συλλέκτη [7]. Με κόστος εγκατάστασης 216€/m<sup>2</sup> συλλέκτη [7] το κόστος της επένδυσης ανέρχεται στα 15.984€. Υποθέτουμε ότι εξοικονομούνται ετησίως 34.533 kWh (ένα τυπικό θερμοσιφωνικό σύστημα με συλλέκτες 3 m<sup>2</sup> στην Ελλάδα εξοικονομεί ετησίως 1400 kWh περίπου [7]). Αν θεωρήσουμε ότι η θέρμανση του νερού γίνεται με χρήση ηλεκτρικής ενέργειας και με τιμή αγοράς της στα 0,122€/kwh εξοικονομούνται 4.213€/έτος, το οποίο σημαίνει ότι θα υπάρξει απόσβεση σε 3,8 χρόνια. Αν πάλι θεωρήσουμε ότι η θέρμανση του νερού γίνεται με λέβητα πετρελαίου και δεδομένου ότι 1 λίτρο πετρελαίου αποδίδει  $9,85 \cdot 0,8=7,77$  kWh τότε εξοικονομούνται 4.444 lit πετρελαίου/έτος δηλ 2667€/έτος, το οποίο σημαίνει ότι θα υπάρξει απόσβεση σε 6 χρόνια.

Βέβαια εφόσον γίνει αυτή η εγκατάσταση θα μειωθούν σε 635 kwh τα σταθερά πλαίσια με συλλέκτες πολυκρυσταλλικού πυριτίου για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος μειώνοντας τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης για τα φωτοβολταικά από το 8,86% στο 8,59%.

**Ε.** Τέλος τα νέα κτίρια που θα κατασκευαστούν εντός στρατιωτικών

εγκαταστάσεων ή όσα υφίστανται ριζική ανακαίνιση, θα πρέπει ως τον Δεκέμβριο του 2014, όπως προβλέπει ο νέος νόμος για τις ΑΠΕ για τα νέα κτίρια του Δημοσίου, να καλύπτουν το σύνολο των ενεργειακών αναγκών τους από συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Γεγονός που για τον στρατό αποκτά ιδιαίτερη σημασία μετά την υπογραφή του μνημονίου μεταξύ ΥΠΕΘΑ και ΥΠΕΚΑ για την χρηματοδότηση μέσω ΕΣΠΑ έργων αειφόρου ανάπτυξης σε στρατόπεδα και στρατιωτικά νοσοκομεία.

## **Βιβλιογραφία**

### **Βιβλία**

1. Ζερβός Αρθούρος, Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Αθήνα 2006
2. Μπεργελές Γεώργιος, Ανεμοκινητήρες, Αθήνα 2005.
3. Αντωνόπουλος Α. Κίμων, Θερμικά-Ηλιακά συστήματα (Μέρος Πρώτο), Αθήνα 2004.
4. Φύτικας Δ. Μιχάλης, Ανδρίτσος Β. Νικόλαος, Γεωθερμία, Θεσσαλονίκη 2004.
5. Φραγκιαδάκης Ι.Ε, Φωτοβολταικά Συστήματα, Θεσσαλονίκη 2004.
6. Βαμβουκά Δέσποινα, Βιομάζα, Βιοενέργεια και περιβάλλον, Θεσσαλονίκη 2009.
7. Περδίοις Δ. Σταμάτης, Ηλιοθερμικές Εγκαταστάσεις, Αθήνα 2009
8. Φούντη Μαρία, Θεωρία Καύσης και Συστήματα Καύσης, Αθήνα 2005
9. Steve Kavanaugh, Kevin Rafferty, Design of Geothermal Systems For Commercial and Institutional Buildings ASHRAE, Atlanta 1997

### **Παραδόσεις Μαθημάτων**

10. Ψύξη II, Διαφάνειες Μαθημάτων, Κορωνάκη Ειρήνη

### **Διαδίκτυο**

11. Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής :  
<http://www.ypeka.gr/>
12. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας : [www.cres.gr](http://www.cres.gr)  
[http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/pdf/4\\_Benou.pdf](http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/pdf/4_Benou.pdf)  
[http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/EUBIONET/B2\\_EUBIONET\\_Voulgaraki\\_22.4.pdf](http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/EUBIONET/B2_EUBIONET_Voulgaraki_22.4.pdf)  
[http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass\\_guide.pdf](http://www.cres.gr/energy-saving/images/pdf/biomass_guide.pdf)

