

---

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

Πτυχιακή Εργασία

---

Οικονομοτεχνική Μελέτη Βιοκλιματικού  
Συγκροτήματος Κατοικιών με Μερική Κάλυψη των  
Ενεργειακών Αναγκών του από Γεωθερμία και  
Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

---



Αρβανιτίδης Κ. Μιχαήλ – Γαλέτσας Χ. Αντώνιος

Επιβλέποντες Καθηγητές :  
Κυπράκης Ε. Αριστείδης - Παπαδάκης Χ. Νικόλαος

Ηράκλειο 2010

---

# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

---

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει σκοπό να προβάλλει ορισμένες τεχνικές οι οποίες θα συμβάλουν στην μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας ενός συγκροτήματος τεσσάρων κατοικιών μέσω φυσικού δροσισμού, φωτισμού και αερισμού, σε συνδυασμό με την χρήση γεωθερμίας για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του. Οι ενεργειακές ανάγκες του συστήματος γεωθερμίας θα καλύπτονται έμμεσα με χρήση φωτοβολταϊκών και ανεμογεννήτριας, αξιοποιώντας σε μεγαλύτερο βαθμό την «Πράσινη» ενέργεια. Τέλος θα παρατεθούν οι μελέτες του κόστους και θα γίνει εκτίμηση της αποδοτικότητας των τεχνικών αυτών με σκοπό να βγουν χρήσιμα συμπεράσματα για την μεγαλύτερη εκμετάλλευση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Για την υλοποίηση της μελέτης επιλέχθηκε ένα βιοκλιματικό συγκρότημα τεσσάρων κατοικιών υπό κατασκευή στα Φαρά Σκόπελου του δήμου Γέρας, νοτιοανατολικά της νήσου Λέσβου. Ο λόγος που επιλέχθηκε η συγκεκριμένη τοποθεσία είναι ότι το υψηλό ηλιακό και αιολικό δυναμικό της περιοχής ικανοποιεί την συγκεκριμένη εφαρμογή.

**Λέξεις κλειδιά:** Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτρια, ηλιακό-αιολικό δυναμικό, γεωθερμική αντλία θερμότητας, γεωθερμικός εναλλάκτης, βιοκλιματικά κτίρια, παθητικά συστήματα, συντελεστής χρησιμοποίησης ισχύος, κόστος του κύκλου ζωής του συστήματος .

---

# ABSTRACT

---

This thesis aims to demonstrate some techniques which will contribute to greater energy savings of a complex of four houses by natural cooling, lighting and ventilation, combined with the use of geothermal energy to meet the thermal requirements. The energy needs of the geothermal system will be covered indirectly by using pv solar panels and wind turbine, building to a larger extent to the "Green" energy. Finally, we will set out the studies of costs and will assess the effectiveness of these techniques to come out useful conclusions for greater exploitation of Renewable Energy.

To implement the study selected a group of four bioclimatic houses under construction in the municipality of Skopelos Fara Gera, south of Lesbos. The reason for selecting the location is that the high solar and wind potential in the region meet the requirements of the specific application.

**Keywords:** renewable power sources, photovoltaic panel, wind-turbine, solar-wind potential, geothermal heat pump, geothermal heat exchanger, bioclimatic buildings design, passive systems, capacity factor, life cycle cost of the system.

---

*Αφιερώνω την παρούσα πτυχιακή εργασία  
στον πολυαγαπημένο μου πατέρα Κωνσταντίνο,  
Μνήμης Ένεκεν  
και στην λατρεμένη μου μητέρα Αντωνία, αδερφή Κατερίνα  
και κοπέλα Ελένη Κ. Τριανταφυλλοπούλου,  
Τιμής Ένεκεν*

*Αρβανιτίδης Κ. Μιχαήλ*

*Στην μητέρα μου Μαρία,  
στον αδερφό μου Γιάννη  
και στην εικοσάχρονη μνήμη του πατέρα μου Χρύσανθου*

*Γαλέτσας Χ. Αντώνιος*

---

# 1 ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Σε αυτό το σημείο θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τους επιβλέποντες καθηγητές μας Δρ. Ηλ. Κυπράκη Ε. Αριστείδη και τον Δρ. Μηχ. Παπαδάκη Χ. Νικόλαο για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση τους κατά την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους επίκουρους καθηγητές του Γενικού Τμήματος Γενικών Επιστημών και υπεύθυνους του Εργαστηρίου Φωτοβολταϊκής Τεχνολογίας «Φωτοβολταϊκό Πάρκο», Δρ. Φυσ. Φραγκιαδάκη Ε. Ιωάννη και Δρ. Φυσ. Μαυροματάκη Κ. Φώτη για τις εύστοχες και ουσιαστικές υποδείξεις τους σε διάφορα θέματα που προέκυψαν κατά την διάρκεια της πτυχιακής εργασίας και για την επιστημονική τους καθοδήγηση σε όλη τη διάρκεια της πρακτικής μας εργασίας στο Εργαστήριο.

Στην συνέχεια, θα θέλαμε να εκφράσουμε την ευγνωμοσύνη μας στις οικογένειες μας για την αμέριστη συμπαράσταση και υπομονή την οποία έδειξαν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μας.

Τέλος, ευχαριστούμε πολύ όλους τους φίλους και συναδέλφους του τμήματος μας, οι οποίοι με τις εύστοχες παρατηρήσεις τους βοήθησαν στην πραγματοποίηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

---

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	9
1.1	Παραγωγή ενέργειας σήμερα και στο μέλλον.....	9
1.2	Περίληψη κεφαλαίων .....	10
2	ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	11
2.1	Πρόλογος.....	11
2.2	Φωτοβολταϊκά .....	13
2.2.1	Ηλιακή ενέργεια .....	13
2.2.2	Ηλιακές κυψέλες .....	17
2.2.3	Φωτοβολταϊκά πλαίσια.....	20
2.2.4	Λειτουργία και τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων .....	21
2.3	Ανεμογεννήτριες .....	26
2.3.1	Αιολική Ενέργεια.....	26
2.3.2	Πυκνότητα ισχύος ανέμου .....	28
2.3.3	Περιγραφή των αιολικών μηχανών.....	33
2.3.4	Κατηγορίες ανεμογεννητριών .....	35
2.4	Υβριδικά συστήματα.....	36
2.4.1	Ηλεκτρονικές διατάξεις ενός υβριδικού συστήματος .....	37
2.5	Γεωθερμική Ενέργεια.....	39
2.5.1	Η Γη σαν πηγή θερμότητας.....	40
2.5.2	Αβαθής γεωθερμία .....	44
2.5.3	Τοπολογίες γεωθερμικών εγκαταστάσεων .....	45
2.5.4	Αρχή λειτουργίας Θερμικού Εναλλάκτη .....	47
2.5.5	Εναλλάκτες θερμότητας .....	48
2.5.6	Αντλίες θερμότητας (Heat pumps).....	50
2.6	Λοιπές Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....	53
2.6.1	Υδατοπτώσεις.....	53
2.6.2	Βιομάζα .....	53
2.6.3	Ενέργεια από τη Θάλασσα .....	55
2.7	Θεσμικό πλαίσιο.....	57
2.7.1	Ειδική Νομοθεσία για τις ΑΠΕ .....	57
2.8	Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα ΑΠΕ.....	62
3	ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ .....	63
3.1	Πρόλογος.....	63
3.2	Εισαγωγή στο βιοκλιματικό σχεδιασμό .....	63

3.3	Θερμική άνεση .....	65
3.4	Ηλιακά παθητικά συστήματα.....	66
3.5	Προσανατολισμός, σχήμα και χωροθέτηση κτιρίου .....	67
3.6	Συστήματα προστασίας κελύφους και θερμικής προστασίας κτιρίου .....	69
3.6.1	Ηλιοπροστασία- Σκιασμός .....	69
3.6.2	Φυσικός αερισμός.....	71
3.6.3	Φυσική ψύξη/δροσισμός.....	72
3.7	Φυσικός φωτισμός.....	73
3.8	Δομικά υλικά.....	74
3.8.1	Δομικά υλικά και τοξικότητα .....	74
3.8.2	Οικολογικά Υλικά.....	75
3.8.3	Θερμομονωτικά υλικά.....	76
3.9	Σύνοψη.....	76
4	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ.....	77
4.1	Πρόλογος.....	77
4.2	Τοποθεσία κατοικίας .....	77
4.3	Μελέτη θερμομόνωσης.....	80
4.4	Συνθήκες σχεδιασμού .....	89
4.4.1	Εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος.....	89
4.4.2	Αιολικό – ηλιακό δυναμικό περιοχής .....	90
4.4.3	Συντελεστής χρησιμοποίησης ισχύος φωτοβολταϊκών και ανεμογεννήτριας .....	92
4.5	Σύνοψη.....	99
5	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....	100
5.1	Πρόλογος.....	100
5.2	Μελέτη θερμικών απωλειών.....	100
5.2.1	Γενικά για τις θερμικές ανάγκες .....	100
5.2.2	Μεθοδολογίες υπολογισμού θερμικών αναγκών.....	100
5.2.3	Περιγραφή φορτίων ψύξης .....	101
5.2.4	Περιγραφή φορτίων θέρμανσης .....	110
5.3	Επιλογή κατάλληλης γεωθερμικής εγκατάστασης.....	115
5.3.1	Υπολογισμός μήκους του γεωθερμικού εναλλάκτη.....	115
5.4	Σύνοψη.....	120
6	ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.....	121
6.1	Πρόλογος.....	121
6.2	Οικονομικά στοιχεία.....	121
6.3	Αρχικό κόστος του συνολικού συστήματος.....	122
6.3.1	Αρχικό κόστος γεωθερμίας.....	122
6.3.2	Αρχικό κόστος του συστήματος ΦΒ πλαισίων και ανεμογεννητριών .....	123

---

6.4	Ετήσιες δαπάνες του συστήματος.....	124
6.4.1	Κόστος συντήρησης του συστήματος, .....	124
6.4.2	Ολικό κόστος αντικατάστασης τμημάτων του συστήματος.....	124
6.4.3	Κόστος προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο .....	124
6.5	Ετήσια έσοδα του συστήματος.....	126
6.5.1	Έσοδα πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ.....	126
6.5.2	Απομένουσα αξία του συστήματος.....	127
6.6	Προσδιορισμός των συνιστωσών του συστήματος ΑΠΕ με το ελάχιστο LCC.....	127
6.6.1	Μεθοδολογία προσδιορισμού των συνιστωσών του συστήματος ΑΠΕ .....	127
6.6.2	Σχεδιασμός της μεθόδου LCC μέσω του λογισμικού MatLab .....	128
6.6.3	Παρουσίαση των αποτελεσμάτων του LCC του συστήματος.....	129
6.7	Σύνοψη.....	132
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	133
	Παράρτημα Ι- Πίνακας θερμοκρασιών.....	135
	Παράρτημα ΙΙ – Κώδικας MATLAB.....	136
	Βιβλιογραφία.....	144



---

## 2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 2.1 Παραγωγή ενέργειας σήμερα και στο μέλλον

Αφορμή για την πραγματοποίηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι το ολοένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στον Ελληνικό χώρο και την εκμετάλλευσή τους για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την κάλυψη των θερμικών-ψυκτικών φορτίων στα κτίρια. Ο τομέας εκμετάλλευσής των παραπάνω πηγών ενέργειας παρουσιάζει μεγάλη εξέλιξη με αποτέλεσμα την μείωση του κόστους της παραγόμενης κιλοβατώρας [KWh]. Λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας, όπως το πετρέλαιο και ο λιγνίτης και δεδομένου ότι η χώρα μας παρουσιάζει μεγάλο ηλιακό και αιολικό δυναμικό σχεδόν σε όλη τη διάρκεια του χρόνου, έχουν οδηγήσει σε αλλαγές στην ενεργειακή πολιτική της Ελλάδας σε συνδυασμό με την Ευρωπαϊκή πολιτική. Στόχος αυτών των αλλαγών είναι να μειώσει την εξάρτησή της από το ακριβό και εισαγόμενο πετρέλαιο αλλά και τους ρύπους οι οποίοι παράγονται από την καύση του και για τους οποίους πληρώνουμε πρόστιμο κάθε χρόνο στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Επιπλέον εκτιμάται ότι, η εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα συνεισφέρει σημαντικά στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας και θα ενισχύσει την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού της. Χαρακτηριστικό παράδειγμα των αλλαγών στις οποίες έχει προχωρήσει η κυβέρνηση στον τομέα των ΑΠΕ (Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας) είναι ο αναπτυξιακός νόμος 2601/98 και ο νόμος περί απελευθέρωσης της αγοράς ενέργειας 2773/99, οι οποίοι εξασφαλίζουν την ανάπτυξη της παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σύμφωνα με κυβερνητική οδηγία η οποία παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον για το αντικείμενο της εργασίας, το κράτος (εκτός από την επιδότηση που ήδη παρείχε για κατασκευή φωτοβολταϊκών συστημάτων και την εγκατάσταση ανεμογεννητριών) δίνει σε ένα ιδιώτη ο οποίος θα εγκαταστήσει στην οικία του ένα διασυνδεδεμένο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες ενέργειες το δικαίωμα να πουλάει ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο της ΔΕΗ σε αρκετά συμφέρουσα τιμή. Έτσι κάποιος που θα διαλέξει να κάνει μια τέτοια επένδυση μπορεί από τη στιγμή που έχει καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες της οικίας του να αποκομίζει κέρδος από την επιπλέον ενέργεια που θα παράγει το σύστημα του. Επίσης, θα συνεισφέρει σε ένα καθαρότερο περιβάλλον αλλά και θα συμβάλει στην αποσυμφόρηση του δικτύου της ΔΕΗ.

Η Ελλάδα, με βάση τις συμβατικές τις υποχρεώσεις (πρωτόκολλο του Κιότο), οφείλει να συμμετάσχει ενεργά στη διεθνή προσπάθεια για τον περιορισμό των αερίων του θερμοκηπίου. Ο στόχος αυτός προϋποθέτει κυρίως επεμβάσεις στον ενεργειακό τομέα, καθώς τα αέρια αυτά προέρχονται στο μεγαλύτερο ποσοστό τους από την παραγωγή και χρήση ενέργειας. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) μπορούν να έχουν σημαντική συμβολή στην επίτευξη του στόχου, καθώς είναι οι μόνες πηγές ενέργειας που δεν επιβαρύνουν το περιβάλλον με εκπομπές CO<sub>2</sub>. Πέρα όμως από τα στενά πλαίσια αντιμετώπισης του φαινομένου του θερμοκηπίου, τα χαρακτηριστικά των ΑΠΕ (διασπορά στο χώρο, είναι ανεξάντλητα, ευέλικτη διαχείριση, συμβολή στην περιφερειακή ανάπτυξη, δυνατότητα δημιουργίας θέσεων

---

απασχόλησης κλπ.) τις καθιστούν συστατικό στοιχείο μιας νέας αναπτυξιακής πολιτικής και μοναδική μακροπρόθεσμη απάντηση στην πορεία προς ένα βιώσιμο μέλλον.

## 2.2 Περίληψη κεφαλαίων

Στο **Κεφάλαιο 2** γίνεται περιγραφή των ΑΠΕ που αφορούν την παρούσα πτυχιακή εργασία, με βασικότερες την Ηλιακή, την Αιολική και την Γεωθερμική ενέργεια. Περιγράφεται ο τρόπος και τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευσή τους και παρουσιάζονται οι τεχνολογίες και η ισχύουσα νομοθεσία που επικρατούν σήμερα.

Στο **Κεφάλαιο 3** γίνεται αναφορά στις βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού, ο οποίος στοχεύει στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην καλύτερη προσαρμογή μιας κατοικίας στο περιβάλλον.

Στο **Κεφάλαιο 4** περιγράφονται συνοπτικά όλα τα στοιχεία που αφορούν την υπό μελέτη κατοικία. Παρατίθεται το αρχιτεκτονικό σχέδιο και πραγματοποιείται μελέτη θερμομόνωσης. Από τα κλιματολογικά δεδομένα γίνεται ο υπολογισμός των μηνιαίων συντελεστών χρησιμοποίησης ισχύος, για φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτρια.

Στο **Κεφάλαιο 5** γίνεται ο υπολογισμός των φορτίων θέρμανσης – ψύξης της κατοικίας, που σχετίζονται άμεσα με την εξωτερική θερμοκρασία. Επίσης γίνεται ο υπολογισμός του απαιτούμενου μήκους του γεωθερμικού εναλλάκτη θερμότητας.

Στο **Κεφάλαιο 6** πραγματοποιείται ο προσδιορισμός των συνιστωσών του συστήματος ΑΠΕ, και εξετάζεται η οικονομική απόδοση της εγκατάστασης του συστήματος γεωθερμίας και ΑΠΕ. Στο **Κεφάλαιο 7** Περιγράφονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση των προηγούμενων αποτελεσμάτων.

---

## 3 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

### 3.1 Πρόλογος

Στο κεφάλαιο αυτό των γίνεται περιγραφή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) που αφορούν την παρούσα πτυχιακή εργασία, με βασικότερες την Ηλιακή, την Αιολική και την Γεωθερμική ενέργεια. Γίνεται μια σχετική ιστορική αναδρομή και αναφέρονται τα χαρακτηριστικά τους. Περιγράφεται ο τρόπος και τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευσή τους και παρουσιάζονται οι τεχνολογίες που επικρατούν σήμερα. Έπειτα, γίνεται μια σύντομη περιγραφή των υβριδικών συστημάτων και αναφέρονται οι λοιπές ΑΠΕ που βρίσκονται στο περιβάλλον και με κατάλληλα συστήματα μπορούν να δώσουν ικανοποιητικά ποσά ενέργειας προς εκμετάλλευσή. Στην συνέχεια παρουσιάζεται το θεσμικό πλαίσιο και οι ισχύουσες διατάξεις περί της ενσωμάτωσης ΑΠΕ σε οικιστικά σύνολα και αναφέρονται οι περιβαλλοντολογικές επιπτώσεις. Τέλος, παρουσιάζονται τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΑΠΕ σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας που είναι εξαρτώμενες από τον ορυκτό πλούτο.

#### **Ορισμός και συμβολή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας**

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), έχουν κύρια γενεσιουργό αιτία την ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση αυτή των παλιροϊκών κινήσεων που οφείλονται στην βαρυτική δράση, κυρίως της σελήνης, πάνω στους υδάτινους όγκους που καλύπτουν την επιφάνεια της Γης, καθώς και την γεωθερμική, όπου η ηλιακή ακτινοβολία παίζει δευτερεύοντα ρόλο. [1]

Το σύνολο των πηγών ενέργειας που διατίθεται προς εκμετάλλευσή στον άνθρωπο, διαχωρίζεται σε δύο κατηγορίες, σε εκείνες που έχουν συγκεκριμένη διάρκεια ζωής, που εξαρτώνται από τα αποθέματα τα οποία περιέχονται στο στερεό φλοιό της Γης και σε αυτές που καθημερινά και ανεξάντλητα μας παρέχονται προς εκμετάλλευσή.

Στην δεύτερη κατηγορία συναντάμε πηγές ενέργειας προερχόμενες από τον Ήλιο. Εκτός από την συμβολή της ηλιακής ακτινοβολίας στην ανάπτυξη και διατήρηση της ζωής στον πλανήτη μας, προσφέρει πολλές μορφές αξιοποίησης. Θερμαίνοντας τους θαλάσσιους όγκους της Γης, εξατμίζονται μεγάλες ποσότητες νερού στην ατμόσφαιρα. Όταν αυτές κρυώσουν, επιστρέφουν στην επιφάνεια της Γης με την μορφή βροχής, δημιουργώντας έτσι λίμνες και ποτάμια προσφέροντας επιπλέον πηγές ενέργειας, όπως οι υδατοπτώσεις. Επίσης είναι η αιτία της δημιουργίας των κυμάτων και θαλάσσιων ρευμάτων, καθώς και της κίνησης των αέριων μαζών. Συμβάλλει στην διατήρηση της μέσης θερμοκρασίας στον πλανήτη, περί των 15 °C, πράγμα που καθιστά δυνατή την ανάπτυξη χλωρίδας και πανίδας. Με την συγκέντρωση φυτικών συστατικών και την καύση τους, μπορεί να αποδοθεί ικανοποιητικό ποσό εκμεταλλεύσιμης ενέργειας. Με κατάλληλο συνδυασμό ημιαγωγικών στοιχείων, είναι δυνατή η απολαβή της ηλιακής ακτινοβολίας και η μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια.

Οι επιβαρυντικές συνέπειες της αλόγιστης χρήσης των συμβατικών καυσίμων επέφεραν σημαντικές καταστροφές στο οικοσύστημα, έχοντας κάνει πλέον μονόδρομο την στροφή σε μια πιο ορθολογική ενεργειακή πολιτική εκμετάλλευσής των φυσικών πόρων. Η παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ υπόσχεται ένα καλύτερο αύριο για τον πλανήτη και τον άνθρωπο, με σημαντικά οφέλη τόσο οικονομικά όσο και περιβαλλοντολογικά. Για πολλές

---

χώρες οι ΑΠΕ αποτελούν μια σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας με μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό ισοζύγιο συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα συντελούν και στη προστασία του περιβάλλοντος καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο πρωταρχικός υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Πραγματικά η καύση των ορυκτών-συμβατικών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο) έχει ως αποτέλεσμα την έκλυση στην ατμόσφαιρα δισεκατομμυρίων τόνων ρύπων που παγιδεύουν σαν μια αόρατη κουβέρτα την ηλιακή ακτινοβολία αυξάνοντας τη θερμοκρασία της Γης. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως “φαινόμενο του θερμοκηπίου”. Έτσι τον τελευταίο αιώνα η μέση θερμοκρασία της γης αυξήθηκε κατά 0,4 - 0,8 βαθμούς. Αυτό μπορεί να ακούγεται ασήμαντο, σε πλανητική κλίμακα όμως έχει απίστευτες επιπτώσεις. Ακόμα και μια μικρή αύξηση της μέσης θερμοκρασίας διαταράσσει την ισορροπία της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα να αλλάζει το καθεστώς των βροχοπτώσεων των ανέμων και να αποσταθεροποιείται το κλίμα. Επιπλέον η αύξηση της θερμοκρασίας οδηγεί σε άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Αν αναλογιστεί τότε κάνεις ότι το 70% των ανθρώπων ζει κοντά στις ακτές τότε μπορεί να καταλάβει τη σοβαρότητα των φαινομένων αυτών.

Φαίνεται συνεπώς ότι ο μόνος δυνατός τρόπος για να μπορέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση να ανταποκριθεί στο φιλόδοξο στόχο που έχει θέσει, για σημαντικό περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) είναι να επιταχύνει την ανάπτυξη των ΑΠΕ.

Η μεγαλύτερη αδυναμία των ΑΠΕ είναι το σχετικά μεγάλο κόστος της παραγόμενης κιλοβατώρας συγκριτικά με το κόστος της παραγόμενης κιλοβατώρας από συμβατικά καύσιμα. Για να μπορούμε να μιλάμε για μια οικονομικά συμφέρουσα επένδυση στις ΑΠΕ θα πρέπει να μειωθεί σημαντικά το κόστος κατασκευής και να αυξηθεί ο βαθμός απόδοσης. Επίσης, τα μεγέθη όπως ο άνεμος και η ηλιακή ακτινοβολία έχουν μεγάλες διακυμάνσεις στο χρόνο σαν αποτέλεσμα η τιμή της παραγόμενης ισχύος να έχει μεταβολές, απαιτώντας έτσι την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών ή δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης.

Το γεγονός ότι οι ΑΠΕ είναι διάσπαρτες γεωγραφικά έχει ως αποτέλεσμα να οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος παρέχοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό επίπεδο ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας. Επιπλέον είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους των οποίων τα αποθέματα ανά τον κόσμο ελαττώνονται με την πάροδο του χρόνου.

---

## 3.2 Φωτοβολταϊκά

### Ιστορικό

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά στοιχεία ή γεννήτριες, γνωστά ως «φωτοβολταϊκά» (Φ/Β) αποτελούν μια προσέγγιση υψηλής τεχνολογίας για την άμεση μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια. Ο όρος «φωτό» προέρχεται από το φώς, το δε «βολτ» οφείλεται στον Alessandro Volta (1745-1827), έναν πρωτοποριακό άνθρωπο στην μελέτη του ηλεκτρισμού. Έτσι, «φωτοβολταϊκό» στην κυριολεξία σημαίνει «φωτό- ηλεκτρικό». Εννοιολογικά, στην απλούστερη μορφή μια Φ/Β διάταξη είναι μια ηλιακά τροφοδοτούμενη μπαταρία, όπου το μόνο αναλώσιμο είναι το φως που την τροφοδοτεί. Δεν υπάρχουν κινούμενα μέρη, η λειτουργία είναι φιλική προς το περιβάλλον και εάν η διάταξη προστατεύεται σωστά από την επίδραση του περιβάλλοντος, κανένα τμήμα δεν υφίσταται φθορά, παρά μόνο λόγω παλαίωσης.[<sup>2</sup>]

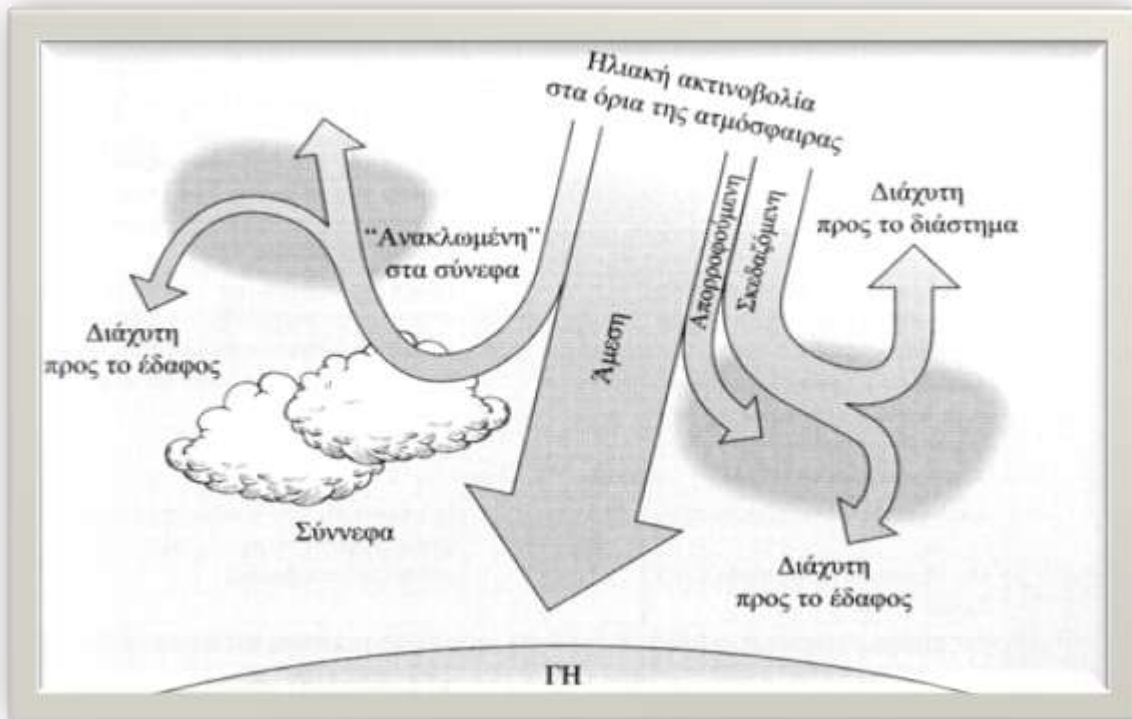
Η ηλιακή ακτινοβολία παρέχει ένα τεράστιο ποσό ενέργειας στη γη. Το συνολικό ποσό ενέργειας που ακτινοβολείται από τον ήλιο στην επιφάνεια της Γης είναι ίσο με 10.000 φορές περίπου την ετήσια παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση. Κατά μέσο όρο προσπίπτουν 1700 KWh σε κάθε τετραγωνικό μέτρο κάθε χρόνο.

Επειδή το φως του ήλιου είναι διαθέσιμο παντού, οι φωτοβολταϊκές διατάξεις έχουν πολλά πρόσθετα οφέλη που τις καθιστούν εφαρμόσιμες και αποδεκτές από όλους τους κατοίκους του πλανήτη. Τα Φ/Β συστήματα είναι ευέλικτα, οπότε η ηλεκτροπαραγωγή τους μπορεί τυπικά να προσαρμοστεί σε κάθε εφαρμογή, από καταναλωτικές χρήσεις χαμηλής ισχύος, ρολόγια, μικρούς υπολογιστές χειρός και φορτιστές μικρών μπαταριών, μέχρι σημαντικές ενεργειακές απαιτήσεις, όπως η ηλεκτροπαραγωγή σε κεντρικούς σταθμούς των επιχειρήσεων ηλεκτρισμού.

Επιπλέον, στα φωτοβολταϊκά συστήματα προσαρμόζονται εύκολα τυχόν προσθήκες ισχύος, σε αντίθεση με τις πιο συμβατικές μεθόδους, όπως αυτές των ορυκτών ή των πυρηνικών καύσιμων, οι οποίες απαιτούν εγκαταστάσεις πολλών MW για να είναι οικονομικά εφικτές. Τα Φ/Β συστήματα παρέχουν τόσα πολλά πλεονεκτήματα ώστε, μόλις μειωθεί το σχετικά υψηλό αρχικό κόστος τους, η εξάπλωσή τους αναμένεται να είναι ευρύτατη στα τέλη του 21ου αιώνα.

### 3.2.1 Ηλιακή ενέργεια

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και η επίδραση της ατμόσφαιρας στην Γη  
Κατά την διέλευση των ηλιακών ακτινών στην ατμόσφαιρα της Γης η ένταση τους ελαττώνεται καθώς ένα μέρος τους σκεδάζεται στα μόρια της ατμόσφαιρας, ενώ ένα άλλο μέρος της απορροφάται από ορισμένα συστατικά της. Η ηλιακή ακτινοβολία  $G$  (global) που φτάνει στην επιφάνεια της Γης, αποτελείται από δύο συνιστώσες, την απ' ευθείας ή άμεση  $B$  (Beam) και την διάχυτη  $D$  (Diffuse) η οποία αποτελείται από την διάχυτη και την διάχυτα ανακλώμενη από το έδαφος (albedo).[<sup>1</sup>]



Σχήμα 1 Άμεση και διάχυτη ακτινοβολία[1].

Η ολική, απ' ευθείας και διάχυτη ακτινοβολία εξαρτώνται κυρίως από τα παρακάτω :

- I. Τη σύσταση της ατμόσφαιρας, τα αιωρούμενα σωματίδια και τα επίπεδα της υγρασίας την συγκεκριμένη περίοδο.
- II. Την γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων στην εκάστοτε επιφάνεια ,όπως επίσης και το ύψος του ήλιου κατά την διάρκεια της ημέρας.
- III. Την ημέρα κατά την διάρκεια του έτους.

Ενώ η διάχυτα ανακλώμενη καθορίζεται από την μορφολογία-χρώμα του εδάφους ,την επιφάνεια του εδάφους (γρασίδι, χιόνι) και την πυκνότητα των νεφών.

Η ολική ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα επίπεδο ισούται με :

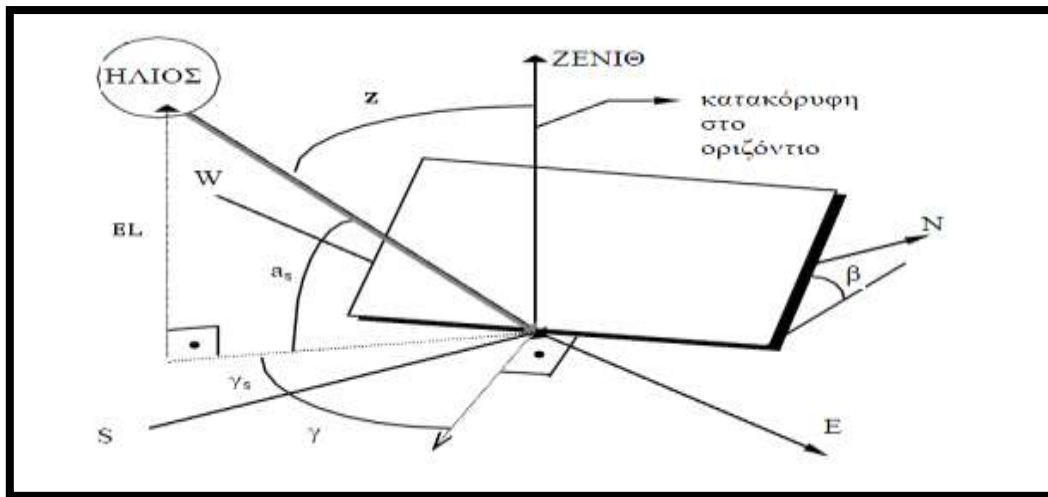
και

Όπου :

= ζενιθία γωνία του ήλιου

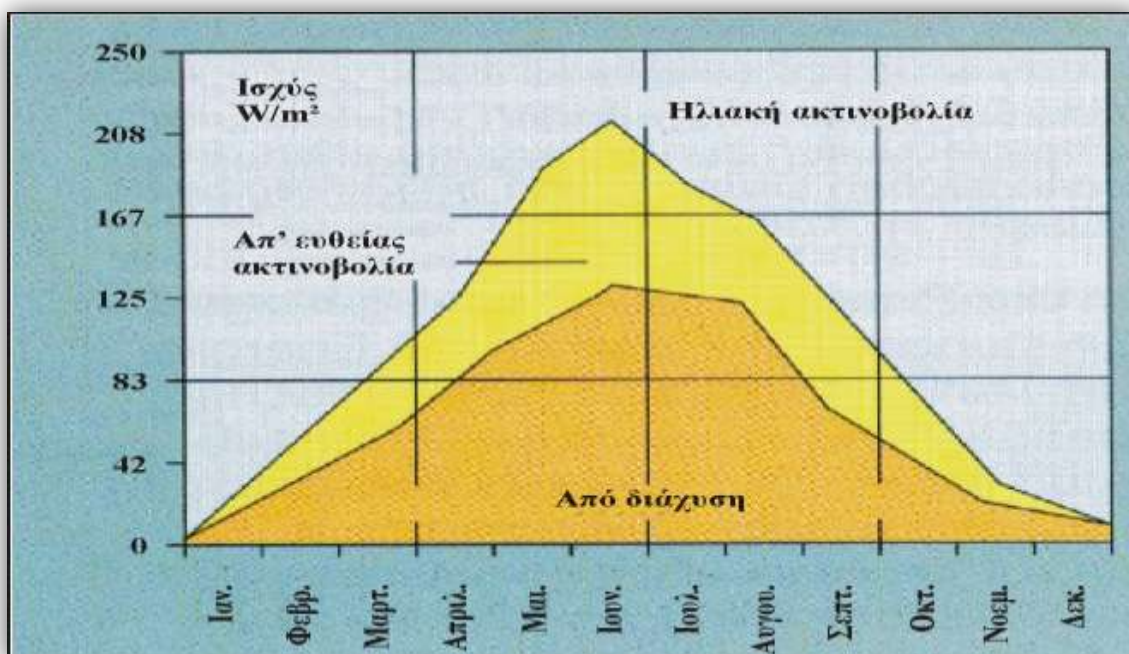
= το ύψος του ήλιου, δηλαδή η γωνία των ακτίνων του σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο του τόπου





Σχήμα 2. Αναπαράσταση του ύψους του ήλιου(EL), της ζενιθίας γωνίας (z) και του αζιμούθιου του τόπου ( $\gamma_s$ )<sup>[1]</sup>.

Η ζενιθία γωνία κατά την ανατολή του ηλίου είναι ίση με  $90^\circ - \text{EL}$ , άρα η ολική οριζόντια πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας καθορίζεται κυρίως από τη διάχυτη συνιστώσα. Κατά τη διάρκεια μιας αίθριας ημέρας καθώς το ύψος του ηλίου αυξάνει, αυξάνεται και η απευθείας κάθετη ακτινοβολία, μέχρι το ηλιακό μεσημέρι μετά το οποίο ελαττώνεται με συμμετρικό τρόπο. Με βάση τις ωριαίες τιμές των συνιστωσών, προκύπτουν οι ημερήσιες, μηνιαίες και ετήσιες μέσες τιμές των μεγεθών αυτών, προκειμένου τα αποτελέσματα να αξιολογηθούν σε ενεργειακούς υπολογισμούς ή επεξεργασία των οποίων δίνει το Τυπικό Μετεωρολογικό Έτος για τον αντίστοιχο τόπο.



Σχήμα 3. Καμπύλη Ετήσιας Πυκνότητας ισχύος Ηλιακής Ακτινοβολίας<sup>[2]</sup>.

## Όργανα μέτρησης και καταγραφής της ηλιακής ακτινοβολίας<sup>[1]</sup>

Τα όργανα μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας διακρίνονται στους θερμικούς αισθητήρες και στους αισθητήρες ηλεκτρονικής διέγερσης. Στους πρώτους η ένδειξη οφείλεται στην θέρμανση της φωτιζόμενης επιφάνειας (μαύρης πλακάς), ορισμένου υλικού μικρής μάζας, ώστε τα μικρά ποσά ενέργειας που απορροφά να προκαλούν μεγάλες μεταβολές της θερμοκρασίας της, ενώ στους αισθητήρες ηλεκτρονικής διέγερσης η μέτρηση οφείλεται στις ενεργειακές μεταβάσεις των ηλεκτρονίων του υλικού.

### Θερμικοί αισθητήρες :

- I. Πυρανόμετρο
- II. Πυροηλεκτρικός κρύσταλλος
- III. Βολτόμετρα

### Αισθητήρες ηλεκτρονικής διέγερσης :

- A. Κατηγορία αισθητήρων που βασίζονται στο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο
  - I. Φωτοдиодοι κενού ή φωτοκύτταρα
  - II. Φωτοπολλαπλασιαστές
- B. Κατηγορία αισθητήρων που βασίζονται στην φωτοαγαγιμότητα του υλικού
  - I. Φωτοαγωγοί ή φωτοαντιστάσεις
  - II. Φωτοдиодος ημιαγωγών
  - III. Φωτοβολταϊκή κυψελίδα ή φωτοβολταϊκό στοιχείο
- Γ. Φασματογράφος
- Δ. Φασματοραδιόμετρο-Φασματοφωτόμετρο

Ο πιο διαδεδομένος τρόπος μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το πυρανόμετρο το οποίο ανήκει στους θερμικούς αισθητήρες και η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο (θερμοζεύγος). Η ακτινοβολία που προσπίπτει στην ενεργό επιφάνεια, (μαύρη) απορροφούμενη από αυτό, το θερμαίνει με αποτέλεσμα να δημιουργείται διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της εκτεθειμένης στο φως επιφάνειας και της συνδεμένης σε σειρά πλάκα, η οποία βρίσκεται στο εσωτερικό του πυρανομέτρου και διατηρεί θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η διαφορά αυτή της θερμοκρασίας δημιουργεί μία τάση στους ακροδέκτες του οργάνου, η οποία όταν πολλαπλασιαστεί με ένα σταθερό συντελεστή (διαφορετικό για κάθε πυρανόμετρο), εκφράζει την πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σ' αυτόν στην δεδομένη χρονική στιγμή.



Εικόνα 1. Πυρανόμετρο μέτρησης της ολικής και της διάχυτης ακτινοβολίας <sup>[3]</sup>.



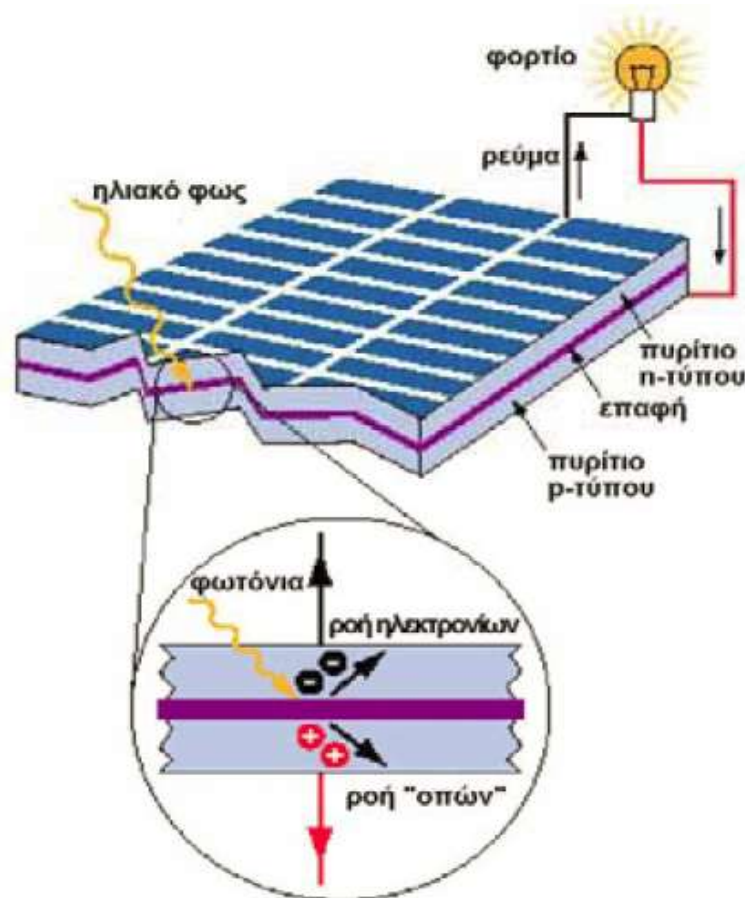
### 3.2.2 Ηλιακές κυψέλες

Ηλιακές κυψέλες ονομάζονται οι συσκευές οι οποίες έχουν την ικανότητα να μετατρέπουν απευθείας την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική[1]. Οι περισσότερες από αυτές βασίζονται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο το οποίο είναι αποτέλεσμα δύο φαινομένων που εμφανίζονται στο εσωτερικό :

- Της φωτοδημιουργίας «ελεύθερων» ηλεκτρικών φορέων στο εσωτερικό των ημιαγωγών (φωτοαγωγιμότητα)
- Της δημιουργίας ηλεκτρικού πεδίου στην περιοχή επαφής δύο ημιαγωγών

#### Λειτουργία ηλιακών κυψελών

Οι ηλιακές κυψέλες αποτελούνται από δύο διαφορετικού τύπου ημιαγωγικά στοιχεία, συνήθως πυριτίου p- τύπου και n- τύπου. Σε συγκεκριμένα μήκη κύματος το φως που προσπίπτει στην επιφάνεια της κυψέλης επιδρά στα άτομα του πυριτίου διαχωρίζοντας τα θετικά φορτία (οπές) από τα αρνητικά φορτία (ηλεκτρόνια). Οι οπές οδηγούνται στο θετικό στοιχείο και τα ηλεκτρόνια στο αρνητικό. Για να δημιουργηθεί ροή ηλεκτρονίων προς το θετικό άκρο θα πρέπει να πραγματοποιηθεί σύνδεση στο εξωτερικό της συσκευής, λόγω του εσωτερικού φράγματος δυναμικού.



Σχήμα 4 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε μια ηλιακή κυψέλη[4].

---

Η ποσότητα της παραγόμενης ισχύς από μια φωτοβολταϊκή κυψέλη εξαρτάται από :

- Τον τύπο και την επιφάνεια του υλικού
- Την ένταση του ηλιακού φωτός
- Το μήκος κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας

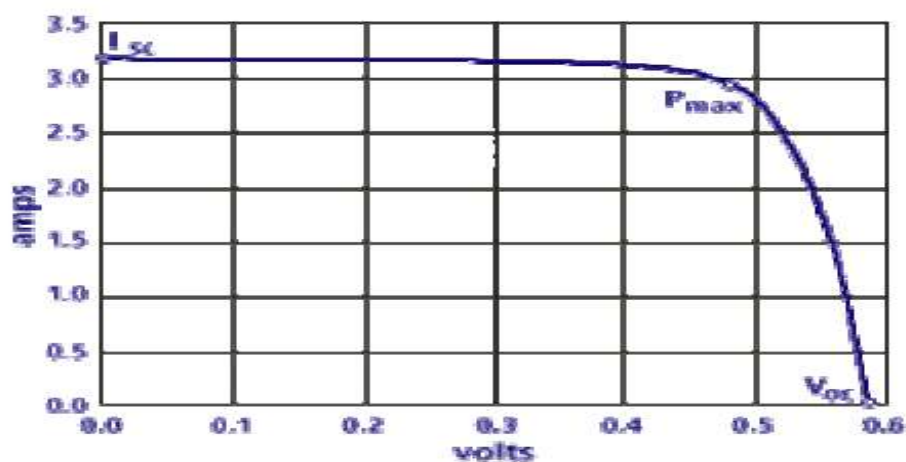
Οι φωτοβολταϊκές κυψέλες χρησιμοποιούν όχι μόνο την άμεση συνιστώσα του φωτός αλλά παράγουν ηλεκτρική ενέργεια και με συννεφιασμένο ουρανό. Το ποσό της ωφέλιμης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ένα Φ/Β στοιχείο σχετίζεται άμεσα με την ένταση της φωτεινής ενέργειας που προσπίπτει επάνω στην επιφάνεια μετατροπής και από την ικανότητα του υλικού να μετατρέψουν όσο το δυνατό περισσότερο ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι ηλιακές κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου μπορούν να μετατρέψουν από 21% έως το 25% της ηλιακής ενέργειας, του πολυκρυσταλλικού πυριτίου 17% έως 20% , τα Φ/Β στοιχεία ταινίας γύρω στο 13% και του άμορφου πυριτίου περίπου το 8% [2]. Επίσης, όσο μεγαλύτερος είναι ο διαθέσιμος ηλιακός πόρος, τόσο μεγαλύτερο είναι το δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής. Για να προσδιοριστεί το δυναμικό ηλεκτροπαραγωγής ενός Φ/Β σε μια συγκεκριμένη θέση, είναι σημαντικό να εκτιμηθεί η μέση συνολική ηλιακή ενέργεια που λαμβάνεται κατά τη διάρκεια ενός έτους, αντί να γίνεται αναφορά στη στιγμιαία ακτινοβολία. Εξάλλου, είναι προφανές ότι ένα Φ/Β σύστημα δεν παράγει ικανοποιητικό ηλεκτρισμό κατά τη διάρκεια της νύχτας, ενώ είναι σημαντικό να μην σκιάζονται τα στοιχεία. Εάν απαιτείται ηλεκτρισμός πέρα από τις ώρες που υπάρχει το φως της ημέρας είναι απαραίτητο κάποιο είδος συστήματος αποθήκευσης.

Προκειμένου να απολαμβάνεται όσο το δυνατόν περισσότερη ηλιακή ενέργεια, η Φ/Β κυψέλη πρέπει να προσανατολίζεται προς τον ήλιο. Εάν οι κυψέλες έχουν σταθερή θέση, πρέπει να βελτιστοποιηθεί ο προσανατολισμός τους ως προς το νότο και η γωνία κλίσης τους ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Η βέλτιστη γωνία κλίσης κυμαίνεται σε ένα εύρος περίπου 15° του γεωγραφικού πλάτους της θέσης. Για παράδειγμα, η βέλτιστη γωνία κλίσης για τα διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα στη Δυτική Ευρώπη είναι περίπου 35°. Για περιοχές πλησιέστερα στον ισημερινό αυτή η γωνία κλίσης θα είναι μικρότερη, ενώ για περιοχές πλησιέστερα στους πόλους θα είναι μεγαλύτερη. Τα Φ/Β στοιχεία είναι στην πραγματικότητα πιο αποδοτικά σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, οπότε για να εξασφαλιστεί ότι δεν υπερθερμαίνονται, είναι σημαντικό να τοποθετούνται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπεται στον αέρα να κινείται ελεύθερα γύρω από αυτά.

Για το καθορισμό των επιδόσεων των ηλιακών κυψελών έχουν πραγματοποιηθεί εργαστηριακές δοκιμές από τις οποίες καθιερώνονται ως Πρότυπες Συνθήκες Δοκιμών (STC)[1] οι παρακάτω :

- Θερμοκρασία = 25
- Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας = 1000
- Αέρια μάζα = AM 1,5

Η αέρια μάζα AM αφορά το λόγο του πάχους της ατμόσφαιρας που διασχίζει η ακτινοβολία πριν φτάσει στη γη, προς την ακτίνα της ατμόσφαιρας. Η ποσότητα του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος είναι ανάλογη της τάσης όπως αυτή εμφανίζεται στο σχήμα [5] και απεικονίζει την καμπύλη I-V υπό τις πρότυπες συνθήκες.[2]

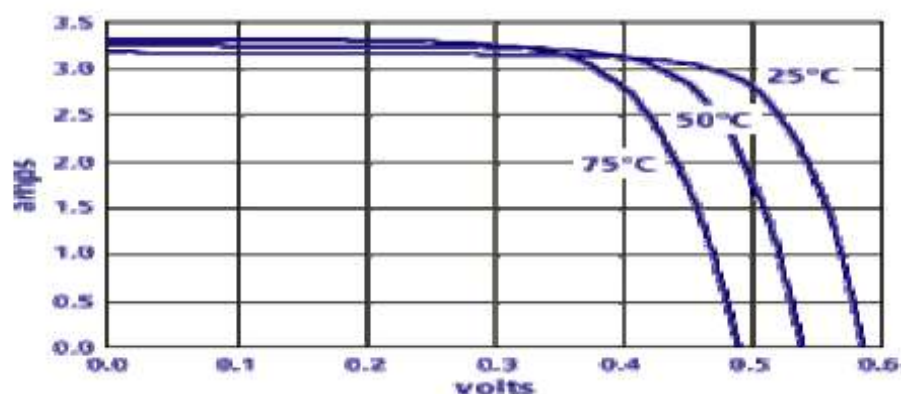


Σχήμα 5 Χαρακτηριστική καμπύλη I-V μιας τυπικής κυψέλης πυριτίου σε Πρότυπες Συνθήκες Δοκιμών[2]

Παρατηρείται ότι αριστερά του γονάτου της καμπύλης το ρεύμα μεταβάλλεται ελάχιστα με μεγάλες μεταβολές της τάσης, ενώ το αντίθετο συμβαίνει στα δεξιά του γονάτου. Για τον συγκεκριμένο τύπο ηλιακής κυψέλης ισχύει :

- = 3,36A (ρεύμα βραχυκυκλώματος)
- = 0,6 V (τάση ανοιχτού κυκλώματος)
- = 1,5W (σημείο μέγιστης ισχύος)
- = 3 A (ρεύμα στο )
- = 0,5 V (τάση στο )

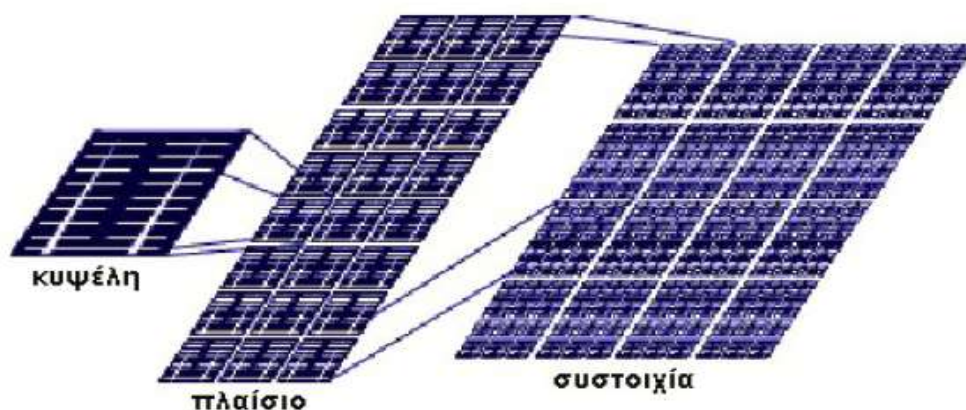
Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από μια ηλιακή κυψέλη επηρεάζεται άμεσα από την επίδραση της θερμοκρασίας που επικρατεί στην περιοχή. Η παραγωγή ρεύματος είναι σχετικά σταθερή στις υψηλές θερμοκρασίες σε αντίθεση με την τάση η οποία μειώνεται κατά 0,0023V για κάθε αύξηση ενός βαθμού Κελσίου, προκαλώντας μείωση της παραγόμενης ισχύος.



Σχήμα 6 Επίδραση της θερμοκρασίας στις καμπύλες I-V μιας τυπικής κυψέλης κρυσταλλικού πυριτίου[2].

### 3.2.3 Φωτοβολταϊκά πλαίσια

Με τον όρο φωτοβολταϊκά πλαίσια (συστοιχία) περιγράφεται ο τρόπος σύνδεσης φωτοβολταϊκών κυψελών με αποτέλεσμα την δημιουργία συστοιχίας, η οποία αποδίδει ικανοποιητικά επίπεδα τάσης και ρεύματος με σκοπό την εκμετάλλευση ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, αφορά όλα τα πλαίσια ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, την καλωδίωση, τις διόδους και τις βάσεις των συστοιχιών. Οι ηλιακές κυψέλες συνδυάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να διαμορφωθεί μια συστοιχία. Ανάλογα με το είδος της εφαρμογής, η συστοιχία αυτή μπορεί να αποτελείται από μια κυψέλη, ένα πλαίσιο ή μια συστοιχία πλαισίων.



Σχήμα 7 Τα μέρη μίας φωτοβολταϊκής συστοιχίας

#### Η κυψέλη

Μια τυπική ηλιακή κυψέλη μονοκρυσταλλικού πυριτίου είναι συνήθως μπλε χρώματος και βάρους περίπου 10gr. Το σχήμα της είναι τετράγωνο με πλευρά 10cm το οποίο μεταβάλλεται με τον κατασκευαστή. Μια καλά μονωμένη κυψέλη μπορεί να παράγει 1,5W στα 0,5V, στις Πρότυπες Συνθήκες Δοκιμών. Όπως είναι αναμενόμενο, τα επίπεδα ισχύος και τάσης μιας κυψέλης δεν είναι αρκετά για τις περισσότερες ηλεκτρικές εφαρμογές. Για να επιτευχθούν κατάλληλα επίπεδα λειτουργίας, οι ηλιακές κυψέλες συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα, ενώ πολλές φορές τεμαχίζονται σε μικρότερα μέρη. Η κοπή γίνεται κυρίως για δύο λόγους. Ο πρώτος αποσκοπεί στην αύξηση του επιπέδου της τάσεως. Όταν απαιτείται χαμηλή ισχύς, δηλαδή υψηλή τάση, τότε οι κυψέλες κόβονται στην μέση με αποτέλεσμα την δημιουργία μικρότερων πλαισίων. Η τάση θα παραμείνει η ίδια (~0,5V), αλλά με λιγότερο ρεύμα (~1,5A). Ο δεύτερος λόγος είναι για την βέλτιστη εκμετάλλευση του διατιθέμενου χώρου. Η σύνδεση των κυψελών προκύπτει με την συγκόλληση των ακροδεκτών τους, από την κορυφή της μίας στην βάση της άλλης, μέσω ειδικών μηχανημάτων. Μεγάλη προσοχή απαιτείται κατά την διαδικασία σύνδεσης των κυψελών καθώς μπορεί να προκύψουν φθορές κατά την συγκόλληση, περιπτώσεις βραχυκυκλωμάτων εάν ακουμπούν μεταξύ τους, ενώ είναι αναγκαία η σωστή τοποθέτηση τους στο πλαίσιο.

## Πλαίσιο

Οι ηλιακές κυψέλες συνδέονται συνήθως σε σειρά με αποτέλεσμα την δημιουργία φωτοβολταϊκού πλαισίου. Οι διαστάσεις των πλαισίων είναι ανάλογες του αριθμού των κυψελών που χρησιμοποιούνται, ενώ οι περισσότεροι κατασκευαστές παράγουν πλαίσια σύμφωνα με τα επίπεδα τάσης των μπαταριών που χρησιμοποιούνται για την εκάστοτε εφαρμογή. Ένα τυπικό πλαίσιο για την φόρτιση μιας μπαταρίας 12 V έχει συνήθως 33 έως 36 κυψέλες[5], καθώς το επίπεδο της τάσης του πλαισίου πρέπει να είναι μεγαλύτερο του αντίστοιχου της μπαταρίας ώστε να μπορέσει να την φορτίσει. Οι ηλιακές κυψέλες χρειάζονται επιπλέον προστασία από τις εξωτερικές συνθήκες περιβάλλοντος και ενίσχυση της ηλεκτρικής μόνωσης, γι' αυτό σχεδόν πάντα γίνεται προσθήκη προστατευτικού κελύφους.

### 3.2.4 Λειτουργία και τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων

#### Σύνδεση εν σειρά

Όταν οι ηλιακές κυψέλες συνδέονται σε σειρά και εφόσον έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά I-V, μπορεί να εκτιμηθεί η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς από την συστοιχία [2].

#### Ρεύμα

Το ρεύμα κατά την εν σειρά συνδεσμολογία των ηλιακών κυψελών είναι το ίδιο σε κάθε σημείο με αυτό που διέρχεται από μια κυψέλη. Το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα που διέρχεται μέσω της συστοιχίας είναι ίσο με το ρεύμα που αντιστοιχεί στην κυψέλη με χαρακτηριστικά χαμηλότερου ρεύματος. Δηλαδή, εάν συνδεθεί μια κυψέλη με χαρακτηριστικά χαμηλού ρεύματος με μια άλλη η οποία έχει χαρακτηριστικά υψηλού ρεύματος, η συνδεσμολογία θα υπακούσει στο μέγιστο ρεύμα της κυψέλης χαμηλού ρεύματος.

$$I = I_{\min} \quad (\text{μιας κυψέλης}) \quad [4.1]$$

#### Τάση

Στην συνδεσμολογία ηλιακών κυψελών σε σειρά η μέγιστη τάση προκύπτει ως άθροισμα των επιμέρους τάσεων των κυψελών και μπορεί να υπολογιστεί μέσω του τύπου :

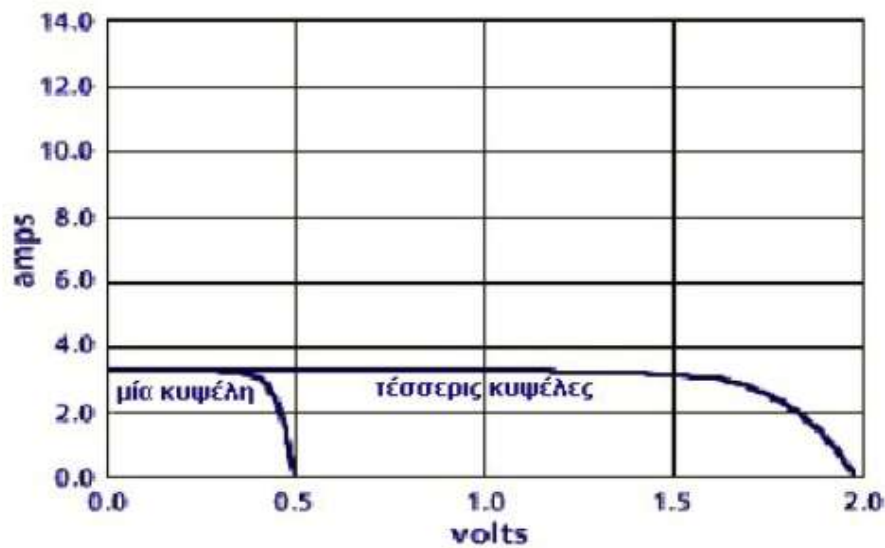
$$V = \sum V_i \quad [4.2]$$

#### Ισχύς

Η μέγιστη παραγόμενη ισχύς από μια εν σειρά συνδεσμολογία ηλιακών κυψελών προκύπτει από το άθροισμα του ρεύματος της εξίσωσης [4.1] πολλαπλασιασμένο με την τάση της εξίσωσης [4.2] :

=>

$$P = I_{\min} \cdot (A \cdot V_{\text{cell}}) \quad (\text{μιας κυψέλης}) \quad [4.3]$$



Σχήμα 8 Τυπικές καμπύλες I-V για μια και για τέσσερις κυψέλες συνδεδεμένες εν σειρά[2].

### Σύνδεση εν παραλλήλω

Όπως και στην περίπτωση της συνδεσμολογίας εν σειρά, οι ηλιακές κυψέλες με παρόμοιες χαρακτηριστικές I-V, μπορούν να συνδεθούν παράλληλα μεταξύ τους και να υπολογιστεί η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς από το πλαίσιο[2].

### Ρεύμα

Στην παράλληλη συνδεσμολογία το μέγιστο παραγόμενο ρεύμα προκύπτει ως άθροισμα των επιμέρους ρευμάτων της κάθε κυψέλης και περιγράφεται από την σχέση :

$$[4.4]$$

### Τάση

Σε αντίθεση με την συνδεσμολογία σε σειρά, η μέγιστη τάση μεταξύ δύο σημείων κατά την συνδεσμολογία εν παραλλήλω ισούται με την μέγιστη τάση της κυψέλης με χαρακτηριστικά χαμηλής τάσης και προκύπτει από την σχέση :

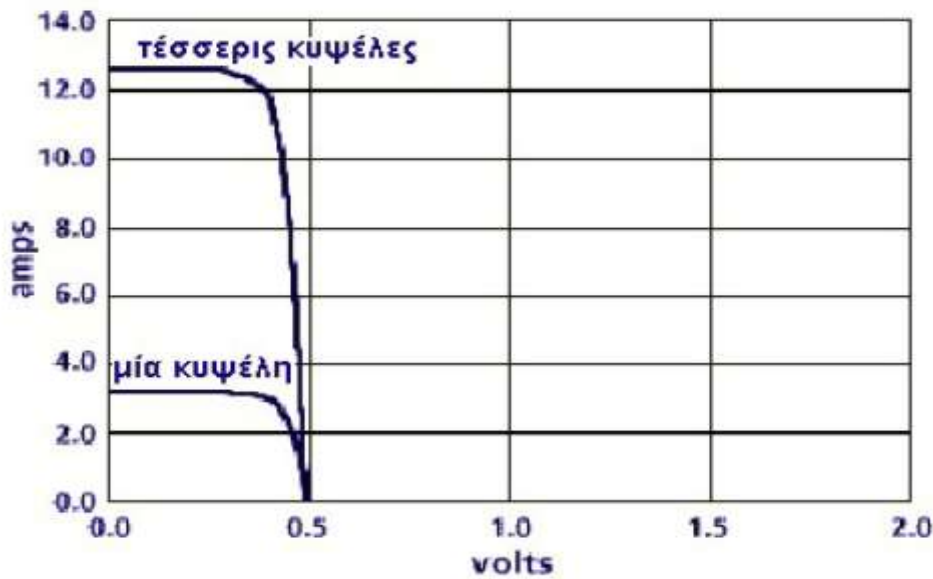
$$= ( \text{μίας κυψέλης} ) [4.5]$$

### Ισχύς

Η μέγιστη παραγόμενη ισχύς από μια εν παραλλήλω συνδεσμολογία ηλιακών κυψελών προκύπτει από το άθροισμα του ρεύματος της εξίσωσης [4.4] πολλαπλασιασμένο με την τάση της εξίσωσης [4.5] :

=>

$$= ( \text{μίας κυψέλης} ) ( \text{Αριθμός κυψελών} ) ( \text{μίας κυψέλης} ) [4.6]$$



Σχήμα 9 Καμπύλες I-V για μία και για τέσσερις κυψέλες συνδεδεμένες παράλληλα[2].

Από τις δύο περιπτώσεις συμπεραίνουμε ότι κατά την εν σειρά συνδεσμολογία των ηλιακών κυψέλων το συνολικό παραγόμενο ρεύμα είναι ανάλογο της κυψέλης με το χαρακτηριστικό χαμηλού ρεύματος, σε αντίθεση με την συνδεσμολογία εν παράλληλω όπου αυτό συμβαίνει κατά τον υπολογισμό της τάσης. Επίσης, στην συνδεσμολογία σε σειρά η τάση προκύπτει ως το άθροισμα των επιμέρους τάσεων των κυψελών, ενώ στην περίπτωση της συνδεσμολογίας εν παράλληλω το ίδιο συναντάται κατά την μελέτη του μέγιστου ρεύματος. Συνεπώς, ανάλογα με την περίπτωση της εφαρμογής και τις ανάγκες αυτές σε συγκεκριμένα επίπεδα τάσης και ρεύματος, επιλέγεται η κατάλληλη συνδεσμολογία ηλιακών κυψελών.

### Ονομαστική ισχύς Φ/Β πλαισίου

Ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά ενός Φ/Β πλαισίου ώστε να καλύψει τις ανάγκες μιας εφαρμογής καθώς και να καθορίσει το κόστος αγοράς του, αποτελεί η ισχύς αιχμής. Ισχύς αιχμής ενός ΦΒ πλαισίου, , ορίζεται η μέγιστη ισχύς κατά την οποία αυτό μπορεί να αποδίδει ηλεκτρική ενέργεια, κάτω από τις Πρότυπες Συνθήκες Δοκιμών(STC)[1]. Η μέγιστη παραγόμενη ισχύς, κάθε στιγμή, είναι διαφορετική και μάλιστα σχεδόν πάντα μικρότερη της ισχύος αιχμής του.

### Απόδοση του Φ/Β πλαισίου

Η απόδοση του Φ/Β πλαισίου καθορίζεται από το πηλίκο της ηλεκτρικής ισχύος που αποδίδεται από το πλαίσιο, προς την προσπίπτουσα ισχύ ακτινοβολίας. Εξαρτάται από το είδος του ημιαγωγού που χρησιμοποιείται στην συγκεκριμένη εφαρμογή, αυξάνεται με την αύξηση της πυκνότητας ισχύος της ακτινοβολίας και μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας.



---

## Δίοδοι

Για την αποφυγή δυσάρεστων καταστάσεων κατά την λειτουργία υπό σκίαση και την λειτουργία κατά την διάρκεια της νύχτας, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια εφοδιάζονται με κατάλληλες διόδους :

### 1. Δίοδοι παράκαμψης

Συνδέονται παράλληλα σε κάθε ηλιακή κυψέλη επιτρέποντας τη χρησιμοποίηση του Φ/Β πλαισίου ακόμα και εάν ένα ή περισσότερα στοιχεία υστερούν ή έχουν καταστραφεί, αποφεύγοντας το φαινόμενο της «θερμής κηλίδας» που εμφανίζεται κατά την σκίαση των πλαισίων από γειτονικά πλαίσια ή φυσικά εμπόδια.

### 2. Δίοδοι απομόνωσης ή αντεπιστροφής

Προκειμένου να αποφευχθεί η εκφόρτιση των συσσωρευτών κατά την διάρκεια της νύχτας, γίνεται προσθήκη διόδου αντεπιστροφής στην κορυφή κάθε κλάδου της συστοιχίας. Προτιμούνται οι διόδους Shottky καθώς χαρακτηρίζονται από την χαμηλή τάση λειτουργίας σε ορθή πόλωση (~0,3V) σε σχέση με τις κοινές διόδους πυριτίου (~0,7V).

## Τρόποι στήριξης φωτοβολταϊκών συστημάτων και προσανατολισμός τους

Διακρίνονται τρία διαφορετικά είδη στήριξης Φ/Β πλαισίων [1]:

### 1. Στήριξη του πλαισίου με σταθερή γωνία κλίσης

Κατά κανόνα επιλέγεται νότιος προσανατολισμός για την συστοιχία και γωνία κλίσης κοντά στο γεωγραφικό πλάτος του τόπου της εγκατάστασης. Σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της βέλτιστης γωνίας με σταθερή κλίση παίζουν οι τοπικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή και χρειάζεται η πολυετή καταγραφή τους για τον ακριβή υπολογισμό της. Εάν δεν διατίθενται τοπικά δεδομένα και εφόσον ο τόπος εγκατάστασης δεν σκιάζεται μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε εμπειρικά δεδομένα για συγκεκριμένα γεωγραφικά πλάτη.

Π.χ. Για μέσα και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη  $\varphi > 20^\circ$  επιλέγουμε :

- i) Για σταθερή τοποθέτηση με απαίτηση μέγιστης αποδοτικότητας, )
- ii) Για σταθερή τοποθέτηση με κύρια απαίτηση κατά τον χειμώνα,

### 2. Στήριξη με δυνατότητα εποχικής ρύθμισης της κλίσης του πλαισίου

Οι τυπικές θέσεις του συλλέκτη είναι δύο:

- i) Για το θερινό εξάμηνο (21 Μαρτίου-22 Σεπτεμβρίου),
- ii) Για το χειμερινό εξάμηνο (22 Σεπτεμβρίου-21 Μαρτίου),



### 3. Στήριξη με δυνατότητα στροφής του πλαισίου γύρω από ένα ή δύο άξονες

#### i) Στροφή γύρω από ένα άξονα

Η συστοιχία περιστρέφεται μέσω κατάλληλου μηχανισμού γύρω από ένα άξονα ενώ επιστρέφει σε θέση αναμονής με την δύση του ηλίου. Υπάρχουν δύο περιπτώσεις ακολουθίας :

(a) Αζιμουθιακό ηλιοτρόπιο: Η περιστροφή γίνεται ως προς κατακόρυφο άξονα, έτσι ώστε ο ήλιος να βρίσκεται κάθετα στην οριζόντια πλευρά του πλαισίου

(b) Ηλιοτρόπιο πολικού άξονα: Η συστοιχία έχει δυνατότητα περιστροφής γύρω από τον άξονα , με κλίση ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου

#### ii) Στροφή γύρω από δύο άξονες

Η παρακολούθηση του ήλιου με περιστροφή γύρω από δύο άξονες επιτυγχάνεται μέσω δύο κινήσεων του πλαισίου με ηλεκτρικούς κινητήρες, είτε βηματικούς είτε με κινητήρες συνεχούς περιστροφής, με μειωτήρες και έλεγχο στροφών, για τον προσανατολισμό του επιπέδου, κάθετα στην απευθείας ηλιακή ακτινοβολία. Ο προσδιορισμός των κατάλληλων γωνιών στροφής γίνεται με ειδικές διατάξεις (Encoders). Η συγκεκριμένη κατασκευή ονομάζεται ηλιοτρόπιο (Tracker) δύο αξόνων και χαρακτηρίζεται από το ότι το πλαίσιο προσανατολίζεται συνεχώς προς τον ήλιο, ώστε οι ακτίνες του να προσπίπτουν κάθετα στην επιφάνεια του. Μειονέκτημα του tracker είναι η οικονομική επιβάρυνση για την κατασκευή μηχανολογικών και ηλεκτρονικών τμημάτων της, καθώς και η έκθεση της στον κίνδυνο καταστροφής, εξαιτίας ισχυρών ανέμων.



Εικόνα 2. Εφαρμογές Φωτοβολταϊκών Συστημάτων[6].

## 3.3 Ανεμογεννήτριες

### 3.3.1 Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια από τις βασικότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μεγάλης ισχύος. Η κύρια γενεσιουργός αιτία της πηγάζει από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία καθώς απορροφάται από την Γη και από την ατμόσφαιρα, προκαλεί διαφορές στην πίεση, την πυκνότητα και την θερμοκρασία του αέρα, με αποτέλεσμα να θέτουν σε κίνηση μεγάλες αέριες μάζες<sup>[7]</sup>. Σύμφωνα με την μηχανική των ρευστών ο αέρας κινείται από της υψηλής πίεσης προς της χαμηλής πίεσης περιοχές του πλανήτη. Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των τροπικών και των πόλων του πλανήτη προκαλεί ανέμους οι οποίοι δρουν ως εναλλάκτης θερμότητας εμποδίζοντας την περεταίρω ψύξη των πόλων και την θέρμανση του ισημερινού. Επίσης, οι διαφορές της θερμοκρασίας μεταξύ εδάφους και θάλασσας και μεταξύ βουνών και κοιλάδων, δημιουργούν επίσης ισχυρές ροές αέριων μαζών των οποίων η ταχύτητα και η κατεύθυνση επηρεάζονται από τα τοπικά τοπογραφικά χαρακτηριστικά, την περιστροφή της Γης και την διαμόρφωση του εδάφους. Η ύπαρξη του ανέμου ώθησε τον άνθρωπο στην κατασκευή διαφόρων εφαρμογών, με σκοπό την εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας που προσφέρει και την μετατροπή της σε διαφορετικής μορφής ενέργεια, για την διευκόλυνση του στις καθημερινές του ανάγκες.

#### Ιστορική αναδρομή

Από την αρχαιότητα η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας από τον άνθρωπο για την παραγωγή έργου ήταν ευρέως διαδεδομένη. Είτε με την μορφή μεταφορικής κίνησης (π.χ. ιστιοφόρα πλοία), είτε με την μορφή περιστροφικής ενέργειας (π.χ. Ανεμόμυλοι)<sup>[2]</sup>. Η πρώτη εμφάνιση του ανεμόμυλου, κατακόρυφου άξονα, σημειώνεται στην Περσία περίπου το 200 π.Χ., ενώ ανεμόμυλοι οριζοντίου άξονα, σταθερής κατεύθυνσης, πρωτοεμφανίστηκαν τον 10<sup>ο</sup> αιώνα, στις παραμεσόγειες περιοχές. Κατά τον 13<sup>ο</sup> αιώνα παρουσιάστηκαν στην Ευρώπη οι πρώτες πτερωτές με χειροκίνητο προσανατολισμό στην κατεύθυνση του ανέμου, ενώ και πιο εξελιγμένα αιολικά συστήματα κατασκευάστηκαν στην Ολλανδία τον 15<sup>ο</sup> αιώνα.



Εικόνα 3. Ανεμόμυλοι σε Ολλανδία και Ελλάδα.<sup>[8]</sup>

Η εκμετάλλευση του ανέμου με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ξεκίνησε το 1930 με την χρήση ανεμογεννήτριας. Η δομή των διασυνδεδεμένων αιολικών συστημάτων έχει εξελιχθεί από το πρώιμο Δανέζικο μοντέλο της δεκαετίας του '70 σε αυτό των μεγάλων Καλιφορνέζικων και των νεώτερων ευρωπαϊκών εγκαταστάσεων αιολικών πάρκων. Τυπικά, μία διασυνδεδεμένη αιολική εγκατάσταση αποτελούνταν από το πολύ τρεις ή περισσότερες Α/Γ.

Οι ντόπιοι αγρότες, κατασκευαστές και άλλοι πολίτες δημιούργησαν συνεταιρισμούς για να έχουν στην κατοχή τους και να λειτουργούν τις ανεμογεννήτριες και για να χρησιμοποιούν και να πωλούν την παραγόμενη από τις μηχανές ισχύ. Αντίθετα, το μοντέλο της Καλιφόρνιας αφορούσε το σχηματισμό αιολικών πάρκων, δηλαδή την συγκέντρωση μεγάλου αριθμού μηχανών σε σχετικά μικρό χώρο. Οι πρόσφατες ευρωπαϊκές εγκαταστάσεις ακολούθησαν το μοντέλο της Καλιφόρνιας, παρότι υπάρχουν διαφορές στα μεγέθη των εγκαταστάσεων (που οφείλονται κυρίως σε περιορισμούς λόγω της μορφολογίας του εδάφους).

Από το 1993, η αγορά νέων Α/Γ για παραγωγή καθαρής ισχύος από τον άνεμο στην Ευρώπη αναπτύσσεται με ρυθμό άνω του 40% ετησίως. Αυτό ώθησε την Ευρωπαϊκή Εταιρεία Αιολικής Ενέργειας (EWEA) να αυξήσει το στόχο της για την περιοχή κατά 50%, από 40 GW σε 60 GW εγκατεστημένης ισχύος το 2010, από τα οποία τα 5 GW θα είναι υπεράκτια. Για το 2020, ο νέος στόχος που έχει τεθεί από την EWEA είναι για 150 GW, που θα παρέχουν ηλεκτρισμό σε 75 εκατομμύρια ανθρώπους. Περισσότεροι από 20.000 Ευρωπαίοι απασχολούνται στη βιομηχανία αιολικών, της οποίας το μερίδιο στις συνολικές πωλήσεις παγκοσμίως το 1999 ήταν πάνω από 90%. Στην Ελλάδα λειτουργούν αρκετά αιολικά πάρκα, κυρίως διασυνδεδεμένα με το δίκτυο της ΔΕΗ, των οποίων η συνολική εγκατεστημένη ισχύ βρίσκεται σε αρκετά χαμηλό επίπεδο της τάξεως των 746 MW, για το έτος 2006, με στόχο τα 3,3MW έως το τέλος του 2010



Εικόνα 4. Παράκτιες και υπεράκτιες ανεμογεννήτριες[9].

Η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου, δηλαδή το αιολικό δυναμικό, σε πολλά σημεία της χώρας μας βρίσκονται σε αρκετά ικανοποιητικό επίπεδο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο νησιωτικός χώρος μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλος για την εφαρμογή τεχνολογιών αιολικών συστημάτων, καθώς παρουσιάζει μια μέση τιμή ετήσιας ταχύτητας ανέμου από 7-11 m/s, η οποία είναι αρκετή για να καλύψει τις απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια των νησιών αυτών.

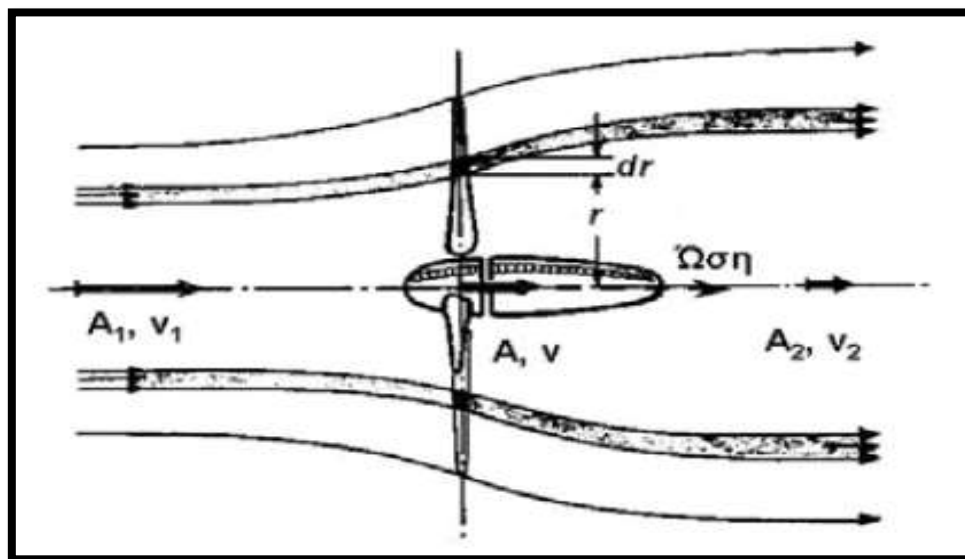
Τοποθεσία Location	Μέση Ταχύτητα Average Speed (m/s)
Τήνος/ Tinos	9.5
Σύρος / Syros	8.1
Κρήτη / Crete	8.1
Λέσβος/ Lesvos	8.7
Εύβοια / Euboea	9.2
Σαμοθράκη/ Samothraki	6.6

Πηγή: ΔΕΗ-ΔΕΜΕ / Source: PPC-DEME

Πίνακας 1. Μέση ταχύτητα ανέμου ανά περιοχή [12].

### 3.3.2 Πυκνότητα ισχύος ανέμου

Ο άνεμος περιέχει ενέργεια η οποία μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρισμό με τη χρήση των ανεμογεννητριών (Α/Γ)[2]. Η ποσότητα ηλεκτρισμού που παράγουν οι Α/Γ εξαρτάται από την ποσότητα της ενέργειας του διερχόμενου μέσω της επιφάνειας που σαρώνεται από τα πτερύγια της Α/Γ στη μονάδα του χρόνου. Αυτή η ροή ενέργειας ονομάζεται πυκνότητα ισχύος του ανέμου. Ειδικότερα, οι δρομείς των Α/Γ ελαττώνουν την ταχύτητα του ανέμου από την ταχύτητα  $V_1$  πολύ πριν από το δρομέα, στη μειωμένη ταχύτητα ροής του αέρα  $V_2$  πίσω από αυτόν (Σχήμα 10).



Σχήμα 10. Η ροή του ανέμου μέσω μίας ανεμογεννήτριας[12].

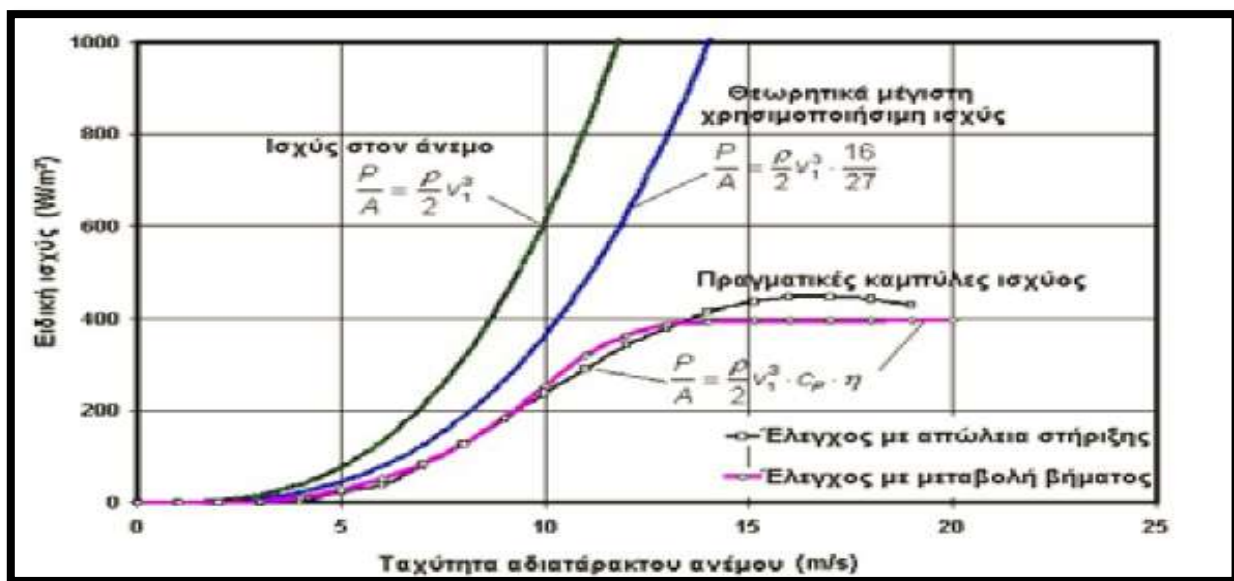


Η διαφορά στην ταχύτητα του ανέμου μεταξύ των δύο σημείων είναι ένα μέτρο της αποσπώμενης από αυτόν κινητικής ενέργειας που περιστρέφει το δρομέα και την ηλεκτρική γεννήτρια που είναι συνδεδεμένη στο άλλο άκρο του συστήματος μετάδοσης της κίνησης<sup>[10]</sup>. Η ισχύς που θεωρητικά παράγεται από μια Α/Γ περιγράφεται από την εξίσωση:

$$P = \frac{\rho}{2} A v^3 C_p$$

όπου  $\rho$  είναι η πυκνότητα του αέρα ( $\text{kg/m}^3$ ),  $C_p$  ο συντελεστής ισχύος, ποσοστό ολικός βαθμός απόδοσης και  $A$  το εμβαδό του περυγίου της ανεμογεννήτριας.

Σε ιδανικές συνθήκες, η μέγιστη τιμή του  $C_p$ , (γνωστή ως "όριο Betz") είναι:  $16/27 = 0,593$  δηλαδή μια Α/Γ μπορεί θεωρητικά να εκμεταλλευτεί το 59,3% της ενέργειας ροής του αέρα. Υπό πραγματικές συνθήκες, όμως, ο συντελεστής ισχύος δεν υπερβαίνει την τιμή  $C_p = 0,5$ , αφού περιλαμβάνει όλες τις αεροδυναμικές απώλειες της Α/Γ. Πράγματι, στις περισσότερες τεχνικές δημοσιεύσεις η τιμή του  $C_p$  περιλαμβάνει όλες τις απώλειες και στην ουσία, αποτελεί συντόμευση του  $C_p$  π. Στο σχήμα 5 παρουσιάζονται διαφορετικά περιεχόμενα και απολαβές ισχύος ανάλογα με το συντελεστή ισχύος και την απόδοση μιας Α/Γ, θεωρητικές και πραγματικές καμπύλες ισχύος ως συνάρτηση του ανέμου και του τρόπου ελέγχου της ανεμογεννήτριας.



Σχήμα 11. Η παραγόμενη ισχύς ανά μονάδα επιφάνειας του δίσκου του δρομέα συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου <sup>[12]</sup>.

Όπως προκύπτει από την εξίσωση ισχύος ανεμογεννήτριας, ένα βασικό ζήτημα της πυκνότητας ισχύος του ανέμου αποτελεί η εξάρτησή της από τον κύβο της ταχύτητας του ανέμου. Έτσι, εάν διπλασιαστεί η ταχύτητα, τότε η ισχύς που περιέχεται στον άνεμο θα αυξηθεί κατά οκτώ φορές. Στην πράξη, όμως, η σχέση μεταξύ της παραγόμενης ισχύος μιας Α/Γ και της ταχύτητας του ανέμου είναι διαφορετική. Όπως φαίνεται από τις καμπύλες του σχήματος 5, η πραγματική καμπύλη ισχύος μιας Α/Γ περιγράφεται συνήθως ως προς τέσσερις περιοχές της ταχύτητας του ανέμου, οι οποίες αναλύονται στον πίνακα 2.

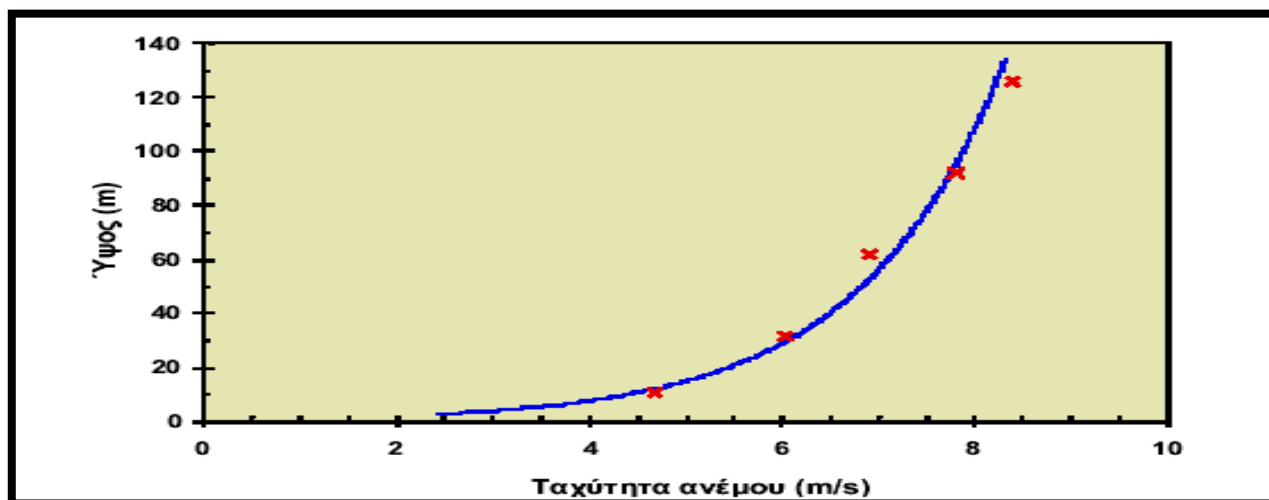
Απ' ότι φαίνεται από τον πίνακα 2, η Α/Γ παράγει και παρέχει ισχύ μόνο στο εύρος των ταχυτήτων του ανέμου που καθορίζονται από τις περιοχές 2 και 3. Στην περιοχή 1 (κάτω από την ταχύτητα εκκίνησης) δεν υπάρχει αρκετή ενέργεια στον άνεμο ώστε να παραχθεί εκμεταλλεύσιμη ισχύς. Στην περιοχή 4 (πέρα από την ταχύτητα διακοπής) η παραγόμενη ισχύς διατηρείται σταθερή ή αρχίζει να μειώνεται, ενώ σε πολύ δυνατούς ανέμους μπορεί και να διακόπτεται η λειτουργία της Α/Γ για να αποτραπεί κάποια ζημιά σε αυτή. Τότε οι άνεμοι είναι πάρα πολύ ισχυροί για να δικαιολογηθεί η πρόσθετη δομική αντοχή της και το επιπλέον κόστος σχετικά με το μικρό αριθμό ωρών ανά έτος κατά τις οποίες παρατηρούνται ταχύτητες ανέμου εντός της περιοχής 4. Η πυκνότητα ισχύος του ανέμου εξαρτάται επίσης από την πυκνότητα του αέρα. Αυτή σε μεγαλύτερα ύψη μειώνεται και κατά συνέπεια, μειώνεται και η διαθέσιμη ισχύς. Η επίδραση αυτή μπορεί να προκαλέσει μείωση στην παραγωγή ισχύος των Α/Γ σε ψηλά βουνά κατά 40% τουλάχιστον έναντι της ισχύος που θα μπορούσε να παραχθεί με τις ίδιες ταχύτητες ανέμου στο επίπεδο της θάλασσας. Στο συγκεκριμένο σημείο αξίζει να παρατηρήσουμε πως σε μεγάλα υψόμετρα επικρατούν συνήθως υψηλότερες ταχύτητες ανέμου άρα και η απώλεια ισχύος ενδέχεται να μην είναι τόσο μεγάλη. Η πυκνότητα του αέρα εξαρτάται αντίστροφα από τη θερμοκρασία, οπότε οι πιο χαμηλές θερμοκρασίες ευνοούν τις μεγαλύτερες πυκνότητες του αέρα και τη μεγαλύτερη παραγωγή αιολικής ισχύος.

Περιοχή Λειτουργίας	Περιγραφή Λειτουργίας : Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου	Ενδεικτικό εύρος ταχύτητας του ανέμου (αναφορικά με το σχήμα 1.3)
Περιοχή 1	Οι ταχύτητες του ανέμου είναι πολύ μικρές για παραγωγή εκμεταλλεύσιμης ισχύος	0 έως ταχύτητα εκκίνησης 0 έως 4 m/s
Περιοχή 2	Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος αυξανόμενη με την ταχύτητα του ανέμου	Ταχύτητα εκκίνησης έως ονομαστική ταχύτητα του ανέμου 4 έως 13 m/s
Περιοχή 3	Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με σταθερό ρυθμό. Η απόδοση των πτερυγίων της Α/Γ μειώνεται σκόπιμα καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου	Ονομαστική ταχύτητα ανέμου έως ταχύτητα διακοπής 13 έως 20 m/s (ή περισσότερο)
Περιοχή 4	Δεν παράγεται ισχύς. Οι άνεμοι είναι πολύ δυναμικοί ώστε να δικαιολογείται η πρόσθετη αντοχή και δαπάνη για το μικρό αριθμό ωρών ανά έτος πέραν της ταχύτητας διακοπής.	Ταχύτητα διακοπής έως ταχύτητα επιβίωσης. 20 m/s ( ή περισσότερο έως την ονομαστική ταχύτητα επιβίωσης σε θυελλώδεις ανέμους)

Πίνακας 2 Περιοχές λειτουργίας ανεμογεννήτριας, συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου<sup>[2]</sup>.

## Εξάρτηση της ταχύτητας του ανέμου από το ύψος

Η σχέση για τον υπολογισμό της παραγόμενης ισχύος από μια Α/Γ δείχνει ότι εξαρτάται από την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου στο σημείο, την πυκνότητα του αέρα, το μέγεθος του δρομέα και τον τεχνικό σχεδιασμό. Ειδικά, το ύψος του πύργου επηρεάζει σημαντικά την ενεργειακή παραγωγή, λόγω της αύξησης της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος επάνω από το επίπεδο του εδάφους, φαινόμενο γνωστό ως «διάτμηση» του ανέμου. Ο βαθμός της διάτμησης του ανέμου εξαρτάται κυρίως από δύο παράγοντες, την ατμοσφαιρική μίξη και την τραχύτητα του εδάφους. Η τραχύτητα του εδάφους επιδρά στη διάτμηση του ανέμου καθορίζοντας το πόσο επιβραδύνεται ο άνεμος κοντά στο έδαφος. Σε περιοχές με υψηλό βαθμό τραχύτητας όπως τα δάση ή οι πόλεις, οι ταχύτητες του ανέμου κοντά στην επιφάνεια είναι μικρές και η διάτμηση του ανέμου μεγάλη, ενώ το αντίστροφο ισχύει σε περιοχές με μικρή τραχύτητα όπως είναι οι επίπεδοι, ανοικτοί αγροί. Η διάτμηση του ανέμου μπορεί να ελαττωθεί πολύ ή να εξαλειφθεί όπου υπάρχει μια απότομη αλλαγή στο ύψος του πεδίου, όπως μια απότομη ακρογιαλιά ή κορυφογραμμή. Στο σχήμα 1.5 παρουσιάζεται μια πιθανή μορφή της χαρακτηριστικής της ταχύτητας του ανέμου συναρτήσεως του ύψους.

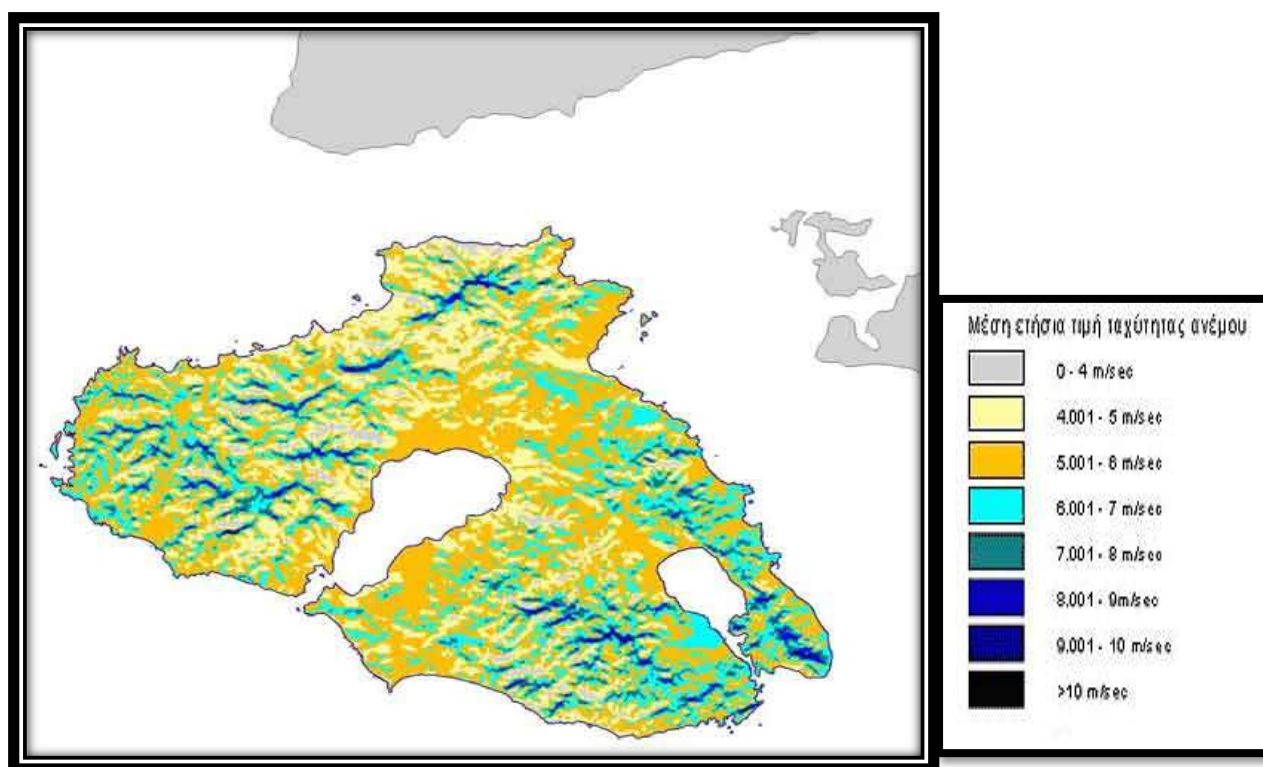


Σχήμα 12. Κατανομή της ταχύτητας του ανέμου συναρτήσεως του ύψους [12].

Στο ύψος της πλήμνης μιας Α/Γ, οι ατμοσφαιρικές αναταραχές προκαλούν συχνά αύξηση της ταχύτητας του ανέμου την ημέρα και μείωσή της τη νύχτα. Επίσης, το εύρος της μεταβολής μεταξύ νύχτας και ημέρας μειώνεται καθώς αυξάνεται το ύψος της πλήμνης. Σε ύψος περίπου 10m η ημερήσια μεταβολή μπορεί να είναι πολύ έντονη, αλλά καθώς αυτό αυξάνεται στα 50m αυτή εξασθενεί ή μπορεί ακόμη και να εξαφανιστεί. Η κατανομή της ταχύτητας του ανέμου μπορεί και πάλι να εφαρμοσθεί στα 100m, με κατάλληλες διορθώσεις ώστε να ληφθούν υπόψη οι παραπάνω μεταβολές στον ατμοσφαιρικό αέρα. Για την εξοικονόμηση χρημάτων, οι μετρήσεις του ανέμου μερικές φορές λαμβάνονται σε χαμηλότερο ύψος από αυτό του πύργου της Α/Γ. Στην περίπτωση αυτή, είναι απαραίτητο να μετρηθεί η διάτμηση του ανέμου σε διαφορετικές χρονικές στιγμές της ημέρας και σε διαφορετικές εποχές προκειμένου να προβλεφθεί με ακρίβεια η απόδοση μιας εγκατάστασης αιολικής ενέργειας. Η διάτμηση μπορεί να μετρηθεί με την παρακολούθηση των ταχυτήτων του ανέμου σε δύο ή τρία ύψη ενός πύργου.

## Χωρικές μεταβολές ανέμου

Όπως έχει αποδειχθεί [2], τα χαρακτηριστικά του αιολικού δυναμικού μπορεί να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ γειτονικών θέσεων. Για προφανείς λόγους, οι ισχυρότεροι άνεμοι εμφανίζονται συνήθως σε καλά εκτεθειμένες τοποθεσίες. Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά του εδάφους, όπως οι λόφοι και οι κορυφογραμμές, μπορούν να επιταχύνουν τον άνεμο κατά το πέρασμά του από αυτά. Μια κορυφογραμμή είναι συνήθως ιδανική όταν είναι προσανατολισμένη κάθετα προς την κατεύθυνση του ανέμου και έχει μια μέση κλίση. Πάντως, σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να παρατηρηθούν ισχυροί άνεμοι σε μη προφανείς θέσεις. Για παράδειγμα, μπορεί να είναι ιδανικές για αιολικές μονάδες οι φαρδιές διαβάσεις αφού διοχετεύουν τους ανέμους που περνούν επάνω από μια οροσειρά και καθώς μπορεί να δημιουργούνται άνεμοι από τον ψυχρό αέρα που κατεβαίνει από τις κορυφές των βουνών στις κοιλάδες. Πολύ σημαντικό ρόλο στην επιλογή κατάλληλης θέσης εγκατάστασης μίας Α/Γ παίζει το πεδίο ροής του αέρα σε μια περιοχή με εμπόδια όπως μία κατοικία ή ένα δέντρο. Γύρω από το εμπόδιο και κυρίως, πίσω απ' αυτό, κατά την κατεύθυνση του ανέμου, δημιουργείται χώρος έντονων αναταράξεων, ο οποίος ορίζεται ως «σκιά του ανέμου»[7] και πρέπει να αποφεύγεται κατά την εγκατάσταση των αιολικών μηχανών. Για την πρόβλεψη των ταχυτήτων του ανέμου σε σύνθετα εδάφη, επάνω από κτίρια και άλλα εμπόδια, έχει αναπτυχθεί πληθώρα εργαλείων, μεταξύ των οποίων και περίπλοκα υπολογιστικά μοντέλα. Πάντως, η τελική επιλογή γίνεται αφού χρησιμοποιηθούν και μια πληθώρα άμεσων μετρήσεων.



Σχήμα 13. Μέση ετήσια τιμή ταχύτητας ανέμου στην Λέσβο [11].



### 3.3.3 Περιγραφή των αιολικών μηχανών

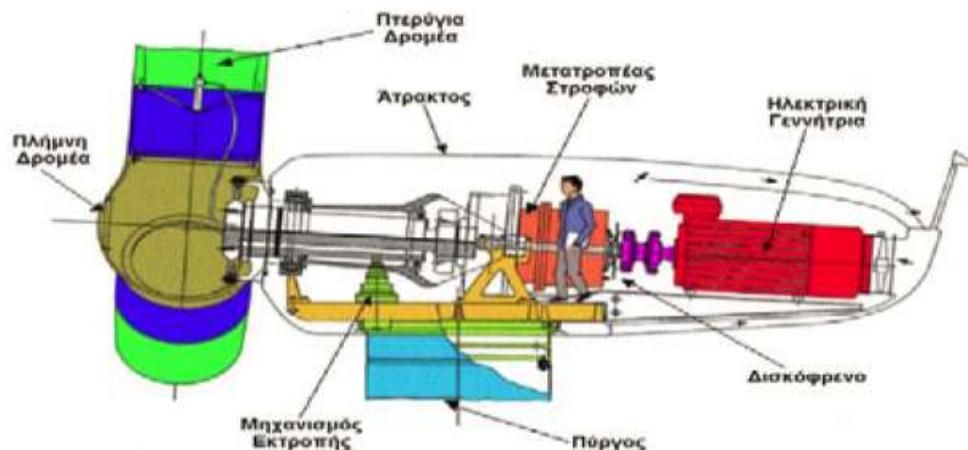
Οι ανεμογεννήτριες είναι κατασκευασμένες με τέτοιο τρόπο ώστε να παράγουν ικανοποιητικά ποσά κινητικής ενέργειας από υψηλούς ανέμους. Στην συνέχεια μετατρέπει, μέσω κατάλληλων διατάξεων, την ενέργεια αυτή σε ωφέλιμη ηλεκτρική. Εάν και δεν υπάρχει κάποια μέθοδος ταξινόμησης των υποσυστημάτων των Α/Γ, θα μπορούσαν να διαιρεθούν σε (4) τέσσερα βασικά υποσυστήματα :

1. Τον δρομέα, συνήθως αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια, μία πλήμνη μέσω της οποίας συνδέονται τα πτερύγια με τον κύριο άξονα, ενώ μερικές φορές είναι εφοδιασμένος και με υδραυλικά ή μηχανικά οδηγούμενα συστήματα για την μεταβολή του βήματος των πτερυγίων. Ανάλογα με το πλήθος και την κατασκευή των πτερυγίων οι ανεμογεννήτριες έχουν τους αντίστοιχους λόγους ταχύτητας ακροπτερυγίου



Σχήμα 14 Τυπικά διαγράμματα  $C_p$ - $\lambda$  για διάφορες ανεμογεννήτριες [12].

2. Την άτρακτο, η οποία περιλαμβάνει τον κύριο άξονα, ένα μετατροπέα στροφών για την μετάδοση της κίνησης, μία ηλεκτρογεννήτρια, άξονες και συνδέσμους, ένα κάλυμμα για ολόκληρη την άτρακτο, ένα δισκόφρενο και ένα σύστημα εκτροπής



Σχήμα 15 Άτρακτος μιας Α/Γ [12].

3. Τον πύργο και την θεμελίωση που στηρίζουν τον δρομέα και το σύστημα μετάδοσης της κίνησης. Ανυψώνει τον δρομέα σε αρκετά μεγάλα ύψη όπου οι ταχύτητες του ανέμου είναι αρκετά υψηλές, συνεπώς η κατασκευή του και η θεμελίωση πρέπει να είναι ανθεκτικές στις υψηλές ροπές που εμφανίζονται αλλά και στις ταλαντώσεις που αναπτύσσονται λόγω της συχνότητας περιστροφής του δρομέα. Οι πιο διαδεδομένοι τύποι πύργων είναι οι σταθεροί σωληνωτοί και οι σταθεροί δικτυωτοί.



Εικόνα 5 Α/Γ με σωληνωτό πύργο και με δικτυωτό πύργο αντίστοιχα [12].

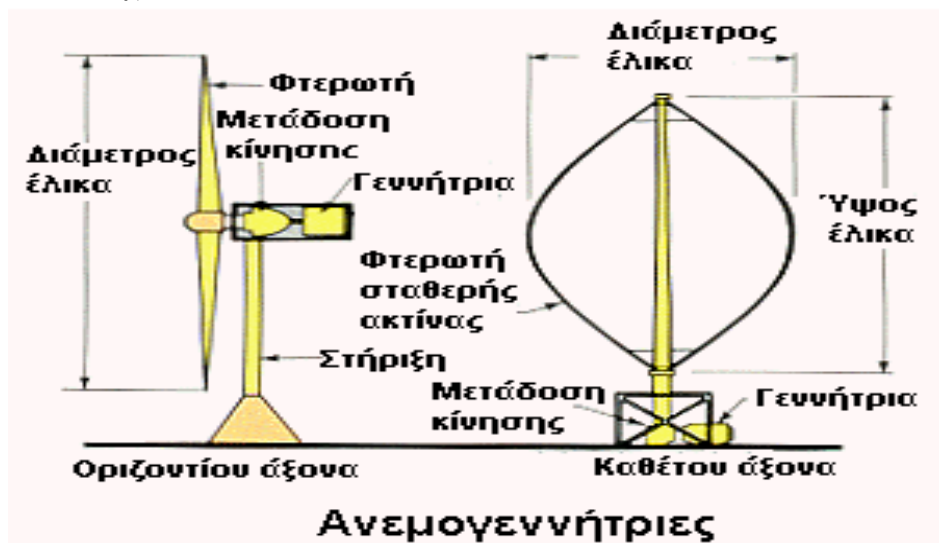
4. Τους ηλεκτρονικούς ελεγκτές και τις καλωδιώσεις ο οποίοι ελέγχουν και μεταφέρουν την παραγόμενη ισχύ από την Α/Γ στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο που μπορεί να βρίσκεται αρκετά χιλιόμετρα μακριά.