13. Διαδικτυακή Πύλη για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: [www.aenaon.net](http://www.aenaon.net)
14. WWF Ελλάδαος: <http://climate.wwf.gr/>
15. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας: <http://www.rae.gr/>
16. Ελληνική Εταιρεία Εξοικονόμησης Ενέργειας: [www.eeee.gr](http://www.eeee.gr)
17. Ελληνικό Portal για την Ενέργεια και το Περιβάλλον:  
[http://www.energia.gr/bizdir.asp?cat\\_id=34](http://www.energia.gr/bizdir.asp?cat_id=34)
18. Bonair, Ενεργειακές Μελέτες και Έργα: <http://www.bonair.gr/>  
<http://www.bonair.gr/data/>
19. Εταιρεία Τεχνικού Λογισμικού 4M: <http://www.4m.gr/>
20. Παγκόσμια Πλατφόρμα για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας:  
[http://www.renewablesb2b.com/ahk\\_greece/el/portal](http://www.renewablesb2b.com/ahk_greece/el/portal)
21. Περιοδικό για την Ενέργεια: <http://www.energypoint.gr/>
22. RETSCREEN , Λογισμικό Ανάλυσης Έργων Καθαρής Ενέργειας:  
<http://www.retscreen.net/el/home.php>
23. Διαδικτυακή Κοινότητα Ελλήνων Μηχανικών: <http://www.michanikos.gr/>
24. PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System):  
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php#>
25. Λογισμικό Υπολογισμού των Αντιστροφών SUNNY DESIGN:  
<http://www.sma-hellas.com/index.php?id=5139&ebene0=111&name=Sunny+Design&menuepunktname=Sunny+Design&ebene1=sundesign&keinKategoriemenu=aus>
26. Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών (ΣΕΦ) : <http://www.helapco.gr/>
27. Εταιρεία Heliosystems: <http://www.selasenergy.gr/index.php>
28. Εταιρεία Solar Systems: <http://www.solar-systems.gr/index.htm>
29. Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας:  
<http://www.eletaen.gr/>

30. Εταιρεία Κατασκευής Μικρών Ανεμογεννητριών HUMMER:  
<http://www.hummerwind.com/>
31. Λογισμικό Πρόβλεψης Παραγωγής Ενέργειας από Α/Γ:  
<http://www.wasp.dk/Download/PowerCurves.html>
32. Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας, Εφαρμογές : <http://www.geoexchange.gr/faq.php>
33. International Geothermal Association:  
[http://www.geothermal-energy.org/319,\\_\\_\\_\\_.html](http://www.geothermal-energy.org/319,____.html)
34. Αντλίες θερμότητας CIAT : <http://www.ciat.com/>
35. Κυκλοφορητές WILO : <http://www.wilo.gr/cps/rde/xchg/gr-el/layout.xsl/1855.htm>
36. Υπολογιστικά εργαλεία και Βασικές Εφαρμογές για Τεχνικές Εφαρμογές :  
<http://www.engineeringtoolbox.com/>
37. Geothermal Heat Pump Design Manual:  
[http://www.mcquay.com/mcquaybiz/literature/lit\\_systems/AppGuide/AG\\_31-008\\_Geothermal\\_021607b.pdf](http://www.mcquay.com/mcquaybiz/literature/lit_systems/AppGuide/AG_31-008_Geothermal_021607b.pdf)
38. Updating and Debugging the Federal Renewable Energy Screening Assistant: Ground Coupled Heat Pump Algorithm:  
<http://www.nrel.gov/docs/gen/fy01/NN0035.pdf>
39. Ένωση Βιομηχανιών Ηλιακής Ενέργειας: <http://www.ebhe.gr/>  
[http://www.ebhe.gr/library/8\\_4\\_10/3%20heliakos\\_klimatismos%20kleistos\\_kyklos.pdf](http://www.ebhe.gr/library/8_4_10/3%20heliakos_klimatismos%20kleistos_kyklos.pdf)
40. Ψύκτες Απορρόφησης Cention:  
[http://www.centioncorp.com/productdata\\_1L.pdf](http://www.centioncorp.com/productdata_1L.pdf)
41. Θερμοδοχεία SICC:  
[http://www.mgavrieltos.gr/Sicc\\_files/216P%20-%20116PE%20%28GR%29.pdf](http://www.mgavrieltos.gr/Sicc_files/216P%20-%20116PE%20%28GR%29.pdf)
42. Πύργοι Ψύξης MITA: <http://www.mita-tech.it/prodotti.html>
43. Διαδικτυακός χώρος για τα βιοκαύσιμα: <http://www.biofuels.gr/index.html>
44. Λέβητες Βιομάζας: <http://www.nsamaras.gr/0010000001>