Εικόνα 6 Πίνακας ελέγχου και καλωδιώσεις Α/Γ

### 3.3.4 Κατηγορίες ανεμογεννητριών

Δύο είναι τα βασικά είδη ανεμογεννητριών τα οποία έχουν εδραιωθεί στην αγορά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βασικό αυτό του συστήματος Α/Γ Οριζοντίου Άξονα(ΑΓΟΑ). Το δεύτερο είναι αυτό της Α/Γ Καθέτου Άξονα(ΑΓΚΑ) η οποία δεν χρησιμοποιείται τόσο όσο η ΑΓΟΑ. Οι πρώτες είναι οι πιο διαδεδομένες στην αγορά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλης ισχύος και βρίσκει εφαρμογές σε αιολικά πάρκα τοποθετημένα σε μεγάλες βουνοκορφές αλλά και σε κατάλληλες ακτογραμμές. Σε αντίθεση με του ΑΓΚΑ οι οποίες έχουν αρκετά μειονεκτήματα σε σχέση του ΑΓΟΑ με σημαντικότερα από αυτά το σύστημα προσανατολισμού που είναι απαραίτητο στις ΑΓΚΑ, ειδικές απαιτήσεις του πύργου στήριξης, ανάγκη ρύθμισης του βήματος της πτερωτής για τον έλεγχο της ισχύος της γεννήτριας, χρειάζεται εξωτερική βοήθεια κατά την εκκίνηση, έχουν μικρό συντελεστή ισχύος και η στερέωση στο έδαφος απαιτεί μεγάλου μεγέθους εγκαταστάσεις περιορίζοντας τους τόπους εκμετάλλευσης.



Σχήμα 16 Ανεμογεννήτριες Οριζοντίου και Καθέτου Άξονα αντίστοιχα<sup>[13]</sup>.

Η διαδικασία από την παραγωγή και την μεταφορά μέχρι την κατανάλωση της αιολικής ισχύος από μια ανεμογεννήτρια είναι η εξής<sup>[14]</sup>:

1. Καθώς ο άνεμος αλληλεπιδρά με τον δρομέα της ανεμογεννήτριας εμφανίζεται μία ροπή
2. Η χαμηλής συχνότητας περιστροφή του δρομέα αυξάνεται μέσω του μετατροπέα στρωφών, του οποίου ο άξονας εξόδου περιστρέφει μία γεννήτρια
3. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την γεννήτρια διέρχεται από το σύστημα ελέγχου και των αποζευκτών της Α/Γ
4. Το σύστημα καλωδίωσης μεταφέρει την ενέργεια στον μετασχηματιστή
5. Υποσταθμοί μετασχηματιστών διαμορφώνουν κατάλληλα την τάση ανάλογα με την χρήση(κατοικίες- βιομηχανίες) και τα τοπικά δίκτυα χαμηλής τάσης την μεταφέρουν στην κατανάλωση

### 3.4 Υβριδικά συστήματα

Ο όρος υβριδικά συστήματα χρησιμοποιείται για την περιγραφή των συστημάτων τα οποία αποτελούνται από τον συνδυασμό δύο ή περισσότερων πηγών με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας[1]. Σύμφωνα με πολλούς ειδικούς ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με την χρήση κάθε πηγής ξεχωριστά.

Στον Ελλαδικό χώρο επικρατεί μεσογειακό κλίμα, με βασικά χαρακτηριστικά την υψηλή ηλιακή ακτινοβολία και την χαμηλή ταχύτητα ανέμου κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, ενώ το αντίθετο συμβαίνει κατά την διάρκεια του χειμώνα όπου υπάρχει σχετικά μικρή ηλιοφάνεια με πολύ ισχυρούς ανέμους. Συνεπώς, τα φωτοβολταϊκά και οι ανεμογεννήτριες φτάνουν τις μέγιστες τιμές απόδοσης τους σε διαφορετικές στιγμές μέσα στον χρόνο. Άρα, με σωστή διαστασιολόγηση, ένα υβριδικό σύστημα μπορεί να γίνει πιο αποδοτικό και να παράγει μεγαλύτερα ποσά ενέργειας απ' ότι θα παρήγαγαν ένα μεμονωμένο αιολικό ή ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.

Τα υβριδικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως διασυνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας αλλά και ως αυτόνομα συστήματα σε απομακρυσμένες περιοχές. Στην περίπτωση που το υβριδικό σύστημα δεν μπορεί να καλύψει πλήρως την ανάγκη ηλεκτρικής ενέργειας, συνδυάζεται με την χρήση συσσωρευτών ή ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους (πετρελαιοκινητήρα-γεννήτριας). Εάν οι συσσωρευτές αδειάσουν η γεννήτρια ή το υβριδικό μπορεί να τους επαναφορτίσει, ενώ η λειτουργία τους μπορεί να καλύψει την τροφοδοσία μιας κατοικίας για μια έως τρεις ημέρες. Η προσθήκη ενός ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους οδηγεί την λειτουργία του συστήματος σε πιο πολύπλοκες καταστάσεις οι οποίες μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με την χρήση κατάλληλων ηλεκτρονικών ελεγκτών παρέχοντας πολλές αυτόματες λειτουργίες.

Στο σχήμα 16 περιγράφεται το διάγραμμα ενός τυπικού υβριδικού συστήματος με την χρήση φωτοβολταϊκών, ανεμογεννήτριας, συσσωρευτών και ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους.



Σχήμα 17 Αναπαράσταση ενός τυπικού υβριδικού συστήματος [2].



### 3.4.1 Ηλεκτρονικές διατάξεις ενός υβριδικού συστήματος

Τα επιμέρους τμήματα που αποτελούν ένα υβριδικό σύστημα συμπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας<sup>[2]</sup> γενικά περιλαμβάνουν τα εξής :

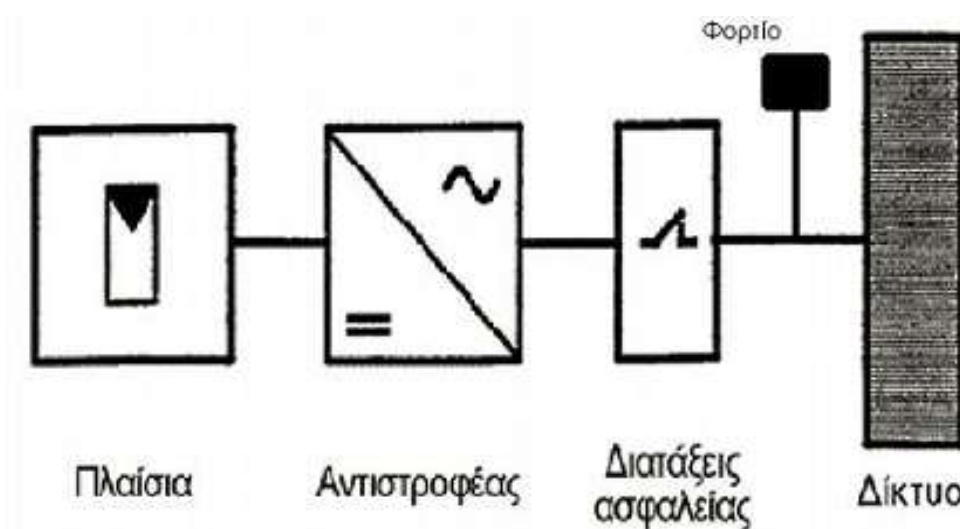
1. Φωτοβολταϊκά
2. Ανεμογεννήτριες
3. Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος
4. Συσσωρευτές
5. Ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτών
6. Αντιστροφείς για διασυνδεδεμένα συστήματα στο δίκτυο της ΔΕΗ
7. Ελεγκτές του συστήματος

Όπου το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, οι συσσωρευτές και ο ρυθμιστής φόρτισης των συσσωρευτών αποτελούν προαιρετικές προσθήκες όταν η παραγόμενη ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά και τις ανεμογεννήτριες δεν είναι αρκετές για την κάλυψη του φορτίου.

#### Αντιστροφείς για συνδεδεμένα συστήματα

Τα συστήματα ΑΠΕ συνήθως παράγουν συνεχές ρεύμα (ΣΡ) χαμηλής τάσης. Η ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται από το δίκτυο είναι της μορφής εναλλασσόμενου ρεύματος (ΕΡ) οπότε οι περισσότερες ηλεκτρικές συσκευές κατασκευάζονται έτσι ώστε να είναι συμβατές με αυτή την τροφοδοσία. Επομένως, ένα σύστημα ΑΠΕ θα πρέπει να παράγει ηλεκτρική ενέργεια τέτοια που να μπορεί να τροφοδοτήσει τις κοινές ηλεκτρικές συσκευές, οι οποίες αποτελούν και το φορτίο του συστήματος.

Ένα υβριδικό σύστημα φωτοβολταϊκών που εγκαθίσταται σε μια κατοικία είναι ικανό να συνδεθεί και να παρέχει ηλεκτρική ισχύ στο εθνικό δίκτυο ηλεκτρισμού (ΔΕΗ). Αντίστροφα, κατά τις περιόδους της συννεφιάς και της νύχτας, το δίκτυο μπορεί να παρέχει την αναγκαία ηλεκτρική ισχύ για την τροφοδοσία των φορτίων.



Σχήμα 18 Διάγραμμα κυκλώματος ενός διασυνδεδεμένου στο δίκτυο Φ/Β συστήματος [2].

---

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, τα συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα ΑΠΕ αποτελούνται από τα εξής μέρη :

- Τη μονάδα ηλεκτροπαραγωγής
- Ένα αντιστροφέα
- Το κύκλωμα ασφαλείας (σύνδεση με το δίκτυο)

Ο αντιστροφέας είναι η καρδιά του συστήματος, καθώς μετατρέπει το ΣΡ που παράγεται από το σύστημα σε ΕΡ. Ο σχεδιασμός του συστήματος αρχίζει με την επιλογή κατάλληλου αντιστροφέα, καθώς αυτός καθορίζει το επίπεδο της τάσης και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της. Επίσης, καθορίζουν τον ημερήσιο ρυθμό λειτουργίας. Στην περίπτωση του φωτοβολταϊκού συστήματος, τα ηλεκτρονικά στοιχεία του μετατροπέα εξασφαλίζουν ότι η λειτουργία ξεκινά τη σωστή ώρα το πρωί, μόλις τα φωτοβολταϊκά δεχτούν αρκετή ισχύ. Ο έξυπνος έλεγχος του μετατροπέα περιλαμβάνει την παρακολούθηση του σημείου μέγιστης ισχύος, δηλαδή την συνεχή αναπροσαρμογή στο σημείο βέλτιστης λειτουργίας. Επίσης, στον αντιστροφέα προσαρμόζονται προστατευτικές διατάξεις, οι οποίες αποσυνδέουν αυτόματα το δίκτυο σε περίπτωση που εμφανιστούν ανωμαλίες στο δίκτυο, ενώ ορισμένα διαθέτουν και ειδικές διατάξεις καταγραφής των δεδομένων.

Οι ηλεκτρικές απαιτήσεις από τους διασυνδεδεμένους αντιστροφείς είναι οι εξής<sup>[2]</sup> :

- Υψηλή αποδοτικότητα υπό μερικό φορτίο
- Καθορισμένη λειτουργία κατά την υπερφόρτιση
- Λειτουργία συνεχώς στο σημείο μέγιστης ισχύος
- Τροφοδοσία των ηλεκτρονικών ελέγχου
- Χαμηλή διακύμανση της τάσης
- Ανοχή του αντιστροφέα σε συνθήκες βραχυκυκλώματος και ανοιχτού κυκλώματος
- Απλή λειτουργία για τον χρήστη
- Αυτόματη αποσύνδεση στις μεγάλες διακυμάνσεις της τάσης και της συχνότητας
- Γαλβανική απομόνωση από το δίκτυο
- Παρακολούθηση της σύνδεσης της γείωσης
- Συντελεστή ισχύος  $\cos\varphi > 0,9$
- Έλεγχο και περιορισμό των αρμονικών της τάσεως ΕΡ από το δίκτυο

### **Τύποι συνδεδεμένων αντιστροφέων**

Υπάρχουν διάφοροι τύποι αντιστροφέων με βασικότερους τους παρακάτω :

- Αντιστροφείς οδηγούμενοι από το δίκτυο
- Αντιστροφείς με διαμόρφωση του εύρους των παλμών και μετασχηματιστή χαμηλής συχνότητας (ΧΣ)
- Διακοπτικοί αντιστροφείς με διαμόρφωση του εύρους των παλμών και μετασχηματιστή υψηλής συχνότητας (ΥΣ)

## Ελεγκτές του συστήματος

Σε υβριδικά συστήματα με περισσότερες από μια πηγές ενέργειας απαιτείται επιπλέον έλεγχος ο οποίος πραγματοποιείται μέσω εξελιγμένων ελεγκτών. Συνήθως, ελέγχονται μέσω Η/Υ όπου τους τροφοδοτούν με δεδομένα που αφορούν στοιχεία του συστήματος και στην συνέχεια μέσω επεξεργαστών μεταβάλλεται η λειτουργία τους ανάλογα με τις απαιτήσεις. Οι βασικές λειτουργίες των ελεγκτών είναι οι εξής:

- Αποσύνδεση ή επανασύνδεση των ΑΠΕ
- Αποσύνδεση ή επανασύνδεση των φορτίων
- Διαχείριση των φορτίων
- Εκκίνηση πετρελαιοκινητήρα εάν η τάση των συσσωρευτών είναι χαμηλή ή εάν αυξηθεί πολύ το φορτίο
- Συγχρονισμό των πηγών ενέργειας ΕΡ
- Διακοπή της λειτουργίας των επιμέρους συστημάτων σε περίπτωση υπερφόρτωσης
- Παρακολούθηση και καταγραφή των βασικών παραμέτρων του συστήματος

## 3.5 Γεωθερμική Ενέργεια

Ως γεωθερμική ενέργεια ορίζεται η θερμότητα που ρέει από τα κατώτερα και θερμότερα στρώματα της γης προς την επιφάνεια της<sup>[15]</sup>. Για τον χαρακτηρισμό της μεταβολής της θερμοκρασίας με το βάθος, έχει οριστεί η έννοια της γεωθερμικής βαθμίδας. Ως μέση (ή ομαλή) γεωθερμική βαθμίδα καλείται το μέσο βάθος που απαιτείται για την αύξηση της γήινης θερμοκρασίας κατά 1K και είναι περίπου ίσο με 33m. Περιοχές όπου η γεωθερμική βαθμίδα είναι πολλαπλάσια, αποτελούν περιοχές γεωθερμικών πεδίων και είναι ιδιαίτερα συμφέρουσες για την εκμετάλλευση της ενέργειας των θερμών ρευστών που αντλούνται από αυτές. Η μετάδοση της θερμότητας πραγματοποιείται με δύο τρόπους :

1. Με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με ρυθμό 0,04-0,06
2. Με μεταφορά μέσω ρευμάτων θερμότητας που περιορίζονται όμως στις ζώνες κοντά στα σύνορα λιθωφαιρικών πλακών, λόγω ηφαιστειακών και υδροθερμικών φαινομένων

## Ιστορική αναδρομή

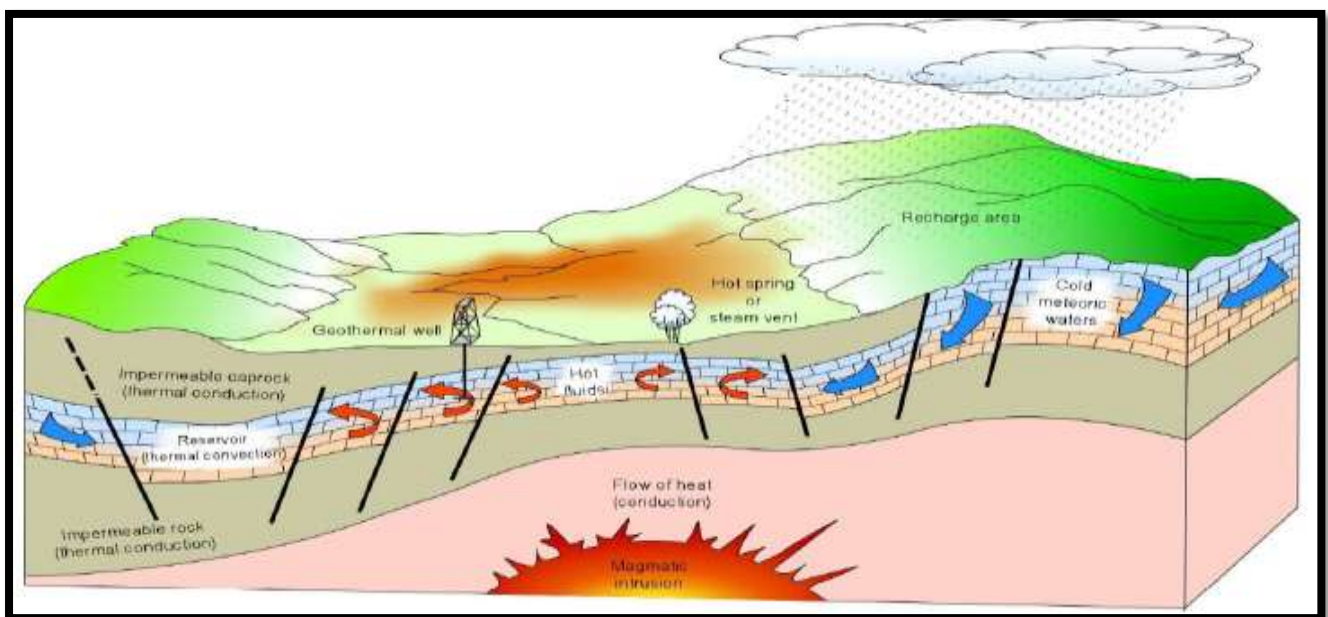
Η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ιταλία το 1903<sup>[18]</sup>. Το πρωτοποριακό έργο πραγματοποιήθηκε στο γεωθερμικό πεδίο του Larderello όπου μέχρι και σήμερα παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Σήμερα, ένα σημαντικό ποσό ηλεκτρικής ενέργειας παράγεται από την εκμετάλλευση γεωθερμικών πεδίων. 20 χώρες σε όλο τον κόσμο με βάση την γεωθερμική ενέργεια παράγουν περισσότερο από 5700 MW ηλεκτρικής ενέργειας. Οι Η.Π.Α. ηγούνται της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας με περισσότερο από 2500 MW, με το μεγαλύτερο γεωθερμικό πεδίο στον κόσμο στο Geysers της Βόρειας Καλιφόρνια. Σήμερα, εκτός από την αξιοποίηση της γεωθερμικής ενέργειας για την παραγωγή

ηλεκτρικής ενέργειας, μεγάλη ανάπτυξη παρουσιάζουν και για την κάλυψη των θερμικών αναγκών κτιριακών εγκαταστάσεων. Η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας ομαλής ενθαλπίας με γεωθερμικές αντλίες άρχισε στις τεχνολογικά προηγμένες χώρες, όπως είναι οι Η.Π.Α., ο Καναδάς, η Σουηδία, η Γαλλία, η Ελβετία και η Γερμανία γύρω στο 1980 μετά την άνοδο των τιμών του πετρελαίου στην δεκαετία του 1970. Μεχρι το 1990 υπήρχε σε λειτουργία σημαντικός αριθμός εγκαταστάσεων με γεωθερμικές αντλίες στις χώρες αυτές, που αυξάνεται με γρήγορο ρυθμό μέχρι και σήμερα.

### 3.5.1 Η Γη σαν πηγή θερμότητας

Ήταν ήδη γνωστό από τον 17<sup>ο</sup> αιώνα ότι η θερμοκρασία σε βαθιά ορυχεία είναι μεγαλύτερη από αυτή της επιφάνειας της γης. Μια τέτοια θερμοκρασιακή βαθμίδα προϋποθέτει ροή θερμότητας από το εσωτερικό προς την επιφάνεια και δημιουργεί πολλά ερωτηματικά που αφορούν στο ποσό της θερμότητας, την διακύμανση του από μέρος σε μέρος και την προέλευση του. Αν η θερμότητα μεταφέρεται με αγωγή το ποσό που αναδύεται από την γη ανά μονάδα επιφάνειας είναι ίσο προς το γινόμενο της θερμοκρασιακής βαθμίδας επί το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Ο στόχος της έρευνας για ανακάλυψη γεωθερμικών πεδίων είναι η εύρεση δεξαμενής θερμού ρευστού με την επιθυμητή θερμοκρασία και διαπερατότητα, ώστε να δικαιολογείται η οικονομική του εκμετάλλευση.

Η εκλογή της ευρύτερης περιοχής για αρχική παρατήρηση γίνεται με κριτήριο την ύπαρξη, θέση και συσχετισμό επιφανειακών θερμικών εκδηλώσεων (θερμός ατμός) σε σχέση με την γεωλογία της περιοχής. Όταν δεν διατίθενται αρκετοί πόροι για έρευνα χρησιμοποιούνται πληροφορίες από τους κατοίκους της περιοχής. Στην αντίθετη περίπτωση χρησιμοποιείται η υπέρυθρη αεροφωτογράφιση, μέθοδος που είναι αρκετά αξιόπιστη και γρήγορη. Μετά τον αρχικό εντοπισμό των θερμικών εκδηλώσεων πρέπει να συλλεχθούν τα ακόλουθα στοιχεία για κάθε μία: Τύπος, θερμοκρασία, ογκομετρική περιοχή, τοπική γεωλογική κατάσταση, χημική ανάλυση.



Σχήμα 19. Σχηματική αναπαράσταση ενός ιδανικού γεωθερμικού συστήματος[16].



Τα γεωθερμικά πεδία ανάλογα με την θερμοκρασία του ρευστού χωρίζονται σε<sup>[18]</sup>:

- Υψηλής ενθαλπίας. Όταν η θερμοκρασία των παραγόμενων ρευστών ξεπερνά τους 150 °C. Τα ρευστά αυτά αποτελούνται στις περισσότερες περιπτώσεις από μίγμα υγρού ατμού και θερμού νερού.
- Μέσης ενθαλπίας με θερμοκρασίες ρευστών μεταξύ 150-90
- Χαμηλής ενθαλπίας με θερμοκρασίες ρευστών μεταξύ 100-25
- Ομαλής ενθαλπίας με θερμοκρασίες ρευστών μικρότερες των 25

180°C	Εξάτμιση συμπυκνωμένων διαλυμάτων, Ψύξη με απορρόφηση, Κατεργασία χαρτομάζας
170°C	Παραγωγή βαρέως ύδατος, Ξήρανση διατομών
160°C	Ξήρανση ψαριών, Ξυλείας
150°C	Παραγωγή αλουμίνας με τη μέθοδο Bayer
140°C	Ξήρανση αγροτικών προϊόντων, Κονσερβοποίηση
130°C	Εξάτμιση στην παραγωγή ζάχαρης, Ανάκτηση αλάτων με εξάτμιση και κρυστάλλωση
120°C	Παραγωγή γλυκού νερού με απόσταξη
110°C	Ξήρανση τσιμεντόλιθων
100°C	Ξήρανση οργανικών ουσιών, φυκιών, οσπρίων κ.λ.π., Πλύσιμο και ξήρανση μαλλιού
90°C	Ξήρανση ψαριών
80°C	Θέρμανση οικισμών - θέρμανση θερμοκηπίων
70°C	Ψύξη (κατώτερο όριο)
60°C	Εκτροφή διαφόρων ζώων
50°C	Καλλιέργεια μανιταριών, Ιαματικά λουτρά
40°C	Θέρμανση εδάφους - Θέρμανση οικισμών
30°C	Πισίνες, Ζύμωση, Θέρμανση θερμοκηπίων με ακτινωτό δίκτυο αγωγών
20°C	Ιχθυοκαλλιέργειες
T < 20°C	Εγκαταστάσεις αξιοποίησης ομαλού γεωθερμικού πεδίου

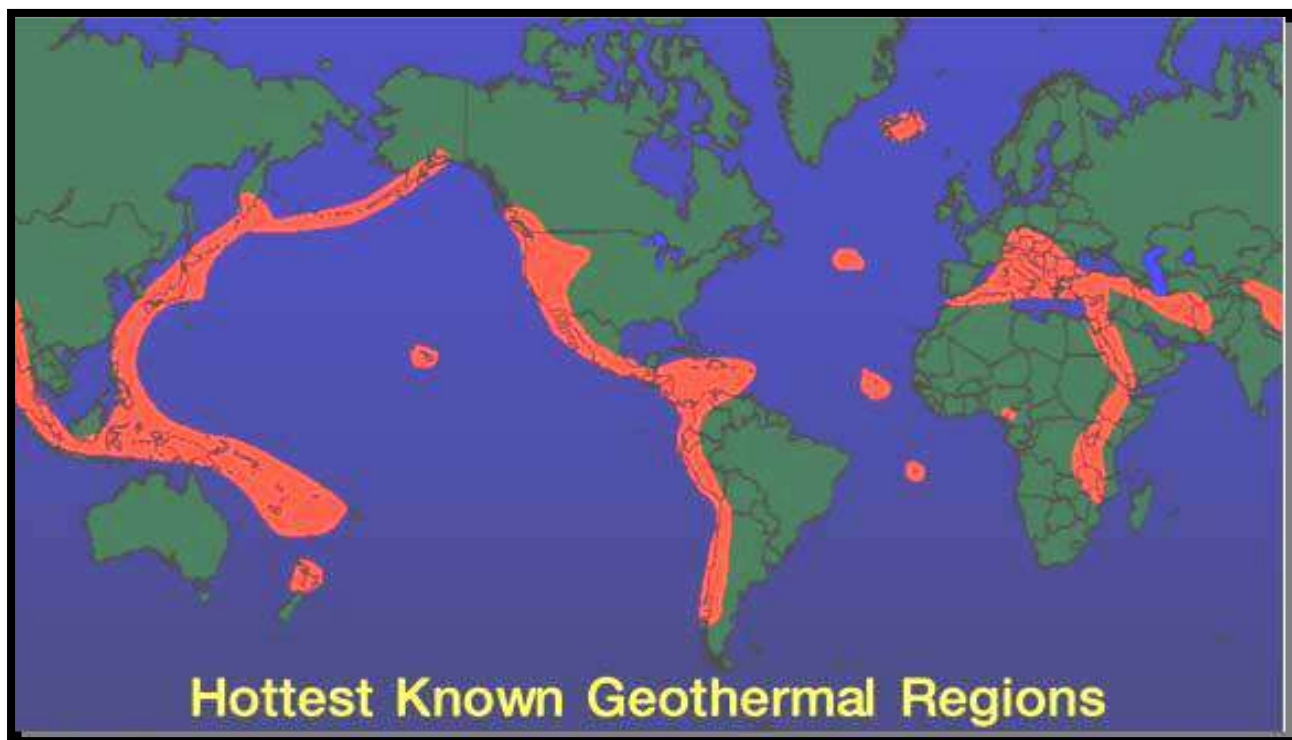
**Πίνακας 3. Εκμετάλλευση γεωθερμικών ρευστών ανάλογα με την θερμοκρασία τους [18].**

Για τον κλιματισμό κτιρίων γίνεται όλο και περισσότερο χρήση πεδίων χαμηλής ενθαλπίας με θερμοκρασίες ακόμη και πιο μικρές από 25 °C σε βάθη κοντά στην επιφάνεια της γης με σταθερή θερμοκρασία σε όλο τον χρόνο.

Στον Ελλαδικό χώρο αυτές οι θερμοκρασίες είναι πολύ διαδεδομένες σε οικονομικά βάθη (μικρότερα των 200m από την επιφάνεια )<sup>[17]</sup>. Για την εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας συνήθως κατασκευάζονται γεωτρήσεις. Σε περίπτωση εντοπισμού υπόγειου νερού, η μεταφορά της ενέργειας πραγματοποιείται με την άντληση. Η εκμετάλλευση του θερμικού περιεχομένου, από το υπέρθερμο γεωθερμικό ρευστό, γίνεται με την βοήθεια αντλίας θερμότητας. Στην περίπτωση του ξηρού πετρώματος προτιμείται η χρήση κάθετου γεωθερμικού εναλλάκτη, ο οποίος τοποθετείται μέσα σε γεώτρηση. Η μεταφορά του θερμικού περιεχομένου του πετρώματος πραγματοποιείται μέσω του εναλλάκτη προς την αντλία θερμότητας.

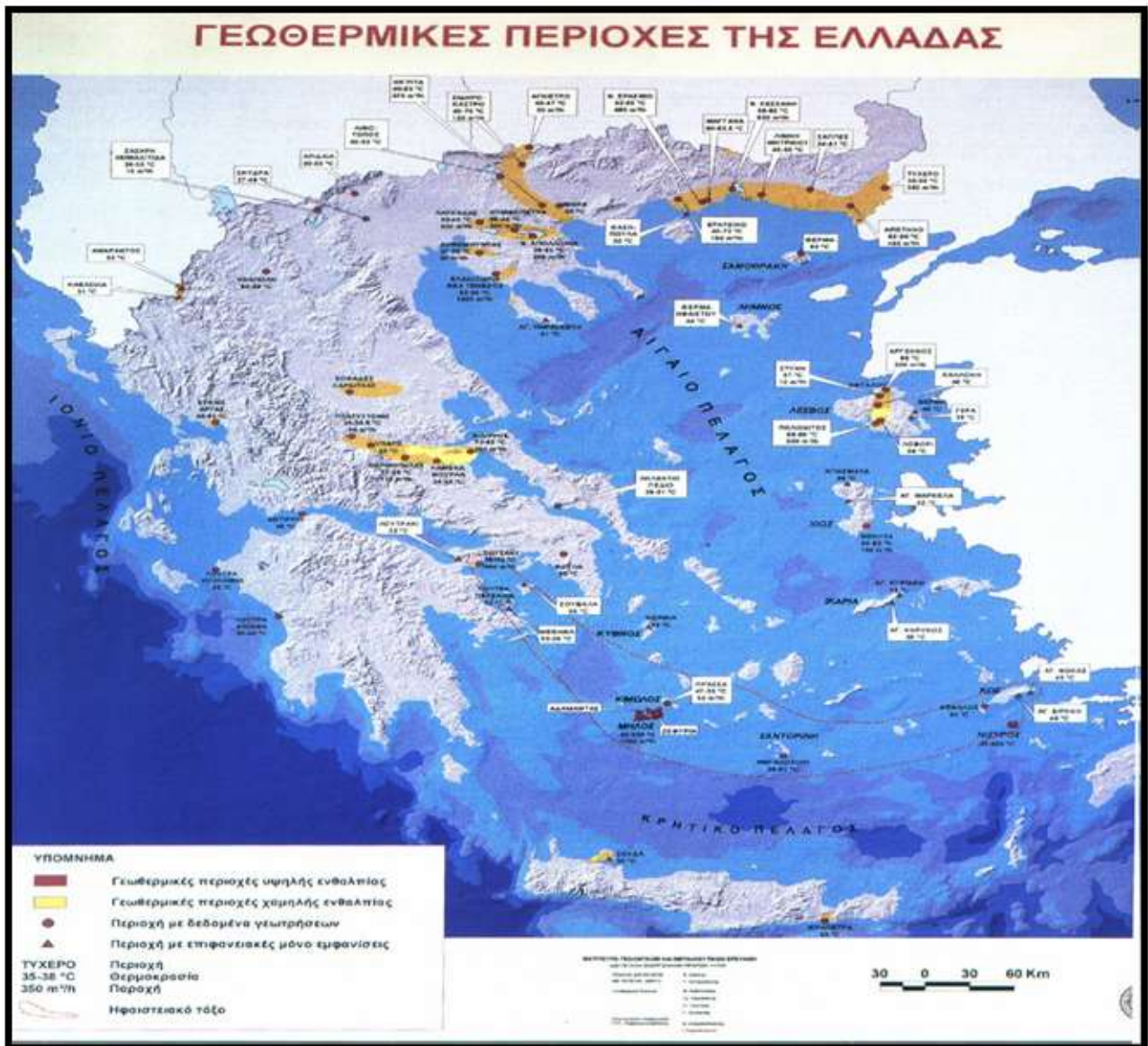
Σημαντικό πλεονέκτημα της γεωθερμίας έναντι των λοιπών ΑΠΕ είναι η μόνιμη «παροχή» ενέργειας καθ' όλο το έτος, χωρίς διακυμάνσεις και με μικρό λειτουργικό κόστος καθώς και η δυνατότητα πλήρους ανάκτησης και εκμετάλλευσης της υπάρχουσας υπεδάφικης θερμότητας. Συγκρινόμενη με άλλες εφαρμογές εκμετάλλευσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, η ηλεκτροπαραγωγή μέσω γεωθερμικών ρευστών παρουσιάζει σημαντικά μεγαλύτερο ετήσιο συντελεστή λειτουργίας της τάξης του 0,98, αντίθετα με τα αιολικά που εμφανίζουν συντελεστή 0,25-0,30 και τα υδροηλεκτρικά με συντελεστή 0,4-0,55. Σε ετήσια απόδοση λοιπόν, ένα σύστημα γεωθερμικής ηλεκτροπαραγωγής ισχύος 1 MW αντιστοιχεί με αιολικά της τάξης των 3,5-4 MW.

Ιδιαίτερα στον Ελλαδικό χώρο ο οποίος παρουσιάζει σημαντικό δυναμικό (σε σχέση κυρίως με τις Ευρωπαϊκές χώρες, όπως φαίνεται στον παρακάτω χάρτη των θερμότερων γεωθερμικών περιοχών) αλλά και πολλαπλές δυνατότητες χρησιμοποίησης των ενεργειακών αποθεμάτων, αναμένεται να προσφερθούν σημαντικές ευκαιρίες κέρδους στους επενδυτές, με την προϋπόθεση της ορθής και πλήρους ανάπτυξης επιχειρηματικών σχεδίων.

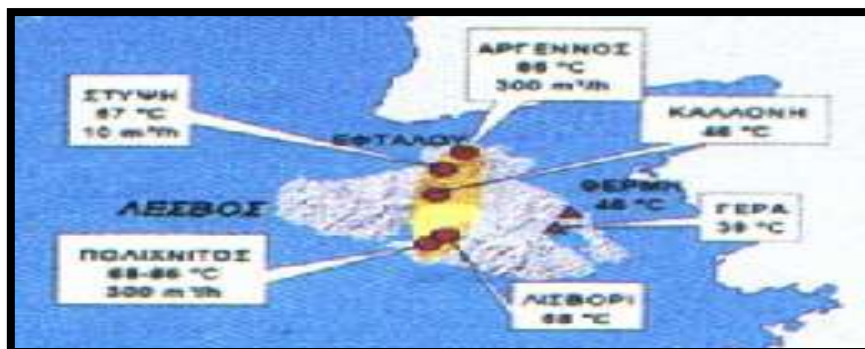


Εικόνα 7 Οι θερμότερες Γεωθερμικές περιοχές της Γής<sup>[18]</sup>.

Συγκεκριμένα για την Ελλάδα και για την περιοχή της Λέσβου, ο χάρτης με τα γεωθερμικά χαρακτηριστικά της περιγράφονται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 8 Γεωθερμικές περιοχές στον Ελλαδικό χώρο [18].



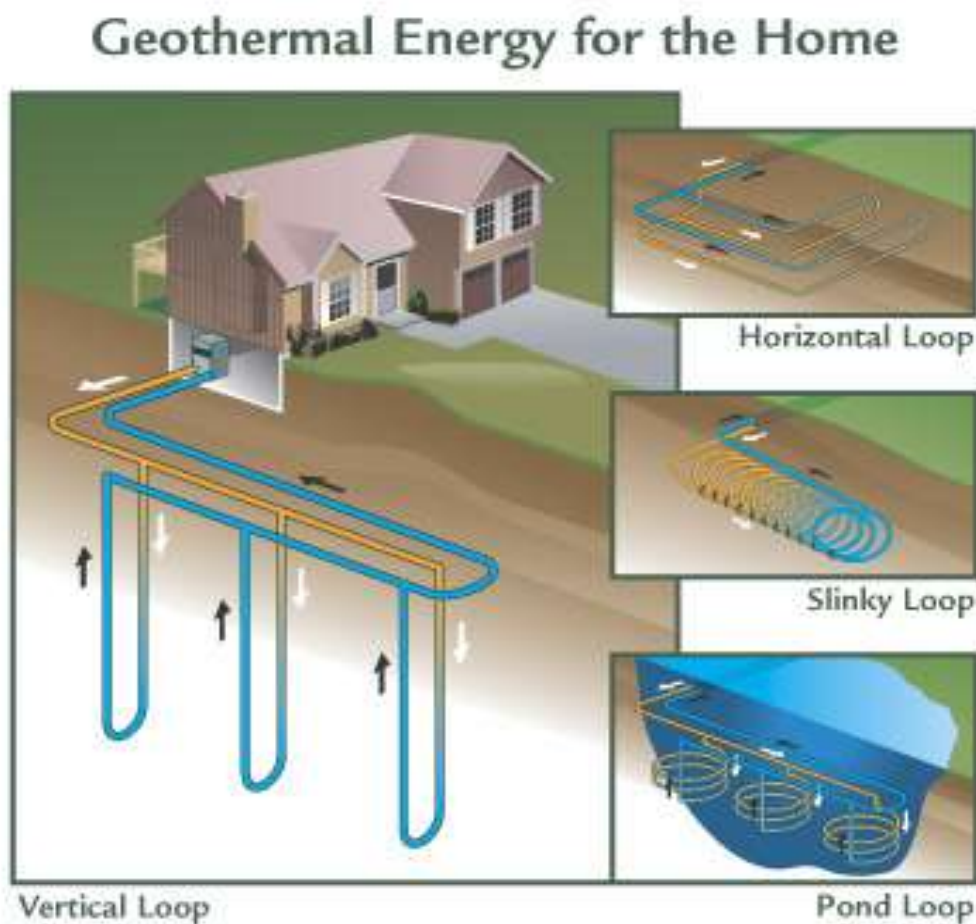
Εικόνα 9 Γεωθερμικές περιοχές στην Λέσβο [18].



### 3.5.2 Αβαθής γεωθερμία

Αβαθής γεωθερμική ενέργεια είναι η αποθηκευμένη σε μορφή θερμότητας ενέργεια του φλοιού της γης σε βάθη έως 150 μέτρα και με θερμοκρασίες υπεδάφους έως 20°C. Με τον όρο αβαθής γεωθερμία αναφερόμαστε κυρίως στην γεωθερμία που χρησιμοποιείται για εφαρμογές κλιματισμού<sup>[18]</sup>.

Στα γεωθερμικά συστήματα χαμηλής ενθαλπίας δεν έχουμε ως σκοπό την μετατροπή της γεωθερμικής ενέργειας σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας π.χ. ηλεκτρικής ενέργειας αλλά στην απευθείας χρησιμοποίηση της σε εφαρμογές όπως τον κλιματισμό χώρων, λουτρά(spa), στα θερμοκήπια και στις ιχθυοκαλλιέργειες. Οι περισσότερες εφαρμογές που χρησιμοποιούν απευθείας την αβαθή γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιούν κυρίως θερμοκρασίες του ρευστού λειτουργίας χαμηλές έως μέτριες, 50°C έως 150°C. Γενικότερα τα συστήματα εφαρμογών με χαμηλή θερμοκρασία ρευστού είναι πολύ πιο διαδεδομένα από τα υψηλής. Για παράδειγμα στις ΗΠΑ από τα 1350 γνωστά ή εξακριβωμένα γεωθερμικά συστήματα, μόλις το 5% λειτουργεί με θερμοκρασίες ρευστού άνω των 150°C ενώ αντίστοιχα το 85% σε χαμηλότερες των 90°C.



Εικόνα 10 Γεωθερμικά συστήματα κλειστού βρόγχου <sup>[19]</sup>.

### 3.5.3 Τοπολογίες γεωθερμικών εγκαταστάσεων

Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες συστημάτων<sup>[20]</sup>:

- A. Συστήματα κλειστού βρόγχου(closed loop systems)
- B. Συστήματα ανοιχτού βρόγχου(open loop systems)

#### A. Συστήματα κλειστού βρόγχου

Εδώ εμφανίζονται οι παρακάτω δύο κύριες κατηγορίες :

##### 1. Οριζόντια(horizontal-erdreich/flaechenkollektor)

Απαιτείται επιφάνεια 1.5-2 τετραγωνικά μέτρα ανά τετραγωνικό μέτρο θερμαινόμενης επιφάνειας δηλ. για μια μονοκατοικία 150 m<sup>2</sup> θερμαινόμενης επιφάνειας απαιτούνται περίπου 220-300 m<sup>2</sup> σκάμματος. Το βάθος εκσκαφής είναι περίπου 1.20-3 μέτρα. Κατάλληλα είναι όλα τα εδάφη που μπορούν να σκαφτούν με εκσκαφέα-μπουλντόζα. Τα συστήματα αυτά δίνουν συνήθως 20-50W/m<sup>2</sup>.



##### Κατακόρυφα(vertical-tiefenbohrung/erdsonde)

Οι συγκεκριμένες κατασκευές δίνουν 60-80 W/μέτρο βάθους γεώτρησης δηλαδή για ένα σπίτι 150 m<sup>2</sup> απαιτούνται περίπου 120-160 μέτρα γεώτρησης. Αυτά μπορούν να μοιραστούν και σε περισσότερες μικρότερες γεωτρήσεις. Μέγιστο βάθος γεώτρησης είναι συνήθως τα 120 μέτρα. Κατάλληλη για όλα τα εδάφη.



## B. Συστήματα ανοιχτού βρόγχου

### 1. Συστήματα τύπου φρέατος

Τα συστήματα ανοιχτού βρόγχου τύπου φρέατος χρησιμοποιούν νερό υπεδάφους σαν απ' ευθείας πηγή ενέργειας, όταν το διαθέσιμο νερό είναι καλής ποιότητας, επαρκούς ποσότητας και σε βολικό βάθος άντλησης, καθ' όλο το χρόνο. Χαντάκια, μικρές λίμνες ή ρυάκια χρησιμοποιούνται πολλές φορές για την απόρριψη του νερού, όπως επίσης και η ίδια η πηγή προέλευσης του.



### 2. Επιφανειακά συστήματα

Τα συστήματα αυτά αντλούν νερό για το πρωτεύον κύκλωμά τους από μια επιφανειακή πηγή π.χ. λίμνη ή ποτάμι και το απορρίπτουν και πάλι στην ίδια πηγή. Υπάρχουν και άλλοι τύποι συστημάτων κλειστού ή ανοιχτού τύπου που χρησιμοποιούνται όμως σπανιότερα. Συγκριτικά μπορούμε να πούμε ότι τα κατακόρυφα συστήματα πλεονεκτούν των οριζοντίων, γιατί δεσμεύουν μικρότερες ποσότητες επιφάνειας γης για την εγκατάστασή τους και είναι πιο «σταθερά», διότι δεν επηρεάζονται σχεδόν καθόλου από τις εποχικές μεταβολές, λόγω μεγαλύτερου βάθους εγκατάστασης.

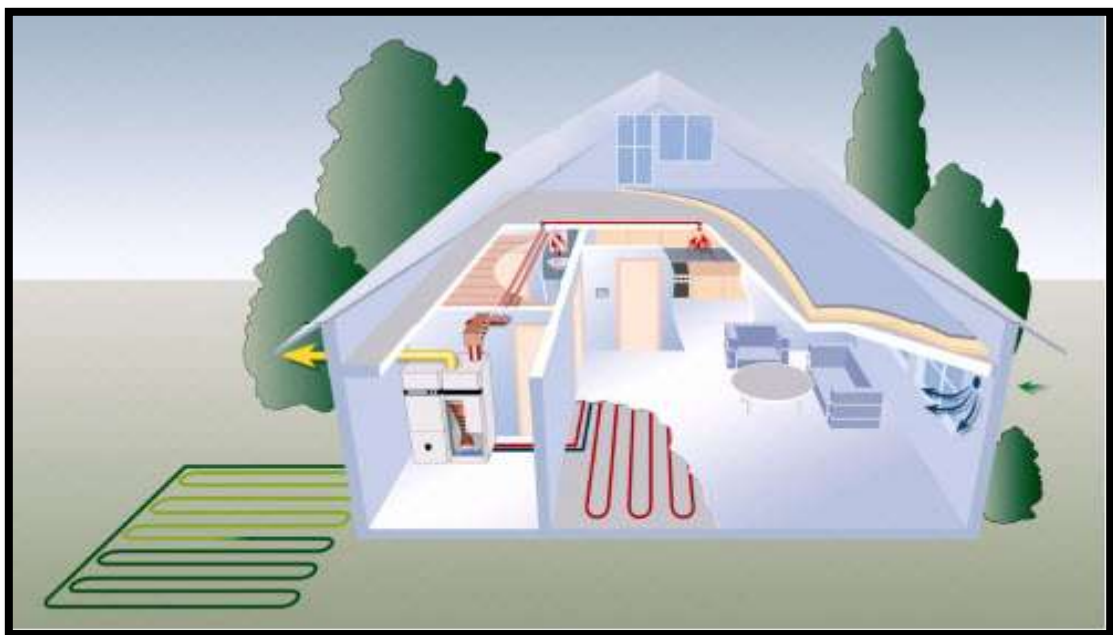




### 3.5.4 Αρχή λειτουργίας Θερμικού Εναλλάκτη

Καρδιά του συγκεκριμένου συστήματος είναι μια γεωθερμική αντλία θερμότητας (που δεν έχει μεγάλες διαφορές από τις γνωστές μικρές κλιματιστικές συσκευές ή εν μέρει τα ηλεκτρικά ψυγεία), η οποία αποτελείται από 4 στοιχεία: εξατμιστή, συμπιεστή, συμπυκνωτή και στοιχείο εκτόνωσης<sup>[17]</sup>. Μια πλήρης εγκατάσταση αβαθούς γεωθερμίας αποτελείται εν γένει από τα παρακάτω τμήματα:

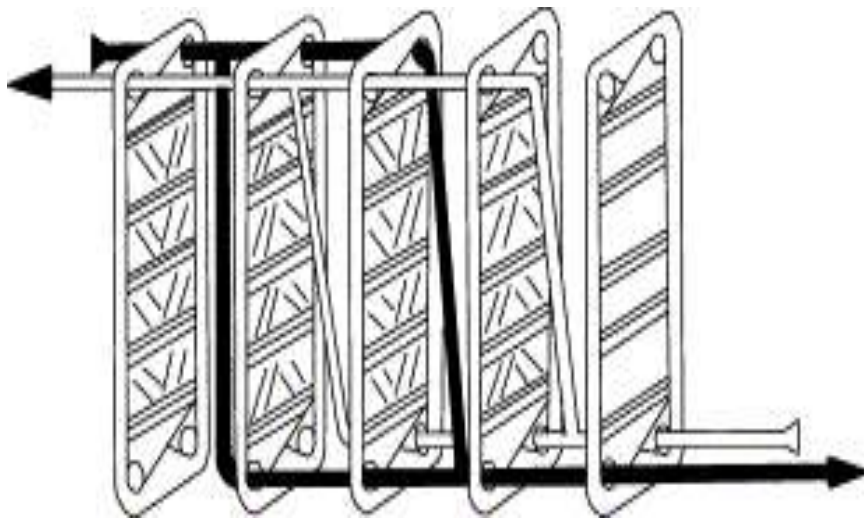
1. Από τη γεωθερμική αντλία θερμότητας
2. Από τον γεωθερμικό εναλλάκτη, που είναι ένα κλειστό σύστημα σωληνώσεων από πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας, με διάρκεια ζωής άνω των 50 ετών, που διαρρέεται από νερό και τοποθετείται μέσα στο έδαφος (μιλάμε τότε για σύστημα κλειστού βρόγχου) ή εναλλακτικά από ένα σύστημα ανοιχτού βρόγχου με απ' ευθείας γεωτρήσεις στον υπάρχοντα υδροφόρο ορίζοντα.
3. Από την εσωτερική εγκατάσταση θέρμανσης και/ή ψύξης της κατοικίας (του κτιρίου), που δεν διαφέρει σε τίποτε από τις γνωστές μας εγκαταστάσεις. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν ενδοδαπέδιο ή ενδοτοιχείο σύστημα θέρμανσης και δροσισμού ή σύστημα fan coils για θέρμανση και ψύξη. Ακόμη και σώματα θερμοαντλιακά μπορούν να χρησιμοποιηθούν (αλλά θα είναι πολύ μεγάλα σε μέγεθος.).
4. Από τον αυτοματισμό της εγκατάστασης.



Εικόνα 11 Παράδειγμα οικίας με χρήση γεωθερμικής ενέργειας <sup>[21]</sup>.

### 3.5.5 Εναλλάκτες θερμότητας

Οι κύριοι τύποι εναλλακτών θερμότητας που χρησιμοποιούνται σε γεωθερμικά συστήματα είναι οι πλακοειδείς, αυλών-κελύφους και γεώτρησης<sup>[22]</sup>. Η αντίστροφη ροή και η υψηλή τύρβη που επιτυγχάνεται στους πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας παρέχουν ικανοποιητική εναλλαγή θερμότητας σε μικρό όγκο. Συγκρινόμενοι με τους εναλλάκτες αυλών-κελύφους έχουν τα εξής πλεονεκτήματα: α) καταλαμβάνουν μικρότερο χώρο, β) σε περίπτωση επιπλέον φορτίου είναι εύκολα επεκτάσιμοι και γ) κοστίζουν 40% λιγότερο. Οι πλάκες είναι συνήθως κατασκευασμένες από ανοξείδωτο ατσάλι, αν και χρησιμοποιείται τιτάνιο όταν τα ρευστά είναι ιδιαίτερα διαβρωτικά. Οι πλακοειδείς εναλλάκτες θερμότητας έχουν ιδιαίτερα διαδεδομένη χρήση παγκοσμίως για θέρμανση από γεωθερμία.



Εικόνα 12 Πλακοειδής εναλλάκτης θερμότητας. (Πηγή: Εναλλάκτες θερμότητας, Θεωδωρής Καραπάντσιος) <sup>[22]</sup>.

Οι αυλών-κελύφους εναλλάκτες θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιούνται για γεωθερμικές εφαρμογές αλλά είναι λιγότερο γνωστοί λόγω μεγάλου μεγέθους και μεγάλης θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ εισερχόμενου και εξερχόμενου ρευστού.

Οι εναλλάκτες θερμότητας γεώτρησης δεν αντιμετωπίζουν πρόβλημα διάθεσης γεωθερμικού ρευστού αφού η θερμότητα έρχεται από το πηγάδι γεώτρησης. Ωστόσο η χρησιμοποίησή τους είναι περιορισμένη για μικρά φορτία θέρμανσης, όπως θέρμανση σε μονοκατοικίες, μικρά διαμερίσματα και καταστήματα. Ο εναλλάκτης αποτελείται από ένα σύστημα αγωγών ή σωλήνων στο πηγάδι γεώτρησης μέσω του οποίου δευτερεύον νερό αντλείται ή αφήνεται να κυκλοφορήσει μέσω συναγωγής. Για να επιτύχουμε μέγιστο όφελος το πηγάδι γεώτρησης θα πρέπει να έχει ένα ανοιχτό αυλάκι μεταξύ τρύπας και περιβλήματος και διατηρήσεις πάνω και κάτω από την επιφάνεια του εναλλάκτη θερμότητας. Η συναγωγή κυκλοφορεί το νερό κάτω, μέσα στο περίβλημα, μέσω των κάτω γεωτρήσεων, πάνω μέσα στο αυλάκι και πάλι πίσω στο περίβλημα μέσω των άνω γεωτρήσεων.

---

## Τύποι γεωεναλλακτών

Ο τύπος γεωεναλλάκτη που θα χρησιμοποιηθεί θα επηρεάσει την απόδοση του συστήματος αντλίας θερμότητας(συνεπώς την κατανάλωση ενέργειας της αντλίας θερμότητας),τις ενεργειακές απαιτήσεις του δευτερεύοντος αντλητικού συστήματος καθώς και το κόστος εγκατάστασης [18]. Η επιλογή του πλέον κατάλληλου τύπου γεωεναλλάκτη για μία εγκατάσταση έχει σχέση συνήθως με την ειδική γεωγραφία της εγκατάστασης, τον διαθέσιμο χώρο και το κόστος της. Κυρίως χρησιμοποιούνται δύο είδη γεωεναλλακτών, κατακόρυφης και οριζόντιας διάταξης.

### 1. Κατακόρυφης διάταξης

Η επιλογή του γεωεναλλάκτη κατακόρυφης διάταξης πραγματοποιείται όταν η επιφάνεια διαθέσιμου χώρου είναι περιορισμένη. Ο γεωεναλλάκτης κατακόρυφης διάταξης αποτελείται κυρίως από δύο μικρής διαμέτρου,υψηλής πυκνότητας αγωγών πολυαιθυλενίου, οι οποίοι έχουν τοποθετηθεί σε μία κατακόρυφη τρύπα στην οποία έχει τοποθετηθεί υπόστρωμα. Οι κατακόρυφοι αγωγοί ποικίλουν από 0.75 έως 1.5 ίντσες σε ονομαστική διάμετρο και με βάθος τρυπών να ποικίλλει από 15.2 έως 182 μέτρα(50 έως 600 πόδια)ανάλογα των τοπικών συνθηκών γεώτρησης και του διαθέσιμου εξοπλισμού. Τυπικά χρειάζονται πολλαπλά φρέατια, με άνοιγμα φρέατος όχι λιγότερο των 4.6 μέτρων(15ft) για βόρεια κλίματα και όχι λιγότερα των 6.1 μέτρων για νότια κλίματα ώστε να επιτευχθούν οι απαιτήσεις μεταφοράς θερμικής ενέργειας. Μία ελάχιστη απόσταση διαχωρισμού της τάξης των 6.1 μέτρων(20ft) είναι προτεινόμενη όταν οι βρόχοι είναι τοποθετημένοι σε πλέγμα. Αυτή η απόσταση μπορεί να μειωθεί εάν οι γεωτρήσεις τοποθετηθούν σε απλή σειρά, όταν το ετήσιο θερμικό φορτίο είναι πολύ μεγαλύτερο από το ετήσιο ψυκτικό.

### 2. Οριζόντιας διάταξης

Οι γεωεναλλάκτες οριζόντιας διάταξης χρησιμοποιούνται πιο συχνά για μικρές εγκαταστάσεις όπου ο διαθέσιμος χώρος δεν αποτελεί περιορισμό. Οι αγωγοί θάβονται σε αυλάκια σε βάθος 1.2 έως 3 μέτρων(4-10ft).Ανάλογα με το κάθε σχέδιο, έξι αγωγοί πρέπει να εγκαθίστανται σε κάθε αυλάκι, με απόσταση ενός ποδιού μεταξύ των αγωγών και τα αυλάκια με απόσταση 3.7 έως 4.6 μέτρα. Ο slinky, ένας σπειροειδής βρόχος που περιλαμβάνει αλληλεπικαλυπτόμενα ρολά αγωγών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μεγιστοποιήσει τον αριθμό των ποδιών των αγωγών που είναι θαμμένα ανά πόδι αυλακιού ,αλλά ο slinky απαιτεί μεγαλύτερο μήκος αγωγού σε σχέση με τα συμβατικούς γεωεναλλάκτες οριζόντιας διάταξης.

Ο παράγοντας που κάνει τις αντλίες θερμότητας μοναδικές είναι ο σχεδιασμός του συστήματος γεωεναλλάκτη. Τα περισσότερα λειτουργικά προβλήματα με τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας οφείλονται στην απόδοση του συστήματος γεωεναλλάκτη.

### 3.5.6 Αντλίες θερμότητας (Heat pumps)

Συστήματα με αντλίες θερμότητας ή αλλιώς γεωθερμικές αντλίες θερμότητας εγκαθίστανται συνεχώς σε όλο τον κόσμο και κυρίως σε χώρες όπως οι ΗΠΑ, Σουηδία, Ελβετία και Γερμανία<sup>[17]</sup>. Είναι πολύ διαδεδομένα συστήματα και υπολογίζεται πως η χρήση τους μόνο στις ΗΠΑ ξεπερνά τα 70000 συστήματα με χρήση νερού υπεδάφους, παραπάνω από 210000 κλειστού βρόγχου κατακόρυφης διάταξης και περίπου 170000 συστήματα κλειστού βρόγχου οριζόντιας διάταξης.

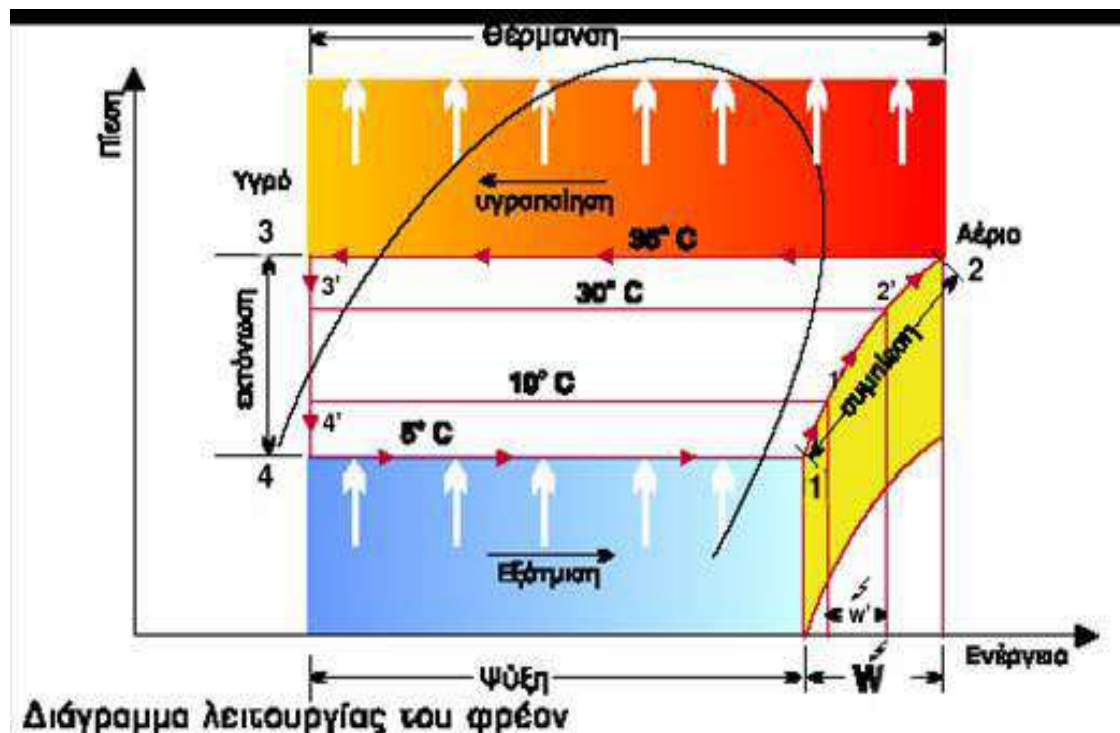
Όπως τα ψυγεία έτσι και οι αντλίες θερμότητας στηρίζονται στην βασική αρχή όπου ένα ρευστό απορροφά θερμική ενέργεια όταν εξατμίζεται σε αέριο και αντίστοιχα προσδίδει θερμική ενέργεια όταν ψύχεται σε υγρή κατάσταση. Συνεπώς ένα γεωθερμικό σύστημα με αντλία θερμότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για ψύξη και για θέρμανση χώρων. Η ονομαστική ισχύς των αντλιών θερμότητας μπορεί να κυμαίνεται από 3 kW έως παραπάνω από 1500 kW.

Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια για να κινήσουν θερμότητα και όχι για να την παράγουν, θεωρούνται εξαιρετικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης με κύριο τους πλεονέκτημα σε σύγκριση με άλλα συστήματα την αύξηση της λειτουργικής αποδοτικότητας τους, όπου μεταφράζεται σε μειωμένα κόστη θέρμανσης και ψύξης. Ένα επίσης πλεονέκτημα των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας είναι ότι χαρακτηρίζονται ως ανανεώσιμες τεχνολογίες αν και οδηγούνται ηλεκτρικά. Σύμφωνα με την υπηρεσία προστασίας περιβάλλοντος των ΗΠΑ, τα καλά σχεδιασμένα και κατάλληλα εγκατεστημένα υψηλής απόδοσης συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας έχουν λιγότερο αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σύγκριση με οποιαδήποτε εναλλακτική διαθέσιμη τεχνολογία κλιματισμού χώρων. Τα γεωθερμικά συστήματα με αντλίες θερμότητας έχουν λιγότερες εκπομπές CO<sub>2</sub> στο περιβάλλον με αποτέλεσμα την μικρότερη επίπτωση στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου.

Η Αντλία Θερμότητας έχει την ικανότητα να παράγει θερμική ενέργεια  $Q$ , η οποία συντίθεται από τρεις συνιστώσες: τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (πηγή θερμότητας), τη επιθυμητή θερμοκρασία ρευστού εισαγωγής στο σύστημα απόδοσης - απόληξης θερμότητας στον κλιματιζόμενο χώρο και την ισχύ του συμπιεστή της Αντλίας Θερμότητας.

Από πειραματικές μετρήσεις <sup>[17]</sup> προέκυψε ότι ο συντελεστής απόδοσης μιας Αντλίας Θερμότητας (COP) εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι σημαντικότεροι των οποίων είναι:

- Η διαφορά θερμοκρασίας ( $\Delta T$ ) μεταξύ παραγόμενου από την Αντλία Θερμότητας θερμικού ρευστού και της πηγής θερμότητας (που μπορεί να είναι ο περιβάλλον αέρας ή κάποια φυσική υδάτινη μάζα). Δηλαδή η διαφορά θερμοκρασίας συμπυκνωτή και εξατμιστή. Όσο μικρότερο είναι αυτό το  $\Delta T$ , τόσο μεγαλύτερο είναι το COP.
- Η σταθερότητα θερμοκρασίας της πηγής θερμότητας, καθώς και η τιμή αυτής, ιδιαίτερα στο μεταξύ των 0°C και 30°C διάστημα.



Εικόνα 13 Διάγραμμα λειτουργίας του φρέον [23]

Στο παραπάνω διάγραμμα είναι αποτυπωμένοι δύο κύκλοι. Ο μεγάλος κύκλος 1,2,3,4,1 αφορά θερμοκρασία εξάτμισης 5°C και θερμοκρασία συμπύκνωσης 35°C, ενώ ο μικρότερος κύκλος 1',2',3',4',1' αναφέρεται σε θερμοκρασίες 10°C και 30°C. Παρατηρούμε ότι η ηλεκτρική κατανάλωση στον δεύτερο κύκλο  $w'$  είναι σχεδόν η μισή από αυτή του πρώτου  $w$ , ενώ η ενέργεια θέρμανσης ή ψύξης δεν ελαττώνεται σε σημαντικό ποσοστό. Αυτός είναι και ο λόγος όπου οι Γ.Α.Θ. σε συνδυασμό με μια Ενδοδαπέδια ή Επιτοίχια Θέρμανση έχουν σημαντικά πιο αποδοτική λειτουργία [23].

Το σημαντικότερο πρόβλημα στην αποδοτική χρήση Αντλιών Θερμότητας είναι η εξασφάλιση μιας πηγής θερμότητας, που να παρέχει θερμική ενέργεια με σταθερή ισχύ και σταθερή θερμοκρασία καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας της.

Για την εξασφάλιση της πηγής αυτής υπάρχουν για ένα κτίριο τέσσερις επιλογές:

1. Οι αέριες μάζες που περιβάλλουν το κτίριο
2. Οι τυχόν υπάρχουσες επιφανειακές υδάτινες μάζες
3. Οι τυχόν υπάρχουσες υπόγειες υδάτινες μάζες
4. Οι υπεδαφικές μάζες

Επιλογές οι οποίες διαχωρίζουν τις Αντλίες Θερμότητας σε τεχνολογίες όπως:

- αέρα - νερού
- νερού - νερού και
- άμεσης εκτόνωσης, αέρα - αέρα

---

Η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας ομαλής ενθαλπίας παρουσιάζει ορισμένα πλεονεκτήματα και ορισμένα μειονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα καθώς και την ηλιακά και την αιολική ενέργεια από πλευράς εκμετάλλευσης.

#### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ:

- Είναι διαθέσιμη με σταθερές παροχές σε όλη την διάρκεια του χρόνου, υπό οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες και σχεδόν παντού.
- Οι απαιτήσεις σε χώρο μίας εγκατάστασης εκμετάλλευσης είναι ασήμαντες και δεν δημιουργούν αρχιτεκτονικά ή αισθητικά περιβαλλοντικά προβλήματα.
- Γεωθερμικές αντλίες προσφέρονται για παραγωγή τόσο ζεστού όσο και ψυχρού νερού ,δηλαδή για θέρμανση και ψύξη χώρων με υψηλό βαθμό απόδοσης.
- Έναντι του συμβατικού συστήματος θέρμανσης το σύστημα εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής θερμοκρασίας παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα από άποψη ασφαλούς λειτουργίας, ρύπανσης του χώρου και συχνότητας ρυθμίσεων.
- Το ουσιαστικότερο πλεονέκτημα είναι το λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης.

#### ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ:

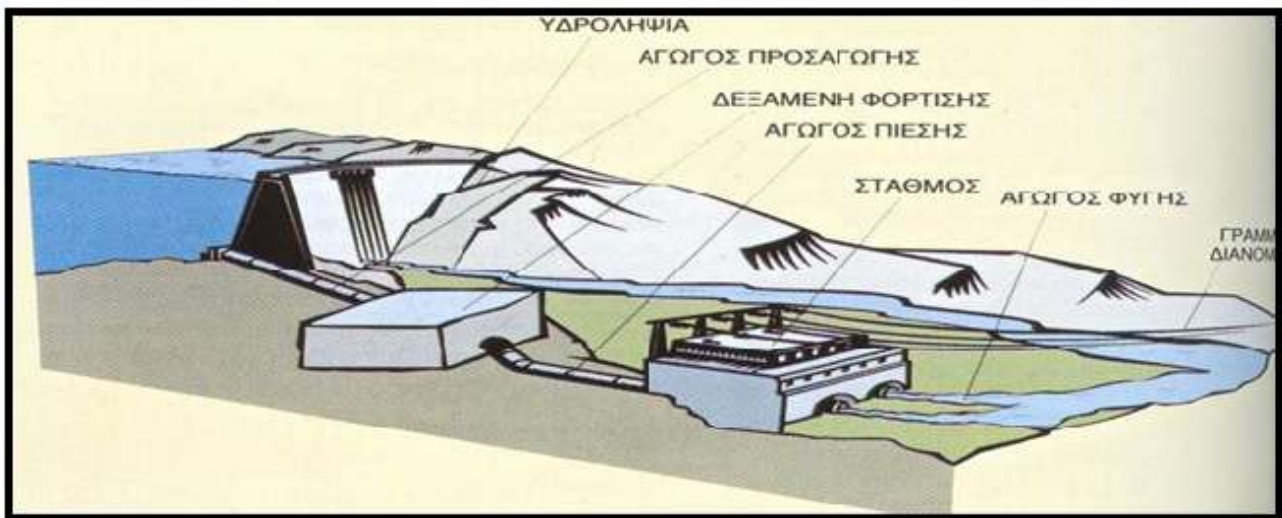
- Το σχετικά υψηλό αρχικό κόστος της εγκατάστασης που μπορεί να απαιτήσει σημαντικές δαπάνες για γεωτρήσεις και εναλλάκτες θερμότητας.
- Η χαμηλή ισχύς της αβαθούς γεωθερμικής ενέργειας



## 3.6 Λοιπές Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

### 3.6.1 Υδατοπτώσεις

Η υδραυλική ενέργεια, η ενέργεια του νερού, είναι μια ανανεώσιμη, παραδοσιακή και αποκεντρωμένη πηγή ενέργειας<sup>[1]</sup>. Η υδροηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από την μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού σε κινητική και στην συνέχεια σε ηλεκτρισμό. Το νερό από τα ποτάμια και τις πηγές μαζεύεται συνήθως με την βοήθεια ενός φράγματος. Αφήνοντας τον ταμιευτήρα, το νερό οδηγείται σε έναν αγωγό υψηλής πίεσης, στη συνέχεια στον υδροστρόβιλο και από τον αγωγό φυγής στη φυσική κοίτη του ρεύματος της περιοχής. Το ρεύμα παράγεται από την κίνηση του υδροστρόβιλου και με τη βοήθεια ηλεκτρογεννήτριας. Η ισχύς μιας υδατόπτωσης εξαρτάται από το ύψος της και από την παροχή του νερού ( $m^3/sec$ ).



Εικόνα 14 Περιγραφή υδροηλεκτρικού σταθμού <sup>[21]</sup>.

Η κατασκευή των υδροηλεκτρικών σταθμών είναι μια πολύ παλιά και γνωστή τεχνολογική εφαρμογή. Το δυναμικό των μεγάλων υδροηλεκτρικών είναι περιορισμένο γιατί αφενός έχει ήδη γίνει σε μεγάλο βαθμό η εκμετάλλευση του και αφετέρου η δημιουργία νέων μονάδων παρουσιάζει δυσκολίες λόγω των περιβαλλοντικών προβλημάτων που δημιουργεί. Αντίθετα το δυναμικό των μικρών υδροηλεκτρικών είναι αρκετά μεγάλο και ανεκμετάλλευτο σε μεγάλο βαθμό μέχρι σήμερα.

### 3.6.2 Βιομάζα

Η βιομάζα, μια από τις ανερχόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας με ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες προοπτικές για το μέλλον αποτελεί σημαντικό κομμάτι των ΑΠΕ. Είναι αποτέλεσμα φωτοσυνθετικής δραστηριότητας χερσαίων ή υδρόβιων φυτικών οργανισμών. Με τον όρο βιομάζα υποδηλώνονται τα παραπροϊόντα και κατάλοιπα που προέρχονται από τη βιομηχανική επεξεργασία των υλικών της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής. Επίσης τα αστικά λύματα και σκουπίδια **[Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.]**. Η βιομάζα που παράγεται κάθε χρόνο παγκοσμίως ανέρχεται σε 172 δισ. τόνους ξηρού υλικού ή  $2 \times 10^{11}$  τόνους ισοδύναμου άνθρακα με ενεργειακό περιεχόμενο  $3 \times 10^{21}$  Joule. Η ενέργεια αυτή είναι δεκαπλάσια από την ενέργεια που καταναλώνεται σ'

ολόκληρο τον κόσμο. Η αξιοποίηση της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας μπορεί να παίζει πολύ σημαντικό ρόλο με ευρύτερο κοινωνικοοικονομικό όφελος, ιδιαίτερα σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο (δημιουργία θέσεων απασχόλησης, συγκράτηση του πληθυσμού, σταθεροποίηση γεωργικού εισοδήματος κ.τ.λ.).



**Εικόνα 15** Στάδια επεξεργασίας βιομάζας.

Το δυναμικό της βιομάζας στην Ελλάδα από αγροτικά και δασικά υπολείμματα είναι εξαιρετικά μεγάλο. Εκτιμάται συνολικά σε 500.000 Tj, το οποίο ισοδυναμεί με το 50% της σημερινής ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης. Το μεγαλύτερο δυναμικό εντοπίζεται στις περιοχές των μεγάλων καλλιεργειών στην κεντρική και βόρεια Ελλάδα. Αν σε αυτό προστεθεί και το δυναμικό που προκύπτει από τη δυνατότητα αξιοποίησης ενεργειακών καλλιεργειών αντιλαμβάνεται κανείς ότι οι δυνατότητες εκμετάλλευσης της βιομάζας για ενεργειακούς σκοπούς είναι τεράστιες.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην ενεργειακή χρήση της βιομάζας και στη Λευκή Βίβλο<sup>[13]</sup> προβλέπει τον τριπλασιασμό της υπάρχουσας χρήσης μέχρι το 2010. Δεδομένης όμως της δυσκολίας προσαρμογής της αγροτικής οικονομίας σε νέες διαδικασίες και μεθόδους και την περιπλοκότητα των εφαρμογών βιοενέργειας οι προσεγγίσεις μας για την Ελλάδα οφείλουν να είναι πιο συντηρητικές χωρίς αυτό να σημαίνει ότι υψηλότεροι στόχοι δεν είναι εφικτοί.

### 3.6.3 Ενέργεια από τη Θάλασσα

Η εκμετάλλευση της ενέργειας από τη θάλασσα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι αξιοποιήσιμη σε πολλές περιπτώσεις όπου το ύψος των κυμάτων, η διάρκεια κυματισμού και η ταχύτητα των θαλάσσιων ρευμάτων βρίσκονται σε ικανοποιητικά επίπεδα. Ορισμένες μορφές θαλάσσιας ενέργειας είναι οι εξής<sup>[24]</sup>:

- Κυματική ενέργεια
- Θαλάσσια ρεύματα (παλιρροιακά ή μη)
- Παλίρροια (δυναμική ενέργεια)
- Θαλάσσια θερμική ενέργεια

Παρακάτω αναλύονται οι πιο σημαντικές απ' αυτές :

#### Κυματική ενέργεια

Τα κύματα προκαλούνται από το βαρυτικό πεδίο της Γης και από τη δράση του ανέμου και εξαρτώνται από την ταχύτητα, τη διάρκεια και την απόσταση επί της οποίας ενεργεί ο άνεμος. Όταν το κύμα πλησιάζει στην ακτή "σπάει" και απελευθερώνει την κινητική του ενέργεια με τον σχηματισμό μικρότερων κυμάτων και ταραγμένων μαζών νερού στην ακτή.

Οι μετατροπείς της κυματικής ενέργειας ως προς το βάθος κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Μεγάλου βάθους
- Μικρού βάθους
- Ακτογραμμής

Και ως προς την μέθοδο μετατροπής διακρίνονται σε :

- Τερματικός μετατροπέας
- Αποσβεστήρας
- Σημειακός μετατροπέας
- Υπερκάλυψης

#### **Μετατροπέας "Pelamis"**

Είναι μια διάταξη η οποία αποτελείται από τέσσερις κυλίνδρους, με δυνατότητα αρθρωτής κίνησης μεταξύ τους, σε κατακόρυφο επίπεδο. Κατά την διάρκεια του κυματισμού αλλάζει η γωνία μεταξύ τους, με αποτέλεσμα την κίνηση εμβόλων, τα οποία μέσω υδραυλικού συστήματος δίνουν κίνηση στη γεννήτρια, μετατρέποντας την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική. Είναι τύπου αποσβεστήρα και παράγει ισχύ ίση με 750 KW. Έχει μήκος 140m και 3,5m διάμετρο. Πρώτα μελετήθηκε και κατασκευάστηκε στη Σκωτία ενώ ακολούθησαν και άλλες χώρες όπως η Πορτογαλία, η οποία αναπτύσσει πάρκο στην Aguçadoura.

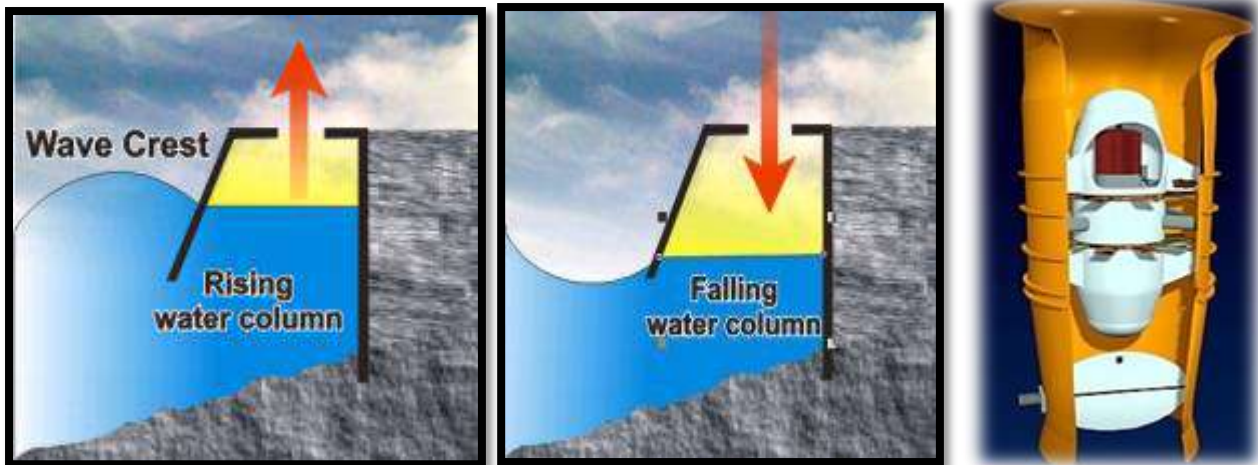


Εικόνα 16. Μετατροπέας Pelamis <sup>[24]</sup>



## Μετατροπέας “Limpet”

Σε αυτή την εφαρμογή όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες, κατά την διάρκεια του κυματισμού το κύμα που εισχωρεί στο εσωτερικό της κατασκευής, συμπιέζει-αποσυμπιέζει τον εγκλωβισμένο αέρα με αποτέλεσμα να θέτει σε κίνηση την τουρμπίνα τύπου Wells. Ανήκει στην κατηγορία των σημειακών μετατροπέων ακτογραμμής και παράγει 50 KW ισχύ.



Εικόνα 17. Μετατροπέας Limpet [24].

## Ενέργεια από θαλάσσια ρεύματα

Η μεγάλη πυκνότητα του νερού σε σχέση με αυτήν του αέρα, καθιστά την εκμετάλλευση αυτής της μορφής ενέργειας αρκετά αποδοτική, παρότι η ταχύτητα των θαλάσσιων ρευμάτων είναι φαινομενικά μικρότερη από την ταχύτητα του ανέμου. Η εφαρμογή τους όμως περιορίζεται σε θέσεις που υπάρχουν ισχυρά υποθαλάσσια ρεύματα.

Μια τέτοια εφαρμογή έχει αναπτύξει η εταιρεία Marine Current Turbines για την δημιουργία πάρκου, στο νησί Anglesey της Ουαλίας. Αποτελείται από 7 υποθαλάσσιες ανεμογεννήτριες των 1,5 MW έκαστο, τοποθετημένες σε βάθος περίπου 9 μέτρων. Το έργο υπολογίζεται να φτάσει τα 10,5 MW παραγόμενα από παλιρροιακή ενέργεια.



Εικόνα 18. Υποθαλάσσιες ανεμογεννήτριες [24].

## 3.7 Θεσμικό πλαίσιο

### 3.7.1 Ειδική Νομοθεσία για τις ΑΠΕ

**«Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής» [44]**

#### **Εθνικός Στόχος Α.Π.Ε.**

Στο άρθρο 1 του ν.3468/2006 (Α' 129) η υπάρχουσα διάταξη αριθμείται σε παρ. 1 και προστίθενται παράγραφοι 2 και 3 ως εξής:

«2. Η προστασία του κλίματος, μέσω της προώθησης της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε., αποτελεί περιβαλλοντική και ενεργειακή προτεραιότητα υψίστης σημασίας για τη χώρα.

3. Οι εθνικοί στόχοι για τις Α.Π.Ε., με βάση την Οδηγία 2009/28/ΕΚ (EEL, 140/2009), καθορίζονται μέχρι το έτος 2020 ως εξής:

α) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20%.

β) Συμμετοχή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό τουλάχιστον 40%. Με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής που εκδίδεται μέσα σε τρεις (3) μήνες από τη δημοσίευση του παρόντος, καθορίζεται η επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος και η κατανομή της στον χρόνο μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών Α.Π.Ε. Η απόφαση αυτή αναθεωρείται ανά διετία ή και νωρίτερα, εάν συντρέχουν σημαντικοί λόγοι που σχετίζονται με την επίτευξη των στόχων της Οδηγίας 2009/28/ΕΚ.

γ) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην τελική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη σε ποσοστό τουλάχιστον 20%.

δ) Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην τελική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές σε ποσοστό τουλάχιστον 10%».

#### **Άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α.**

Το άρθρο 4 του ν.3468/2006, όπως ισχύει, αντικαθίσταται ως εξής:

«1. Εξαιρούνται από την υποχρέωση να λάβουν άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή άλλη διαπιστωτική απόφαση φυσικά ή νομικά πρόσωπα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από τις εξής κατηγορίες εγκαταστάσεων Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α.:

α) γεωθερμικούς σταθμούς με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του μισού [0,5]MW

β) σταθμούς βιομάζας, βιοαερίου και βιοκαυσίμων με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του ενός [1]MW,

γ) φωτοβολταϊκούς ή ηλιοθερμικούς σταθμούς με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του ενός [1] MW<sub>p</sub>,

δ) αιολικές εγκαταστάσεις με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση των εκατό 100kW,

ε) σταθμούς Σ.Η.Θ.Υ.Α. με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση του ενός [1]MWe,

στ) σταθμούς από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. με εγκατεστημένη ισχύ έως πέντε [5] MWe, που εγκαθίστανται από εκπαιδευτικούς ή ερευνητικούς φορείς του δημόσιου ή ιδιωτικού τομέα, για όσο χρόνο οι σταθμοί αυτοί λειτουργούν αποκλειστικά για εκπαιδευτικούς ή ερευνητικούς σκοπούς, καθώς και σταθμούς που εγκαθίστανται από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.), για όσο χρόνο οι σταθμοί αυτοί λειτουργούν για τη διενέργεια πιστοποιήσεων ή μετρήσεων,

ζ) αυτόνομους σταθμούς από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. οι οποίοι δεν συνδέονται στο Σύστημα ή στο Δίκτυο, με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη ή ίση των πέντε [5]MWe, χωρίς δυνατότητα τροποποίησης της αυτόνομης λειτουργίας τους. Τα πρόσωπα που έχουν την ευθύνη της λειτουργίας των σταθμών της περίπτωσης αυτής, υποχρεούνται, πριν εγκαταστήσουν τους σταθμούς, να ενημερώνουν τον αρμόδιο Διαχειριστή για τη θέση, την ισχύ και την τεχνολογία των σταθμών αυτών, και

η) λοιπούς σταθμούς με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση των πενήντα [50]kW, εφόσον οι σταθμοί αυτοί χρησιμοποιούν Α.Π.Ε. από τις οριζόμενες στην παρ. 2 του άρθρου 2, με μορφή διαφορετική από αυτή που προβλέπεται στις προηγούμενες περιπτώσεις.

### **Έγκριση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Ε.Π.Ο.) και άδειες εγκατάστασης και λειτουργίας**

13. Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. που εξαιρούνται από την υποχρέωση άδειας παραγωγής σύμφωνα με το άρθρο 4, απαλλάσσονται και από την υποχρέωση να λάβουν άδεια εγκατάστασης και λειτουργίας. Αντίθετα, υποχρεούνται στην τήρηση της διαδικασίας περιβαλλοντικής αδειοδότησης σύμφωνα με το άρθρο 4 του ν.1650/1986. Φωτοβολταϊκοί σταθμοί και ανεμογεννήτριες που εγκαθίστανται σε κτίρια ή καιάλλες δομικές κατασκευές ή εντός οργανωμένων υποδοχέων βιομηχανικών δραστηριοτήτων, εξαιρούνται, από την υποχρέωση έκδοσης απόφασης Ε.Π.Ο. Ομοίως εξαιρούνται από την υποχρέωση έκδοσης απόφασης Ε.Π.Ο. οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. που εγκαθίστανται σε γήπεδα, εφόσον η εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς τους δεν υπερβαίνει τα εξής όρια ανά τεχνολογία:

- 0,5 MW για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής από γεωθερμία
- 0,5 MW για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με χρήση βιομάζας, βιοαερίου και βιοκαυσίμων
- 0,5 MW για σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής από φωτοβολταϊκά ή ηλιοθερμικά
- 20 kW για αιολικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής.

Για τις ανωτέρω περιπτώσεις απαιτείται η χορήγηση βεβαίωσης απαλλαγής εντός αποκλειστικής προθεσμίας είκοσι (20) ημερών από την αρμόδια περιβαλλοντική αρχή της οικείας Περιφέρειας, μετά την άπρακτη παρέλευση της οποίας θεωρείται αυτή χορηγηθείσα.



---

Για τη χορήγηση της βεβαίωσης εξετάζεται μόνο η εγκατεστημένη ισχύς του σταθμού και ότι ο χώρος εγκατάστασης δεν εμπίπτει στις περιπτώσεις α) έως β) του επόμενου εδαφίου.

### **Ορθολογικοποίηση της τιμολόγησης ενέργειας που παράγεται από σταθμούς Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α.**

Η παρ. 2 του άρθρου 12 του ν.3468/2006, όπως ισχύει, αντικαθίσταται ως εξής:

«2. Η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από σταθμούς Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α. ισχύει για είκοσι (20) έτη και μπορεί να παρατείνεται, σύμφωνα με τους όρους της άδειας αυτής, μετά από έγγραφη συμφωνία των μερών, εφόσον ισχύει η σχετική άδεια παραγωγής. Ειδικά η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής ισχύει για είκοσι πέντε (25) έτη και μπορεί να παρατείνεται σύμφωνα με όσα ορίζονται στο προηγούμενο εδάφιο.»

2. Η παρ. 1 του άρθρου 13 του ν.3468/2006, όπως ισχύει, αντικαθίσταται ως εξής:

«1. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από Παραγωγό ή Αυτοπαραγωγό μέσω σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. ή μέσω Υβριδικού Σταθμού και απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο, σύμφωνα με τις διατάξεις των άρθρων 9, 10 και 12, τιμολογείται, σε μηνιαία βάση, κατά τα ακόλουθα:

α) Η τιμολόγηση γίνεται με βάση την τιμή, σε ευρώ ανά μεγαβατώρα (MWh), της ηλεκτρικής ενέργειας που απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο, συμπεριλαμβανομένου και του Δικτύου Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών.

β) Η τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας κατά την προηγούμενη περίπτωση, εκτός από την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκούς σταθμούς για τους οποίους έχουν οριστεί ξεχωριστές τιμές από τον ν.3734/2009 (Α' 8), όπως ισχύει, γίνεται με βάση τα στοιχεία του ακόλουθου πίνακα:

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από:	Τιμή Ενέργειας (€/MWh)	
	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
(α) Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με χερσαίες εγκαταστάσεις ισχύος μεγαλύτερης των 50kW	87,85	99,45
(β) Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με εγκαταστάσεις ισχύος μικρότερης ή ίσης των 50kW	250	
(γ) Φωτοβολταϊκά έως 10kW <sub>peak</sub> στον οικιακό τομέα και σε μικρές επιχειρήσεις (σύμφωνα με το ειδικό πρόγραμμα σε κτιριακές εγκαταστάσεις – ΚΥΑ 12323/ΓΓ 175/4.6.2009, Β' 1079)	550	
(δ) Υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται με μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ έως δεκαπέντε (15) MW <sub>e</sub>	87,85	
(ε) Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής	264,85	
(στ) Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με σύστημα αποθήκευσης, το οποίο εξασφαλίζει τουλάχιστον 2 ώρες λειτουργίας στο ονομαστικό φορτίο	284,85	
(ζ) Γεωθερμική ενέργεια χαμηλής θερμοκρασίας κατά την παρ. 1στ του άρθρου 2 του νόμου	150	

(η) Γεωθερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας κατά την παρ. 1στ του άρθρου 2 του νόμου 3175/2003 (Α' 207)	99,45
(θ) Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ $\leq 1$ MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	200
(ι) Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ $> 1$ MW και $\leq 5$ MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	175
(ια) Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ $> 5$ MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	150
(ιβ) Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέρια από βιομάζα (συμπεριλαμβανομένου και του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων) με εγκατεστημένη ισχύ $\leq 2$ MW	120
(ιγ) Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέρια από βιομάζα (συμπεριλαμβανομένου και του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων) με εγκατεστημένη ισχύ $> 2$ MW	99,45
(ιδ) Βιοαέριο που προέρχεται από βιομάζα (κτηνοτροφικά και αγροτο-βιομηχανικά οργανικά υπολείμματα και απόβλητα με εγκατεστημένη ισχύ $\leq 3$ MW)	220
(ιε) Βιοαέριο που προέρχεται από	200

---

### 3.8 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα ΑΠΕ

Τα οφέλη που προκύπτουν από την χρήση ΑΠΕ δεν είναι μόνο οικονομικά, αλλά μπορούν να επιφέρουν σημαντικές θετικές περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις στην περιφερειακή και τοπική ανάπτυξη. Παρά το γεγονός ότι απαιτούν υψηλό αρχικό κόστος εγκατάστασης και εξοπλισμού, το λειτουργικό κόστος και το κόστος συντήρησης είναι πολύ μικρό σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

#### Πλεονεκτήματα

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες και συμβάλλουν στην μείωση της εξάρτησης από τις συμβατικές πηγές ενέργειας, των οποίων τα αποθέματα ελαττώνονται με την χρήση
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο, καθώς δεν εκπέμπουν ρύπους
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας
- Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του συστήματος, δημιουργώντας θέσεις εργασίας
- Έχουν χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων
- Προσφέρουν την δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα μεγάλο φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών

#### Μειονεκτήματα

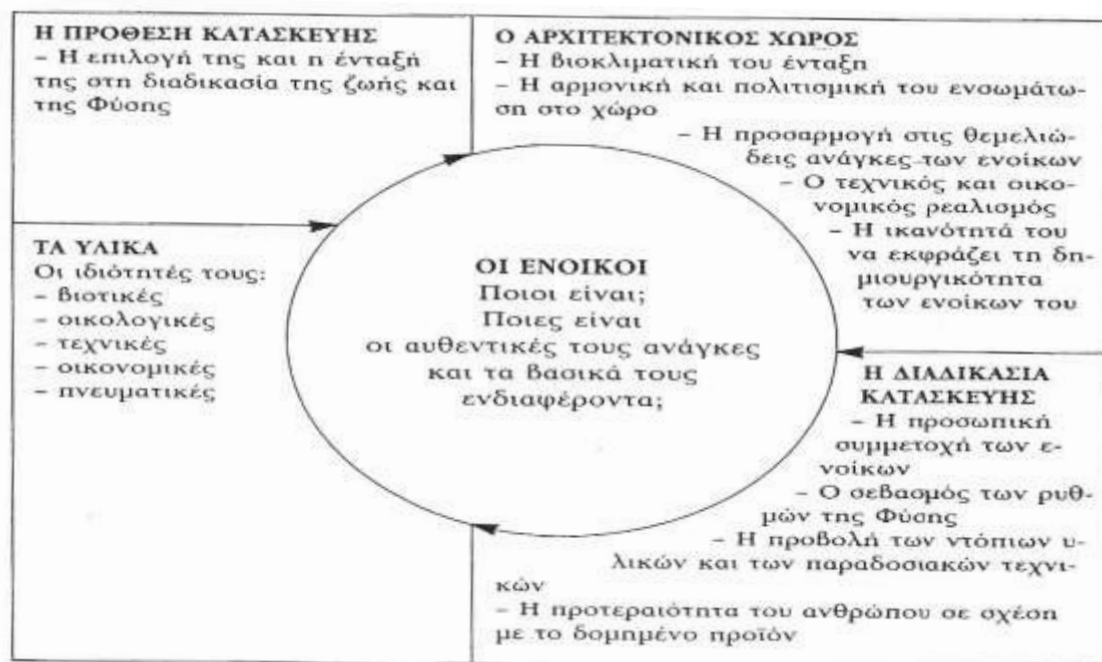
- Το διεσπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος κάνοντας απαραίτητη την ανάγκη αποθήκευσης της
- Δεδομένης της χαμηλής πυκνότητας ισχύος και ενέργειας που έχουν, για μεγάλη ισχύ απαιτούνται μεγάλες εκτάσεις εγκατάστασης
- Οι εγκαταστάσεις είναι συνήθως αισθητικά μη αποδεκτές από το κοινό, καθώς πολλές φορές έχουν παρατηρηθεί αντιδράσεις λόγω της οπτικής και ηχητικής όχλησης που προκαλούν κυρίως οι ανεμογεννήτριες
- Το κόστος της επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος, σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές των συμβατικών καυσίμων, είναι ακόμα υψηλό

## 4 ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

### 4.1 Πρόλογος

Στο κεφάλαιο αυτό, αρχικά γίνεται αναφορά στις βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού, ο οποίος στοχεύει στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην καλύτερη προσαρμογή του κτιρίου στο περιβάλλον<sup>[25]</sup>. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή του όρου της θερμικής άνεσης και αναφέρονται οι παράγοντες που την επηρεάζουν. Για να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμική άνεση, ενώ παράλληλα να μειωθούν οι ανάγκες σε συμβατικές πηγές, εκτός από τον κατάλληλο σχεδιασμό και προσανατολισμού του κτιρίου, σημαντικό ρόλο παίζουν τα ηλιακά παθητικά συστήματα, τα οποία συγκεντρώνουν, μεταδίδουν και διοχετεύουν την ενέργεια με άμεσο ή έμμεσο τρόπο. Επίσης, αναφέρονται διάφορα συστήματα προστασίας κελύφους, θερμικής προστασίας του κτιρίου και τεχνικών φυσικού φωτισμού. Τέλος, αναφέρονται διάφορα δομικά υλικά τα οποία μπορούν να επηρεάσουν δραστικά την καλύτερη ενεργειακή συμπεριφορά ενός κτιρίου.<sup>[26]</sup>

### 4.2 Εισαγωγή στο βιοκλιματικό σχεδιασμό



Εικόνα 19 Ο κύκλος της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής [27]

Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική αφορά το σχεδιασμό κτιρίων με βάση το κλίμα της περιοχής, έχοντας στόχο την επίτευξη συνθηκών άνεσης, με όσο το δυνατόν καλύτερη εκμετάλλευση των φυσικών χαρακτηριστικών του κλίματος, μειώνοντας στο ελάχιστο την χρήση τεχνικών μέσων για θέρμανση, δροσισμό, αερισμό, φωτισμό κλπ. Ακόμα, αν δεν είναι εφικτή η επίτευξη συνθηκών άνεσης με καθαρά φυσικούς τρόπους, είναι δυνατή η αρκετά μικρότερη παρέμβαση με τεχνητά μέσα, προσφέροντας σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας με επιπτώσεις τόσο στον οικονομικό τομέα για τον χρήστη, αλλά κυρίως σε περιβαλλοντικούς τομείς.

---

## Βασικές Αρχές Βιοκλιματισμού

Θα μπορούσαμε να πούμε ότι ο βιοκλιματικός σχεδιασμός λαμβάνει υπόψη μια σύνθεση δεδομένων που αφορούν τις κλιματικές συνθήκες μιας περιοχής, την τοποθεσία, την θερμική και οπτική άνεση, τον σχεδιασμό και την κατασκευή κτιρίων και χώρων αξιοποιώντας την ηλιακή ενέργεια και όλα τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος που αλληλεπιδρούν με το οικοδόμημα. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός που έχει ως βασικά στοιχεία τα ηλιακά παθητικά συστήματα, συμβάλλει στον περιορισμό της κατανάλωσης συμβατικών καυσίμων και στην ανάδειξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Στοχεύει, δηλαδή, στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην προσαρμογή των κτιρίων στο περιβάλλον τους<sup>[25]</sup>.

### Οι βασικές αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού<sup>[27]</sup> συνοψίζονται στα εξής :

- Εξασφάλιση ηλιασμού και μείωσης των θερμικών απωλειών κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ώστε να αξιοποιείται η ηλιακή ενέργεια για την θέρμανση των χώρων
- Εξασφάλιση ηλιοπροστασίας το καλοκαίρι προκειμένου να επιτυγχάνεται μείωση των θερμικών κερδών, άρα κι μείωση της ανάγκης για ψυκτικό φορτίο
- Αξιοποίηση του ήλιου για φυσικό φωτισμό
- Εκμετάλλευση των δροσερών ανέμων για φυσικό αερισμό και δροσισμό
- Βελτίωση του μικροκλίματος γύρω από το κτίριο
- Βελτίωση και ρύθμιση των εσωτερικών συνθηκών ενός χώρου για επίτευξη θερμικής άνεσης των ατόμων

Συνεπώς, για να κατασκευαστεί και να λειτουργεί ένα κτίριο βιοκλιματικά, πρέπει να γνωρίζουμε πλήρως τις τοπικές συνθήκες και να κατανοήσουμε τα κλιματικά οφέλη και τους περιορισμούς. Το κτίριο θα πρέπει να είναι ικανό να συλλέγει ως φυσικός συλλέκτης δροσισμού<sup>[27]</sup> και ως αποθήκη ψύξης, όταν χρειάζεται ψυκτικά φορτία και να δρα ως φυσικός ανανεωτής αέρα, προκειμένου να προσφέρει στους χρήστες άνετο θερμικό κλίμα στο εσωτερικό. Επίσης, πεδίο μελέτης της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής είναι η χρήση τοπικών δομικών υλικών μιας περιοχής, φιλικών προς το περιβάλλον μετά από μελέτη των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων τους.

Βασικά κριτήρια για την εφαρμογή του βιοκλιματικού σχεδιασμού είναι κυρίως η απλότητα της χρήσης των εφαρμογών και η αποφυγή περίπλοκων συστημάτων και τεχνικών, ώστε να είναι περιορισμένη η επέμβαση των ενοίκων στη λειτουργία τους.



### 4.3 Θερμική άνεση

Θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση του μυαλού κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες συνθήκες<sup>[27]</sup>. Γενικότερα θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σαν η κατάσταση ικανοποίησης του ανθρώπου, βρισκόμενος σε θερμική ισορροπία με το περιβάλλον του.

**Οι παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική άνεση είναι :**

#### A. Περιβαλλοντικοί παράγοντες

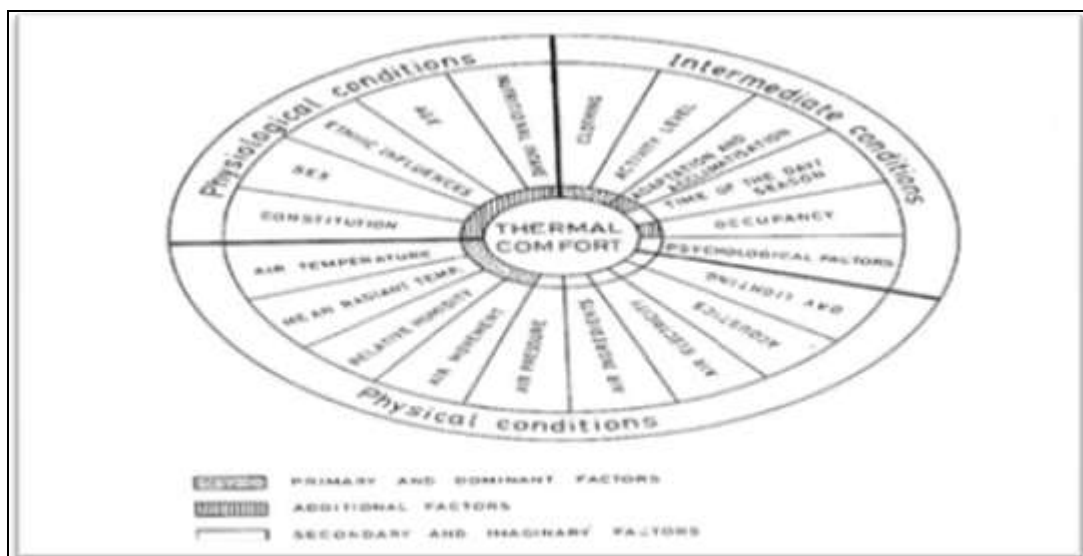
- Θερμοκρασία αέρα
- Ταχύτητα αέρα
- Καθαρότητα αέρα
- Σχετική υγρασία

#### B. Ανθρώπινοι παράγοντες

- Αριθμός χρηστών χώρου
- Ηλικία
- Φύλλο
- Συνήθειες και προτιμήσεις χρηστών
- Ένδυση

#### Γ. Κατασκευαστικές παράμετροι κτιρίου

- Βιοκλιματικός σχεδιασμός
- Ύπαρξη συστημάτων θέρμανσης, κλιματισμού, αερισμού κλπ.
- Οπτική άνεση-Φωτισμός
- Απομόνωση θορύβου



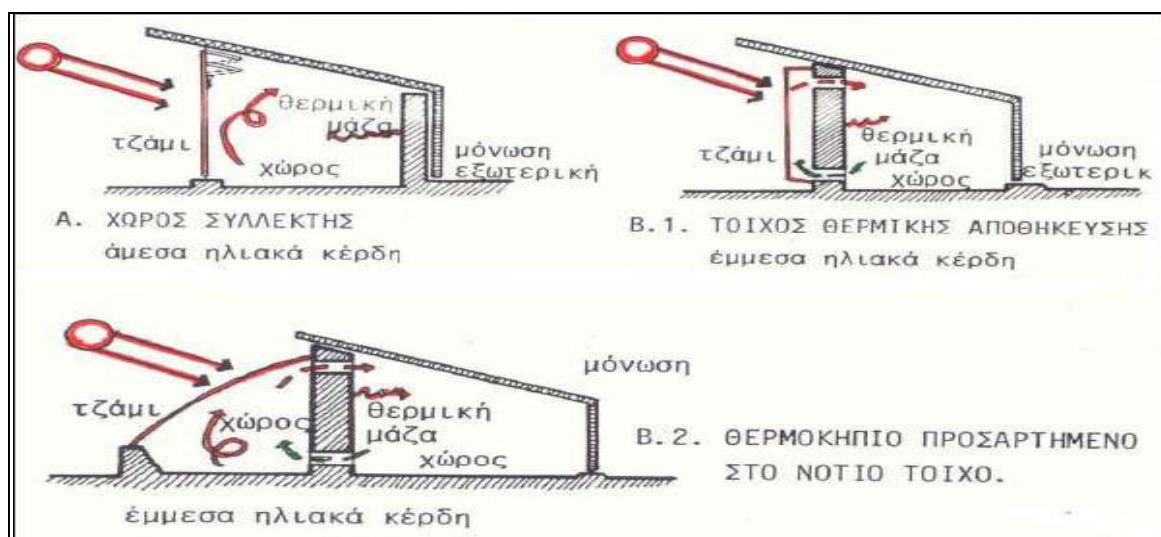
Εικόνα 20 Χάρτης Θερμικής Άνεσης<sup>[25]</sup>.

#### 4.4 Ηλιακά παθητικά συστήματα

Πρόκειται για συστήματα που παρέχουν στο κτίριο θέρμανση και δροσισμό από την εκμετάλλευση των φυσικών πηγών ενέργειας, καθώς και στοιχείων απορρόφησης ενέργειας. Για την επίτευξη μιας ικανοποιητικής θερμικής άνεσης μέσα σε ένα κτίριο, με ταυτόχρονο περιορισμό της χρήσης συμβατικών πηγών, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε πηγές φυσικής ενέργειας (ηλιακή ακτινοβολία, εξωτερικός αέρας, εσωτερικά κέρδη), καθώς και κατάλληλα στοιχεία απορρόφησης (όπως ο ουρανός, ο εξωτερικός αέρας, οι υγρές επιφάνειες και η βλάστηση). Η θερμική εκμετάλλευση στα παθητικά κτίρια<sup>[26]</sup> γίνεται, εκτός από τον τρόπο του σχεδιασμού του, την τοποθέτηση, τον προσανατολισμό, την μορφή του κλπ, με την χρήση παθητικών ηλιακών συστημάτων τα οποία συγκεντρώνουν, αποθηκεύουν, μεταδίδουν και διαχέουν θερμότητα και αποτελούν μέρη των αρχιτεκτονικών στοιχείων.

Σε γενικές γραμμές, τα αρχιτεκτονικά και δομικά στοιχεία που ρυθμίζουν την θερμική συμπεριφορά<sup>[25]</sup> ενός κτιρίου είναι :

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



Εικόνα 21 Ηλιακά παθητικά συστήματα <sup>[25]</sup>.

Όταν σε ένα κτίριο η ροή θερμότητας γίνεται με φυσικό τρόπο, δηλαδή μέσω αγωγής, μεταφοράς και ακτινοβολίας και η ηλιακή ενέργεια συνεισφέρει πάνω από το μισό της ολικής εξωτερικής ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση, το κτίριο θεωρείται σαν ηλιακή παθητική κατασκευή.

---

## Συστήματα άμεσου ή απευθείας ηλιακού κέρδους

Στα συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται μέσω υαλοπινάκων στους εσωτερικούς χώρους, και προσπίπτει σε τοίχους και αντικείμενα ανεβάζοντας την θερμοκρασία τους, καθώς και στους κατοίκους επηρεάζοντας την θερμική άνεση. Απαιτούνται μεγάλες επιφάνειες υαλοπινάκων στην νότια πλευρά για να εισέρχεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερο ποσό ακτινοβολίας, ισχυρές θερμομονώσεις, ενώ οι εσωτερικές επιφάνειες (τοίχοι, δάπεδο) χρησιμοποιούνται για θερμική αποθήκευση<sup>[27]</sup> και ρύθμιση της θερμοκρασίας. Σημαντική είναι και η χρήση σκιάστρων για την ρύθμιση του ποσού της ακτινοβολίας.

## Συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους

Στα συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους, η ηλιακή ακτινοβολία δεν εισέρχεται κατευθείαν στον εσωτερικό χώρο, αλλά προσπίπτει σε μια θερμική μάζα που είναι τοποθετημένη ανάμεσα στο χώρο και το εσωτερικό περιβάλλον. Η μάζα απορροφά ένα ποσοστό ακτινοβολίας και η θερμοκρασία της αυξάνεται. Στη συνέχεια αποδίδει θερμότητα προς το εσωτερικό και ανεβάζει την θερμοκρασία του χώρου. Οι μάζες σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να έχουν μια χρονική καθυστέρηση και να μπορούν να αποδώσουν θερμότητα και κατά τις ώρες που δεν υπάρχει ηλιοφάνεια. Συνήθως, ο τοίχος αυτός τοποθετείται μερικά εκατοστά πίσω από ένα τζάμι και είναι σκούρου χρώματος ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή απορρόφηση ακτινοβολίας.

Ο μηχανισμός μετάδοσης θερμότητας από την εσωτερική επιφάνεια στον χώρο είναι με ακτινοβολία και συναγωγή. Για την μεγαλύτερη απόδοση υπάρχουν ανοίγματα στο πάνω και κάτω άκρο του τοίχου για να επιτυγχάνεται η κυκλοφορία αέρα, ενώ συνήθως υπάρχουν κλαπέτα που δίνουν την δυνατότητα να κλείνουν τα ανοίγματα αυτά και κάποιες φορές ανεμιστήρες για την αύξηση της ροής αέρα.

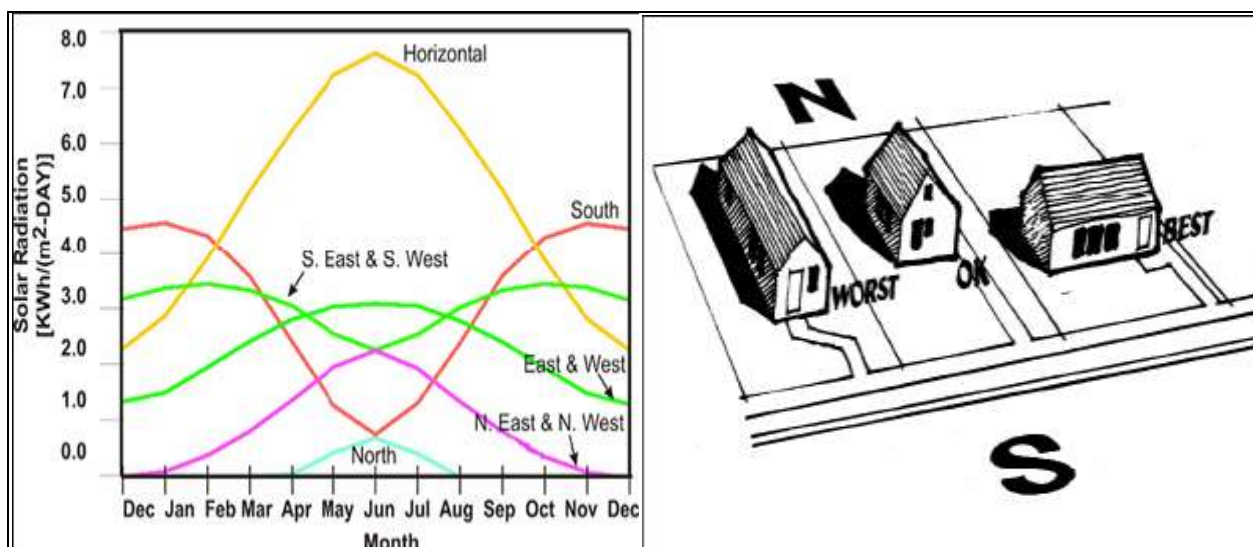
Τα πλέον πιο διαδεδομένα συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους είναι ο τοίχος μάζας θερμοσιφωνικής ροής Trombe και ο τοίχος νερού ,ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε συνδυασμό με ηλιακό θερμοκήπιο.

## 4.5 Προσανατολισμός, σχήμα και χωροθέτηση κτιρίου

Το σχήμα και το περιβάλλον ενός κτιρίου παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην ενεργειακή συμπεριφορά του. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να προκαλέσουν ανεπιθύμητα ηλιακά κέρδη όταν ο δροσισμός είναι απαραίτητος, ή απώλειες θερμότητας όταν υπάρχει ανάγκη θέρμανσης. Δύο κτίρια με τον ίδιο όγκο και κατασκευασμένα από τα ίδια υλικά είναι δυνατόν να παρουσιάσουν τελείως διαφορετική ενεργειακή συμπεριφορά αν διαφέρει το σχήμα, ο περιβάλλον χώρος, αλλά και ο προσανατολισμός τους. Η τοποθέτηση ενός κτιρίου στο οικοπέδο πρέπει να είναι τέτοια ώστε να λαμβάνει υπόψη τις τροχιές του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας και την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Πολύτιμο εργαλείο αποτελούν

οι ηλιακοί χάρτες<sup>[28]</sup>, οι οποίοι μπορούν να βοηθήσουν στον καθορισμό των συνθηκών του περιβάλλοντος για το συγκεκριμένο οικόπεδο, καθώς επίσης και να ορίσουν τις ανάγκες σε σκίασμό από δέντρα και γειτονικά κτίρια. Οι νότιες προσόψεις είναι πιο αξιόλογες, όσον αφορά στη δυνατότητα συλλογής ακτινοβολίας κατά το χειμώνα και αποφυγή της υπερθέρμανσης κατά την διάρκεια του καλοκαιριού.

Το σχήμα του κτιρίου, όπως είναι αναμενόμενο, εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής. Ο λόγος της συνολικής επιφάνειας ενός κτιρίου προς τον όγκο του, είναι ένας σημαντικός παράγοντας που καθορίζει τα ηλιακά κέρδη και τις θερμικές απώλειες ενός κτιρίου. Όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια του κτιρίου τόσο μεγαλύτερα τα κέρδη/απώλειες. Το κτίριο σε σχήμα κύβου, αν και φαίνεται ιδανικό, δεν είναι το βέλτιστο καθώς δεν συμβάλλει στην προστασία των δυτικών τοίχων από την υπερθέρμανση και τον βορινών τοίχων από τους ψυχρούς χειμωνιάτικους ανέμους. Ύστερα από μελέτες που έχουν διεξαχθεί σχετικά με το σχήμα ενός κτιρίου,<sup>[29]</sup> ως βέλτιστο σχήμα θεωρείται το επίμηκες κατά τον άξονα ανατολής-δύσης. Το σχήμα αυτό εξασφαλίζει μεγαλύτερη επιφάνεια προς το νότο για τη συλλογή ηλιακής ακτινοβολίας το χειμώνα και τον ελάχιστο ηλιασμό το καλοκαίρι.



Σχήμα 1 Ηλιακή ακτινοβολία διάφορων προσανατολισμών κτιρίου <sup>[26]</sup>. Εικόνα 22 Σχήμα και προσανατολισμός κτιρίου <sup>[26]</sup>.

Συνεπώς, ο βέλτιστος προσανατολισμός ενός κτιρίου για την εύκρατη ζώνη θεωρείται ο νότιος. Επίσης, ένα κτίριο που προστατεύεται από τη γη, έχει μειωμένες απώλειες θερμότητας από διείσδυση, ιδιαίτερα σε χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Αυτό οφείλεται στο ότι οι θερμοκρασίες εδάφους μένουν σταθερές σε όλη την διάρκεια του έτους και το χώμα συμβάλλει στο να δίνει μια πρόσθετη θερμική αντίσταση στο περίβλημα του κτιρίου. Πέρα από τα ηλιακά κέρδη, ο προσανατολισμός ενός κτιρίου σχετίζεται και με τις συνθήκες φυσικού φωτισμού. Μια κατοικία πρέπει να είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να εκμεταλλεύεται όσο το δυνατόν περισσότερο φως κατά την διάρκεια της ημέρας.

---

Οι εσωτερικοί χώροι πρέπει να σχεδιαστούν κατά τρόπο που ανάλογα με τη χρήση να επιτυγχάνονται οι κατάλληλες συνθήκες<sup>[25]</sup>. Οι χώροι όπου οι κάτοικοι περνούν αρκετές ώρες της ημέρας πρέπει να βρίσκονται στη νότια πλευρά του κτιρίου (σαλόνια, τραπεζαρίες, καθιστικά). Ακόμα, οι χώροι εργασίας ή τα αναγνωστήρια- γραφεία ενδείκνυται να βρίσκονται στη νότια πλευρά, διότι λόγω των μεγάλων ανοιγμάτων που υπάρχουν για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, παρέχεται περισσότερος φυσικός φωτισμός. Επίσης, θερμοκήπια και βεράντες μπορούν να συμπεριληφθούν στην νότια πλευρά καθώς μπορούν να συμβάλλουν στην δέσμευση θερμικής ενέργειας ,προσφέροντας δροσιά το καλοκαίρι και θέρμανση το χειμώνα.

Τα δωμάτια που χρησιμοποιούνται λιγότερες ώρες της ημέρας ,έχουν μικρότερες απαιτήσεις θερμοκρασίας και τοποθετούνται στην ενδιάμεση ζώνη του κτιρίου. Τέτοιοι χώροι είναι τα υπνοδωμάτια, τα μπάνια, τα αποχωρητήρια κλπ. Τέλος, στη πιο κρύα βορινή πλευρά, τοποθετούνται οι βοηθητικοί χώροι όπως αποθήκες, κλιμακοστάσια και γκαράζ , καθώς εκεί οι απαιτήσεις για θερμική άνεση είναι περιορισμένες, και οι χώροι αυτοί λειτουργούν σαν ζώνες εξομάλυνσης της θερμοκρασίας, μειώνοντας τις θερμικές απώλειες. Τα υπόγεια και οι σοφίτες μπορούν επίσης να συμπεριληφθούν σ' αυτή την κατηγορία. Για να λειτουργούν πιο αποτελεσματικά αυτοί οι χώροι, καλό είναι να υπάρχει μόνωση μεταξύ αυτών των τμημάτων του κτιρίου από τα άλλα τμήματα που θερμαίνονται καλύτερα, ώστε να περιοριστούν οι απώλειες θερμότητας και αερισμού.

## 4.6 Συστήματα προστασίας κελύφους και θερμικής προστασίας κτιρίου

Στην κατηγορία αυτή, ανήκουν συστήματα και τεχνικές που σκοπό έχουν να μειώσουν τα θερμικά φορτία που δέχεται ένα κτίριο κατά την περίοδο του καλοκαιριού. Την περίοδο αυτή, που οι εξωτερικές θερμοκρασίες είναι υψηλές, υπάρχει κίνδυνος υπερθέρμανσης, γι' αυτό το κτίριο πρέπει να συμπεριφέρεται ως «φυσικός συλλέκτης» δροσισμού<sup>[27]</sup> και ψύξης. Οι ακτίνες του ήλιου, η διείσδυση του θερμού εξωτερικού αέρα μέσα στο κτίριο και τα εσωτερικά κέρδη από τις δραστηριότητες των ενοίκων και τις συσκευές, μπορεί να οδηγήσει σε μη αποδεκτές καταστάσεις.

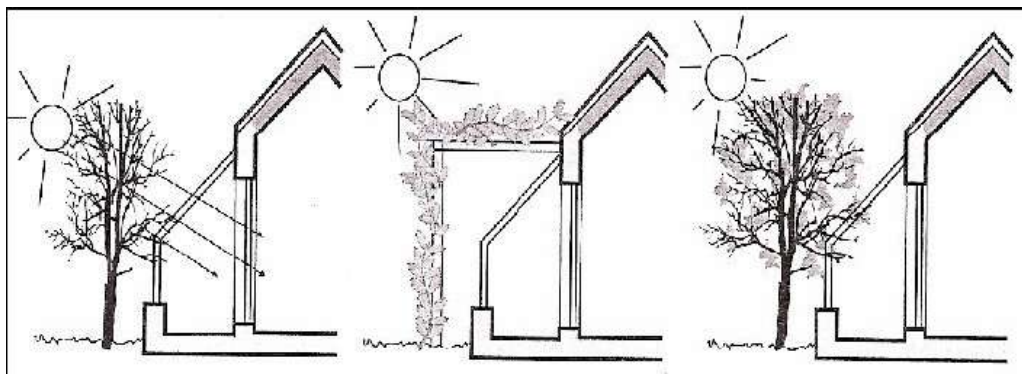
### 4.6.1 Ηλιοπροστασία- Σκιασμός

Τα ηλιακά κέρδη που προκύπτουν από τα παράθυρα ενός κτιρίου, είναι ιδιαίτερα μεγάλα και χρειάζονται απαραίτητως ηλιοπροστασία. Η μελέτη της ηλιοπροστασίας πρέπει να περιλαμβάνει την επαρκή σκίαση των ανοιγμάτων κατά το καλοκαίρι, αλλά να μην περιορίζει το ηλιακό κέρδος κατά το χειμώνα και να λαμβάνει υπόψη τις ανάγκες σε φυσικό φωτισμό.

Η σκίαση είναι περισσότερο αποδοτική όταν είναι εξωτερική, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι εάν η ηλιακή ακτινοβολία εμποδίζεται να εισέλθει και εγκλωβιστεί μέσω υαλοπινάκων στους χώρους, μπορεί να μειώσει κατά 80-90% τα ηλιακά κέρδη. Παράλληλα, η χρήση κινητών σκιάστρων παρέχει την δυνατότητα να επιτυγχάνεται σκίαση των ανοιγμάτων όταν είναι αυτό απαραίτητο, ανεξάρτητα από την εποχή του έτους. Συνεπώς, ο πιο αποτελεσματικός



τρόπος σκιασμού, είναι η χρήση εξωτερικών σκιάστρων με κινητές περσίδες , που όμως είναι ιδιαίτερα ακριβά. Για το λόγο αυτό προτιμάται σταθερή εξωτερική σκίαση που συνδυάζεται με εσωτερικά στόρια. Από τους πιο απλούς τρόπους σκιασμού είναι η τοποθέτηση φυλλοβόλων δέντρων ή βλάστησης που διακόπτουν τον άμεσο ηλιασμό, αλλά παράλληλα, λόγω της σκιάς τους μειώνουν τις θερμοκρασίες κοντά στο έδαφος.



**Εικόνα 23 Σκίαση μέσω φυτών και δέντρων [25].**

**Δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας[27] από επεμβάσεις στο κέλυφος και στο εσωτερικό του κτιρίου μπορούν να επιτευχθούν με τις παρακάτω μεθόδους :**

- Προσθήκη ισχυρής μόνωσης σε τοίχους, δάπεδα κλπ
- Τοποθέτηση θερμομονωτικών- αεροστεγών κουφωμάτων
- Σωστός προσδιορισμός πάχους τοίχων για την εξασφάλιση της κατάλληλης «θερμικής μάζας»
- Μελέτη σκιασμού- ηλιασμού
- Προσθήκη σταθερών και κινητών σκιάστρων
- Προσθήκη παθητικών ηλιακών συστημάτων θέρμανσης- δροσισμού στη νότια, στη νοτιοανατολική και νοτιοδυτική πλευρά του κτιρίου
- Μελέτη της εσωτερικής διαρρύθμισης των χώρων και πρόβλεψη κατάλληλων ανοιγμάτων για να επιτυγχάνεται ο διαμπερής αερισμός που είναι απαραίτητος το καλοκαίρι
- Προσθήκη ήλιο-προστατευτικών πετασμάτων/σκιάστρων στα παράθυρα, για την αποφυγή της υπερθέρμανσης το καλοκαίρι, ιδιαίτερα στη νότια, νοτιοανατολική και νοτιοδυτική πλευρά του κτιρίου
- Αντανakλαστικά επιχρίσματα εξωτερικών επιφανειών
- Βελτίωση του φυσικού φωτισμού των χώρων με κατάλληλες διατάξεις στα παράθυρα
- Τοποθέτηση φράγματος ακτινοβολίας
- Φυτεμένο δώμα



## Δυνατότητες εξοικονόμησης ενέργειας από επεμβάσεις στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου :

- Κατάλληλη φύτευση ως εμπόδιο στους ψυχρούς ανέμους
- Κατάλληλη φύτευση φυλλοβόλων δέντρων στη νότια, στη νοτιοανατολική και στην νοτιοδυτική πλευρά του κτιρίου
- Χρήση στοιχείων νερού (πισίνες, σιντριβάνια) σε συνδυασμό με την επικρατούσα κατεύθυνση των καλοκαιρινών ανέμων, με στόχο τη βελτίωση του μικροκλίματος γύρω από το κτίριο
- Χρήση υπαίθριων σκιάστρων
- Μεγιστοποίηση της επιφάνειας του πρασίνου στον περιβάλλοντα χώρο

### 4.6.2 Φυσικός αερισμός



Εικόνα 24 Φυσικός αερισμός

Ο αερισμός ενός κτιρίου είναι μεγάλης σημασίας, αφενός γιατί μπορεί να εξασφαλίσει χαμηλότερες θερμοκρασίες μέσα στα κτίρια κατά την θερινή περίοδο και αφετέρου διότι είναι απαραίτητη η αντικατάσταση του εσωτερικού αέρα με φρέσκο εξωτερικό, που είναι πλούσιος σε οξυγόνο. Οι φυσικές δυνάμεις που προκαλούν το φυσικό αερισμό είναι ο άνεμος και το φαινόμενο της καμινάδας. Οι παράμετροι που επηρεάζουν τον φυσικό αερισμό είναι : οι εξωτερικές κλιματικές συνθήκες, ο προσανατολισμός, η θέση, το μέγεθος των ανοιγμάτων, η χρήση του κτιρίου και οι δραστηριότητες των ενοίκων.

Η ροή του αέρα μέσα σε ένα κτίριο επιτυγχάνεται, βάση των θερμοκρασιακών διαφορών, αλλά και λόγω της διαφοράς πιέσεων που προκαλούνται γύρω από ένα κτίριο. Όσον αφορά στην επιρροή των θερμοκρασιακών διαφορών, ισχύει ότι όταν δύο αέριες μάζες έχουν διαφορετικές θερμοκρασίες, οι πυκνότητες και οι πιέσεις τους είναι επίσης διαφορετικές, γεγονός που αυξάνει την κίνηση του αέρα από την πυκνότερη (ψυχρότερη) στην λιγότερο πυκνή (θερμότερη).

### Ο φυσικός αερισμός μπορεί να επιτευχθεί με τους εξής τρόπους:

- Κατακόρυφος (φαινόμενο φυσικού εφελκυσμού, μέσω κατακόρυφων ανοιγμάτων, καμινάδων ή πύργων αερισμού)
- Διαμπερής, μέσω παραθύρου και άλλων ανοιγμάτων
- Αεριζόμενο κέλυφος

---

### 4.6.3 Φυσική ψύξη/δροσισμός

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι να μας εξασφαλίσουν ψύξη με φυσικό τρόπο. Αέρας που διαρρέει το κτίριο είναι δυνατόν να ψυχθεί με εξάτμιση, ενώ αέρας αερισμού μπορεί να μειωθεί με ψύξη του από το έδαφος<sup>[29]</sup>. Είναι δυνατή και αποτελεσματική επίσης, η ψύξη ενός χώρου μέσω της νυχτερινής ακτινοβολίας θερμότητας προς τον ουρανό. Μια λογική αύξηση της ταχύτητας του αέρα στον χώρο, μπορεί να προκαλέσει αυξημένη άνεση των ενοίκων, δεδομένου ότι η θερμοκρασία στου αέρα είναι χαμηλότερη από την θερμοκρασία του δέρματος.

#### **Δροσισμός από εξάτμιση**

Για να αλλάξει κατάσταση το νερό από υγρό σε ατμό, απαιτείται ένα ορισμένο ποσό θερμότητας, που ονομάζεται λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης. Για να συμβεί αυτό είναι απαραίτητο η πίεση ατμών του νερού να είναι υψηλότερη από την πίεση των υδρατμών στην ατμόσφαιρα.

Τεχνικές έμμεσου εξατμιστικού δροσισμού είναι οι ανοιχτές λίμνες και ο ψεκασμός των δωματίων με νερό. Επιπλέον, υπάρχουν και υβριδικές (μηχανικές) ψυκτικές μονάδες εξάτμισης (άμεσης, έμμεσης ή συνδυασμένης εξάτμισης).

#### **Δροσισμός από το έδαφος**

Πρόκειται για αξιοποίηση της χαμηλής θερμοκρασίας του εδάφους σε σχέση με τον αέρα περιβάλλοντος κατά τους θερινούς μήνες. Ενώ σε πολλά σημεία μιας χώρας μπορεί να υπάρχουν ισχυρές διακυμάνσεις στη θερμοκρασία αναλόγως της εποχής, από καύσωνα το καλοκαίρι σε θερμοκρασίες υπό του μηδενός τον χειμώνα, μόλις μέτρα κάτω από την επιφάνεια της Γης το έδαφος παραμένει σε μια σχετικά σταθερή θερμοκρασία. Η κατασκευή υπόσκαφων ή ημιυπόσκαφων κτιρίων συνεισφέρουν σημαντική στην μείωση του ψυκτικού φορτίου.

#### **Δροσισμός από ακτινοβολία**

Για να γίνει μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία, πρέπει να υπάρχουν δύο μάζες, οι οποίες να έχουν διαφορετική θερμοκρασία. Το θερμότερο στοιχείο ακτινοβολεί θερμότητα προς το ψυχρότερο. Αν το ψυχρότερο στοιχείο έχει σταθερή θερμοκρασία, το άλλο στοιχείο θα ψυχθεί τόσο ώστε να φτάσει σε κατάσταση ισορροπίας προς το ψυχρότερο. Ο νυχτερινός θόλος, ακόμα και κατά την καλοκαιρινή περίοδο είναι σταθερά ψυχρός. Επομένως, το κτίριο ανταλλάσει θερμότητα με τον ουρανό. Κατά αυτόν τον τρόπο, στο τέλος της νύχτας έχει επιτευχθεί ψύξη του κτιρίου. Οι αδιαφανείς κτιριακές επιφάνειες θα πρέπει να έχουν μεγάλη ανακλαστικότητα στην περιοχή της ακτινοβολίας μικρού κύματος, ώστε να ανακλούν την ανεπιθύμητη ηλιακή ακτινοβολία, αλλά ταυτόχρονα να έχουν ικανότητα εκπομπής της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους, ώστε να υποβοηθούν τη διαδικασία ακτινοβολίας θερμότητας από το κτίριο στον ουρανό.

---

## 4.7 Φυσικός φωτισμός

Η σωστή εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού, μπορεί να αντικαταστήσει σε μεγάλο βαθμό τον τεχνητό φωτισμό και να συμβάλλει σημαντικά στην ενεργειακή αποδοτικότητα και στη εξοικονόμηση ενέργειας, γενικότερα ενός κτιρίου, στην οπτική άνεση και στην βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης των ενοίκων. Ένα καλό σύστημα φυσικού φωτισμού λαμβάνει υπόψη τον προσανατολισμό, την οργάνωση και την γεωμετρία των χώρων που πρόκειται να φωτιστούν, την εγκατάσταση, το σχήμα και τις διαστάσεις των ανοιγμάτων, τη θέση και τις ιδιότητες των επιφανειών των εσωτερικών χώρων, που ανακλούν το φυσικό φως και επηρεάζουν τη διανομή του, καθώς και τη θέση και το σχήμα των διατάξεων που παρέχουν προστασία από το υπερβολικό φως. Πρόκειται δηλαδή για μια ενιαία μελέτη του χώρου, των υαλοστασίων, των πλαισίων και των διατάξεων σκιασμού. Ο φυσικός φωτισμός στα κτίρια δημιουργεί ένα περιβάλλον πιο ευχάριστο από το αντίστοιχο μονότονο που δημιουργεί ο τεχνητός φωτισμός. Υποστηρίζεται ότι συνδέεται με την καλή ψυχική υγεία του ατόμου και το σύνδρομο εποχικής συναισθηματικής διαταραχής<sup>[29]</sup>.

### Οπτική άνεση

Η οπτική άνεση περιγράφει την ικανότητα του ατόμου να εντοπίζει, να αναγνωρίζει και να αναλύει λεπτομερώς εύκολα ότι βρίσκεται στο πεδίο ορατότητας του. Εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τις συνθήκες φωτισμού του χώρου στον οποίο βρίσκεται το άτομο. Όταν υπάρχει ανεπαρκής φωτισμός, ή το φαινόμενο της θάμπωσης<sup>[27]</sup> (κακή διανομή φωτός που μπορεί να τυφλώνει τους ενοίκους, δημιουργώντας ένα αίσθημα κόπωσης και δυσφορίας), η ικανότητα του ατόμου να δει αντικείμενα ή λεπτομέρειες σε ένα χώρο μειώνεται. Για την εξασφάλιση καλής οπτικής άνεσης απαιτείται στους εσωτερικούς χώρους να υπάρχει επαρκής ποσότητα φωτισμού αφενός και αφετέρου ομαλή κατανομή. Τόσο η επάρκεια όσο και η κατανομή του φωτισμού εξαρτώνται από τα γεωμετρικά στοιχεία του χώρου και των ανοιγμάτων.

### Φυσικός φωτισμός και εξοικονόμηση ενέργειας

Ο φωτισμός συνδέεται επίσης με την κατανάλωση ενέργειας. Από το σύνολο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το ποσοστό ενέργειας που χρησιμοποιείται για φωτισμό υπολογίζεται σε περίπου 4%. Συνεπώς, η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για φωτισμό φαίνεται να συνεισφέρει πολύ λίγο στην συνολική εξοικονόμηση ενέργειας. Ωστόσο, αν εξετάσουμε τον κτιριακό τομέα διαπιστώνουμε πως από το της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται σε μια κατοικία, μόλις το 2,5% οφείλεται σε ηλεκτρική κατανάλωση λόγω φωτισμού, ενώ στα εμπορικά κτίρια και στα κτίρια γραφείων, ο φωτισμός καταναλώνει μεγάλο ποσό από τις συνολικές ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια. Έτσι, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σήμερα στοχεύουν στην μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας, που απαιτείται για φωτισμό και στην μείωση των ωρών χρήσης του τεχνητού φωτισμού.

---

## Συστήματα και τεχνικές φυσικού φωτισμού

Κατηγορίες συστημάτων:

- Ανοίγματα στην κατακόρυφη τοιχοποιία
- Ανοίγματα οροφής
- Αίθρια
- Φωταγωγοί

Ενώ οι τεχνικές που σκοπεύουν στην βελτίωση αυτών των συστημάτων<sup>[25]</sup> περιλαμβάνουν:

- Ηλιοστάσια
- Ειδικούς υαλοπίνακες
- Σκίαστρα
- Ράφια φωτισμού
- Ανακλαστικές περσίδες
- Διαφανή μονωτικά υλικά

### 4.8 Δομικά υλικά

Όσον αφορά τα δομικά στοιχεία ενός κτιρίου<sup>[27]</sup>, οι προσπάθειες προσανατολίζονται σε δύο κατευθύνσεις:

A) Καταρχήν, επιδιώκεται η ανεύρεση υλικών που θα έχουν βελτιωμένες ιδιότητες οι οποίες θα αξιοποιούνται για την αύξηση της απόδοσης ενός κτιρίου, όσον αφορά τη συλλογή, αποθήκευση και μετάδοση της θερμότητας. Οι ιδιότητες των υλικών που σχετίζονται με αυτές τις λειτουργίες είναι η ειδική θερμοχωρητικότητα και η θερμοαγωγιμότητα, οι οποίες είναι χαρακτηριστικές για κάθε υλικό. Προκειμένου, για παράδειγμα, να διατηρήσουμε την εσωτερική θερμοκρασία σταθερή και ανεπηρέαστη από τις εξωτερικές θερμοκρασιακές συνθήκες, απαιτείται να χρησιμοποιούμε τοίχους που να διαθέτουν υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα και χαμηλή θερμοαγωγιμότητα.

B) Επιπροσθέτως όμως, παρουσιάζεται η ανάγκη ανεύρεσης δομικών υλικών που να είναι επίσης και οικολογικά. Ένα από τα κριτήρια στα οποία υπακούει ο βιοκλιματικός σχεδιασμός είναι η επιλογή και η χρήση τοπικών οικοδομικών υλικών, που να είναι φιλικά προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο.

#### 4.8.1 Δομικά υλικά και τοξικότητα

Τοξικότητα είναι η ιδιότητα ορισμένων υλικών που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές και αποτελούνται ή περιέχουν ουσίες που ονομάζονται τοξικές οι οποίες, όταν απελευθερώνονται μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα και την υγεία των χρηστών του κτιρίου<sup>[29]</sup>. Χρώματα, συγκολλητικές ουσίες, καθώς και άλλα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή οικοδομικών υλικών είναι τοξικά και καρκινογόνα. Οι επιπτώσεις της τοξικότητας των υλικών στην υγεία περιλαμβάνουν αναπαραγωγικές ανωμαλίες, τοξική δράση στο ανοσοποιητικό και το νευρικό σύστημα, καρκινογόνα δράση,

ερεθισμούς και πολλές αλλεργικές αντιδράσεις. Το ραδόνιο 222 είναι ένα ραδιενεργό ευγενές αέριο και η συγκέντρωσή του σε ένα κτίριο εξαρτάται από την ποσότητα του στο υποκείμενο έδαφος. Διαφορές πίεσης μεταξύ του αέρα του κτιρίου και του εδάφους, οδηγούν στην διείσδυση του ραδονίου δια μέσου ρωγμών, προς το εσωτερικό του κτιρίου. Ωστόσο, μια επίσης σημαντική πηγή ραδιενέργειας, είναι και η χρήση ραδιενεργών υλικών κατά τη δόμηση. Το τσιμέντο, για παράδειγμα, που έχει παραχθεί από πετρώματα που περιέχουν ουράνιο, μπορεί να αποτελέσει πηγή ραδονίου. Επίσης κεραμικά υλικά και γρανίτες είναι στοιχεία που ενδέχεται να εκπέμπουν ραδιενέργεια. Σε κάθε περίπτωση, για την αποφυγή της ραδιενέργειας συνίσταται καλός αερισμός του χώρου, η χρήση ειδικών στεγανοποιητικών μεμβρανών και η χρήση μη ραδιενεργών, οικολογικών δομικών υλικών<sup>[27]</sup>. Τα κυριότερα τοξικά υλικά είναι ο αμίαντος που συναντάται σε παλιά κτίρια, το βενζόλιο στην βενζίνη, τα πριονίδια ξύλου κατάλοιπα ξυλουργικών εργασιών, νικέλιο στις ηλεκτροσυγκολλήσεις, ενώσεις χρωμίου σε βερνίκια ξύλου, συνθετικές ίνες σε μονώσεις και πολλά ακόμη.

#### 4.8.2 Οικολογικά Υλικά

Τα «σωστά» υλικά που πρέπει να χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός κτιρίου<sup>[27]</sup>, πρέπει να πληρούν τις εξής προϋποθέσεις:

- Είναι ανακυκλώσιμα και μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν
- Είναι φυσικά και όχι αποτέλεσμα της χημικής βιομηχανίας, βρίσκονται σε αφθονία ή είναι ανανεώσιμα
- Η παρασκευή τους στοχεύει στην μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης, στην ελαχιστοποίηση των αποβλήτων και στην μείωση των αερίων που είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου
- Είναι τοπικά διαθέσιμα υλικά, ώστε να αποφεύγεται η κατανάλωση ενέργειας για μεταφορά στον τόπο χρήσης τους
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής
- Δεν είναι τοξικά.
- Αντέχουν στην υγρασία, ώστε να μην εμφανίζεται το φαινόμενο της «μούχλας» στακτίρια
- Βελτιώνουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα

#### Οικολογικά δομικά προϊόντα

Πρόκειται για ένα περιορισμένο αριθμό προϊόντων, που χρησιμοποιούνταν παραδοσιακά στις κατασκευές και δεν περιέχουν συνθετικά υλικά, ενώ προέρχονται από φυσικούς πόρους που υπάρχουν σε αφθονία:

- Ωμή άργιλος
- Ασβέστης
- Ξύλο
- Κόλλα από καουτσούκ
- Κερί από μέλισσες
- Φελλός

---

### 4.8.3 Θερμομονωτικά υλικά

Είναι γνωστό ότι μια σωστήθερμομόνωση, η οποία απαιτεί περίπου το 10% του αρχικού κόστους κατασκευής του κτιρίου, μπορεί να εξοικονομήσει μέχρι και το 20% του κόστους λειτουργίας τηςθέρμανσής του. Μια κατοικία 100 m<sup>2</sup> καλά μονωμένη, εξοικονομεί περίπου 2 τόνους πετρέλαιο σε σχέση με μια αμόνωνη κατοικία. Η καλή θερμομόνωση μπορεί να μειώσει τη μεταφορά θερμότητας μέσα από τους τοίχους, τα πατώματα, τις οροφές, τα παράθυρα κλπ, κατά πολύ μεγάλο ποσοστό. Επιθυμητή είναι η χρήση υλικών με μικρό συντελεστή θερμοπερατότητας U.

## 4.9 Σύνοψη

Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός σε συνδυασμό με την εφαρμογή ηλιακών παθητικών συστημάτων φέρεται να συμβάλλει σημαντικά στην καλύτερη εκμετάλλευση των φυσικών πόρων, μειώνοντας κατά πολύ την ανάγκη για χρήση άλλων πηγών. Το περιβάλλον, το σχήμα, ο προσανατολισμός και η χωροθέτηση του κτιρίου, αποτελούν τις βασικές προϋποθέσεις για την καλύτερη ενεργειακή συμπεριφορά του. Επίσης, με την προσθήκη κατάλληλων συστημάτων προστασίας του κελύφους και θερμικής προστασίας, επιτυγχάνεται ο καλύτερος φυσικός αερισμός, ψύξη-δροσισμός, ενώ με κατάλληλες τεχνικές ηλιοπροστασίας αποφεύγεται η υπερθέρμανση κατά το καλοκαίρι και προφυλάσσουν το κτίριο από τους κρύους βορινούς ανέμους. Με την κατάλληλη εφαρμογή τεχνικών φυσικού φωτισμού επιτυγχάνεται μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας ενώ ταυτόχρονα συμβάλει στην καλύτερη οπτική άνεση των ενοίκων. Τέλος, οι προσπάθειες προσανατολίζονται στη χρήση τοπικών οικοδομικών υλικών, φιλικών προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο με υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα και μικρή θερμοαγωγιμότητα.



## 5 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ

### 5.1 Πρόλογος

Σ' αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται συνοπτικά όλα τα στοιχεία που αφορούν την υπό μελέτη κατοικία και χρησιμοποιήθηκαν κατά τους υπολογισμούς. Πιο αναλυτικά, γίνεται αναφορά στην τοποθεσία της κατοικίας, ενώ παράλληλα παρατίθεται και το αρχιτεκτονικό σχέδιο αυτής. Στη συνέχεια, με βάση τα δομικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν, πραγματοποιείται μελέτη θερμομόνωσης. Γίνεται αναφορά στις κλιματολογικές συνθήκες κατά τις οποίες σχεδιάστηκε το συγκρότημα και αφορούν την εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος, όπως και το αιολικό και ηλιακό δυναμικό της περιοχής. Τέλος, από τα κλιματολογικά δεδομένα γίνεται ο υπολογισμός των μηνιαίων συντελεστών χρησιμοποίησης ισχύος, για φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτρια.

### 5.2 Τοποθεσία κατοικίας

Για την υλοποίηση της μελέτης επιλέχθηκε ένα βιοκλιματικό συγκρότημα τεσσάρων κατοικιών υπό κατασκευή στα Φαρά Σκόπελου του δήμου Γέρας, νοτιοανατολικά της νήσου Λέσβου (ζώνη Β). Το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας είναι 38,58 και το γεωγραφικό μήκος είναι 26,28 . Ο σχεδιασμός του πραγματοποιήθηκε με το AutoCAD 2008.



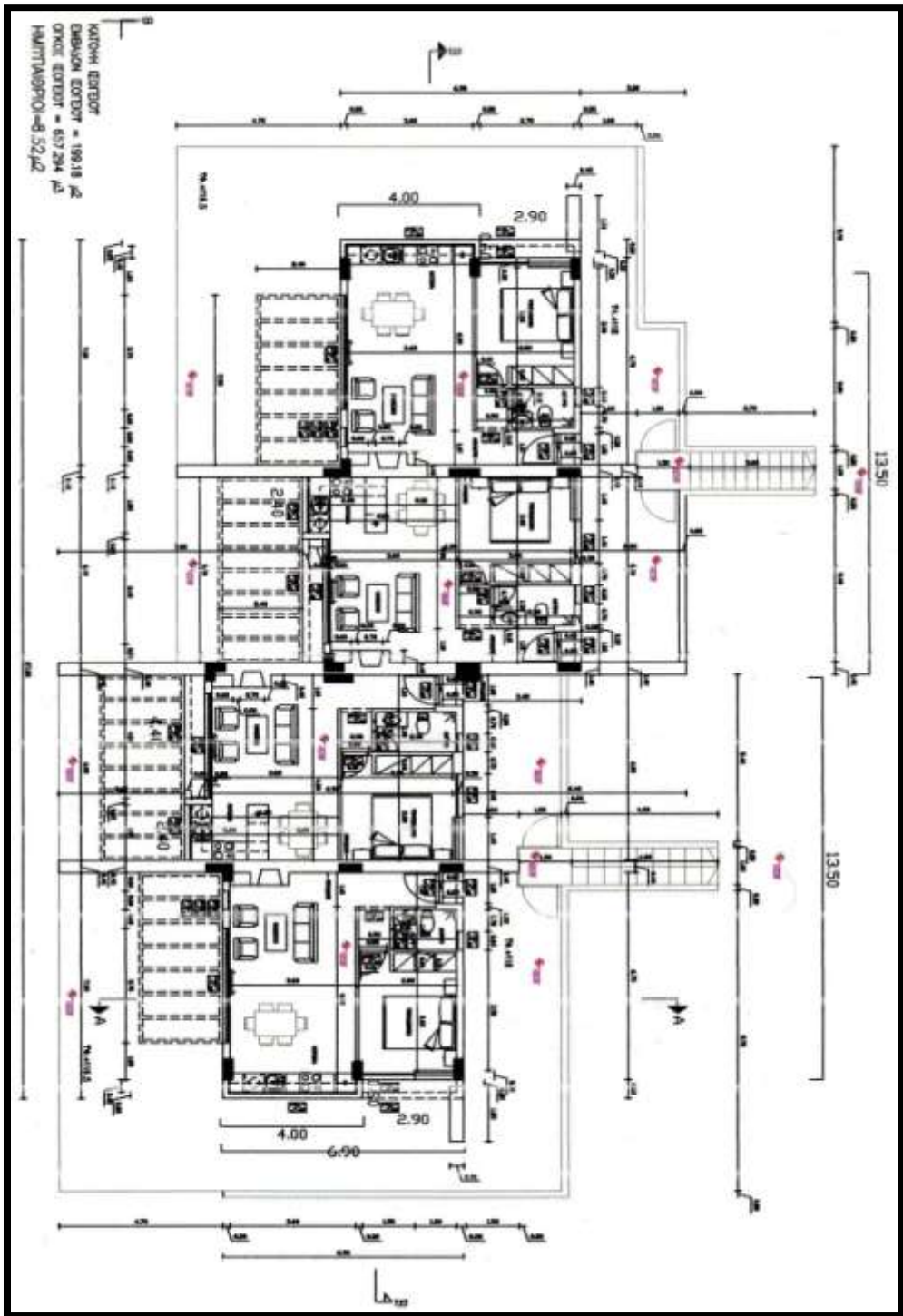
Εικόνα 25 Ένδειξη της τοποθεσίας Φαρά στο χάρτη της Λέσβου μέσω του Google Earth<sup>[30]</sup>.



Εικόνα 26 Τοπογραφικό τοποθεσίας Φαρά<sup>[31]</sup>.



Εικόνα 27 Φωτογραφία της τοποθεσίας του συγκροτήματος από δορυφόρο<sup>[30]</sup>.

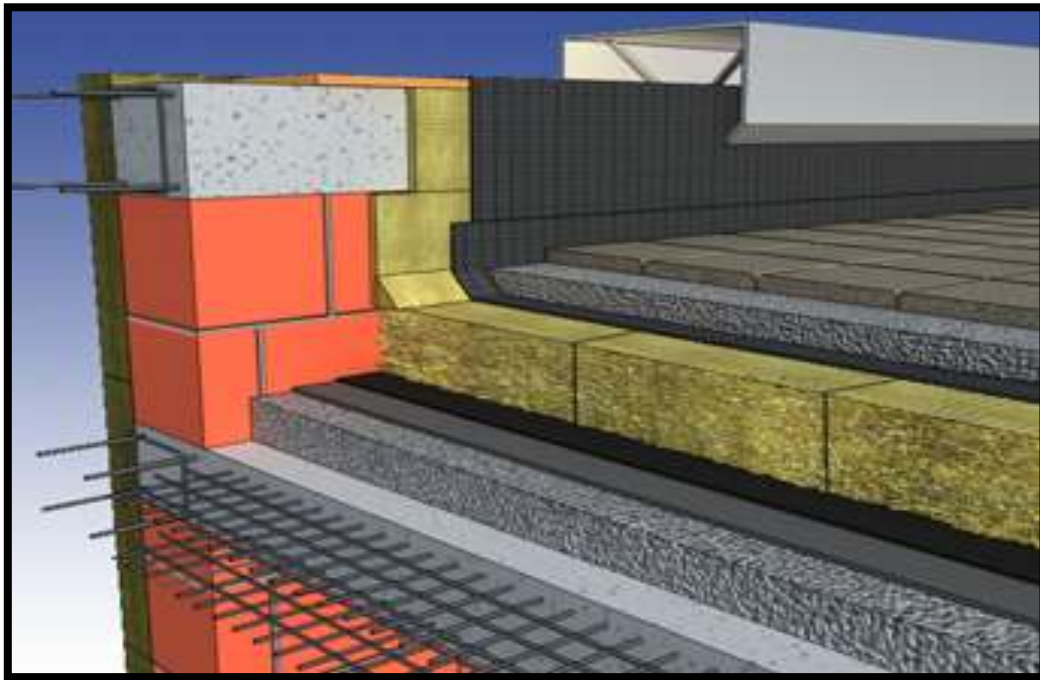


Εικόνα 28. Αρχιτεκτονικό σχέδιο του συγκροτήματος κατοικιών<sup>[32]</sup>.



### 5.3 Μελέτη θερμομόνωσης

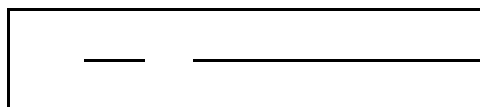
#### Μεθοδολογία υπολογισμού θερμομόνωσης κτιρίου<sup>[33]</sup>



#### Βήμα πρώτο

Για τον υπολογισμό του συντελεστή θερμοπερατότητας  $k$  κάθε δομικού στοιχείου σχεδιάζουμε μία τομή του δομικού στοιχείου και υπολογίζουμε το συντελεστή θερμικής αντίστασης της κάθε στρώσης του από το πάχος της,  $d$ , και το συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας του υλικού, από το οποίο αυτή αποτελείται.

Στη συνέχεια, υπολογίζουμε την αντίσταση θερμοδιαφυγής του στοιχείου ( $1/\Lambda$ ) ως άθροισμα των επί μέρους θερμικών αντιστάσεων. Στην αντίσταση θερμοδιαφυγής προσθέτουμε τους δύο συντελεστές θερμικής μετάβασης,  $1/\alpha$  (εξωτερικής) και  $1/\beta$  (εσωτερικής), και έτσι υπολογίζουμε την αντίσταση θερμοπερατότητας του στοιχείου,  $1/k$ . Από την αντίσταση θερμοπερατότητας, με αντιστροφή, υπολογίζουμε το συντελεστή θερμοπερατότητας του στοιχείου,  $k$ .



## Βήμα δεύτερο

Καταγράφουμε τα δομικά στοιχεία που συναποτελούν το κατακόρυφο κέλυφος του κάθε ορόφου με την ονομασία που χρησιμοποιήσαμε για αυτά στο πρώτο βήμα. Για κάθε ένα από τα στοιχεία αυτά μεταφέρουμε το συντελεστή θερμοπερατότητας του, όπως αυτός υπολογίστηκε και την επιφάνεια που το στοιχείο αυτό καταλαμβάνει στο (κατακόρυφο) κέλυφος του συγκεκριμένου ορόφου. Τα ίδια επαναλαμβάνουμε και για τα κουφώματα που συναντώνται στο κέλυφος του συγκεκριμένου ορόφου. Υπολογίζουμε τα γινόμενα των συντελεστών θερμοπερατότητας  $k$  επί την επιφάνεια,  $F$ , που καταλαμβάνει το κάθε δομικό στοιχείο στο κέλυφος του συγκεκριμένου ορόφου.

## Βήμα τρίτο

Το τρίτο βήμα περιλαμβάνει τον υπολογισμό της συνολικής θερμομονωτικής ικανότητας του κελύφους του κτιρίου και τον τελικό έλεγχο της, έναντι της αντίστοιχης μέγιστης επιτρεπόμενης τιμής . Μεταφέρουμε τα αθροίσματα των γινομένων  $k F$  (του συντελεστή  $k$  κάθε δομικού στοιχείου επί την επιφάνεια  $F$  που καταλαμβάνει), όπως αυτά υπολογίστηκαν για κάθε όροφο του κτιρίου.

Υπολογίζουμε επίσης το ίδιο γινόμενο,  $k F$  και για τα οριζόντια στοιχεία του κελύφους. Αθροίζουμε το σύνολο των γινομένων  $k F$  τόσο για τα κατακόρυφα όσο και για τα οριζόντια στοιχεία του κελύφους του κτιρίου και το αποτέλεσμα το διαιρούμε με τη συνολική επιφάνεια του κελύφους. Το αποτέλεσμα της διαίρεσης αυτής αντιπροσωπεύει το μέσο συντελεστή θερμοπερατότητας του κτιρίου που μελετάμε. Θα πρέπει να ισχύει:  $\leq$  . Αν δεν ισχύει αυτό, επανασχεδιάζουμε το κέλυφος του κτιρίου.