45. Παραγωγή συσσωματωμάτων ξύλου και λεβήτων : [www.hellenic-pellets.gr](http://www.hellenic-pellets.gr)  
<http://www.hellenic-pellets.gr/pdfs/0066.pdf>
46. Εταιρεία Κατασκευής Συστημάτων Θέρμανσης Viessmann :  
<http://www.viessmann.com>  
[http://www.viessmann.com/com/etc/medialib/internet-global/pdf\\_documents/com/brochures\\_englisch.Par.11538.File.File.tmp/pr-wood-heating-systems-from-100-to-1250-kW.pdf](http://www.viessmann.com/com/etc/medialib/internet-global/pdf_documents/com/brochures_englisch.Par.11538.File.File.tmp/pr-wood-heating-systems-from-100-to-1250-kW.pdf)
47. Ευρωπαϊκό Πρόγραμμα Προώθησης Θέρμανσης με Βιομάζα σε Μεγάλα Κτίρια και Συγκροτήματα Κτιρίων : [www.bioheat.info](http://www.bioheat.info)
48. Διαστασιολόγηση εγκαταστάσεων Βιομάζας : <http://www.oekofen-usa.com/en-us/planning.html>
49. Εταιρεία Κατασκευής Λεβήτων Βιομάζας ATMOS:  
<http://www.atmos.cz/english/instalece-kotelny-na-pelety>
50. Portal για το Περιβάλλον: <http://www.ecofinder.gr/αρχική>
51. Ενέργεια και Περιβάλλον, Εφημερίδα Έθνος:  
<http://www.ethnos.gr/article.asp?catid=13122&subid=2&pubid=149130>
52. Greenpeace  
<http://www.greenpeace.org/raw/content/greece/press/118523/32557.pdf>
53. Ηλεκτρονική Ενημερωτική Πλατφόρμα για Θέματα Περιβάλλοντος και Διαχείρισης Ενέργειας" του Π.Ε.Π. Δυτικής Μακεδονίας:  
<http://www.allaboutenergy.gr/>
54. Portal Ινστιτούτου Κοινωνικής Οικονομίας για την Εναλλακτική Ενέργεια:  
<http://www.oikoenergeia.gr/>
55. Εταιρεία Compa Solar: <http://www.compasolar.gr/>
56. Εταιρεία Παραγωγής Φωτοβολταϊκών Solar Cells Hellas :  
<http://www.schellas.gr/categories.asp?catid=90>



**57.** Ιστοσελίδα για τα Φωτοβολταικά:

<http://www.iqsolarpower.com/pvpanels.htm>

**58.** Αρχή Λειτουργίας των Ανεμογεννητριών:

[http://users.att.sch.gr/kimnikos/pdf/Par/WND\\_arxiLeitourgias.pdf](http://users.att.sch.gr/kimnikos/pdf/Par/WND_arxiLeitourgias.pdf)

**59.** Εταιρεία Άνεμος ΑΠΕ: <http://anemos.page.tl/Home.htm>

**60.** Γενικές Αρχές Υπολογισμού Συστημάτων Κλιματισμού:

[www.vergina.eng.auth.gr/mech/pedl/Genikes%20Odigies.ppt](http://www.vergina.eng.auth.gr/mech/pedl/Genikes%20Odigies.ppt)