## Ειδικά στοιχεία κτιρίου

	<b>Ονομασία</b>	<b>Επιφάνεια</b>	<b>Μονάδες</b>
1	Επιφάνεια εξωτερικών τοιχων	208,49	[ ]
2	Επιφάνεια ανοιγμάτων (παράθυρα)	59,04	[ ]
3	Επιφάνεια ανοιγμάτων (πόρτες)	9,6	[ ]
4	Επιφάνεια ορόφης, στέγης, ορόφης κάτω από μη θερμομονωθείσα στέγη	199,18	[ ]
5	Επιφάνεια δαπέδου	199,18	[ ]
6	Ολική εξωτερική επιφάνεια οικοδομής	466,71	[ ]
7	Όγκος οικοδομής	657,294	[ ]
8	Ύψως ορόφου	3,1	[ ]

---

**Δομικό στοιχείο:** Εξ. τοιχοποιία  
**Τύπος κατασκευής:** Οπτοπλινθοδομή

---

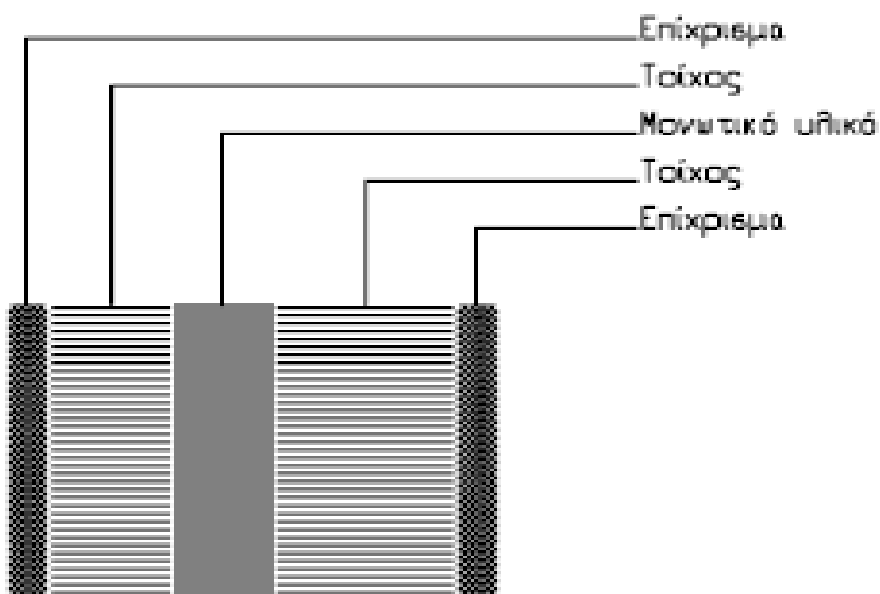
Υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας k

α/α	Στρώσεις υλικών	Πυκν. [ ]	Παχ. d [ ]	Συντ. λ [ ]	d/λ [ ]
1	Επίχρισμα	1900	0,02	0,872	0,023
2	Τοίχος	1200	0,09	0,523	0,172
3	Μονωτικό υλικό		0,05	0,041	1,228
4	Τοίχος	1200	0,09	0,523	0,172
5	Επίχρισμα	1900	0,02	0,872	0,023
Σύνολο					1,618

Αντίσταση θερμοδιαφυγής στοιχείου (όλων των στρώσεων)  $1/\Lambda : 1,618$  —

— — και — —  
— —

ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ:





**Δομικό στοιχείο:** Δάπεδο με πλακάκι επί σκυροδέματος  
**Τύπος κατασκευής:** Δάπεδο με πλακάκι επί σκυροδέματος

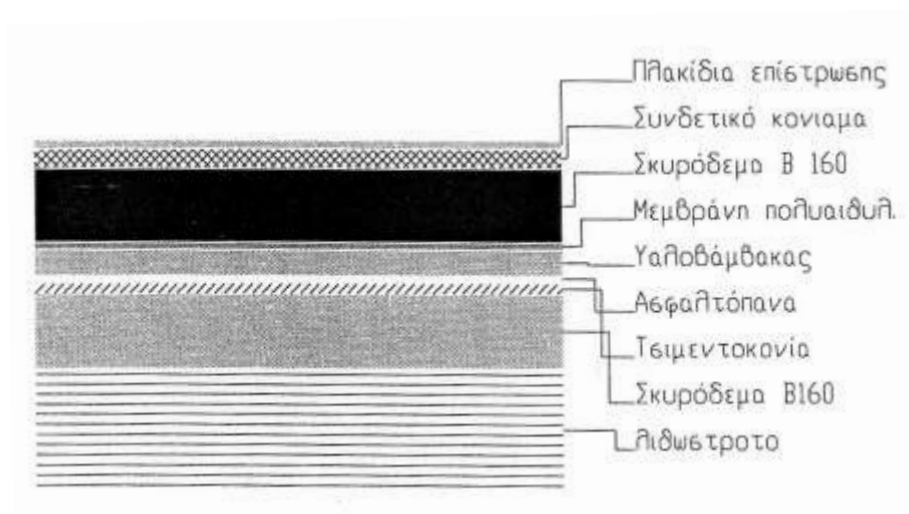
Υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας k

α/α	Στρώσεις υλικών	Πυκν. [ ]	Παχ. d [ ]	Συντ. λ [ ]	d/λ [ ]
1	Πλακίδια επίστρωσης	2000	0,015	1,047	0,014
2	Συνδετικό κονίαμα	1900	0,035	0,872	0,040
3	Σκυρόδεμα Β 160	2400	0,15	2,035	0,074
4	Μεμβράνη πολυαιθυλ.	-	0,01	0,023	0,430
5	Υαλοβάμβακας	65	0,05	0,027	1,869
6	Ασφαλτόπανα	1100	0,01	0,186	0,054
7	Τσιμεντοκονία	2200	0,02	1,396	0,014
8	Σκυρόδεμα Β 160	2400	0,15	1,512	0,099
9	Λιθόστρωτο	30000	0,25	0,814	0,307
	Σύνολο				2,902

Αντίσταση θερμοδιαφυγής στοιχείου (όλων των στρώσεων)  $1/\Lambda : 2,902$  —

— και —  
 —

ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ:



---

**Δομικό στοιχείο:** Οροφή  
**Τύπος κατασκευής:** Οπλισμένο σκυρόδεμα

---

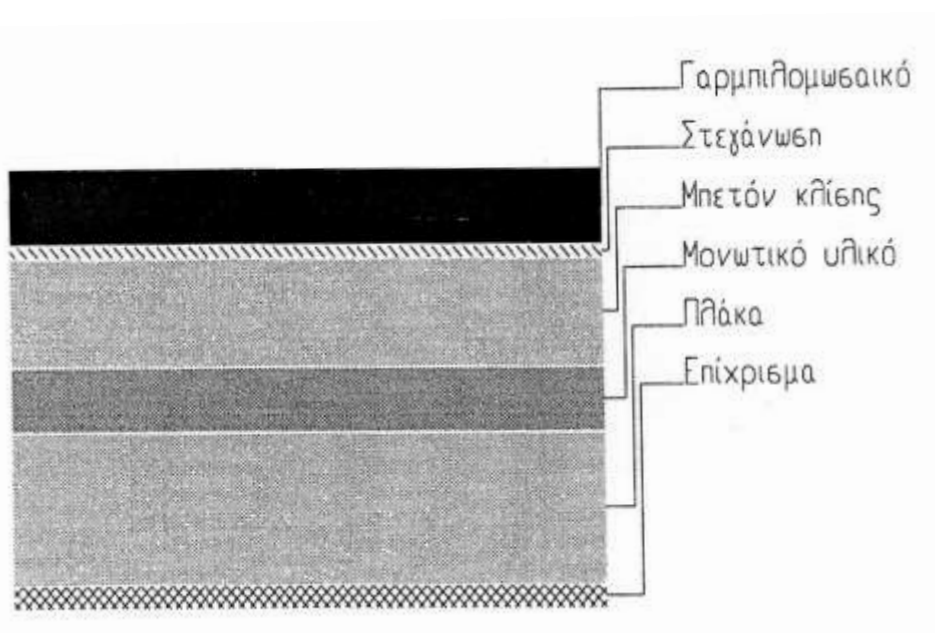
Υπολογισμός του συντελεστή θερμοπερατότητας k

α/α	Στρώσεις υλικών	Πυκν. [ ]	Παχ. d [ ]	Συντ. λ [ ]	d/λ [ ]
1	Επίχρισμα	1900	0,02	0,872	0,023
2	Πλάκα	2400	0,14	2,035	0,069
3	Μονωτικό υλικό		0,06	0,041	1,474
4	Μπετόν κλίσης	800	0,1	0,349	0,287
5	Στεγάνωση	1050	0,01	0,174	0,057
6	Γαρμπιλομωσαϊκό	1500	0,07	0,640	0,109
Σύνολο					2,019

Αντίσταση θερμοδιαφυγής στοιχείου (όλων των στρώσεων) – —

— — και — —  
— —

ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ:



**Επίπεδο : 1****Προσανατολισμός ανατολική όψη**

Μη διαφανείς επιφάνειες

α/α	Δομικό στοιχείο		Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Συν. Επιφ. [ ]	Αφαιρ. Επιφ. [ ]	Επιφ. Υπολ. F [ ]	F K
1	Εξ. Τοιχοποιία	0,561	14,9	3,1	46,19	5,82	40,37	22,659
2	Δοκοί υποστυλωμ.	0,651	8,2	0,5	4,1	-	4,1	2,670
3	Δοκοί υποστυλωμ.	0,651	0,9	4,2	3,78	-	3,78	2,462
ΣΥΝΟΛΟ							48,25	27,791

Διαφανείς επιφάνειες

α/α		Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Συν. Επιφ. F [ ]	]
1	3,83	3,7	0,6	2,22	8,503
2	3,83	1,5	2,4	3,6	13,788
ΣΥΝΟΛΟ				5,82	22,291

**Επίπεδο : 1****Προσανατολισμός δυτική όψη**

Μη διαφανείς επιφάνειες

α/α	Δομικό στοιχείο		Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Συν. Επιφ. [ ]	Αφαιρ. Επιφ. [ ]	Επιφ. Υπολ. F [ ]	F K
1	Εξ. Τοιχοποιία	0,561	14,9	3,1	46,19	5,58	40,61	22,794
2	Δοκοί υποστυλωμ.	0,651	8,2	0,5	4,1	-	4,1	2,670
3	Δοκοί υποστυλωμ.	0,651	0,9	4,2	3,78	-	3,78	2,462
ΣΥΝΟΛΟ							48,49	27,926

Διαφανείς επιφάνειες

α/α		Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Συν. Επιφ. F [ ]	]
1	3,83	3,7	0,6	2,22	8,503
2	3,83	1,4	2,4	3,36	12,869
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>					
				5,58	21,371

**Επίπεδο : 1**

**Προσανατολισμός βόρεια όψη**

Μη διαφανείς επιφάνειες

α/α	Δομικό στοιχείο	Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Συν. Επιφ. [ ]	Αφαι. Επιφ. [ ]	Επιφ. Υπολ. F [ ]	F K	
1	Εξ. Τοιχοποιία	0,561	28,7	3,1	88,97	8,7	80,27	45,054
2	Δοκοί υποστυλωμ.	0,651	25,2	0,5	12,6	-	12,6	8,206
3	Δοκοί υποστυλωμ.	0,651	3,4	4,2	14,28	-	14,28	9,300
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>						107,15	62,561	

Διαφανείς επιφάνειες

α/α		Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Συν. Επιφ. F [ ]	]
1	3,83	0,6	0,6	0,36	1,379
2	3,83	1,4	2,4	3,36	12,869
3	3,83	0,6	0,6	0,36	1,379
4	3,83	0,6	0,6	0,36	1,379
5	3,83	1,4	2,4	3,36	12,869
6	3,83	0,6	0,6	0,36	1,379
7	3,83	0,45	0,6	0,27	1,034
8	3,83	0,45	0,6	0,27	1,034
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>					
				8,7	33,321

**Επίπεδο : 1****Προσανατολισμός νότια όψη**

Μη διαφανείς επιφάνειες

α/α	Δομικό στοιχείο		Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Συν. Επιφ. [ ]	Αφαι. Επιφ. [ ]	Επιφ. Υπολ. F [ ]	F K
1	Εξ. Τοιχοποιία	0,561	27,8	3,1	86,18	38,94	47,24	26,515
2	Δοκοί υποστυλωμ.	0,651	25,2	0,5	12,6	-	12,6	8,206
3	Δοκοί υποστυλωμ.	0,651	3	4,2	12,6	-	12,6	8,206
ΣΥΝΟΛΟ							72,44	42,927

Διαφανείς επιφάνειες

α/α		Μήκος	Ύψος ή πλάτος	Συν. Επιφ. F [ ]	]
1	3,83	3,7	2,4	8,88	34,0104
2	3,83	0,6	0,6	0,36	1,3788
3	3,83	0,6	0,6	0,36	1,3788
4	3,83	0,6	0,6	0,36	1,3788
5	3,83	1,8	0,6	1,08	4,1364
6	3,83	3,4	2,4	8,16	31,2528
7	3,83	3,4	2,4	8,16	31,2528
8	3,83	1,8	0,6	1,08	4,1364
9	3,83	0,6	0,6	0,36	1,3788
10	3,83	0,6	0,6	0,36	1,3788
11	3,83	0,6	0,6	0,36	1,3788
12	3,83	3,7	2,4	8,88	34,0104
13	3,83	0,45	0,6	0,27	1,0341
14	3,83	0,45	0,6	0,27	1,0341
ΣΥΝΟΛΟ				38,94	149,1402

---

**Συντελεστές θερμοπερατότητας KM (W,F) για διαφανείς και μη διαφανείς επιφάνειες**

---

Όριο επιπέδου :  $(W,F) \leq 1,861$  —

Τύπος Επιφάνειας	Προσανατολισμός	Επιφάνεια F [ ]		
Μη διαφανής	Ανατολική	48,25	0,576	27,791
Μη διαφανής	Δυτική	48,49	0,576	27,926
Μη διαφανής	Βόρεια	107,15	0,584	62,561
Μη διαφανής	Νότια	72,44	0,593	42,927
Διαφανής	Ανατολική	5,82	3,83	22,291
Διαφανής	Δυτική	5,58	3,83	22,291
Διαφανής	Βόρεια	8,7	3,83	33,321
Διαφανής	Νότια	38,94	3,83	149,140
<hr/>				
ΣΥΝΟΛΟ		335,61		388,248

$(W,F) = 1,157 \leq 1,861$  —

---

**Μόνωση κτιρίου**

---

Επιτυγχανόμενος μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας KM

Όριο Κτιρίου  $\leq 0.791$  —

Στοιχείο	Επιφάνεια F [ ]		Παράγων	
Δάπ. Με πλακ. Επι σκυρ.	199,18	0,325	1	64,800
Οροφή	199,18	0,458	1	91,259
Επίπεδο 1	335,61	1,156	1	388,248
<hr/>				
ΣΥΝΟΛΟ	733,97			544,306

$= F K/F = 0.741 \leq 0.791$  —



## 5.4 Συνθήκες σχεδιασμού

### 5.4.1 Εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος

Η θερμοκρασία του αέρα θεωρείται ένα από τα βασικότερα κλιματικά στοιχεία, τα οποία συντελούν στη διαμόρφωση του κλίματος μιας περιοχής. Εξαρτάται γενικά από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, το υψόμετρο, τον προσανατολισμό, τη γειτνίαση της με τη θάλασσα και άλλους δευτερεύοντες παράγοντες. Οι βασικοί παράγοντες που καθορίζουν την ετήσια πορεία της θερμοκρασίας του αέρα είναι το μεσημβρινό ύψος του ηλίου δηλαδή η διάρκεια της ημέρας.

Η μέση ετήσια θερμοκρασία παρουσιάζει απλή κύμανση, με την ελάχιστη τιμή, συνήθως, τον Ιανουάριο ή τον Φεβρουάριο, και τη μέγιστη τιμή τον Ιούλιο ή τον Αύγουστο. Στον παρακάτω πίνακα 4 δίνονται οι μέσες μέγιστες και ελάχιστες μηνιαίες εξωτερικές θερμοκρασίες που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια ενός τυπικού έτους στη Λέσβο. Η ελάχιστη θερμοκρασία της περιοχής εμφανίζεται τον Ιανουάριο και η μέγιστη τον Ιούλιο.

	ΜΗΝΕΣ	T max [ ]	T min [ ]	T mean [ ]
1	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	18	2	9,55
2	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	19	3	8,92
3	ΜΑΡΤΙΟΣ	22	4	10,85
4	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	23	7	15,35
5	ΜΑΙΟΣ	31	10	19,13
6	ΙΟΥΝΙΟΣ	35	16	23,65
7	ΙΟΥΛΙΟΣ	37	21	25,56
8	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	36	18	25,06
9	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	34	16	22,48
10	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	29	12	17,81
11	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	25	7	13,93
12	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	21	3	11,09

Πίνακας 4 Μέγιστες, ελάχιστες και μέσες μηνιαίες τιμές εξωτερικές θερμοκρασίες στη Λέσβο<sup>[34]</sup>.

## 5.4.2 Αιολικό – ηλιακό δυναμικό περιοχής



### Ανεμολογικά δεδομένα

Για να κάνουμε αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, πρέπει αρχικά να γίνουν οι απαραίτητες μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου και στη συνέχεια να γίνει η εκτίμηση αυτών. Για τις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιούνται ειδικά όργανα, τα ανεμόμετρα. Οι τιμές που δίνουν τα όργανα αυτά καταγράφονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα και αποτελούν τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής.

Έπειτα η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού είναι μια απαραίτητη διαδικασία, που έχει σκοπό τη διερεύνηση της δυνατότητας να αξιοποιηθεί (το αιολικό δυναμικό της συγκεκριμένης περιοχής) για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για τη μελέτη και τον υπολογισμό των κατάλληλων αιολικών συστημάτων, πρέπει να γνωρίζουμε τη μέση ταχύτητα του ανέμου σε χαρακτηριστικές χρονικές περιόδους, όπως μέσα στον μήνα ή στο έτος.

Στον πίνακα 5 που ακολουθεί φαίνονται τα δεδομένα της μέσης μηνιαίας ταχύτητας του ανέμου, στην περιοχή που εξετάζουμε. Οι τιμές της μέσης ταχύτητας του ανέμου είναι αρκετά καλές, ώστε η εγκατάσταση ανεμογεννητριών να αποδίδει την επιθυμητή ηλεκτρική ισχύ.

	ΜΗΝΕΣ	$\bar{v}$ [m/s]
1	ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	5,5
2	ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	5,9
3	ΜΑΡΤΙΟΣ	5,1
4	ΑΠΡΙΛΙΟΣ	4,4
5	ΜΑΙΟΣ	3,6
6	ΙΟΥΝΙΟΣ	3,8
7	ΙΟΥΛΙΟΣ	5,1
8	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	4,9
9	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	4,4
10	ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	4,5
11	ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	4,9
12	ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	5,6

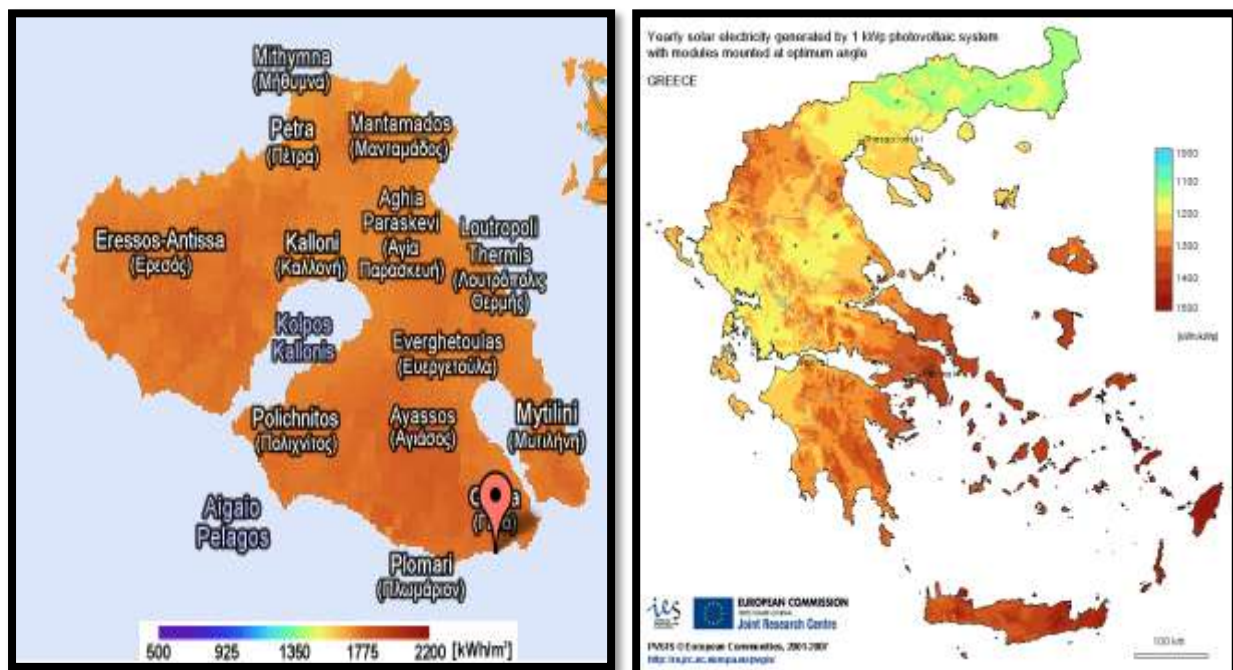
Πίνακας 5. Μέση μηνιαία ταχύτητα του ανέμου στη Λέσβο<sup>[34]</sup>

## Ηλιακά δεδομένα

Από βάση δεδομένων του διαδικτυακού τόπου PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) έχουν υπολογιστεί οι μέσες μηνιαίες τιμές πυκνότητας ισχύος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ( ) σε επίπεδο με βέλτιστη γωνία κλίσης. Τα δεδομένα αυτά δίνονται στον πίνακα 6 που ακολουθεί παρακάτω.

	ΜΗΝΕΣ	
1	<b>ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ</b>	116,25
2	<b>ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ</b>	141,25
3	<b>ΜΑΡΤΙΟΣ</b>	185,42
4	<b>ΑΠΡΙΛΙΟΣ</b>	225,00
5	<b>ΜΑΙΟΣ</b>	247,92
6	<b>ΙΟΥΝΙΟΣ</b>	265,00
7	<b>ΙΟΥΛΙΟΣ</b>	265,00
8	<b>ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ</b>	259,17
9	<b>ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ</b>	237,92
10	<b>ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ</b>	185,42
11	<b>ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ</b>	129,58
12	<b>ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ</b>	99,58

Πίνακας 6. Μέσες μηνιαίες τιμές της πυκνότητας ισχύος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε βέλτιστη γωνία κλίσης επιπέδου<sup>[35]</sup>.



Εικόνα 29. Κατανομή Ετήσιων τιμών ενεργειακής απολαβής ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια σταθερού συλλέκτη τοποθετημένου σε βέλτιστη γωνία κλίσης (αριστερά) και αντίστοιχης ενεργειακής αποδοτικότητας ( τυπικής ΦΒ συστοιχίας (δεξιά)<sup>[35]</sup>.

### 5.4.3 Συντελεστής χρησιμοποίησης ισχύος φωτοβολταϊκών και ανεμογεννήτριας

Από φυσικής πλευράς ο συντελεστής χρησιμοποίησης ισχύος (Capacity Factor) προσδιορίζει το βαθμό εκμετάλλευσης της ονομαστικής ισχύος των φωτοβολταϊκών-ανεμογεννήτριας στο χρονικό διάστημα που αναφέρεται η μέση τιμή (ημερήσια-μηνιαία-ετήσια) σαν να λειτουργούσαν συνεχώς στο διάστημα αυτό. Κατά τον υπολογισμό του απαιτείται η γνώση του λόγου επίδοσης της ΦΒ συστοιχίας (PR) για τον συγκεκριμένο τόπο. Ομοίως, κατά τον υπολογισμό του απαιτείται η γνώση της μηνιαίας κατανομής ταχυτήτων και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας.

#### Υπολογισμός συντελεστή χρησιμοποίησης ισχύος [1]

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης της ΦΒ συστοιχίας για κάθε μήνα του έτους, προκύπτει ως:

$$\frac{\sum_{i=1}^{12} \text{PR}_i \cdot H_i}{12 \cdot H_{\text{μέση}} \cdot I_{\text{μέση}}} \quad (1)$$

Όπου :

- = Η μέση ημερήσια ενεργειακή απολαβή, [ ] ( ώρες ημέρας, [h] (24[h])
- = Ημερήσια πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας στις πρότυπες συνθήκες, (1000 [ ])
- = Μέση ημερήσια πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας, [ ] (πίνακας 6)
- = Λόγος επίδοσης

Επομένως, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός του λόγου επίδοσης που προκύπτει από την παρακάτω σχέση :

$$(2)$$

Όπου :

- = Ο λόγος επίδοσης οπτικών απωλειών (προκύπτει ίσο με 0,9)
- = Ο λόγος επίδοσης θερμικών απωλειών
- = Ο λόγος επίδοσης απόκλισης από το σημείο μέγιστης ισχύος (προκύπτει ίσο με 1)
- = Συντελεστής άλλων απωλειών (προκύπτει ίσο με 0,95)

Ο μόνος άγνωστος της παραπάνω σχέσης για τον υπολογισμό του λόγου επίδοσης είναι το  $\tau$ , το οποίο προκύπτει από τα ηλιακά και ανεμολογικά δεδομένα του τόπου και υπολογίζεται από την σχέση :

$$(3)$$

Όπου :

- = Συντελεστής θερμικών απωλειών ( )
- = Μέση ενεργός θερμοκρασία κυψελίδας, [K]
- = Θερμοκρασία στις πρότυπες συνθήκες, [K] (25 [K])

Από τον παραπάνω τύπο υπολείπεται ο υπολογισμός της μέσης ενεργού θερμοκρασίας κυψελίδας  $T_{m,act}$ , η οποία προσεγγίζεται από την σχέση :

$$T_{m,act} = T_a + \tau (T_{m,act} - T_a) \quad (4)$$

Όπου :

- = Μέση μηνιαία τιμή θερμοκρασίας του αέρα, στο χρονικό διάστημα που αφορά το ημερήσιο τόξο του ηλίου (Durinal), [ ]
- = Ο παράγων
- = Η παράμετρος (Durinal), [ ]
- = Μέση μηνιαία τιμή πυκνότητας ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας (Durinal), [ ]

Εάν δεν διατίθενται επεξεργασμένα δεδομένα της  $T_{m,act}$  τότε θεωρούμε την προσεγγιστική έκφραση :

$$T_{m,act} = 2,5 + T_a \quad (5)$$

Όπου :

- = Μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα, [ ]

Ο παράγων ακολουθεί τη γραμμική σχέση της  $T_{m,act}$  και ισούται με :

$$(6)$$

Όπου :

- = Μέση μηνιαία τιμή πυκνότητας ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας (Durinal)

Και

$$(7)$$

Για μέσα γεωγραφικά πλάτη ο λόγος του  $\tau$  κυμαίνεται μεταξύ 0,43 τον χειμώνα και 0,59 το καλοκαίρι. Σύμφωνα με τις σχέσεις (6) και (7) στον πίνακα 7 δίνονται οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν και τα αποτελέσματα του υπολογισμού της μέσης τιμής πυκνότητας ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας  $I_{m,act}$  και του παράγοντα F.

<b>ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ</b>	0,43	116,25	270,35	1,86
<b>ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ</b>	0,43	141,25	328,49	1,76
<b>ΜΑΡΤΙΟΣ</b>	0,43	185,42	431,21	1,59
<b>ΑΠΡΙΛΙΟΣ</b>	0,58	225	387,93	1,66
<b>ΜΑΙΟΣ</b>	0,58	247,92	427,45	1,59
<b>ΙΟΥΝΙΟΣ</b>	0,58	265	456,90	1,54
<b>ΙΟΥΛΙΟΣ</b>	0,58	265	456,90	1,54
<b>ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ</b>	0,58	259,17	446,84	1,56
<b>ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ</b>	0,58	237,92	410,21	1,62
<b>ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ</b>	0,43	185,42	431,21	1,59
<b>ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ</b>	0,43	129,58	301,35	1,81
<b>ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ</b>	0,43	99,58	231,58	1,93

Πίνακας 7Υπολογισμός μέσης τιμής πυκνότητας ισχύος ηλιακής ακτινοβολίας και του παράγονταF.

Η παράμετρος  $\beta$  ισούται με :

$$(8)$$

Όπου :

$\beta_1$  = Εμπειρικοί συντελεστές θερμοκρασίας κυψελίδας σε ταχύτητες ανέμου, [K]

$\beta_2$  = Η διαφορά θερμοκρασιών της κυψελίδας και της πίσω επιφάνειας του ΦΒ πλαισίου, [K]

$B$  = Εμπειρικός συντελεστής

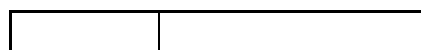
$v$  = Η ταχύτητα του ανέμου, [m/s] (πίνακας 5)

$G_{T,0}$  = Ημερήσια πυκνότητα ισχύος ηλιακής ακτινοβολίαςστις πρότυπες συνθήκες, [W/m<sup>2</sup>] (1000[W/m<sup>2</sup>])

Οι εμπειρικές σταθερές για φωτοβολταϊκά πλαίσια c-Si με διαδοχικά στρώματα διάταξης, όπωσγαλίνη πλάκα, κυψελίδα c-Si και μονωτική επιστρωση Tedlar έχουν τις τιμές :

$$\beta_1 = 19,6 \text{ [K]}, \quad \beta_2 = 11,5 \text{ [K]}, \quad B = 3 \text{ [K]}, \quad \dots$$

Σύμφωνα με την σχέση (8) στον πίνακα 8 δίνονται οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν και τα αποτελέσματα του υπολογισμού της παραμέτρου  $\beta$ .





<b>ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ</b>	5,5	0,020
<b>ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ</b>	5,9	0,020
<b>ΜΑΡΤΙΟΣ</b>	5,1	0,021
<b>ΑΠΡΙΛΙΟΣ</b>	4,4	0,022
<b>ΜΑΙΟΣ</b>	3,6	0,023
<b>ΙΟΥΝΙΟΣ</b>	3,8	0,023
<b>ΙΟΥΛΙΟΣ</b>	5,1	0,021
<b>ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ</b>	4,9	0,021
<b>ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ</b>	4,4	0,022
<b>ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ</b>	4,5	0,022
<b>ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ</b>	4,9	0,021
<b>ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ</b>	5,6	0,020

Πίνακας 8Υπολογισμός παραμέτρου k.

Τέλος από τις σχέσεις (1)έως (5) στον πίνακα 9 δίνονται οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν και τα αποτελέσματα του υπολογισμού της μέσης ενεργούς θερμοκρασίας κυψελίδας , του λόγου επίδοσης θερμικών απωλειών , του συντελεστή επίδοσης PR και του συντελεστή χρησιμοποίησης .

<b>ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ</b>	9,55	12,05	19,7	1,02	0,88	0,10
<b>ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ</b>	8,92	11,42	20,4	1,02	0,87	0,12
<b>ΜΑΡΤΙΟΣ</b>	10,85	13,35	25,1	1,00	0,85	0,16
<b>ΑΠΡΙΛΙΟΣ</b>	15,35	17,85	29,4	0,98	0,84	0,19
<b>ΜΑΙΟΣ</b>	19,13	21,63	35,0	0,96	0,82	0,20
<b>ΙΟΥΝΙΟΣ</b>	23,65	26,15	39,8	0,93	0,80	0,21
<b>ΙΟΥΛΙΟΣ</b>	25,56	28,06	40,2	0,93	0,80	0,21
<b>ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ</b>	25,06	27,56	39,8	0,93	0,80	0,21
<b>ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ</b>	22,48	24,98	37,0	0,95	0,81	0,19
<b>ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ</b>	17,81	20,31	32,6	0,97	0,83	0,15
<b>ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ</b>	13,93	16,43	25,4	1,00	0,85	0,11
<b>ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ</b>	11,09	13,59	20,1	1,02	0,87	0,09

Πίνακας 9Υπολογισμός της μέσης ενεργούς θερμοκρασίας κυψελίδας , του λόγου επίδοσης θερμικών απωλειών , του συντελεστή επίδοσης PR και του συντελεστή χρησιμοποίησης .

## Υπολογισμός συντελεστή χρησιμοποίησης ισχύος [1]

Σημαντική πληροφορία για τον προσδιορισμό της ενεργειακής απόδοσης των αιολικών μηχανών, παρέχουν τα διαγράμματα κατανομής της πυκνότητας πιθανότητας εμφάνισης ανέμων με ταχύτητες, σε ορισμένη περιοχή ταχυτήτων. Από τη στατιστική ανάλυση και

επεξεργασία δεδομένων ταχύτητας ανέμου διαφόρων περιοχών, έχει προκύψει ότι η συνάρτηση κατανομής πυκνότητας πιθανότητας ταχυτήτων ανέμου κατά Weibull ( ) είναι της μορφής :

$$f(u) = \frac{k}{c} \left(\frac{u}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{u}{c}\right)^k\right] \quad (9)$$

Οι τιμές των παραμέτρων  $k$  και  $c$  εξαρτώνται από τα ιδιαίτερα κλιματολογικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά του τόπου στον οποίο αναφέρονται τα πειραματικά δεδομένα. Η  $k$  ονομάζεται παράμετρος κλίμακας και έχει μονάδες ταχύτητας. Αύξηση της  $k$  προκαλεί την μετατόπιση της καμπύλης Weibull, σε μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου. Η παράμετρος μορφής είναι αδιάστατη και αν επιλεγεί η τιμή  $k=2$  ονομάζεται κατανομή Rayleigh.

Ο υπολογισμός της παραμέτρου κλίμακας γίνεται μέσω της σχέσεως :

$$k = \frac{2.303}{\ln\left(\frac{c}{u_m}\right)} \quad (10)$$

Όπου :

$u_m$  = Η μέση ταχύτητα ανέμου, [ m/s ] (πίνακας 5)

$c$  = Η συνάρτηση

Σύμφωνα με την σχέση (10), στον πίνακα 10 δίνονται οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν και τα αποτελέσματα του υπολογισμού της παραμέτρου  $k$ .

<b>ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ</b>	5,5	6,20	2
<b>ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ</b>	5,9	6,65	2
<b>ΜΑΡΤΙΟΣ</b>	5,1	5,75	2
<b>ΑΠΡΙΛΙΟΣ</b>	4,4	4,96	2
<b>ΜΑΙΟΣ</b>	3,6	4,06	2
<b>ΙΟΥΝΙΟΣ</b>	3,8	4,29	2
<b>ΙΟΥΛΙΟΣ</b>	5,1	5,75	2
<b>ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ</b>	4,9	5,53	2
<b>ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ</b>	4,4	4,96	2
<b>ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ</b>	4,5	5,07	2
<b>ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ</b>	4,9	5,53	2
<b>ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ</b>	5,6	6,31	2

Πίνακας 10 Υπολογισμός παραμέτρου κλίμακας  $k$ .

Ο έμμεσος υπολογισμός του συντελεστή χρησιμοποίησης ισχύος, εάν δεν διατίθενται πειραματικά δεδομένα, γίνεται μέσω της παρακάτω σχέσης από τα στατιστικά δεδομένα ταχυτήτων ανέμου του τόπου.

$$P = \frac{1}{k} \left(\frac{u_m}{c}\right)^k \quad (11)$$

Όπου  $P$  η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας εμφάνισης ταχύτητας ανέμου  $u$  κατά Weibull, με δεδομένα τα  $c$  και  $k$  κάθε μήνα για τον τόπο αυτό και  $u_m$  η ανοιγμένη ισχύς της ανεμογεννήτριας από τη χαρακτηριστική καμπύλη της. Με αυτό τον τρόπο, από τα στατιστικά δεδομένα του αιολικού δυναμικού, προσεγγίζεται ικανοποιητικά ο συντελεστής

χρησιμοποίησης ισχύος. Πιο αναλυτικά, ο υπολογισμός του συντελεστή χρησιμοποίησης ισχύος για ορισμένο μήνα πραγματοποιείται κατασκευάζοντας ένα πίνακα με ορισμένο βήμα, (στην περίπτωση μας ) στον οποίο καταγράφονται τα ακόλουθα:

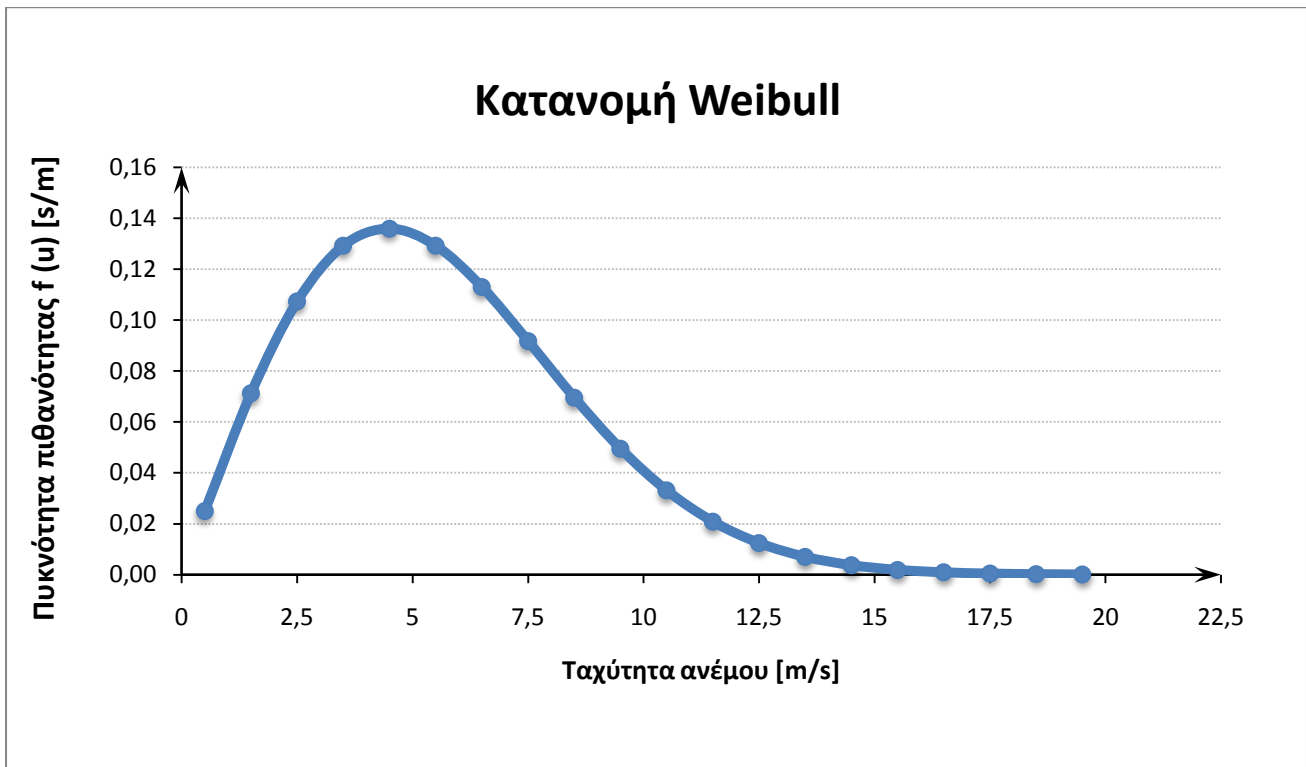
- Οι τιμές της ταχύτητας ανέμου
- Οι τιμές της πυκνότητας πιθανότητας κατά Weibull, , με βάση τριμηνιαίες παραμέτρους  $c$  και  $k$  του έτους
- Οι τιμές της ανοιγμένης ισχύος της ανεμογεννήτριας σε κάθε ταχύτητα του ανέμου, με βάση τα στοιχεία του κατασκευαστή από την χαρακτηριστική καμπύλη
- Για κάθε ταχύτητα υπολογίζεται το γινόμενο
- Το άθροισμα του των γινομένων αποτελεί τον συντελεστή χρησιμοποίησης ισχύος, του μήνα αυτού

Στον πίνακα 11 δίνεται ένα παράδειγμα υπολογισμού του , για ορισμένο μήνα του έτους, στον οποίο αναφέρονται τα δεδομένα της πυκνότητας πιθανότητας .

Ταχύτητα ανέμου $u$ [m/s]	Μέση ταχύτητα ανέμου [m/s]	Πυκνότητα πιθανότητας $f(u)$ [ ]	Στιγμιαία ισχύς ανεμογεννήτριας [W]	Ανηγμένη ισχύς	
0 ~ 1	0,5	0,025	0	0	-
1 ~ 2	1,5	0,071	0	0	-
2 ~ 3	2,5	0,107	10	0,002	0,000
3 ~ 4	3,5	0,129	250	0,042	0,005
4 ~ 5	4,5	0,136	700	0,117	0,016
5 ~ 6	5,5	0,129	1250	0,208	0,027
6 ~ 7	6,5	0,113	1850	0,308	0,035
7 ~ 8	7,5	0,092	2500	0,417	0,038
8 ~ 9	8,5	0,070	3400	0,567	0,039
9 ~ 10	9,5	0,049	4450	0,742	0,037
10 ~ 11	10,5	0,033	5460	0,910	0,030
11 ~ 12	11,5	0,021	6000	1	0,021
12 ~ 13	12,5	0,012	6000	1	0,012
13 ~ 14	13,5	0,007	6000	1	0,007
14 ~ 15	14,5	0,004	6000	1	0,004
15 ~ 16	15,5	0,002	6000	1	0,002
16 ~ 17	16,5	0,001	6000	1	0,001
17 ~ 18	17,5	0,000	6000	1	0,000
18 ~ 19	18,5	0,000	6000	1	0,000
19 ~ 20	19,5	0,000	6000	1	0,000
Σύνολο		1,00		(μηνιαίο)=	0,275

**Πίνακας 11** Παράδειγμα υπολογισμού του συντελεστή χρησιμοποίησης ισχύος Δεκεμβρίου.

Στο παρακάτω σχήμα 1 δίνεται η κατανομή της πυκνότητας πιθανότητας εμφάνισης των ταχυτήτων ανέμου για τον μήνα Δεκέμβριο (πίνακας 8).



Σχήμα 20 Γραφική παράσταση της κατανομής πυκνότητας πιθανότητας Weibull για το μήνα Δεκέμβριο.

<b>ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ</b>	0,265
<b>ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ</b>	0,305
<b>ΜΑΡΤΙΟΣ</b>	0,226
<b>ΑΠΡΙΛΙΟΣ</b>	0,160
<b>ΜΑΙΟΣ</b>	0,094
<b>ΙΟΥΝΙΟΣ</b>	0,109
<b>ΙΟΥΛΙΟΣ</b>	0,226
<b>ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ</b>	0,207
<b>ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ</b>	0,160
<b>ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ</b>	0,169
<b>ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ</b>	0,207
<b>ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ</b>	0,275

Πίνακας 12 Συνοπτικά αποτελέσματα υπολογισμού του συντελεστή χρησιμοποίησης ισχύος ανεμογεννήτριας , για κάθε μήνα του έτους.

---

## 5.5 Σύνοψη

Σύμφωνα με τους συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν και με βάση το αρχιτεκτονικό σχέδιο του συγκροτήματος κατοικιών που πραγματοποιήθηκε στο AutoCAD 2008, υπολογίστηκαν οι συντελεστές θερμοπερατότητας κάθε δομικού στοιχείου. Έπειτα, γίνεται έλεγχος της συνολικής θερμομονωτικής ικανότητας του κελύφους του κτιρίου. Με βάση τα αποτελέσματα της μελέτης θερμομόνωσης ο μέσος συντελεστής θερμοπερατότητας του κτιρίου δεν υπερβαίνει την μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή, όπως αυτή προβλέπεται από τον κανονισμό θερμομόνωσης βάση της γεωγραφικής ζώνης που ανήκει το κτίριο. Τέλος, από τα κλιματολογικά δεδομένα γίνεται ο υπολογισμός των μηνιαίων συντελεστών χρησιμοποίησης ισχύος, για φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτρια. Από τα αποτελέσματα του συντελεστών χρησιμοποίησης ισχύος, οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι η τοποθεσία της εγκατάστασης πληρεί τις κατάλληλες προϋποθέσεις για την αποδοτική ενσωμάτωση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

---

## 6 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

### 6.1 Πρόλογος

Κατά τον σχεδιασμό της εγκατάστασης ψύξης-θέρμανσης του συγκροτήματος κατοικιών, λαμβάνονται υπόψη οι θερμικές ανάγκες του κτιρίου, οι οποίες συμπίπτουν με τις μέγιστες θερμικές απώλειες. Καθώς στην Ελλάδα δεν υπάρχει σχετικός κανονισμός που να προβλέπει τον ακριβή υπολογισμό των απωλειών, επιλέχθηκε η μεθοδολογία του προτύπου της ASHRAE<sup>[36]</sup>. Με βάση τις μέσες τιμές εξωτερικής θερμοκρασίας της περιοχής υπολογίζονται τα φορτία θέρμανσης-ψύξης αντιστοίχως. Ο υπολογισμός του απαιτούμενου μήκους του γεωθερμικού εναλλάκτη, πραγματοποιείται με βάση την μεθοδολογία της ASHRAE κεφάλαιο 32, Γεωθερμική ενέργεια<sup>[37]</sup>.

### 6.2 Μελέτη θερμικών απωλειών

#### 6.2.1 Γενικά για τις θερμικές ανάγκες

Η ενέργεια που απαιτείται για τη θέρμανση-ψύξη ενός χώρου και γενικότερα ενός κτιρίου, εξαρτάται από το μέγεθος του χώρου, τον τρόπο κατασκευής των τοίχων, το μέγεθος και το υλικό κατασκευής των ανοιγμάτων, από τον αερισμό και από άλλους παράγοντες. Το σύνολο των θερμικών αναγκών του κτιρίου προκύπτει από το άθροισμα της ενέργειας που απαιτείται για τον κλιματισμό όλων των χώρων.

Οι πραγματικές απώλειες ενέργειας ενός κτιρίου, είναι συνήθως μικρότερες από την μέγιστη ενέργεια που μπορεί να αποδώσει η εγκατάσταση θέρμανσης-ψύξης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο σχεδιασμός της εγκατάστασης, γίνεται έτσι ώστε να καλύπτει τις απώλειες ενέργειας του κτιρίου, ακόμη και στις ελάχιστες πιθανές τιμές της εξωτερικής θερμοκρασίας (μέση ελάχιστη εξωτερική θερμοκρασία της περιοχής).

#### 6.2.2 Μεθοδολογίες υπολογισμού θερμικών αναγκών

Στη χώρα μας δεν υπάρχει ακόμα κανονισμός υπολογισμού των θερμικών αναγκών των κτιρίων. Η μέθοδος υπολογισμού που επικράτησε στον ελληνικό χώρο είναι αυτή που αναφέρεται στις δύο εκδόσεις του γερμανικού DIN4701. Ο τρόπος υπολογισμού των φορτίων της μεθόδου DIN4701/1959 διατηρήθηκε και στην καινούργια έκδοση του 1983. Η νέα έκδοση του κανονισμού περιέλαβε και τις σύγχρονες αντιλήψεις σχετικά με τη διείσδυση του αέρα στα κτίρια, την επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας και τη θερμοχωρητικότητα των κτιρίων. Επίσης, καταργήθηκε ο συντελεστής προσαύξησης λόγω προσανατολισμού και λόγω διακοπτόμενης λειτουργίας.

Ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών μπορεί να γίνει επίσης με βάση τη μέθοδο της ASHRAE, η οποία δεν προβλέπει γενικά προσαυξήσεις και υπολογίζει με διαφορετικό τρόπο τις απώλειες προς το έδαφος από ότι το DIN 4701. Η μεθοδολογία που θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια βασίζεται στη Αμερικανική μέθοδο υπολογισμού RLF (ResidentialLoadFactor) της ASHRAE κεφάλαιο 17, Υπολογισμοί Φορτίων Ψύξης Και Θέρμανσης Για Κατοικίες<sup>[36]</sup>.



---

Τέλος με τη μέθοδο των βαθμοημερών<sup>[38]</sup> επιτυγχάνεται η εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας και της κατανάλωσης καυσίμου, σε συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού, σε κτίρια-μοντέλα μονοκατοικιών και πολυκατοικιών που βρίσκονται σε διάφορες ελληνικές πόλεις. Η κατανάλωση ενέργειας υπολογίστηκε σε [kWh] και η κατανάλωση καυσίμου σε [t] πετρελαίου, λαμβάνοντας υπόψη τον βαθμό απόδοσης του λέβητα-καυστήρα στην περίπτωση που θα είχε εγκατασταθεί ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης.

### 6.2.3 Περιγραφή φορτίων ψύξης

Ο υπολογισμός της απαιτούμενης ισχύος για την ψύξη καθορίζει το συνολικό αισθητό φορτίο ψύξης, που προκαλείται από ταθερμικά κέρδη από:

1. μη διαφανείς επιφάνειες (τοιχους, δάπεδα, οροφές και πόρτες )
2. διαφανείς επιφάνειες (παράθυρα, φεγγίτες, πόρτες με τζάμια)
3. την διείσδυση και τον εξαερισμό
4. εσωτερικά κέρδη(ενοίκους)

Το ποσοστό της λανθάνοντος ισχύος για ψύξη αξιολογείται ξεχωριστά. Αν και η κατασκευή μπορεί να θεωρηθεί σαν μια ενιαία ζώνη, η επιλογή του εξοπλισμού και ο σχεδιασμός του συστήματος θα πρέπει να γίνουν για κάθε οικία ξεχωριστά.

#### Μη διαφανείς επιφάνειες

Τα θερμικά κέρδη από τοίχους, δάπεδα, οροφές και πόρτες οφείλονται στη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των επιφανειών και του αέρα που έρχονται σε επαφή και στα ηλιακά κέρδη αυτών των επιφανειών. Η θερμοχωρητικότητα μιας τυπικής κατασκευής μετριάζει και εισάγει μια χρονική υστέρηση στα θερμικά κέρδη ενός κτιρίου.

Η μέθοδος RLF χρησιμοποιεί τα παρακάτω για την εκτίμηση της ισχύος για ψύξης:

Όπου:

- = ψυκτικό φορτίο μη διαπερατών επιφανειών, [W]
- = εμβαδόκαθαρής επιφάνεια κτιρίου, [ ]
- = συντελεστής ψύξης επιφάνειας, [ ]
- = συντελεστής U κατασκευής,[ ]
- = θερμοκρασιακή διαφορά βάσει σχεδιασμού για ψύξη, [K] (10,16 K)
- = συντελεστές ψύξης μη διαπερατών επιφανειών (πίνακας 13)
- = ημερήσια θερμοκρασιακή διαφορά,[K] (11 K)

Οι συντελεστές OF οι οποίοι δίνονται στον πίνακα 13, αναπαριστούν τα ειδικά φυσικά χαρακτηριστικά της κατασκευής. Ο συντελεστής είναι μικρότερος της μονάδας και αντιπροσωπεύει την επίδραση της σοφίτας και του περιβάλλοντος χώρου, ενώ ο αντιπροσωπεύει το προσπίπτον ηλιακό κέρδος και ο αντιπροσωπεύει τα αποτελέσματα από την αποθήκευση θερμότητας, μειώνοντας την πραγματική διαφορά θερμοκρασίας.

Τύπος επιφάνειας				
Οροφή ή τοίχος δίπλα σε εξαεριζόμενη σοφίτα	0,62	14,3	-4,5	-0,09
Οροφή / στέγη	1	38,3	-7	-0,36
Τοίχος (ξύλινος) ή πόρτα με ηλιακή έκθεση	1	8,2		-0,36
Τοίχος (ξύλινος) ή πόρτα με σκίαση	1	0		-0,36
Όροφος πάνω από το περιβάλλον	1	0		-0,06
* :ηλιακή απορροφητικότητα στέγης (πίνακας 2)				

Πίνακας 13 Συντελεστές ψύξης μη διάφανων επιφανειών<sup>[36]</sup>.

Όπως φαίνεται η ηλιακή απορροφητικότητα της στέγης έχει σημαντική συνεισφορά στο φορτίο ψύξης της οροφής. Ο πίνακας 14 δίνει τυπικές τιμές ηλιακής απορροφητικότητας διάφορων υλικών για στέγες κατοικιών. Ο υπολογισμός έγινε για κάθε επιφάνεια του κελύφους του κτιρίου ξεχωριστά, με βάση το αρχιτεκτονικό σχέδιο.

Υλικό	Χρώμα			
	Λευκό	ανοιχτό	μεσαίο	σκούρο
Ασφαλτόπανο	0,75	0,75	0,85	0,92
Πλακάκια	0,30	0,40	0,80	0,80
Μέταλλο	0,35	0,50	0,70	0,90
Ελαστομερή επίστρωση	0,30			

Πίνακας 14 Ηλιακή απορροφητικότητα στέγης <sup>[36]</sup>

Σύμφωνα με τα προηγούμενα στον πίνακα 15, δίνονται οι τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και τα αποτελέσματα του υπολογισμού της ισχύος από μη διαφανείς επιφάνειες.

	Οροφή	Εξ. τοίχοι	Εξ. τοίχοι νότιοι	Μονάδες
	0,458	0,561	0,561	
	10,16	10,16	10,16	
	1	1	1	-
	8,32	8,2	0	-
	-0,36	-0,36	-0,36	-
	11	11	11	
	6,653	8,083	3,480	
	199,18	122,31	47,24	
	1325,074	988,571	164,394	

Πίνακας 15 Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου μη διάφανων επιφανειών.

## Διαφανείς επιφάνειες

Η ισχύς για την ψύξη διάφανων επιφανειών υπολογίζεται ως εξής:

Όπου:

= ψυκτικό φορτίο ανοιγμάτων, [W]

= εμβαδό επιφάνειας ανοιγμάτων, [ ]

= συντελεστής ψύξης επιφάνειας, [ ]

= θερμικός συντελεστής ανοιγμάτων NFRC, [ ] (πίνακας 17)

= θερμοκρασιακή διαφορά βάση σχεδιασμού για ψύξη, [K] (10,16 K)

PXI = μέγιστη εξωτερική ακτινοβολία συμπεριλαμβανομένων των τροποποιήσεων σκίασης, [ ] (σχέσεις (5) ή (6))

= συντελεστής ηλιακού εκτιμώμενου θερμικού κέρδους NFRC (πίνακας 17)

= συντελεστής εξασθένησης εσωτερικής σκίασης (σχέση 7)

= συντελεστής ηλιακού φορτίου ανοιγμάτων (πίνακας 16)

### Συντελεστές ηλιακού φορτίου ανοιγμάτων

Οι συντελεστές ηλιακού φορτίου ανοιγμάτων, εξαρτώνται από την έκθεση των ανοιγμάτων και δίνονται στον πίνακα 16 για κάθε προσανατολισμό του κτιρίου. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το ποσοστό του εκπεμπόμενου ηλιακού κέρδους που συμβάλλει στην ισχύ αιχμής για ψύξη. Είναι επομένως κατανοητό γιατί το πρωί (ανατολικά) οι τιμές είναι μικρότερες από αυτές το απόγευμα (δυτικά). Μεγαλύτερες τιμές συμπεριλαμβάνονται για πολυκατοικίες με περιορισμένη ηλιακή έκθεση. Στον πίνακα 17 δίνονται τα τυπικά χαρακτηριστικά διαφόρων ανοιγμάτων που χρησιμοποιούνται ευρέως σε κατοικίες.

Έκθεση	Μονοκατοικία	Πολυκατοικία
Βόρεια	0,44	0,27
Νότια	0,47	0,53
Ανατολική	0,31	0,56
Δυτική	0,56	0,65

Πίνακας 16 Συντελεστές ηλιακού φορτίου ανοιγμάτων [ ] [36].

Τύπος υαλοπίνακα	Πλήθος υαλοπινάκων	ID	Μεταβλητή	Αλουμίνιο πλαίσιο	Εύλινο πλαίσιο
διαφανής	μονό	1a	U	7,24	5,05
			SHGC	0,75	0,64
διαφανής	διπλό	5a	U	4,62	2,87
			SHGC	0,67	0,57
διαφανής	τριπλό	29a	U	3,8	2,19
			SHGC	0,6	0,51
low-e low-solar	διπλό	25a	U	3,83	2,21
			SHGC	0,37	0,31
low-e low-solar	τριπλό	40c	U	3,22	1,71
			SHGC	0,25	0,21
low-e high-solar	διπλό	17c	U	4,05	2,39
			SHGC	0,62	0,52
low-e high-solar	τριπλό	32c	U	3,54	1,97
			SHGC	0,55	0,46
απορρόφησης θερμότητας	μονό	1c	U	7,24	5,05
			SHGC	0,64	0,54
απορρόφησης θερμότητας	διπλό	5c	U	4,62	2,87
			SHGC	0,55	0,46
απορρόφησης θερμότητας	τριπλό	29c	U	3,8	2,19
			SHGC	0,31	0,26
Αντανάκλασης	μονό	11	U	7,24	5,05
			SHGC	0,28	0,24
Αντανάκλασης	διπλό	5p	U	4,62	2,87
			SHGC	0,27	0,22

Πίνακας 17 Τυπικά χαρακτηριστικά ανοιγμάτων<sup>[36]</sup>.

Μέγιστη εξωτερική ακτινοβολία (PXI):

Παρόλο που το ηλιακό κέρδος παρουσιάζεται κατά την διάρκεια της ημέρας, μελέτες έδειξαν ότι η συμβολή του ψυκτικού φορτίου των ανοιγμάτων, συσχετίζεται με την ακτινοβολία που προσπίπτει σε ώρες αιχμής. Η μέγιστη εξωτερική ακτινοβολία PXI υπολογίζεται ως εξής:

Όπου:

PXI = μέγιστη εξωτερική ακτινοβολία, [ ]

= μέγιστη ολική, διάχυτη και απευθείας πυκνότητα ακτινοβολίας αντίστοιχα, [ ]

(πίνακας 18)

= μετάδοση εξωτερικής προσθήκης (πίνακας 19)

= περιοχή ανοιγμάτων σκιασμένη από μόνιμες προεξοχές ή περιβαλλοντικά εμπόδια (για σκιασμένα ανοίγματα ισούται με 1)

Στον πίνακα 18 δίνονται οι τιμές της απευθείας, διάχυτης και μέγιστης ολικής πυκνότητα ακτινοβολίας, ανάλογα τον προσανατολισμό και το γεωγραφικό πλάτος.

Προσανατολισμός	Μεταβλητή	Γεωγραφικό πλάτος								
		20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°
Βόρειος	ED	125	106	92	<b>84</b>	81	85	96	112	136
	Ed	128	115	103	<b>93</b>	84	76	69	62	55
	Et	253	221	195	<b>177</b>	166	162	164	174	191
Νότιος	ED	0	60	139	<b>214</b>	283	348	408	464	515
	Ed	166	193	196	<b>200</b>	204	209	214	219	225
	Et	166	253	335	<b>414</b>	487	557	622	683	740
Ανατολικός / Δυτικός	ED	530	543	522	<b>558</b>	560	559	555	547	537
	Ed	200	196	193	<b>190</b>	189	188	187	187	187
	Et	730	739	745	<b>748</b>	749	747	742	734	724

Πίνακας 18 Μέγιστη ακτινοβολία ανάλογα το γεωγραφικό πλάτος [36].

Οι εξωτερικές προσθήκες στα παράθυρα μπορούν να μειώσουν σημαντικά τα ηλιακά κέρδη των ανοιγμάτων. Ο πίνακας 19, δίνει την επίδραση στη μετάδοση για τυπικές προσθήκες.

Προσθήκη	
Καμία	1
Σήτα	0,64
κουρτίνα	0,4 - 0,6

Πίνακας 19 Επίδραση εξωτερικής προσθήκης στη μετάδοση των ηλιακών κερδών [36].

Στον πίνακα 20 δίνονται οι τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και τα αποτελέσματα του υπολογισμού της μέγιστης εξωτερικής ακτινοβολίας PXI ανάλογα τον προσανατολισμό.

Προσανατολισμός				
	Βόρειος	Νότιος	Ανατολικός	Δυτικός
	0,64	0,64	0,64	0,64
	166	487	749	749
	84	204	189	189
	81	283	560	560
	0	1	0	0
	106,24	130,56	479,36	479,36

Πίνακας 20 Υπολογισμός μέγιστης εξωτερικής ακτινοβολίας ΡΧΙ.

#### Εσωτερική σκίαση:

Η εσωτερική σκίαση μειώνει σημαντικά το ηλιακό κέρδος και συναντάται στις περισσότερες κατοικίες. Μελέτες δείχνουν ότι ένα μεγάλο ποσοστό των παραθύρων υπόκεινται σε κάποιου είδους σκίασης. Ως εκ τούτου, σε όλες εκτός από ειδικές περιπτώσεις, η εσωτερική σκίαση πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τον υπολογισμό της ισχύος για ψύξη. Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι λογικό να υποθέσει κανείς ότι κάποιο σκίαστρο είναι ανοικτό. Για παράδειγμα οι κουρτίνες είναι συχνά ανοικτές για να επιτρέψουν στο φως της ημέρας να εισχωρήσει στο εσωτερικό ενός κτιρίου.

Οι συντελεστές εξασθένησης εσωτερικής σκίασης υπολογίζονται ως εξής:

$$(7)$$

Όπου:

= συντελεστής εξασθένησης εσωτερικής σκίασης ανοιγμάτων, μερικώς κλειστά σκίαστρα

= μερικώς κλειστή σκίαση (μηδέν έως ένα)

= συντελεστής εσωτερικής εξασθένησης για πλήρως κλειστά σκίαστρα (πίνακας 21)

Στον πίνακα 21 δίνονται μερικοί συντελεστές εξασθένησης της εσωτερικής σκίασης, ανάλογα με τον τύπο του υαλοπίνακα και την απόχρωση της κουρτίνας που χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση.

		Κουρτίνα		
		Ανοικτή	Κλειστή	
Πλήθος υαλοπινάκων	Τύπος υαλοπίνακα	Ανοιχτόχρωμη	Σκούρα	Ανοιχτόχρωμη
μονό	διαφανής (1a)	0,64	0,71	0,45
μονό	απορρόφησης θερμότητας (1c)	0,68	0,72	0,50
διπλό	διαφανής (5a)	0,72	0,81	0,57
διπλό	low-e high-solar (17c)	0,76	0,86	0,64
διπλό	low-e low-solar (25a)	0,79	0,88	0,68

Πίνακας 21 Συντελεστές εσωτερικής εξασθένησης [36].



Στον πίνακα 22 δίνονται οι τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και τα αποτελέσματα του υπολογισμού του συντελεστή εσωτερικής εξασθένησης ανοιγμάτων IAC ανάλογα τον προσανατολισμό.

Προσανατολισμός				
	Βόρειος	Νότιος	Ανατολικός	Δυτικός
	0,72	1	0,5	0,5
	1	1	1	1
	0,72	1	0,5	0,5

Πίνακας 22 Υπολογισμός συντελεστή εξασθένησης εσωτερικής σκίασης ανοιγμάτων IAC.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα στον πίνακα 23, δίνονται οι τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και τα αποτελέσματα του υπολογισμού της ισχύος από διαφανείς επιφάνειες ανάλογα με τον προσανατολισμό της καθε επιφάνειας.

Προσανατολισμός					Μονάδες
	Βόρειος	Νότιος	Ανατολικός	Δυτικός	
	3,83	3,83	3,83	3,83	
	10,16	10,16	10,16	10,16	
	11	11	11	11	
	106,24	130,56	479,36	479,36	
	0,37	0,37	0,37	0,37	-
	0,72	1	0,5	0,5	-
	0,44	0,47	0,31	0,56	-
	8,7	38,94	5,82	5,58	
	31,986	42,237	47,024	69,195	
	278,278	1644,724	273,681	386,106	

Πίνακας 23 Υπολογισμός ψυκτικού φορτίου διάφανων επιφανειών.

### Ισχύς λόγω αερισμού

Κοινές εφαρμογές κλιματισμού του χώρου λαμβάνουν υπόψη τη μετάδοση της θερμότητας μέσω μεταφοράς ή διαρροής. Η αισθητή θερμότητα που μεταφέρεται μέσω του αέρα, σε ογκομετρική βάση είναι:

$$(8)$$

Όπου:

= αισθητή τιμή μεταφοράς θερμότητας, [ ]

= παράγοντας αισθητής θερμότητας αέρα, [ ] (1,23 στο επίπεδο της θάλασσας)

= ογκομετρική παροχή αέρα, [L/s] (91,29 [L/s])

= διαφορά θερμοκρασίας του αέρα κατά τη διαδικασία, [K] (10,16[K])

Ο παράγοντας θερμότητας εξαρτάται από το υψόμετρο της περιοχής και η τιμή 1,23 είναι κατάλληλη για υπολογισμούς μέχρι περίπου τα 300 m υψόμετρο από το επίπεδο της θάλασσας. Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης μελέτης παραδεχόμαστε ότι γίνεται μισή εναλλαγή του όγκου του αέρα ανά ώρα στο εσωτερικό του κτιρίου ( $657,29 \text{ } /h$ )/2 ). Στον πίνακα 24 δίνονται οι τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και τα αποτελέσματα του υπολογισμού.

Μεταβλητές	Τιμές	Μονάδες
	1,23	
	91,291	
	10,16	
	1140,843	

Πίνακας 24 Υπολογισμός αισθητής τιμής μεταφοράς θερμότητας .

### Εσωτερικά κέρδη

Η συνεισφορά των κατοίκων, του φωτισμού και από τα κέρδη των συσκευών στη μέγιστη αισθητή και λανθάνουσα ισχύ, μπορούν να εκτιμηθούν ως εξής:

$$(9)$$

$$(10)$$

Όπου:

= αισθητό φορτίο ψύξης από εσωτερικά κέρδη, [ ]

= λανθάνον φορτίο ψύξης από εσωτερικά κέρδη, [ ]

= εμβαδό κλιματιζόμενου χώρου του κτιρίου, [ ]

= πλήθος κατοίκων (8 κάτοικοι)

Στον πίνακα 25 δίνονται τα αποτελέσματα του υπολογισμού της αισθητής και λανθάνουσας ισχύος ψύξης από εσωτερικά κέρδη.

Μεταβλητές	Τιμές	Μονάδες
	199,18	
	8	-
	750,196	
	159,82	

Πίνακας 25 Υπολογισμός αισθητού και λανθάνων φορτίου ψύξης από εσωτερικά κέρδη.

Βάση των αποτελεσμάτων συνολική αισθητή ισχύ ψύξης που προκύπτει από:

1. θερμικά κέρδη από μη διαφανείς επιφάνειες (τοίχους, οροφές και πόρτες ) (2478[W])
2. θερμικά κέρδη από διαφανείς επιφάνειες (παράθυρα, φεγγίτες, πόρτες με τζάμια) (2583 [W])
3. θερμικά κέρδη από την διείσδυση και τον εξαερισμό (1141[W])
4. θερμικά κέρδη από λόγω της πληρότητας (σε ενοίκους) (910 [W])

και ισούται με 7112[ W].

Ο υπολογισμός της μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας για την ψύξη της κατοικίας, γίνεται μέσω της μεθόδου RLF, λαμβάνοντας υπόψη τη διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας του τόπου, κατά την διάρκεια της ημέρας. Τα αποτελέσματα δίνονται στον πίνακα 26 για τους μήνες που είναι απαραίτητη η ψύξη.

<b>ΜΗΝΕΣ</b>	<b>Q ολικό</b>	<b>Ημέρες/Μήνα</b>	<b>/Μήνα</b>	<b>/Μήνα</b>
<b>ΙΟΥΝΙΟΣ</b>	93241,72	30	2797251,624	2797,25
<b>ΙΟΥΛΙΟΣ</b>	117994,80	31	3657838,954	3657,84
<b>ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ</b>	111514,94	31	3456963,14	3456,96
<b>ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ</b>	78078,84	30	2342365,103	2342,37

**Πίνακας 26** Υπολογισμός μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη.

## 6.2.4 Περιγραφή φορτίων Θέρμανσης

Ο υπολογισμός του φορτίου θέρμανσης για κατοικίες<sup>[36]</sup>, περιλαμβάνει την εκτίμηση των μέγιστων θερμικών απωλειών του κτιρίου, διατηρώντας την επιθυμητή εσωτερική θερμοκρασία του αέρα σταθερή, κατά τις περιόδους των εξωτερικών συνθηκών σχεδιασμού. Οι υπολογισμοί χρησιμοποιούν κάποιες συντηρητικές υποθέσεις, αγνοώντας τα ηλιακά εσωτερικά κέρδη και την αποθήκευση θερμότητας στο κτίριο.

### Ισχύς εκτεθειμένων επιφανειών

Το φορτίο από όλες τις επιφάνειες του κελύφους του κτιρίου που είναι εκτεθειμένες στις εξωτερικές συνθήκες (τοιχοί, δάπεδα, οροφή, ανοίγματα και ορόφους), υπολογίζεται ως εξής:

$$(11)$$

$$(12)$$

Όπου:

= εμβαδό επιφάνειας, [ ]

= συντελεστής θερμικού φορτίου, [

= θερμικός συντελεστής επιφάνειας, [ ]

= θερμοκρασιακή διαφορά βάση σχεδιασμού για θέρμανση, [K] (20 K)

Στον πίνακα 27, δίνονται οι τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν και τα αποτελέσματα των υπολογισμών της ισχύος θέρμανσης, για μη διαφανείς και διαφανείς επιφάνειες του κελύφους του κτιρίου.

	Μη διαφανείς επιφάνειες			Διαφανείς επιφάνειες	Μονάδες
	Τοίχοι	Οροφή	Δάπεδο		
	208,49	199,18	199,18	59,04	
	11,226	9,163	76,600	76,6	
	0,561	0,458	0,325	3,83	
	20	20	8	20	
	2340,445	1825,171	518,400	4522,464	

Πίνακας 27 Υπολογισμός ισχύος για θέρμανση των εκτεθειμένων επιφανειών του κτιρίου.

### Ισχύς λόγω αερισμού

Κοινές εφαρμογές κλιματισμού του χώρου λαμβάνουν υπόψη τη μετάδοση της θερμότητας μέσω μεταφοράς ή διαρροής. Η αισθητή θερμότητα που μεταφέρεται μέσω του αέρα, σε ογκομετρική βάση είναι:

(13)

Όπου:

= αισθητή τιμή μεταφοράς θερμότητας, [ ]

= παράγοντας αισθητής θερμότητας αέρα, [ ] (1.23 στο επίπεδο της θάλασσας)

= ογκομετρική παροχή αέρα, [L/s] (91,291[L/s])

= διαφορά θερμοκρασίας του αέρα κατά τη διαδικασία, [K] (20[K])

Ο παράγοντας θερμότητας εξαρτάται από το υψόμετρο της περιοχής και η τιμή 1,23 είναι κατάλληλη για υπολογισμούς μέχρι περίπου τα 300 m υψόμετρο από το επίπεδο της θάλασσας. Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης μελέτης παραδεχόμαστε ότι γίνεται μισή εναλλαγή του όγκου του αέρα ανά ώρα στο εσωτερικό του κτιρίου (657,29 /h)/2

). Σύμφωνα με τα προηγούμενα στον πίνακα 28, δίνονται οι τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και τα αποτελέσματα του υπολογισμού της αισθητής τιμής μεταφοράς θερμότητας .

Μεταβλητές	Τιμές	Μονάδες
	1,23	
	91,291	
	20	K
	2245,755	

Πίνακας 28 Υπολογισμός αισθητής τιμής μεταφοράς θερμότητας .

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα το συνολικό αισθητό φορτίο θέρμανσης που προκύπτει από:

1. Την ισχύ των εκτεθειμένων επιφανειών στις εξωτερικές συνθήκες (9206[W])
2. Το φορτίο λόγω αερισμού του κτιρίου (2246[W])

και ισούται με 11452 .

### Εκτίμηση κατανάλωσης ενέργειας και καυσίμου για θέρμανση<sup>[38]</sup>

Οι βαθμομέρες είναι ένα μέτρο της διακύμανσης της εξωτερικής θερμοκρασίας μιας περιοχής και ένας δείκτης για το πόσο δριμύ είναι το κλίμα της. Επομένως, με τη χρήση των βαθμομερών η εκτίμηση των ενεργειακών απαιτήσεων ενός κτιρίου σχετίζεται με τη μεταβολή του κλίματος της περιοχής, στην οποία είναι εγκατεστημένο το κτίριο.

Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτούνται ιδιαίτερα θερμοκρασιακά δεδομένα<sup>[38]</sup>, τα οποία προκύπτουν από την επεξεργασία ωριαίων μετρήσεων της θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα μεγάλων χρονικών περιόδων. Τα δεδομένα αυτά είναι η συχνότητα εμφάνισης των διαφόρων διαστημάτων θερμοκρασίας ξηρού θερμομέτρου (Dry Bulb Temperature) στην διάρκεια ενός έτους ή κάθε μήνα ξεχωριστά.

Μετά από κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων της συχνότητας εμφάνισης (ώρες) εξωτερικής θερμοκρασίας ξηρού θερμομέτρου, σε θερμοκρασιακά διαστήματα εύρους 2 (πίνακας παράρτημα 1), προκύπτουν οι ετήσιες ΒΗ του τόπου. Αρχικά υπολογίζονται οι ΒΗ κάθε θερμοκρασιακού διαστήματος από την σχέση:

—

Όπου:

= οι ώρες εμφάνισης της θερμοκρασίας, [ ] (πίνακας παραρτήματος)

= οι ώρες της μέρας, [ ] (24 )

= η επιθυμητή θερμοκρασία σχεδιασμού, [ ] (22 )

= τα μέσα θερμοκρασιακά διαστήματα, μικρότερα της θερμοκρασίας σχεδιασμού , [ ]

Το άθροισμα των ΒΗ κάθε θερμοκρασιακού διαστήματος που προκύπτει, είναι οι ετήσιες βαθμομέρες θέρμανσης ΒΗ, που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της κατανάλωσης ενέργειας, από μη διαφανείς, διαφανείς επιφάνειες του κτιρίου και λόγο αερισμού.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 29, οι ετήσιες ΒΗ της τοποθεσίας για θέρμανση της κατοικίας είναι περίπου 2117.

<b>ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ [K]</b>	<b>ΜΕΣΑ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ [K]</b>	<b>ΩΡΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ [h]</b>	<b>ΒΗ</b>
-6/-4	-5	2	2,25
-4/-2	-3	6	6,25
-2/0	-1	21	20,13
0/2	1	46	40,25
2/4	3	108	85,50
4/6	5	235	166,46
6/8	7	429	268,13
8/10	9	646	349,92
10/12	11	789	361,63
12/14	13	818	306,75
14/16	15	783	228,38
16/18	17	760	158,33
18/20	19	737	92,13
20/22	21	735	30,63
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>			<b>2116,71</b>

Πίνακας 29 Υπολογισμός των ετήσιων βαθμομερών θέρμανσης ΒΗ για τη Λέσβο.



Η κατανάλωση ενέργειας από μη διαφανείς και διαφανείς επιφάνειες του κτιρίου υπολογίζεται ως εξής:

$$(14)$$

$$(15)$$

Όπου:

= θερμικός συντελεστής κάθε επιφάνειας, [ ]

= εμβαδό κάθε επιφάνειας, [ ]

= βαθμοήμερες θέρμανσης, [ ] (πίνακας 29)

= κατανάλωση ενέργειας από μη διαφανείς και διαφανείς επιφάνειες, [ ]

Στον πίνακα 30 δίνονται οι τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν και τα αποτελέσματα των υπολογισμών της κατανάλωσης ενέργειας από μη διαφανείς και διαφανείς επιφάνειες του κτιρίου.

	Μη διαφανείς επιφάνειες			Διαφανείς επιφάνειες	Σύνολο	Μονάδες
	Τοίχοι	Οροφή	Δάπεδο			
	0,561	0,458	0,325	3,83		
	208,49	199,18	199,18	59,04		
	2117	2117	2117	2117		
	247702,023	193167,739	137162,727	478636,862	1056669,351	
					25360,064	

Πίνακας 30 Υπολογισμός κατανάλωσης ενέργειας από μη διαφανείς και διαφανείς επιφάνειες του κτιρίου.

Επίσης η κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου λόγω αερισμού υπολογίζεται ως εξής:

$$(16)$$

$$(17)$$

Όπου:

= παράγοντας αισθητής θερμότητας αέρα, [ ] (1.23 στο επίπεδο της θάλασσας)

= ογκομετρική παροχή αέρα, [L/s] (91,29 L/s)

= βαθμοήμερες θέρμανσης, [ ] (πίνακας 29)

= κατανάλωση ενέργειας λόγω αερισμού του κτιρίου, [ ]

Στον πίνακα 31 δίνονται οι τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν και το αποτέλεσμα του υπολογισμού της κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου λόγω αερισμού.

Μεταβλητές	Τιμές	Μονάδες
	1,23	
	91,291	
	2117	
	237680,363	
	5704,328	

Πίνακας 31 Υπολογισμός κατανάλωσης ενέργειας του κτιρίου λόγω αερισμού.

Το συνολικό ποσό της ετήσιας καταναλισκόμενης ενέργειας για θέρμανση, ισούται με το άθροισμα της ενέργειας που καταναλώνεται από μη διαφανείς επιφάνειες, διαφανείς επιφάνειες και λόγω αερισμού του κτιρίου.

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα η συνολική κατανάλωση ενέργειας του κτιρίου ισούται με 31064,4 [επομένως στην περίπτωση που η θέρμανση του κτιρίου γινόταν μέσω ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης, τότε η συνολική κατανάλωση καυσίμου λαμβάνοντας υπόψη ότι ο βαθμός απόδοσης του λέβητα-καυστήρα είναι περίπου 60%, τότε η κατανάλωση καυσίμου προκύπτει ίση με 2,42 [t] πετρελαίου ανά έτος.

Τέλος, στον πίνακα 32 με δεδομένα τις μηνιαίες βαθμοημέρες θέρμανσης ΒΗ για την Λέσβο<sup>[39]</sup>, από το μηνιαίο ποσοστό των ΒΗ, προκύπτει η αντίστοιχη μηνιαία κατανάλωση ενέργειας για τη θέρμανση του κτιρίου.

ΜΗΝΕΣ	ΒΗ	ΠΟΣΟΣΤΟ ΒΗ	ΜΗΝΙΑΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ [kWh]
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	325	0,190	5904,1
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	311	0,182	5649,7
ΜΑΡΤΙΟΣ	286	0,167	5195,6
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	148	0,087	2688,6
ΜΑΙΟΣ	86	0,050	1562,3
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	89	0,052	1616,8
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	187	0,109	3397,1
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	278	0,163	5050,2
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ</b>	<b>1710</b>	<b>1,000</b>	<b>31064,4</b>

Πίνακας 32 Υπολογισμός της μηνιαίας κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση της κατοικίας.



Όπου:

- = συντελεστής θερμικών απωλειών βραχυκύκλωσης
- = απαιτούμενο μήκος γεώτρησης για ψύξη, [ ]
- = απαιτούμενο μήκος γεώτρησης για θέρμανση, [ ]
- = συντελεστής φορτίου κατά την διάρκεια του μήνα για τον οποίο έγινε ο σχεδιασμός
- = καθαρό μέσο ετήσιο ποσό μεταφερόμενης ενέργειας προς το έδαφος, [ ]
- = φορτίο ψύξης βάσει σχεδιασμού του κτιρίου, [ ]
- = φορτίο θέρμανσης βάσει σχεδιασμού του κτιρίου, [ ]
- = ενεργός θερμική αντίσταση του εδάφους (ετήσιοι παλμοί), [ ]
- = ενεργός θερμική αντίσταση του εδάφους (ημερήσιοι παλμοί), [ ]
- = ενεργός θερμική αντίσταση του εδάφους (μηνιαίοι παλμοί), [ ]
- = θερμική αντίσταση σωλήνα, [ ]
- = σταθερή θερμοκρασία εδάφους, [ ]
- = θερμοκρασιακή ποινή λόγω επίδρασης των παρακείμενων γεωτρήσεων, [ ]
- = θερμοκρασία υγρού στη είσοδο της αντλίας θέρμανσης, [ ]
- = θερμοκρασία υγρού στη έξοδο της αντλίας θέρμανσης, [ ]
- = ισχύς εισόδου για φορτίο ψύξης βάσει σχεδιασμού, [ ]
- = ισχύς εισόδου για φορτίο θέρμανσης βάσει σχεδιασμού, [ ]

Το μεγαλύτερο από τα δυο μήκη και που προκύπτει από τις παραπάνω εξισώσεις (18) και (19) είναι αυτό που απαιτείται για την γεώτρηση. Αν το είναι μεγαλύτερο από το ένας μεγαλύτερου μήκους σωλήνας θα ήταν αποδοτικότερος κατά την περίοδο θέρμανσης. Μια δεύτερη επιλογή είναι η εγκατάσταση ενός μικρότερου μήκους σωλήνα θέρμανσης σε συνδυασμό με ένα πύργο ψύξης, για να αντισταθμιστεί ο μικρότερος σωλήνας. Εάν το είναι μεγαλύτερο ο σχεδιαστής θα πρέπει να εγκαταστήσει αυτό το μήκος και κατά την περίοδο ψύξης τα οφέλη του μεγαλύτερου βαθμού απόδοσης λόγω του μεγαλύτερου μήκους σωλήνα μπορούν να αντισταθμίσουν το αρχικά μεγάλο κόστος επένδυσης.

Η θερμική αντίσταση του εδάφους εξαρτάται από τις ιδιότητες του εδάφους, τις διαστάσεις του σωλήνα, και τις χρονικές περιόδους που παρουσιάζονται οι θερμικοί παλμοί. Στον πίνακα 33 δίνονται κάποιες τυπικές θερμικές ιδιότητες του εδάφους.

Σύσταση εδάφους	Αγωγιμότητα	Διαχυτότητα [ /day]
<b>Heavy clay, 15% water</b>	1,4 - 0,9	0,042 - 0,061
<b>5% water</b>	1,0 - 1,4	0,047 - 0,061
<b>Light clay, 15% water</b>	0,7 - 1,0	0,055 - 0,047
<b>5% water</b>	0,5 - 0,9	0,056 - 0,056
<b>Heavy sand, 15% water</b>	2,8 - 3,8	0,084 - 0,11
<b>5% water</b>	2,1 - 2,3	0,093 - 0,14
<b>Light sand, 15% water</b>	1,0 - 2,1	0,047 - 0,093
<b>5% water</b>	0,9 - 1,9	0,055 - 0,12

Πίνακας 33 Θερμικές ιδιότητες ορισμένων επιλεγμένων τύπων εδάφους<sup>[37]</sup>.

Η μεγαλύτερη δυσκολία κατά τον υπολογισμό των παραμέτρων των εξισώσεων (18) και (19) εντοπίζεται στις ισοδύναμες θερμικές αντιστάσεις του εδάφους. Οι λύση των Carslaw και Jaeger θεωρεί ότι ο χρόνος λειτουργίας, η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα και η θερμική διαχυτότητα του εδάφους, συνδέονται με τον αδιάστατο αριθμό Fourier ( ):

$$\text{---(20)}$$

Όπου:

= η θερμική διαχυτότητα του εδάφους, (πίνακας 33)

= ο χρόνος λειτουργίας, [ημέρες]

= εξωτερική διάμετρος σωλήνα, [m] (0,025 [m])

Το σύστημα μπορεί να μοντελοποιηθεί με παλμούς θερμότητας για κάθε 10 χρόνια (3650 μερες), κάθε ένα μήνα (30 μέρες) και κάθε έξι ώρες (0,25 μέρες). Οι τρεις χρόνοι ορίζονται όπως παρακάτω:

= 3650 [ημέρες]

= 3650 + 30 = 3680 [ημέρες]

= 3650 + 30 + 0,25 = 3680,25 [ημέρες]

Οι αριθμοί Fourier υπολογίζονται ως εξής:

$$(21)$$

$$(22)$$

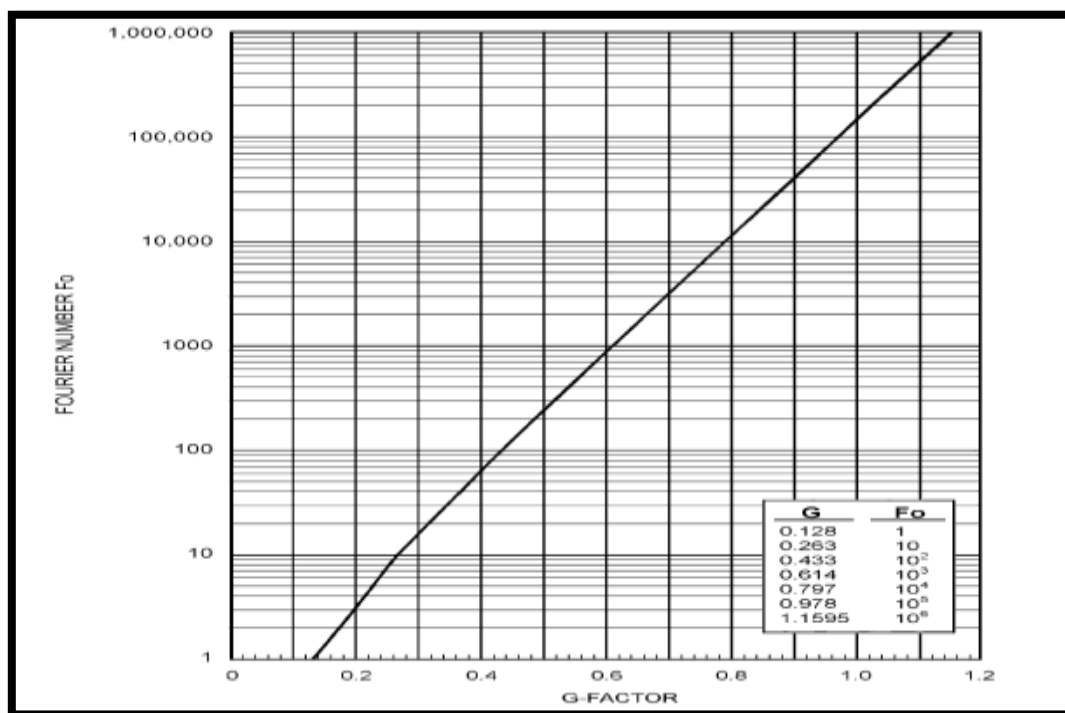
$$(23)$$

Σύμφωνα με τα προηγούμενα στον πίνακα 34 δίνονται οι τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και τα αποτελέσματα του υπολογισμού των αριθμών Fourier.

		Μονάδες
	0,09	
	3650	
	3680	
	3680,25	
	0,025	m
	2119824	-
	17424	-
	144	-

Πίνακας 34 Υπολογισμός αριθμών Fourier.

Ένα ενδιαμέσο βήμα στον υπολογισμό της θερμικής αντίστασης του εδάφους, είναι αυτό της μεθόδου των Ingersoll και Zobel για τον καθορισμό του παράγοντα G, ο οποίος καθορίζεται από την γραφική παράσταση του σχήματος 21 για κάθε τιμή Fourier.



Σχήμα 21 Γραφική παράσταση Fourier/G-Factor για τον υπολογισμό της γεωθερμικής αντίστασης<sup>[37]</sup>.

Έπειτα γίνεται ο υπολογισμός της ενεργού θερμικής αντίστασης του εδάφους, από τις παρακάτω σχέσεις:

$$(24)$$

$$(25)$$

$$(26)$$

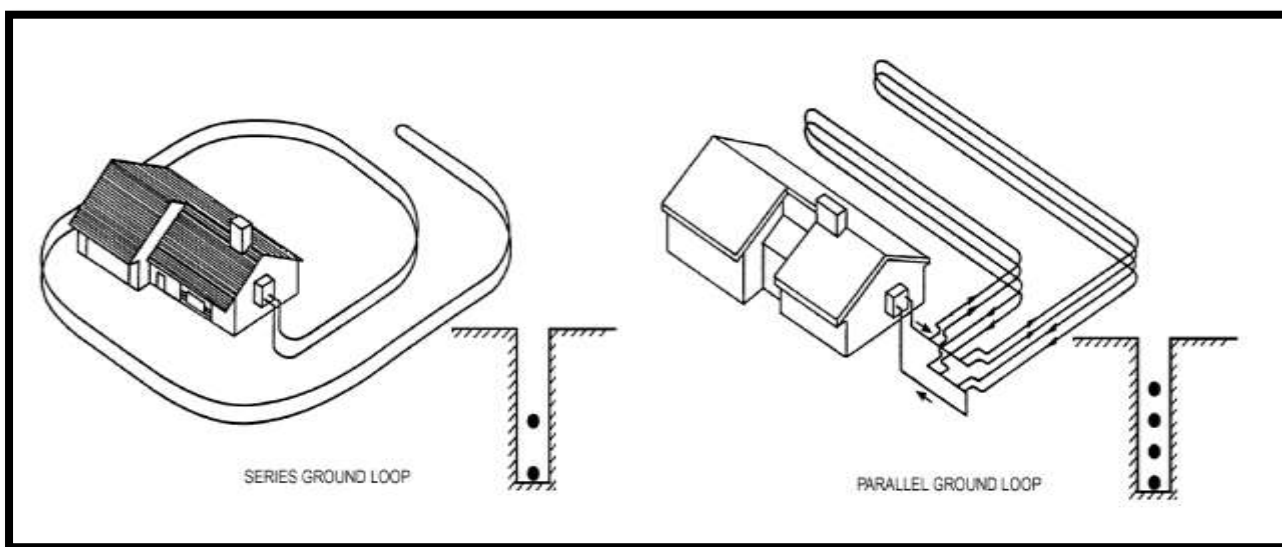
Ενδεικτικές τιμές της θερμικής αγωγιμότητας του εδάφους δίνονται στον πίνακα 33. Στον πίνακα 35 δίνονται οι τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και τα αποτελέσματα του υπολογισμού της ενεργού θερμικής αντίστασης του εδάφους.

		Μονάδες
	0,14	
	1,216	-
	0,841	-
	0,462	-
	2,682	
	2,703	
	3,302	

Πίνακας 35 Υπολογισμός της ενεργού θερμικής αντίστασης του εδάφους.

Η απόδοση υποβαθμίζεται λόγω των θερμικών απωλειών βραχυκύκλωσης μεταξύ των σωληνώσεων του εναλλάκτη θερμότητας. Αυτή η υποβάθμιση λαμβάνεται υπόψη με την εισαγωγή του συντελεστή θερμικών απωλειών βραχυκύκλωσης στις εξισώσεις (18) και (19).

Σε ορισμένες περιπτώσεις που το βάθος της γεώτρησης είναι μικρό, δύο ή τρία κυκλώματα μπορούν να συνδεθούν σε σειρά (σχήμα 22). Σε αυτή την περίπτωση οι απώλειες μειώνονται, με αποτέλεσμα οι τιμές να είναι μικρότερη από αυτή ενός κυκλώματος με ένα σε σειρά κύκλωμα σωληνώσεων. Σύμφωνα με τον σχεδιασμό του εναλλάκτη θερμότητας της υπό μελέτη κατοικίας, η τιμή της μεταβλητής αυτής θεωρείται ίση με τη μονάδα.



Σχήμα 22 Συνδεσμολογία γεωθερμικού εναλλάκτη σε σειρά και παράλληλα<sup>[37]</sup>.

Το φορτίο ψύξης και το φορτίο θέρμανσης βάσει σχεδιασμού του κτιρίου, προκύπτουν από τις παραγράφους 6.2.3 και 6.2.4 για την μέγιστη (Ιουλίου) και ελάχιστη (Φεβρουαρίου) εξωτερική θερμοκρασία αντίστοιχα που εμφανίζονται στη περιοχή. Το καθαρό μέσο ετήσιο ποσό μεταφερόμενης ενέργειας προς το έδαφος, προκύπτει ίσο με το πηλίκο της διαφοράς της ετήσιας ενέργειας για θέρμανση, μείον την ετήσια ενέργεια για ψύξη, προς το γινόμενο των ημερών του έτους επί τις ώρες της μέρας. Ο συντελεστής φορτίου ισούται με το πηλίκο της ενέργειας που καταναλώνεται για την ψύξη το μήνα Ιούλιο, δια της ώρες της μέρας, προς την ψυκτική ισχύ του μηνά αυτού.

Επίσης η επιλογή της θερμοκρασίας του νερού που εισέρχεται στη μονάδα, είναι ζωτικής σημασίας για τη διαδικασία του σχεδιασμού. Επιλέγοντας την τιμή αυτής κοντά στη θερμοκρασία εδάφους, οδηγεί σε υψηλότερη απόδοση του συστήματος, αλλά αυξάνει τις απαιτήσεις στο μήκος του εναλλάκτη και επομένως γίνεται αδικαιολόγητα δαπανηρή. Επιλέγοντας μια τιμή θερμοκρασίας αρκετά διαφορετική της, επιτρέπει την επιλογή ενός μικρού σε μήκος και οικονομικό υπόγειο σωλήνα, αλλά η αντλία θερμότητας του συστήματος θα μειώσει τόσο τη χωρητικότητα κατά την περίοδο θέρμανσης, όσο και την υψηλή ζήτηση κατά την περίοδο ψύξης.



Στον πίνακα 36 δίνονται οι τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν και τα αποτελέσματα των υπολογισμών του μήκους του γεωθερμικού εναλλάκτη για την ψύξη και θέρμανση του κτιρίου.

θέρμανση		ψύξη		Μονάδες
	1		1	-
	0,533		0,533	-
	2,148		2,148	[
	11,452		-11,831	
	2,681		2,681	
	2,703		2,703	
	3,302		3,302	
	3,03		3,03	[
	15		15	
	0		0	]
	13,8		16,2	
	14,8		15,2	
	-1,690		1,636	
	7	COP	7	-
	154,169		141,319	

Πίνακας 36 Υπολογισμός μήκους γεωθερμικού εναλλάκτη.

## 6.4 Σύνοψη

Υπολογίζοντας τις θερμικές ανάγκες του κτιρίου, προκύπτουν τα φορτία θέρμανσης-ψύξης, τα οποία σχετίζονται άμεσα με την εξωτερική θερμοκρασία. Από τα αποτελέσματα των υπολογισμών συμπεραίνουμε ότι η κατανάλωση ενέργειας για τη θέρμανση του κτιρίου είναι μεγαλύτερη από την κατανάλωση ενέργειας για την ψύξη αυτού. Κατά τον υπολογισμό του κατάλληλου μήκους του γεωθερμικού εναλλάκτη, προκύπτουν δύο διαφορετικά μήκη, ένα για θέρμανση και ένα για ψύξη, με μεγαλύτερο το μήκος για θέρμανση το οποίο επιλέγεται ως καταλληλότερο για την συγκεκριμένη εφαρμογή.

---

## 7 ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

### 7.1 Πρόλογος

Στο παρών κεφάλαιο εξετάζεται η οικονομική απόδοση, της εγκατάστασης του συστήματος γεωθερμίας και ΑΠΕ, με σκοπό την μερική κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του συγκροτήματος κατοικιών. Πραγματοποιείται ο προσδιορισμός των συνιστωσών του συστήματος ΑΠΕ, με στόχο την ελαχιστοποίηση του συνολικού κόστους του συστήματος, στο χρόνο αναφοράς της ζωής του. Συχνά αναφέρεται ως υπολογισμός του κόστους κύκλου ζωής LCC (LifeCycleCost)[1], του συνολικού συστήματος. Ο υπολογισμός του LCC του συστήματος, πραγματοποιείται μέσω του λογισμικού MatLab, το οποίο ενσωματώνει τις διαδικασίες προγραμματισμού, υπολογισμού και απεικόνισης των αποτελεσμάτων σε ένα φιλικό προς το χρήστη περιβάλλον. Ο βαθμός συμμετοχής των συνιστωσών του συστήματος ΑΠΕ (φωτοβολταϊκών-ανεμογεννήτριας) εξαρτάται, αφ' ενός από το κόστος ανά μονάδα ονομαστικής ισχύος κάθε πηγής, αφ' ετέρου από το ενεργειακό δυναμικό της περιοχής, το οποίο καθορίζεται από τα ηλιακά και ανεμολογικά χαρακτηριστικά του τόπου εγκατάστασης.

### 7.2 Οικονομικά στοιχεία

Η οικονομική ανάλυση στοχεύει στον υπολογισμό των ταμειακών ροών που θα προκύψουν από την υλοποίηση του υπό διερεύνηση επενδυτικού σχεδίου [40]. Η ταμειακή ροή ορίζεται από την διαφορά της ταμειακής εισροής και της ταμειακής εκροής και μπορεί να είναι θετική ή αρνητική. Η αναφέρεται σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο λειτουργίας, συνήθως ετήσια. Καταστρώνεται ο πίνακας των ετήσιων ταμειακών ροών για την διάρκεια της ζωής της επένδυσης. Για την κατάστρωση του πίνακα των ταμειακών ροών είναι απαραίτητη η γνώση των παρακάτω μεγεθών:

- Του αρχικού κόστους του συνολικού συστήματος
- Των ετήσιων δαπανών ( κόστος αντικατάστασης τμημάτων του συστήματος, κόστος συντήρησης και λειτουργίας του συστήματος)
- Των ετήσιων εσόδων ( πώληση της ενέργειας από ΑΠΕ στο δίκτυο)

Η χρηματική ροή του συστήματος-επενδυτικού σχεδίου ορίζεται ως το αλγεβρικό άθροισμα της ροής όλων των ετών ζωής του συστήματος. Δεδομένου όμως ότι οι χρηματικές ροές πραγματοποιούνται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές  $i$  (έτη), είναι απαραίτητη η αναγωγή τους, για τον υπολογισμό της τελικής (μελλοντικής) αξίας του αρχικού κεφαλαίου, μετά από  $n$  έτη, μέσω της παρακάτω σχέσης. Ο υπολογισμός γίνεται με βάση το επιτόκιο προεξόφλησης  $r$ .

---

## 7.3 Αρχικό κόστος του συνολικού συστήματος

Το αρχικό κόστος της επένδυσης, αποτελείται από το αρχικό κόστος (προμήθειας και εγκατάστασης), του γεωθερμικού και του συστήματος ΑΠΕ (φωτοβολταϊκά-ανεμογεννήτριες), τα οποία αναλύονται παρακάτω.

### 7.3.1 Αρχικό κόστος γεωθερμίας

Το αρχικό κόστος του συστήματος γεωθερμίας της κατοικίας [41], εξαρτάται από τα παρακάτω:

- Το κόστος της απαραίτητης γεώτρησης η εκσκαφής
- Το κόστος του γεωθερμικού εναλλάκτη
- Το κόστος της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας
- Το κόστος σωληνώσεων

Η εγκατάσταση οριζόντιου συστήματος Γεωθερμικού Εναλλάκτηπραγματοποιείται με τα συνηθισμένα μηχανήματα όπως μπουλντόζες, τσάπες, JCB ή αλυσοεκσκαφείς. Ανοίγονται χαντάκια μέσα στα οποία τοποθετούνται οι σωλήνες οριζόντια και στην συνέχεια γίνεται επιχωμάτωση του συστήματος. Ο όγκος της απαιτούμενης εκσκαφής υπολογίστηκε ότι είναι 350 . Το κόστος της εκσκαφής εξαρτάται από την ώρα χρήσης των μηχανημάτων εκσκαφής 100 [€/ώρα]. Για την εργασία αυτή εκτιμήθηκε ότι χρειάζονται 30 ώρες, επομένως το κόστος εκσκαφής ανέρχεται στα 3000[€].

Το πολυαιθυλένιο είναι το πιο διαδεδομένο από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη σωλήνωση του Γεωθερμικού Εναλλάκτη κλειστού τύπου. Το κόστος του εξαρτάται από το μήκος του εναλλάκτη, περίπου 2,50 [€/m] για σωλήνες πολυαιθυλενίου διαμέτρου 0,025 [m]. Το απαιτούμενο μήκος του γεωθερμικού εναλλάκτη για την συγκεκριμένη κατοικία υπολογίστηκε ότι είναι 155 [m], επομένως η τιμή του ανέρχεται στα 1600[€] συμπεριλαμβανόμενων των εξαρτημάτων (σύνδεσμοι, γωνίες, δοχείο διαστολής, κυκλοφορητής ανακυκλοφορίας κτλ) και του κόστους τοποθέτησης.

Για τις ανάγκες της εφαρμογής μας επιλέχτηκε η γεωθερμική αντλία θερμότητας WW048 της εταιρίας FHP, ονομαστικής θερμικής ισχύος 14 [kW]. Η μονάδα περιλαμβάνει ένα κυλινδρικό συμπιεστή, δοχείο διαστολής χωρητικότητας 80 [lt], αμφίδρομες μετρικές βαλβίδες θερμικής διαστολής και είναι εξοπλισμένη με προστασία υπερφόρτωσης. Το συνολικό κόστος της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας ανέρχεται στα 3500 [€].

Η ενδοδαπέδια θέρμανση πραγματοποιείται με τη χρήση σωλήνα REHAURatherm-S και το κόστος της ανέρχεται στις 8000 [€].

Επομένως το αρχικό κόστος του συστήματος γεωθερμίας που προκύπτει από το άθροισμα των παραπάνω δαπανών εκτιμάται στα 16100 [€].

---

### 7.3.2 Αρχικό κόστος του συστήματος ΦΒ πλαισίων και ανεμογεννητριών

Το αρχικό κόστος επένδυσης, αποτελούμενο από το αρχικό κόστος αγοράς του συστήματος, το κόστος εγκατάστασης και το κόστος των ηλεκτρονικών διατάξεων<sup>[1]</sup>.

Όπου:

- = Αρχικό κόστος αγοράς του συστήματος ΑΠΕ
- = Κόστος εγκατάστασης
- = Κόστος προμήθειας των ηλεκτρονικών συσκευών (inverter)

**Το αρχικό κόστος αγοράς του συστήματος ΑΠΕ** , υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

Όπου:

- = Κόστος αγοράς ανά W ονομαστικής ισχύος φωτοβολταϊκών, [ ] ( )
- = Κόστος αγοράς ανά W ονομαστικής ισχύος ανεμογεννήτριας, [ ] ( )
- = Ισχύς αιχμής ΦΒ, [ ]
- = Ονομαστική ισχύς ΑΓ, [ ]

**Το κόστος εγκατάστασης** , του συστήματος υπολογίζεται από την σχέση:

$$= \text{Ποσοστό κόστους προμήθειας του συστήματος ΑΠΕ (συνήθως )}$$

**Το κόστος προμήθειας ηλεκτρονικών συσκευών** (inverter), υπολογίζεται από τον τύπο:

Όπου ( ) και ( ) τα κόστη των inverter ανά [ ] ονομαστικής ισχύος για φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτρια αντίστοιχα.

---

## 7.4 Ετήσιες δαπάνες του συστήματος

### 7.4.1 Κόστος συντήρησης του συστήματος,

Το κόστος συντήρησης των ΑΠΕ [1], , υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση, για περίοδο N ετών.

Όπου:

= Συντελεστής κόστους συντήρησης των ΑΠΕ (λαμβάνεται 2%)

### 7.4.2 Ολικό κόστος αντικατάστασης τμημάτων του συστήματος,

Ο χρόνος αντικατάστασης ενός inverter εξαρτάται από την ποιότητα κατασκευής του. Σε κάθε περίπτωση αναφέρεται από των κατασκευαστή ο χρόνος λειτουργίας της διάταξης, ο οποίος συνήθως είναι 8-12 έτη. Ως ελάχιστος χρόνος αντικατάστασης καλής ποιότητας inverter λαμβάνονται τα 10 έτη. Το κόστος αυτό συνήθως λαμβάνεται ίσο με το αρχικό κόστος προμήθειας του inverter [1]. Για τον υπολογισμό του συνολικού κόστους αντικατάστασης του inverter στο χρόνο ζωής του συστήματος, έγινε ισοκατανομή του κόστους προμήθειας του, στις ετήσιες σταμιακές ροές μετά το δέκατο έτος της επένδυσης.

### 7.4.3 Κόστος προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας από το δίκτυο,

Αναφέρεται στο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας<sup>[42]</sup> που τροφοδοτείται από το δίκτυο για την κάλυψη της μηνιαίας ανάγκης για ενέργεια που παρουσιάζει το γεωθερμικό σύστημα. Πρέπει να έχουμε όλοι υπόψη μας ότι ο λογαριασμός ηλεκτρικής ενέργειας της ΔΕΗ κοστολογεί την ηλεκτρική ενέργεια κλιμακωτά. Από 1-12-07, εκτός από την αυξημένη κλιμακωτή χρέωση της κατανάλωσης ισχύει και το κλιμακωτό πάγιο. Ανάλογα με την συνολική κατανάλωση του τετραμήνου αυξάνεται και το πάγιο. Το τιμολόγιο οικιακής χρήσης βάσει του οποίου θα γίνει η χρέωση της ηλεκτρικής ενέργειας δίνεται στον πίνακα 37.

ΤΙΜΕΣ ΠΩΛΗΣΕΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΥ ΥΠΟ ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ		
Α.ΤΙΜΟΛΟΓΙΑ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ		
1.ΤΙΜΟΛΟΓΙΟ Γ1		
Τετραμηνιαία χρέωση	Μονοφασικών παροχών	Τριφασικών παροχών
<b>Αν η κατανάλωση είναι από 0 έως 800kWh ανά τετράμηνο :</b>		
Πάγιο:	3,08 €/τετραμήνο	8,76€/τετράμηνο
Ενέργεια:	0,07169 €/kWh	0,07671 €/kWh
Ελάχιστη χρέωση:	6,34 €/τετράμηνο	13,54 €/τετράμηνο
<b>Αν η κατανάλωση είναι από 801kWh έως 1600kWh ανά τετράμηνο :</b>		
Πάγιο:	11,44 €/τετραμήνο	23,08€/τετράμηνο
Ενέργεια:		
οι πρώτες 800kWh ανά τετράμηνο	0,08761 €/kWh	0,08761 €/kWh
οι υπόλοιπες 801kWh έως 1600kWh ανά τετράμηνο	0,11165 €/kWh	0,11165 €/kWh
<b>Αν η κατανάλωση είναι από 1601kWh έως 2000kWh ανά τετράμηνο :</b>		
Πάγιο:	15,18 €/τετραμήνο	38,32€/τετράμηνο
Ενέργεια:		
οι πρώτες 800kWh ανά τετράμηνο	0,08761 €/kWh	0,08761 €/kWh
οι επόμενες 801kWh έως 1600kWh ανά τετράμηνο	0,11165 €/kWh	0,11165 €/kWh
οι υπόλοιπες 1601kWh έως 2000kWh ανά τετράμηνο	0,13705 €/kWh	0,13705 €/kWh
<b>Αν η κατανάλωση είναι από 2001kWh έως 3000kWh ανά τετράμηνο :</b>		
Πάγιο:	46,38 €/τετραμήνο	64,44€/τετράμηνο
Ενέργεια:		
οι πρώτες 800kWh ανά τετράμηνο	0,08925 €/kWh	0,08761 €/kWh
οι επόμενες 801kWh έως 1600kWh ανά τετράμηνο	0,11373 €/kWh	0,11165 €/kWh
οι επόμενες 1601kWh έως 2000kWh ανά τετράμηνο	0,13959 €/kWh	0,13705 €/kWh
οι υπόλοιπες 2001kWh έως 3000kWh ανά τετράμηνο	0,18674 €/kWh	0,18674 €/kWh
<b>Αν η κατανάλωση είναι από 3001kWh και άνω ανά τετράμηνο :</b>		
Πάγιο:	46,38 €/τετραμήνο	64,44€/τετράμηνο
Ενέργεια :		
οι πρώτες 800kWh ανά τετράμηνο	0,08981 €/kWh	0,08981 €/kWh
οι επόμενες 801kWh έως 1600kWh ανά τετράμηνο	0,11443 €/kWh	0,11443 €/kWh
οι επόμενες 1601kWh έως 2000kWh ανά τετράμηνο	0,14045 €/kWh	0,14045 €/kWh
οι επόμενες 2001kWh έως 3000kWh ανά τετράμηνο	0,18790 €/kWh	0,18790 €/kWh
οι υπόλοιπες 3001kWh και άνω ανά τετράμηνο	0,18971 €/kWh	0,18971 €/kWh

**Πίνακας 37: Τιμολόγιο ηλεκτρικής ενέργειας οικιακής χρήσης**

## 7.5 Ετήσια έσοδα του συστήματος



### 7.5.1 Έσοδα πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ,

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το σύστημα ΑΠΕ (φωτοβολταϊκά- ανεμογεννήτριες) σύμφωνα με τις διατάξεις των άρθρων 9, 10 και 12 του ν.3468/2006 [43], τιμολογείται σε μηνιαία βάση, σε ευρώ ανά κιλοβατώρα [kWh] ηλεκτρικής ενέργειας που απορροφάται από το Δίκτυο, συμπεριλαμβανομένου και του Δικτύου Μη Διασυνδεδεμένων Νησιών.

Η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από φωτοβολταϊκές μονάδες, εκτός από τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς για τους οποίους έχουν οριστεί ξεχωριστές τιμές από τον ν.3734/2009 (Α' 8) [44], ανέρχεται στα 0,55 [€/kWh]. Επίσης η τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από αιολική ενέργεια, ανέρχεται στα 0,25[€/kWh] ηλεκτρικής ενέργειας που απορροφάται από το δίκτυο σε μηνιαία βάση. Η τιμές αυτές μπορούν να αναπροσαρμόζονται σε ετήσια βάση με απόφαση του Υπουργού ανάπτυξης, μετά από γνώμη της Ρ.Α.Ε.

Το οικονομικό όφελος από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το σύστημα φωτοβολταϊκών-ανεμογεννήτριας υπολογίζεται όπως παρακάτω<sup>[1]</sup>:

Η μηνιαία ενέργεια που παράγεται μέσω του φωτοβολταϊκού συστήματος:  
[Wh]

Η μηνιαία ενέργεια που παράγεται μέσω της ανεμογεννήτριας :  
[Wh]

Όπου :

$i$ = Οι μήνες του έτους

$T$ = 24 [h]

= Μέρες του κάθε μήνα

= Η μηνιαία τιμή του συντελεστή χρησιμοποίησης ισχύος φωτοβολταϊκού

= Η μηνιαία τιμή του συντελεστή χρησιμοποίησης ισχύος ανεμογεννήτριας

= Ισχύς αιχμής ΦΒ, [ ]

= Ονομαστική ισχύς ΑΓ, [ ]



---

Τέλος γίνεται ο υπολογισμός του μηνιαίου οικονομικού οφέλους από την παρακάτω σχέση:

Όπου :

= Η τιμή πώλησης σε ευρώ [€] ανά κιλοβατώρα [kWh] ηλεκτρικής ενέργειας από ΦΒ, (0,55[€/kWh])

= Η τιμή πώλησης σε ευρώ [€] ανά κιλοβατώρα [kWh] ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΓ, (0,25[€/kWh])

Το άθροισμα κάθε μηνιαίου οικονομικού οφέλους από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το σύστημα φωτοβολταϊκών-ανεμογεννήτριας, αποτελεί τα ετήσια έσοδα του συστήματος.

### 7.5.2 Απομένουσα αξία του συστήματος, S

Αφορά κυρίως τα συστήματα ΑΠΕ στο τέλος του χρόνου ζωής του συστήματος και συνήθως δεν λαμβάνεται υπόψη οποιαδήποτε άλλη απομένουσα αξία υποσυστημάτων. Εκτιμάται σε του αρχικού κόστους του συστήματος ΑΠΕ, [1].

## 7.6 Προσδιορισμός των συνιστωσών του συστήματος ΑΠΕ με το ελάχιστο LCC

### 7.6.1 Μεθοδολογία προσδιορισμού των συνιστωσών του συστήματος ΑΠΕ

Η μεθοδολογία προσδιορισμού των συνιστωσών του συστήματος ΑΠΕ, βασίζεται στον υπολογισμό του συστήματος ΦΒ συστοιχίας και ΑΓ, που καλύπτει το ισοζύγιο ισχύος μεταξύ της συνολικά παραγόμενης ετησίως, μέσης ηλεκτρικής ισχύος από το σύστημα ΑΠΕ και της ονομαστικής ισχύος της γεωθερμικής εγκατάστασης, με το μικρότερο ολικό κόστος του συστήματος στο χρόνο ζωής του. Οι τιμές τις ονομαστικής ισχύος των συνιστωσών του συστήματος, προκύπτουν ως πολλαπλάσια τιμών που λαμβάνονται ως μονάδες και σχετίζονται με την διαβάθμιση της ονομαστικής ισχύος που επιλέγει ο κατασκευαστής.