**61.** Forum Εταιρείας Ηλεκτρομηχανολογικών Έργων Μοναχός:

<http://www.monachos.gr/forum/>

**62.** Διεθνής Υπηρεσία Ενέργειας: <http://www.iea.org/>

**63.** Ashrae Hellas: <http://www.ashrae.gr/Vrahopoulos.pdf>

**64.** Διαδικτυακή Εγκυκλοπαίδεια Wikipedia: [www.el.wikipedia.org/wiki](http://www.el.wikipedia.org/wiki)

**65.** Ιωάννης Μαρινάκης, Ηλεκτρολόγος Τεχνολός Μηχανικός:

[http://imarinakis.webs.com/geothermal\\_energy.htm](http://imarinakis.webs.com/geothermal_energy.htm)

[http://imarinakiss.webs.com/solar\\_collectors.pdf](http://imarinakiss.webs.com/solar_collectors.pdf)

**66.** Τεχνικο-οικονομική Μελέτη Οριζόντιου Συστήματος Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας: <http://vergina.eng.auth.gr/IHT/Proc8th/111.doc>

**67.** Εταιρεία Ποσειδών Ενεργειακή:

<http://www.poseidonenergy.gr/products.htm>

**68.** Εταιρεία Γεωτρήσεων <http://www.gaiadrill.gr/avathis.html>

**69.** Εταιρεία DAIKIN:

[http://www.daikin.gr/about-airco/what-does-it-do/heat\\_pumps.jsp](http://www.daikin.gr/about-airco/what-does-it-do/heat_pumps.jsp)

**70.** Αντλίες Θερμότητας Sieline:

[http://sieline.gr/pages/gr/products/heat\\_pumps.php](http://sieline.gr/pages/gr/products/heat_pumps.php)

**71.** Εταιρεία IdealTherm: <http://www.idealtherm.gr/site/>

**72.** Εταιρεία Βουδούρης: <http://www.boudouri.gr/sistim.php>

- 73.** Online Κοινότητα Τεχνικών: <http://www.texnikos.gr/blog/?p=9>
- 74.** Εταιρεία Γεωθερμικού Κλιματισμού Energy Homes:  
<http://www.energyhomes.gr/material/pages/nrginfo/geoantlies.html>
- 75.** Εφαρμογές Ηλιακού Κλιματισμού-Μεθοδολογία Συλλογής και Αξιολόγησης Στοιχείων: <http://vergina.eng.auth.gr/IHT/Proc8th/032.doc>
- 76.** Επίπεδοι Συλλέκτες: <http://members.fortunecity.com/outopia/chapt1.htm>
- 77.** Ελληνική Εταιρεία Βιομάζας: <http://www.hellabiom.gr/genika.html>
- 78.** Δοχείο Διαστολής:  
<http://www.fantakis.gr/PROBOLES/4.DOXIO-DIASTOLIS.pps>
- 79.** Εταιρεία Αρβανιτάκης:  
[http://www.arvanitakis.com/gr/c/CWT\\_technical\\_gr.htm](http://www.arvanitakis.com/gr/c/CWT_technical_gr.htm)
- 80.** Ενεργειακό Γραφείο Κυπρίων Πολιτών:  
<http://www.cea.org.cy/CEA%20Greek/RenewableEnergy.html>
- 81.** Χάρτης με Εργοστάσια Παραγωγής Pellets στην Ευρώπη:  
<http://www.pelletsatlas.info/cms/site.aspx?p=9138>
- 82.** Τεχνικά Στοιχεία Αντλίας Θερμότητας Hydrociat  
<http://iklima.gr//userfiles/private/805169030.pdf>
- 83.** Τιμοκατάλογος Προϊόντων WILO:  
[http://www.telethermansia.gr/pdf/WILO\\_Timokatalogos2007A1.pdf](http://www.telethermansia.gr/pdf/WILO_Timokatalogos2007A1.pdf)
- 84.** Τιμοκατάλογος Δοχείων Διαστολής:  
[http://www.teknikon.gr/dat/3A81CFA1/\[el\]file.pdf](http://www.teknikon.gr/dat/3A81CFA1/[el]file.pdf)
- 85.** Τα NEA online:  
<http://www.tanea.gr/default.asp?pid=2&artid=4543877&ct=1>
- 86.** Διαδικτυακή Εφημερίδα in.gr  
<http://news.in.gr/economy/article/?aid=1231060246>  
<http://news.in.gr/greece/article/?aid=1231060873>

87. ΕΠΑ.Σ Αμαρουσίου: <http://epas-amarous.att.sch.gr/>
88. Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης: <http://www.certh.gr/>
89. Φαινόμενο Θερμοκηπίου:  
<http://users.sch.gr/xtsamis/OkosmosMas/FainThermoKip.htm>
90. Site για την οικολογία: <http://www.oikologio.gr/>
91. Νόμος ΑΠΕ 2010: [http://www.omniphos.gr/docs/Nomos\\_APE\\_3851\\_2010.pdf](http://www.omniphos.gr/docs/Nomos_APE_3851_2010.pdf)
92. Εταιρεία windenergy: <http://www.windenergy.gr/>
93. Ίδρυμα Ενέργειας Κύπρου: <http://www.cie.org.cy/#arxiki>
94. Εταιρεία RETD ΑΕ (Renewable Energy Technology & Development)  
<http://www.retd.gr/index.php?cat=2&page=4&language=gr>
95. Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας:  
<http://www.minenv.gr/4/42/00/KYA.APE.January.2008.pdf>
96. Κατάλληλο και Εκμεταλλεύσιμο Αιολικό Δυναμικό:  
[http://library.tee.gr/digital/kdth/kdth\\_3460/kdth\\_3460\\_baxevanou.pdf](http://library.tee.gr/digital/kdth/kdth_3460/kdth_3460_baxevanou.pdf)
97. Ψηφιακή Βιβλιοθήκη ΤΕΕ:  
[http://portal.tee.gr/portal/page/portal/library/DIGITAL\\_LIBRARY](http://portal.tee.gr/portal/page/portal/library/DIGITAL_LIBRARY)
98. Απόδοση Πειραματικής Φωτοβολταϊκής Εγκατάστασης -  
Βέλτιστη Κλίση Φωτοβολταϊκών και Ωφέλιμη Ηλιακή Ενέργεια στις Ελληνικές Περιοχές: <http://vergina.eng.auth.gr/IHT/Proc8th/034.doc>

### **Διπλωματικές**

99. Εφαρμογή Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο Τεχνολογικό και Πολιτιστικό Πάρκο Λαυρίου, Αραπογιάννη Αθανασία, Αθήνα, Ιούλιος 2008  
[http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/2695/3/arapogiannia\\_renewable.pdf](http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/2695/3/arapogiannia_renewable.pdf)

**100.** Μελέτη Διασυνδεδεμένου Φωτοβολταϊκού Σταθμού Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας 100Kw , Γεώργιος Λ. Κτενίδης , Αθήνα, Μάρτιος 2008

[http://artemis.cslab.ntua.gr/el\\_thesis/artemis.ntua.ece/DT2008-0059/DT2008-0059.pdf](http://artemis.cslab.ntua.gr/el_thesis/artemis.ntua.ece/DT2008-0059/DT2008-0059.pdf)

**101.** Πηγές Ενέργειας και Μετατροπή τους σε Ηλεκτρική Ενέργεια, Ιωάννης Βούλαρης, Θεσσαλονίκη 2005

[http://vivliothmyy.ee.auth.gr/248/1/%CE%94%CE%99%CE%A0%CE%9B%CE%9F%CE%9C\\_%CE%99\\_%CE%92%CE%9F%CE%A5%CE%9B%CE%93%CE%91%CE%A1%CE%97.pdf](http://vivliothmyy.ee.auth.gr/248/1/%CE%94%CE%99%CE%A0%CE%9B%CE%9F%CE%9C_%CE%99_%CE%92%CE%9F%CE%A5%CE%9B%CE%93%CE%91%CE%A1%CE%97.pdf)

**102.** Προσομοίωση Ηλιακά Υποβοηθούμενης Αντλίας Θερμότητας, Χρηματοπούλου Μαρία, Αθήνα 2009:

[http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3135/3/chrmatopouloum\\_heatpump.pdf](http://dspace.lib.ntua.gr/bitstream/123456789/3135/3/chrmatopouloum_heatpump.pdf)

**103.** Τεχνοοικονομική Μελέτη Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών Συστημάτων στα Κτίρια του Ξενία, Αικατερίνη Πολυχρονιάδου, Μυτιλήνη 2004.

<http://www.srcosmos.gr/srcosmos/showpub.aspx?aa=9355>

### **Προσωπική Επικοινωνία**

Σαλιάγκας Αντώνιος, 2010

Ατσαλάκης Δημήτριος, 2010