Για κάθε τιμή ισχύος αιχμής της ΦΒ συστοιχίας, υπολογίζεται η συνολική ονομαστική ισχύς της ανεμογεννήτριας που απαιτείται για την κάλυψη του ισοζυγίου ισχύος. Η συνολικά παραγόμενη ετησίως μέση ηλεκτρική ισχύς από το σύστημα ΑΠΕ προκύπτει από τη σχέση:

[W]

Όπου:

= Μέση ετήσια τιμή συντελεστή χρησιμοποίησης ισχύος ΦΒ

= Μέση ετήσια τιμή συντελεστή χρησιμοποίησης ισχύος ΑΓ

Ο βαθμός συμμετοχής των συνιστωσών του συστήματος ΑΠΕ, εξαρτάται, αφ' ενός από το κόστος ανά μονάδα ονομαστικής ισχύος κάθε πηγής, αφ' ετέρου από το ενεργειακό δυναμικό της περιοχής, το οποίο καθορίζεται από τα ηλιακά και ανεμολογικά χαρακτηριστικά του

---

τόπου εγκατάστασης. Παρά το μεγαλύτερο κόστος ανά μονάδα ονομαστικής ισχύος των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σχέση με την ανεμογεννήτρια, η σύνθεση του συστήματος εξαρτάται καθοριστικά, από την ενεργειακή αποδοτικότητα κάθε πηγής στον τόπο εγκατάστασης. Το χαρακτηριστικό αυτό καθορίζεται από τις τιμές των αντίστοιχων μέσων μηνιαίων συντελεστών ισχύος τους.

### 7.6.2 Υλοποίηση της μεθόδου LCC μέσω του λογισμικού MatLab

Ο υπολογισμός του LCC του συστήματος με το μικρότερο ολικό κόστος, πραγματοποιείται μέσω του λογισμικού MatLab (MatrixLaboratory) το οποίο ενσωματώνει τις διαδικασίες προγραμματισμού, υπολογισμού και απεικόνισης των αποτελεσμάτων σε ένα φιλικό προς το χρήστη περιβάλλον. Επιπλέον, το MatLab αποτελεί και ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον εργασίας, το οποίο περιλαμβάνει εργαλεία για τη διαχείριση των μεταβλητών, την εισαγωγή και εξαγωγή δεδομένων και τη δημιουργία και διόρθωση των εφαρμογών του, που έχουν τη μορφή αρχείων με επέκταση .m (M-files).

Υλοποιήθηκε αλγόριθμος όπου ο χρήστης εισάγει ως δεδομένα:

- I. Τις μηνιαίες τιμές του συντελεστή χρησιμοποίησης ισχύος CF για ΦΒ και ΑΓ, που προκύπτουν από τις κλιματικές συνθήκες του τόπου εγκατάστασης
- II. Το κόστος αγοράς ανά ονομαστικής ισχύος φωτοβολταϊκών και ανεμογεννήτριας
- III. Την μηνιαία κατανάλωση ενέργειας του συστήματος γεωθερμίας [ , την οποία προμηθεύεται από το δίκτυο για τη θέρμανση της κατοικίας
- IV. Την τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από το σύστημα ΑΠΕ (φωτοβολταϊκά- ανεμογεννήτριες), βάση της ισχύουσας νομοθεσίας

Αφού πραγματοποιηθούν οι απαραίτητοι υπολογισμοί μέσω του MatLab ο χρήστης λαμβάνει τα παρακάτω αποτελέσματα:

- I. Το ζεύγος των και που αφορά το σύστημα ΑΠΕ και αποτελεί τον αποδοτικότερο συνδυασμό των διαθέσιμων πηγών ενέργειας
- II. Το αρχικό συνολικό κόστος του συστήματος-επένδυσης, για την προμήθεια και εγκατάσταση του γεωθερμικού συστήματος και του συστήματος ΑΠΕ
- III. Την μελλοντική αξία MA της επένδυσης, στο τέλος του χρόνου ζωής του συστήματος
- IV. Μια τρισδιάστατη απεικόνιση του LCC του συστήματος (μελλοντικής αξίας MA της επένδυσης), στο τέλος του χρόνου ζωής του συστήματος, συναρτήσει της ισχύος αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας [ και της ονομαστικής ισχύος της ανεμογεννήτριας [
- V. Μια τρισδιάστατη απεικόνιση της μεταβολής της μελλοντικής αξίας της επένδυσης σε σχέση με το αρχικό κόστος του συστήματος, συναρτήσει της ισχύος αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας [ και της ονομαστικής ισχύος της ανεμογεννήτριας [

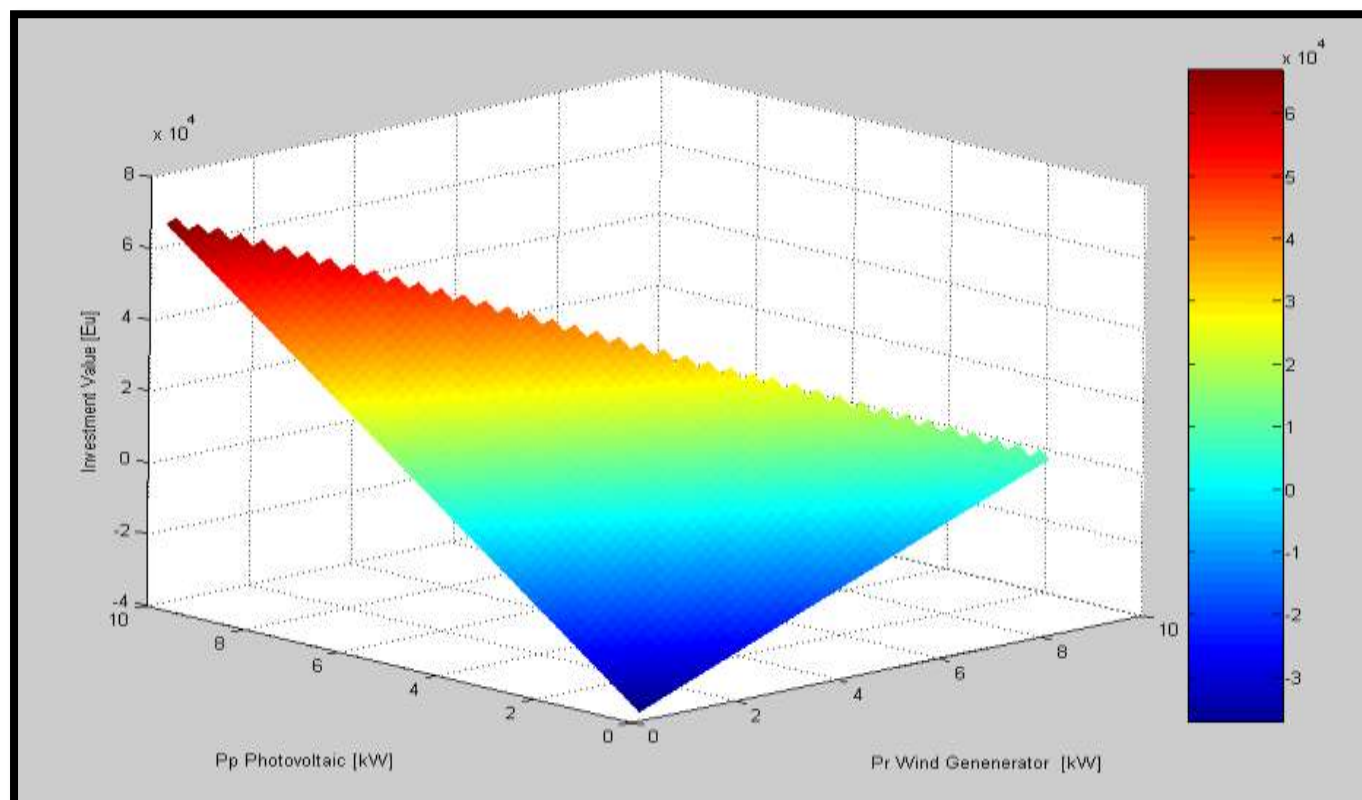
Στο Παράρτημα II της πτυχιακής δίνεται ο γραπτός κώδικας των αρχείων (M-files), για τον υπολογισμό του LCC του συστήματος.

Παρά το μεγαλύτερο κόστος ανά μονάδα ονομαστικής ισχύος των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σχέση με την ανεμογεννήτρια, η σύνθεση του συστήματος εξαρτάται καθοριστικά, από την ενεργειακή αποδοτικότητα κάθε πηγής, που με τη σειρά της καθορίζεται από τα ηλιακά και ανεμολογικά χαρακτηριστικά του τόπου εγκατάστασης. Με τη χρήση του MatLab δίνεται η δυνατότητα της μεταβολής των τιμών του συντελεστή χρησιμοποίησης ισχύος CF για ΦΒ και ΑΓ που εισάγονται ως δεδομένα. Με αυτό τον τρόπο μελετάται η επίδραση που προκαλεί η διαφοροποίηση των κλιματικών συνθηκών της τοποθεσίας της κατοικίας, στο βαθμό συμμετοχής των συνιστωσών του συστήματος ΑΠΕ και συνολικά στο LCC του συστήματος, στο χρόνο ζωής του.

### 7.6.3 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων του LCC του συστήματος

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τα ηλιακά και ανεμολογικά χαρακτηριστικά του τόπου της εγκατάστασης που εξετάζεται, παρουσιάζονται παρακάτω:

Στο σχήμα 23 δίνεται μέσω MatLab, η μεταβολή του LCC του συστήματος (μελλοντικής αξίας MA της επένδυσης), συναρτήσει της ισχύος αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας [ ] και της ονομαστικής ισχύος της ανεμογεννήτριας [ ]. Είναι προφανές ότι για την συγκεκριμένη τοποθεσία (ηλιακά και ανεμολογικά χαρακτηριστικά), η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών αποτελεί την λύση με το μεγαλύτερο οικονομικό συμφέρων.



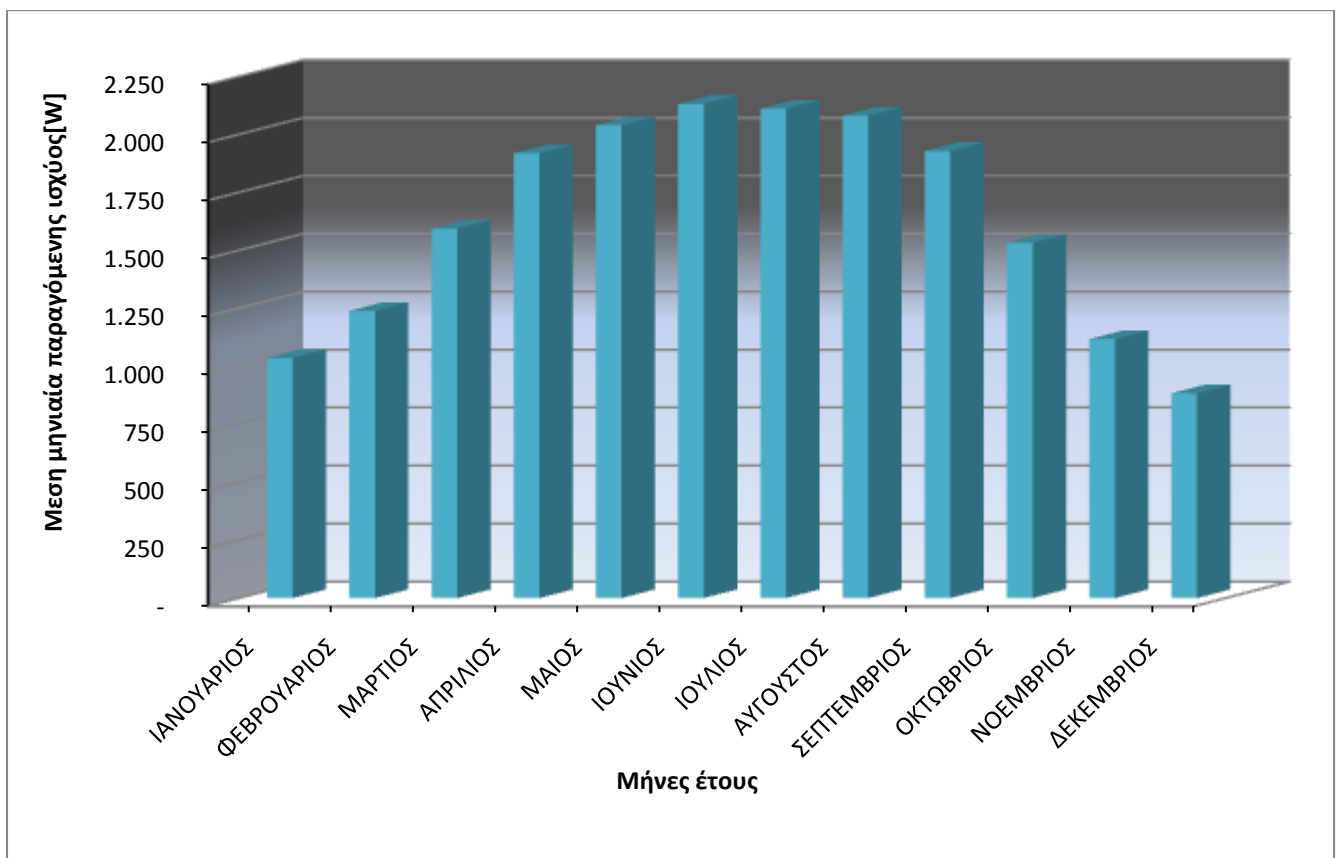
Σχήμα 23 Εξάρτηση του LCC του συστήματος από την ονομαστική ισχύ των φωτοβολταϊκών [ ] και της ανεμογεννήτριας [ ] του συστήματος.

Τα αποτελέσματα του υπολογισμού των συνιστωσών του συστήματος ΑΠΕ, του κόστους αρχικής επένδυσης και του LCC του συστήματος, δίνονται συνοπτικά στον Πίνακα 38:

		Μονάδες
Φωτοβολταϊκή συστοιχία ,	10.000	
Ανεμογεννήτρια,	-	
Κόστος αρχικής επένδυσης,	56.900	
Κόστος του κύκλου ζωής,LCC	67.598	

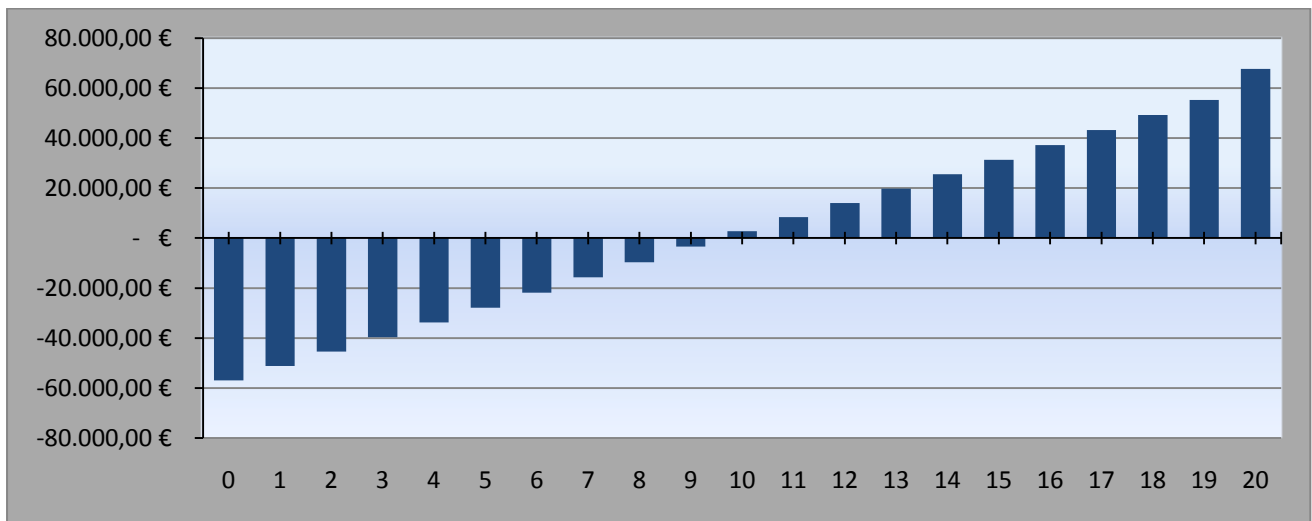
Πίνακας 38 Αποτελέσματα της μεθόδου ελαχιστοποίησης του LCC.

Στο σχήμα 24 είναι εμφανής η μεταβολή της αποδιδόμενης από το σύστημα, μέσης μηνιαίας τιμής της ημερήσιας ισχύος, η οποία είναι ανάλογη της τυπικής μορφής της εξέλιξης μέσα στο έτος, της πυκνότητας ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας στη τοποθεσία. Το σύστημα αυτό σχεδιάστηκε έτσι ώστε να καλύπτει το ισοζύγιο ισχύος μεταξύ της συνολικά παραγόμενης ετησίως, μέσης ηλεκτρικής ισχύος από το σύστημα ΑΠΕ και της ονομαστικής ισχύος της γεωθερμικής εγκατάστασης (1642 [W]), με το μικρότερο ολικό κόστος του συστήματος στο χρόνο ζωής του.



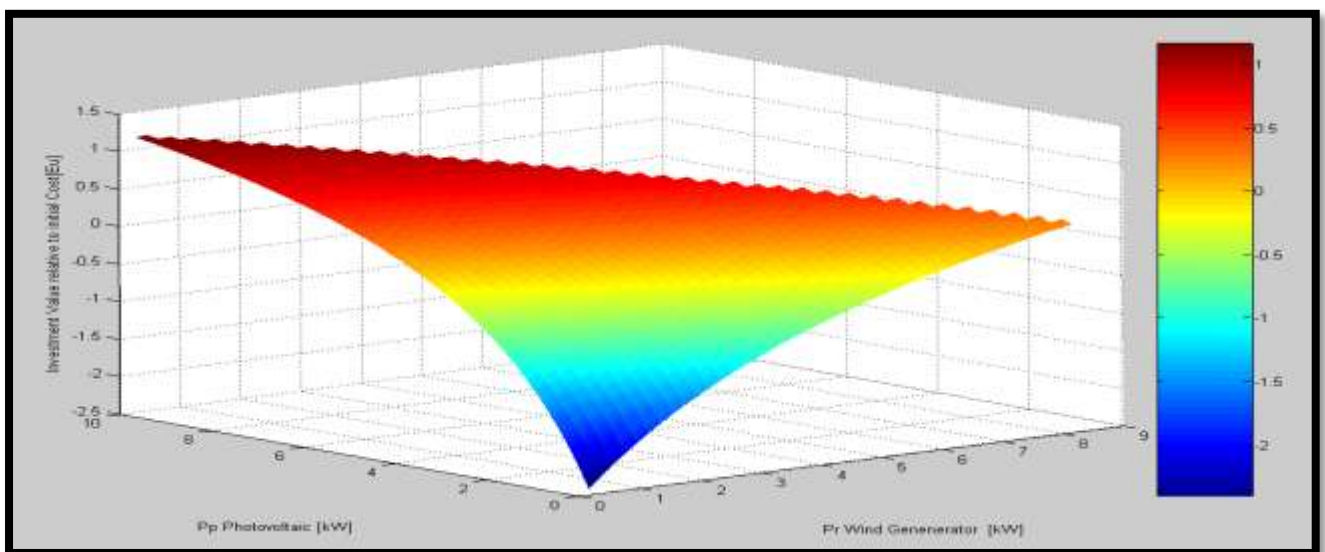
Σχήμα 24 Μέση μηνιαία τιμή της ημερήσιας αποδιδόμενης ισχύος από το σύστημα ΑΠΕ.

Τέλος, στο σχήμα 25 αποδίδεται η μεταβολή της ετήσιας μελλοντικής αξίας MA της επένδυσης, στο χρόνο ζωής του συστήματος.



Σχήμα 25 Ετήσια μελλοντική αξία επένδυσης στο χρόνο ζωής του συστήματος (20 έτη).

Τέλος στο σχήμα 26 ακολουθεί η τρισδιάστατη απεικόνιση της μεταβολής της μελλοντικής αξίας της επένδυσης σε σχέση με το αρχικό κόστος του συστήματος, συναρτήσει της ισχύος αιχμής της φωτοβολταϊκής συστοιχίας [ ] και της ονομαστικής ισχύος της ανεμογεννήτριας [ ]. Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος ΑΠΕ τόσο μεγαλύτερο είναι το συνολικό κέρδος της επένδυσης, το οποίο συσχετίζεται άμεσα με το αρχικό κόστος της. Η καμπυλότητα της επιφάνειας του παρακάτω σχήματος οφείλεται στο αρχικό κόστος του γεωθερμικού συστήματος το οποίο είναι ανεξάρτητο των συνιστωσών του συστήματος ΑΠΕ. Το μεγαλύτερο κέρδος σε σχέση με το αρχικό κόστος της επένδυσης παρουσιάζεται με την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων.



Σχήμα 26 Εξάρτηση του συνολικού κέρδους της επένδυσης σε σχέση με το αρχικό κόστος του συστήματος, συναρτήσει της ονομαστικής ισχύος των φωτοβολταϊκών [ ] και της ανεμογεννήτριας [ ] .

---

## 6.7 Σύνοψη

Στο παρών κεφάλαιο εξετάστηκε η οικονομική απόδοση της εγκατάστασης του συστήματος γεωθερμίας και ΑΠΕ, με σκοπό την μερική κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του συγκροτήματος κατοικιών. Για κάθε τιμή ισχύος αιχμής της ΦΒ συστοιχίας, υπολογίζεται η συνολική ονομαστική ισχύς της ανεμογεννήτριας που απαιτείται για την κάλυψη του ισοζυγίου ισχύος, μεταξύ της συνολικά παραγόμενης ετησίως μέσης ηλεκτρικής ισχύος από το σύστημα ΑΠΕ και της ονομαστικής ισχύος της γεωθερμικής εγκατάστασης. Στη συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός του αρχικού συνολικού κόστους της επένδυσης, για την προμήθεια και εγκατάσταση του γεωθερμικού συστήματος και των ΑΠΕ, όπως και της μελλοντικής αξίας της στο τέλος του χρόνου ζωής του συστήματος. Ο προσδιορισμός των συνιστωσών του συστήματος ΑΠΕ με το ελάχιστο LCC , επιτυγχάνεται με τη χρήση του λογισμικού MatLab. Παρά το μεγαλύτερο κόστος ανά μονάδα ονομαστικής ισχύος των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σχέση με την ανεμογεννήτρια, η σύνθεση του συστήματος εξαρτάται καθοριστικά, από την ενεργειακή αποδοτικότητα κάθε πηγής στον τόπο εγκατάστασης. Το χαρακτηριστικό αυτό καθορίζεται από τις τιμές των αντίστοιχων μέσων μηνιαίων συντελεστών ισχύος τους.

---

## 7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας πτυχιακής εργασίας γίνεται κατανοητό πως η εγκατάσταση των συστημάτων γεωθερμίας και ΑΠΕ για την μερική κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της κατοικίας αποτελεί μια «Πράσινη» και φιλική προς το περιβάλλον λύση και συγχρόνως μια κερδοφόρα επένδυση.

Για την επιτυχή ενσωμάτωση των τεχνολογιών σε μια κατοικία, πρέπει απαραίτητα να έχει προηγηθεί η εφαρμογή όλων των δυνατών τεχνικών εξοικονόμησης ενέργειας. Η μέγιστη βελτιστοποίηση της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου επιτυγχάνεται κατ' αρχάς μέσω του βιοκλιματικού αρχιτεκτονικού σχεδιασμού του, αξιοποιώντας τις τοπικές κλιματικές και περιβαλλοντολογικές παραμέτρους για θέρμανση-ψύξη, ενώ ταυτόχρονα είναι απαραίτητη η ορθολογική συμπεριφορά των κατοίκων κάνοντας χρήση ενεργειακά αποδοτικών συσκευών και την σωστή διαχείριση των ανοιγμάτων-σκιάστρων για καλύτερο φυσικό δροσισμό, φωτισμό και αερισμό. Επίσης, η προσθήκη του συστήματος γεωθερμίας και ενός υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτρια μπορεί να δώσει μια ακόμα πιο «Πράσινη» και φιλική προς το περιβάλλον λύση.

Ο βαθμός συμμετοχής των συνιστωσών του συστήματος ΑΠΕ, εξαρτάται, αφ' ενός από το κόστος ανά μονάδα ονομαστικής ισχύος κάθε πηγής, αφ' ετέρου από το ενεργειακό δυναμικό της περιοχής, το οποίο καθορίζεται από τα ηλιακά και ανεμολογικά χαρακτηριστικά του τόπου εγκατάστασης. Παρά το μεγαλύτερο κόστος ανά μονάδα ονομαστικής ισχύος των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σχέση με την ανεμογεννήτρια, η σύνθεση του συστήματος εξαρτάται καθοριστικά, από την ενεργειακή αποδοτικότητα κάθε πηγής στον τόπο εγκατάστασης. Το χαρακτηριστικό αυτό καθορίζεται από τις τιμές των αντίστοιχων μέσων μηνιαίων συντελεστών χρησιμοποίησης ισχύος. Επομένως κρίνεται απαραίτητη η επεξεργασία και αξιολόγηση του αιολικού και ηλιακού δυναμικού του τόπου, με σκοπό τη διερεύνηση της δυνατότητας να αξιοποιηθεί η εγκατάσταση για την παραγωγή ενέργειας. Επίσης πρέπει να γίνει μία ουσιαστική επιθεώρηση της τοποθεσίας εγκατάστασης του συστήματος έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι η επιλογή των επιμέρους τμημάτων του συστήματος θα ανταποκρίνεται πλήρως στις όποιες ιδιαιτερότητες παρουσιάζει η τοποθεσία εγκατάστασης.

Η μεγαλύτερη αδυναμία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι το σχετικά μεγάλο κόστος της παραγόμενης κιλοβατώρας συγκριτικά με το κόστος της παραγόμενης κιλοβατώρας από συμβατικά καύσιμα. Για να μπορούμε να μιλάμε για μια οικονομικά συμφέρουσα επένδυση στις ΑΠΕ θα πρέπει να μειωθεί σημαντικά το κόστος κατασκευής και να αυξηθεί ο βαθμός απόδοσης. Επίσης, τα μεγέθη όπως ο άνεμος και η ηλιακή ακτινοβολία έχουν μεγάλες διακυμάνσεις στο χρόνο σαν αποτέλεσμα η τιμή της παραγόμενης ισχύος να έχει μεταβολές, απαιτώντας έτσι την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών ή δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης.



---

Τέλος, παρά το αρχικά μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης του γεωθερμικού συστήματος έναντι ενός συμβατικού συστήματος, η γεωθερμική ενέργεια είναι διαθέσιμη με σταθερές παροχές σε όλη την διάρκεια του χρόνου, υπό οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες και σχεδόν παντού. Επίσης, προσφέρεται για παραγωγή τόσο ζεστού όσο και ψυχρού νερού, δηλαδή για θέρμανση και ψύξη χώρων με υψηλό βαθμό απόδοσης. Παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα από άποψη ασφαλούς λειτουργίας, ρύπανσης του χώρου και συχνότητας ρυθμίσεων. Το ουσιαστικότερο πλεονέκτημα είναι το λειτουργικό κόστος της εγκατάστασης.

## Παράρτημα Ι- Πίνακας Θερμοκρασιών

ΠΟΛΗ	ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ °C																																
	-18/-16	-16/-14	-14/-12	-12/-10	-10/-8	-8/-6	-6/-4	-4/-2	-2/0	0/2	2/4	4/6	6/8	8/10	10/12	12/14	14/16	16/18	18/20	20/22	22/24	24/26	26/28	28/30	30/32	32/34	34/36	36/38	38/40	40/42			
ΑΓΡΙΝΙΟ					1	6	12	32	74	164	320	521	689	770	765	724	682	665	678	667	596	494	395	291	154	48	11	2					
ΑΛΕΞ/ΠΟΛΗ			1	5	11	26	58	125	243	407	577	691	718	682	634	604	608	629	643	611	518	410	302	175	62	16	4						
ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ							2	9	21	55	126	273	486	718	878	943	910	867	818	743	605	482	382	262	129	39	10	2					
ΑΡΤΑ						7	13	31	71	154	296	484	659	770	796	763	723	706	716	687	593	480	370	260	131	40	10	1					
ΒΟΛΟΣ							17	29	74	167	328	544	723	794	768	715	661	646	667	664	585	493	398	283	147	46	11	1					
ΖΑΚΥΝΘΟΣ							3	15	28	77	171	338	561	770	886	888	825	765	749	684	591	474	384	290	178	65	17	3					
ΗΡΑΚΛΕΙΟ								12	41	96	211	432	677	880	949	949	904	856	756	619	486	395	287	149	47	12	2						
ΘΗΡΑ								9	19	45	129	278	547	810	951	976	929	888	805	664	519	413	345	249	128	43	12	1					
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ									22	34	93	197	379	581	760	865	885	858	836	772	687	546	442	357	259	135	41	8	2				
ΙΩΑΝΝΙΝΑ				1	4	10	25	57	127	253	437	625	742	757	715	660	629	634	661	649	577	458	342	234	113	36	9	2					
ΚΑΒΑΛΑ			1	2	6	13	35	72	150	277	438	588	677	693	669	635	625	651	679	666	597	489	374	252	120	38	10	3					
ΚΑΛΑΜΑΤΑ							2	6	21	46	103	223	406	618	785	865	850	804	768	740	684	568	462	367	258	130	40	9	2				
ΚΕΡΚΥΡΑ							3	6	18	42	99	219	410	635	806	868	835	784	752	745	683	577	461	356	259	142	48	10	3				
ΚΟΖΑΝΗ			1	2	8	17	38	78	156	279	432	573	650	657	636	610	588	584	603	630	617	540	430	320	197	82	25	6	2				
ΚΟΡΙΝΘΟΣ								4	14	37	81	189	363	577	752	827	803	763	721	715	709	635	525	426	321	200	76	18	3				
ΚΥΘΗΡΑ									17	30	71	172	323	553	753	885	937	899	852	799	702	555	453	356	243	115	31	9	1				
ΚΥΜΗ							6	16	33	86	186	369	590	776	850	840	796	772	753	701	599	487	382	277	159	61	17	5					
ΛΑΜΙΑ								34	51	118	244	434	635	758	763	693	623	585	576	584	616	589	480	381	319	192	66	16	3				
ΛΑΡΙΣΑ				1	4	8	19	44	100	206	368	549	672	699	661	615	580	569	577	604	616	564	460	371	275	141	43	10	2				
ΛΗΜΝΟΣ							8	15	36	89	197	378	597	768	826	797	744	711	710	692	622	518	421	323	200	79	21	5					
ΜΕΘΩΝΗ								3	8	19	55	127	281	501	741	898	964	929	890	839	736	601	475	360	216	85	24	6	1				
ΜΗΛΟΣ									8	29	71	160	351	605	839	931	912	883	854	778	646	505	411	344	251	126	41	11	2				
ΜΥΤΙΛΗΝΗ							2	6	21	46	108	235	429	646	789	818	783	760	737	735	685	579	472	386	290	161	54	14	3				
ΝΑΞΟΣ									2	17	31	94	218	436	709	932	1000	1011	956	885	763	595	474	355	192	66	20	2					
ΟΡΕΣΤΙΑΔΑ			1	1	5	10	24	51	102	190	315	450	560	620	629	616	595	590	610	640	661	624	522	411	299	161	53	14	3				
ΠΑΤΡΑ								1	3	14	32	77	178	358	584	773	851	834	781	740	731	717	628	516	415	300	160	51	12	2			
ΡΟΔΟΣ										10	40	83	199	377	624	797	896	896	894	879	763	656	534	431	345	220	102	11					
ΣΑΜΟΣ									2	17	32	78	172	342	550	740	840	846	801	768	753	705	607	490	404	315	198	76	20	4			
ΣΕΡΡΕΣ				1	1	7	14	33	71	146	270	426	569	647	650	620	591	575	586	602	625	616	543	443	352	234	100	27	7	1			
ΣΗΤΕΙΑ										18	37	94	224	433	680	877	969	951	923	867	763	608	481	388	269	127	38	10	1				
ΣΚΥΡΟΣ								1	6	14	34	89	204	413	665	853	904	871	827	805	766	667	537	435	341	213	85	23	6	1			
ΣΟΥΦΛΙ				1	3	7	17	38	82	168	304	470	613	679	662	609	564	554	574	605	632	617	527	420	320	194	72	19	5				
ΤΡΙΚΑΛΑ								1	3	7	18	40	91	191	349	527	653	680	642	600	566	562	586	615	631	595	492	392	294	159	50	11	2
ΤΡΙΠΟΛΗ									2	7	14	30	68	141	267	437	609	727	767	740	688	647	633	631	598	517	428	346	256	139	49	13	4
ΦΛΩΡΙΝΑ										8	21	46	109	237	432	634	756	769	726	689	680	700	704	635	521	423	325	217	94	26	5	1	
ΧΑΛΚΙΔΑ		3	2	7	14	33	66	128	227	353	477	565	598	595	593	590	594	611	637	653	611	508	391	276	149	55	15	4	1				
ΧΑΝΙΑ										4	17	45	109	238	467	709	887	932	936	875	823	726	592	469	382	292	174	63	16	3			
ΧΙΟΣ								2	8	18	46	109	239	442	669	825	863	810	734	676	627	595	543	464	369	278	221	146	55	17			

Πίνακας 39 Συχνότητα εμφάνισης (hours) εξωτερικής θερμοκρασίας ξηρού θερμομέτρου σε θερμοκρασιακά διαστήματα εύρους 2°C, για 38 ελληνικές πόλεις (ετήσιες τιμές)<sup>[38]</sup>.

## Παράρτημα II – Κώδικας MATLAB

### Κώδικας υπολογισμού του LCC του συστήματος:

```
function [LCCvalue,D,C_o]=LCCCalcs(c_pv,c_wind, Pp, Pr,days, CF_pv, CF_wind,
Energypermonth, G_fv_february, G_fv_august, G_ag      )

% Inputs
% - c_pv: [euro/Wp] Κostos agoras ana W onamastikh isxyos fwtovoltaikwn
% - c_wind: [euro/Wr]Κostos agoras ana W onamastikh isxyos anemogennhtrias
% - Pp: [W] Onomastikh isxys fwtovoltaikwn(Ppeak)
% - Pr: [W] Onomastikh isxys anemogennhtrias (Pr onomastiko)
% - days: Hmeres ka8e mhna
% - CF_pv: Mhniaioi Suntelestes xrhsimopoihshs isxuos ths FV sustoixias
% - CF_wind: Mhniaioi Suntelestes xrhsimopoihshs isxuos ths AG
% - Energypermonth: [kWh] Mhniaia energeia pou katanalwnetai apo to diktyo
% - G_fv_february: [euro/kWh] Timh polhshs ths kWh apo fwtoboltaika ton
Fevrouario
% - G_fv_august: [euro/kWh] Timh polhshs ths kWh apo fwtoboltaika ton Augusto
% - G_ag: [euro/kWh] Timh polhshs ths kWh apo anemogennhtria

% Outputs
% - LCCvalue: [euro] Elaxisto kostos tou susthmatos sto xrono anaforas ths zwhs
tou
% - C_o: [euro] Arxiko kostos tou susthmatos anemogennhtrias-fwtoboltaikwn
% - D: Pinakas D

N=      20;           % [eth] Xronos zwhs tou systhmatos
aom_ape= 0.02;      % [%] Pososto tous kostous leitourgias kai synthrhshs
του systhmatos APE gia N eth
a_egk=   .15;       % [%] Pososto tou kostous egkatastashs tou systhmatos
APE
c_WG_inv= 0.6;      % [euro/W] Κostos agoras ana W onamastikh isxyos tou
inverter gia fwtovoltaika
c_PV_inv= 0.7;      % [euro/W] Κostos agoras ana W onamastikh isxyos του
inverter gia anemogennhtria
r=       0.01;      % [%] Epitokio
c_geo_o= 16100;     % [euro] Arxiko kostos gew8ermias

for h=1:1:12        % Deikths 12 epanlhphsewn gia elegxo tou
Energypermonth
if Energypermonth(h)<0      % Elegxos anagkhs anakthshs energeias h oxi apo to
diktuo
    Energypermonth(h)=0;    % An den yparxei anagkh anakthshs
energeias,mhdenizetai to stoixeio tou pinaka gia ton sygkekrimeno mhna
end% Telos if
end% Telos for

tetramhno1=sum(Energypermonth(1:4));      % [euro] A8roish twn mhniaiwn timwn
energeias apo to diktuo gia to prwto tetramhno
tetramhno2=sum(Energypermonth(5:8));      % [euro] A8roish twn mhniaiwn timwn
energeias apo to diktuo gia to deutero tetramhno
```

---

```

tetramhno3=sum(Energypermonth(9:12)); % [euro] A8roish twm mhnaiawn timwn
energeias apo to diktuo gia to trito tetramhno

P_ape=CF_pv*Pp+CF_wind*Pr; % [W] Ypologismos ths synolikhs mhnaias
isxyos tou ubridikou systhmatos,fwtoboltaikwn-anemoggenhtrias (1x12)

C_ape=c_pv*Pp+c_wind*Pr; % [euro] Kostos promh8eias fwtoboltaikvn-
anemoggenhtrias

C_egk=a_egk*C_ape; % [euro] Ypologismos tou kostous egkatastashs
tou systhmatos

C_inv=c_PV_inv*Pp+c_WG_inv*Pr; % [euro] Ypologismos tou kostous twm inverter
tou systhmatos

C_o=C_ape+C_egk+C_inv; % [euro] Ypologismos tou synolikou arxikou
koustous thw endysshs tou systhmatos

C_om=aom_ape*C_ape; % [euro] Ypologismos kostous synthrhshs twm
systhmatwn APE

C_rx=C_inv; % [euro] Ypologismos tou kostous
antikatastashs (inverter)

S=C_o*0.15; % [euro] Ypologismos apomenousas a3ias tou
systhmatos sto telos tou xronou zwhs tou

% [euro] Ypologismos tou ths kostous energeias pou mas parexei to diktyo
(klimakwth xrewsh)

AKostos=klimakoto(tetramhno1); % A tetramhnou (klimakwth xrewsh)
BKostos=klimakoto(tetramhno2); % B tetramhnou (klimakwth xrewsh)
CKostos=klimakoto(tetramhno3); % C tetramhnou (klimakwth xrewsh)
Kostos_etoys=AKostos+BKostos+CKostos; % [euro] Ypologismos synolikou
koustous ths energeias pou katanalwnetai apo to diktuo se ena etos (A8roisma 3
tetramhnwn)

E_fv=(Pp*CF_pv).*days*24/1000; % [kWh] Ypologismos ths
mhnaias energeias pou paragetai apo fwtoboltaika (1x12)
E_ag=(Pr*CF_wind).*days*24/1000; % [kWh] Ypologismos ths
mhnaias energeias pou paragetai apo anemogennhtria (1x12)

E_fv1semester=sum(E_fv(3:8)); % [kWh] Ypologismos ths
energeias pou paragetai apo fwtoboltaika to prwto eksamhno
E_fv2semester=sum(E_fv([1:2,9:12])); % [kWh] Ypologismos ths
energeias pou paragetai apo fwtoboltaika to deutero eksamhno

K_fvsemester1=E_fv1semester*G_fv_august; % [Eu] Ypologismos tou kerdous
apo thn pwlhsh ths energeias pou paragetai apo fwtoboltaika to prwto eksamhno
(1xN)
K_fvsemester2=E_fv2semester*G_fv_february; % [Eu] Ypologismos tou kerdous
apo thn pwlhsh ths energeias pou paragetai apo fwtoboltaika to deutero eksamhno
(1xN)

```

---

```

E_ag_gear=sum(E_ag); % [kWh] Ypologismos ths ethsias
energeias pou paragetai apo thn anemogennhtria
K_ag=E_ag_gear*G_ag; % [Eu] Ypologismos tou ethsiou
kerdous apo thn pwlsh ths energeias pou paragetai apo anemogennhtria (1xN)

D(1,1)=C_o; % [euro] arxiko kostos ston pinaka
D(1,1)
D(1,2)=c_geo_o;
D(1,10)=C_o+c_geo_o; % [euro] arxiko kostos ston pinaka
D(1,9)
D(1,13)=-D(1,10); % [euro] arxiko kostos ston pinaka
D(1,12)

for j=2:N+1 % Brogxos epanalhpshts gia thn
apo8hkeush tou ka8e aithsiou kostous-kerdous kai
% ypologismo ths aithsias K.Π.A. sto xrono zwhts tou systhmatos

D(j,3)=Kostos_etoys; % [euro] Ap8hkeush tou synolikou
kostous ths ethsias energeias pou katanalwnetai apo to diktuo
D(j,4)=C_om; % [euro] Ap8hkeush tou ethsiou
kostous synthrhshs twv systhmatwn APE

if j>((N/2)+1)
D(j,5)=C_rx*0.1; % [euro] Apo8hkeush tou kostous
antikatastashts tou inverter
end

if j==N+1 % Sto teleutaio etos tou xronou zwhts tou
systhmatos:
D(j,6)=S; % [euro] Apo8hkeush ths apomenousas
a3ias tou systhmatos
end

D(j,7)= K_fvsemester1(j-1); % [euro] Ethsio kerdos apo thn pwlsh
ths energeias pou paragetai apo fwtoboltaika to prwto eksamhno
D(j,8)= K_fvsemester2(j-1); % [euro] Ethsio kerdos apo thn pwlsh
ths energeias pou paragetai apo fwtoboltaika to deutero eksamhno
D(j,9)= K_ag(j-1); % [euro] Ethsio kerdos apo thn pwlsh
ths energeias pou paragetai apo thn anemogennhtria
D(j,10)= sum(D(j,2:5)); % [euro] Ethsio synoliko kostos
D(j,11)= sum(D(j,6:9)); % [euro] Ethsio synoliko kerdos
D(j,12)= D(j,11)-D(j,10); % [euro] Ethsia ka8arh a3ias K.A.
D(j,13)= (D(j-1,13)*(1+r))+D(j,12); % [euro] Ethsia ka8arhs a3ias K.Π.A.
end

LCCvalue=D(N+1,13); % [euro] apo8hkeush ths ka8arhs parousas
a3ias K.Π.A. san LCCtest

```

---

## Κώδικας υπολογισμού του κόστους της ενέργειας που καταναλώνεται από το δίκτυο

---

```
function Kosmos = klimakoto(X)
% synarthsh pou ypologizei thn klimakoth xrewsh.
Pagio1=8.76; % [euro] Pagia e3oda tetramhnou me bash to kostologio
ths DEH (klimakwth xrewsh)
Pagio2=23.08; % [euro] Pagia e3oda tetramhnou me bash to kostologio
ths DEH (klimakwth xrewsh)
Pagio3=38.32; % [euro] Pagia e3oda tetramhnou me bash to kostologio
ths DEH (klimakwth xrewsh)
Pagio4=64.44; % [euro] Pagia e3oda tetramhnou me bash to kostologio
ths DEH (klimakwth xrewsh)

if X<=800
% [kWh]Elegxoume ean oi kWh katanalwshs tou X tetramhnou einai mikroteres apo 800
Kostos=Pagio1+0.07671*X;
% [euro] Xrewsh energeias gia tis 800 kwh
else% Diaforetika elegxetai h epomenh syn8hkh
if X<=1600
% [kWh] Elegxoume ean oi kWh katanalwshs tou X tetramhnou einai meta3y 800 kai
1600
Kostos=Pagio2+0.08761*800+0.11165*(X-800);
% [euro] Xrewsh energeias gia tis 1600 kwh
else% Diaforetika elegxetai h epomenh syn8hkh
if X<=2000
% [kWh] Elegxoume ean oi kWh katanalwshs tou X tetramhnou einai meta3y 1600 kai
2000
Kostos=Pagio3+0.08761*800+0.11165*800+0.13705*(X-1600);
% [euro] Xrewsh energeias gia tis 2000 kwh
else% Diaforetika elegxetai h epomenh syn8hkh
if X<=3000
% [kWh] Elegxoume ean oi kWh katanalwshs tou X tetramhnou einai meta3y 2000 kai
3000
Kostos=Pagio4+0.08925*800+0.11373*800+0.13959*400+0.18674*(X-2000);
% [euro] Xrewsh energeias gia tis 3000 kwh
else% Diaforetika ekteleitai h epomenh syn8hkh

Kostos=Pagio4+0.08981*800+0.11443*800+0.14045*400+0.18790*1000+0.18971*(X-3000);
% [euro] Xrewsh energeias gia thn synolikh katanalwsh energeias tou tetramhnou

end% Telos if

end% Telos if
end% Telos if
end% Telos if
```

---

## Κώδικας υπολογισμών συνιστωσών του συστήματος ΑΠΕ - Αποτελέσματα αλγόριθμου

---

```
function [LCCfinal,indOfOptimalSolution,C_o]=hybrid(c_pv,c_wind)
```

```

% hybridfinal: LCC(Life Cycle Cost)
%-----
% Inputs
% - c_pv: [euro/Wp] Kostos agoras ana W onamastikh isxyos fwtovoltaikwn
% - c_wind: [euro/Wr]Kostos agoras ana W onamastikh isxyos anemogennhtrias
% - Pp: [W] Onomastikh isxys fwtovoltaikwn(Ppeak)
% - Pr: [W] Onomastikh isxys anemogennhtrias (Pr onomastiko)
% - days: Hmeres ka8e mhna
% - CF_pv: Mhniaioi Suntelestes xrhsimopoihshts isxuos ths FV sustoixias
% - CF_wind: Mhniaioi Suntelestes xrhsimopoihshts isxuos ths AG
% - Energypermonth: [kWh] Mhniaia energeia pou katanalwnetai apo to diktyo
% - G_fv_february: [euro/kWh] Timh polhshs ths kWh apo fwtoboltaika ton
Fevrouario
% - G_fv_august: [euro/kWh] Timh polhshs ths kWh apo fwtoboltaika ton Augousto
% - G_ag: [euro/kWh] Timh polhshs ths kWh apo anemogennhtria

%-----
% Outputs
% - LCCtest: [euro] Elaxisto kostos tou susthmatos sto xrono anaforas ths zwhs
tou
% - C_o: [euro] Arxiko kostos tou susthmatos anemogennhtrias-fwtoboltaikwn
% - Pp: [W] Egkatesthmenh isxys aixmhs Pp fwtovoltaikwn
% - Pr: [W] Egkatesthmenh isxys Pr anemogennhtrias

%%*****
% Reading from files
%*****

Ddays=fopen('days_data.txt','r'); % anoigma kai diabasma
tou arxxeiou dedomenwn 'days_data.txt' me tis hmeres ka8e mhna.
days=fscanf(Ddays,'%d'); % apo8hkeush tw'n timwn se
pinaka me onoma 'days'
fclose(Ddays);

DCF_pv=fopen('CF_pv_data.txt','r'); % anoigma kai diabasma
tou arxxeiou dedomenwn 'CF_pv_data' tw'n mhniaiwn timwn tou syntelesth
xrhsimopoihshts fwtoboltaikou.
DCF_pv=fscanf(DCF_pv,'%f'); % apo8hkeush tw'n timwn se
pinaka me onoma 'CF_pv'
fclose(DCF_pv);

DCF_wind=fopen('CF_wind_data.txt','r'); % anoigma kai diabasma
tou arxxeiou dedomenwn 'CF_wind_data.txt'
CF_wind=fscanf(DCF_wind,'%f'); % tw'n mhniaiwn timwn tou
syntelesth xrhsimopoihshts anemogennhtrias.
fclose(DCF_wind); % apo8hkeush tw'n timwn se
pinaka me onoma 'CF_wind'

DEnergypermonth=fopen('Energypermonth_data.txt','r'); % anoigma kai diabasma
tou arxxeiou dedomenwn 'Energypermonth_data.txt'
Energypermonth=fscanf(DEnergypermonth,'%f'); % tw'n mhniaiwn timwn ths
energeias pou katanalwnetai apo to to diktyoEnergypermonth'
fclose(DEnergypermonth); % apo8hkeush tw'n timwn se
pinaka me onoma 'Energypermonth'

Dkerdos_pva=fopen('kerdos_pvaugust_data.txt','r'); % anoigma kai diabasma
tou arxxeiou dedomenwn 'kerdos_pvaugust_data.txt' me thn timologish ths energeias
G_fv_august=fscanf(Dkerdos_pva,'%f'); % apo FV gia to mhna
Augousto ka8e etous ths endhshs

```



```

fclose(Dkerdos_pva); % apo8hkeush tw n timwn se
pinaka me onoma 'G_fv_august'

Dkerdos_pvf=fopen('kerdos_pvfebruary_data.txt','r'); % anoigma kai diabasma
tou arxxeiou dedomenwn 'kerdos_pvfebruary_data.txt' me thn timologish ths
energeias
G_fv_february=fscanf(Dkerdos_pvf,'%f'); % apo FV gia to mhna
Febrouario ka8e etous ths ependhshs
fclose(Dkerdos_pvf); % apo8hkeush tw n timwn se
pinaka me onoma 'G_fv,february'

Dkerdos_ag=fopen('kerdos_ag_data.txt','r'); % anoigma kai diabasma
tou arxxeiou dedomenwn 'kerdos_ag_data.txt' me thn timologish ths mhnias
energeias apo WG
G_ag=fscanf(Dkerdos_ag,'%f'); % apo8hkeush tw n timwn se
pinaka me onoma 'G_fv,february'
fclose(Dkerdos_ag);

h = waitbar(0,'Please wait...'); % Anoigma ths waitbar

x= 1; % Deikths ari8mhshs tw n stoixeiwn gia tous pinakes
LCC_table,Pp_table,Pr_table
LCCfinal= -1e9; % [euro] Arxikh timh tou LCCstart gia sygkrish me thn
LCCtest sthn prwth epanalhpsh tou vroghou
limPp= 10000; % [W] Megisto orio isxyos fwtovoltaikwn toy ubridikou
systhmatos
limPr= 8200; % [W] Megisto orio isxyos anemogennhtrias toy
ubridikou systhmatos
stepPp= 50; % [W] Bhma aykshshs ths isxyos fwtoboltaikwn
stepPr= 200; % [W] Bhma aykshshs ths isxyos anemogennhtrias

Max_power=11500; % Megisth isxys 8ermikwn
anagkwn ths katoikias
COP=7; % COP gew8ermikhshs antlias
P_load=Max_power/COP; % Megisth isxys
gew8ermikhshs antlias
P_load=round(P_load);
CF_pv_mean=sum(CF_pv.*days)/sum(days); % Meso ethsio CF
fwtovoltaikwn
CF_wind_mean=sum(CF_wind.*days)/sum(days); % Meso ethsio CF
anemogennhtrias
LCCMatrix = zeros(limPp/stepPp, limPr/stepPr)*NaN; % Dhmiourgia enos pinaka
LCCMatrix

for iPp=1:(limPp/stepPp) % [W] Broghos epanalhpshs gia
diafores times isxyos fwtovoltaikwn Pp,me bhma au3hshs 200
for jPr=1:(limPr/stepPr) % [W] Broghos epanalhpshs gia diafores
times isxyos anemogennhtrias Pr,me bhma au3hshs 500

waitbar(iPp/(limPp/stepPp)); % Ypologismos bhmatwn gia thn
waitbar

Pp=stepPp+stepPp*(iPp-1); % [W] Auxhsh ths isxyos Pp tw n
fwtovoltakwn kata 200W
Pr=stepPr*(jPr-1); % [W] Auxhsh ths isxyos Pr ths
anemogennhtrias kata 500W

```

```

        Ppv=Pp*CF_pv_mean;                % [W] Pragmatikh isxys fwtoaltaikwn
        Pwg=Pr*CF_wind_mean;              % [W] Pragmatikh isxys
anemogennhtrias

if (Ppv+Pwg)<=P_load                      % Elegxos syn8hkhs

        [LCCtest,D2,C_o ]=LCCCalcs(c_pv,c_wind, Pp, Pr, days, CF_pv, CF_wind,
Energypermonth, G_fv_february, G_fv_august, G_ag ) ;

        LCC_table(x,2)=D2(1,10);
        LCC_table(x,1)=LCCtest;           % [euro] Apo8hkeysh ths timhs
        tou kostous kuklou zwhs tou systhmatos sto pinaka LCC_table
        LCC_table(x,3)=Pp;                % [W] Apo8hkeysh ths timhs tou
        Pp tou systhmatos se pinaka sto pinaka LCC_table
        LCC_table(x,4)=Pr;                % [W] Apo8hkeysh ths timhs tou
        Pr tou systhmatos se pinaka sto pinaka LCC_table
        LCCMatrix(iPp,jPr)=LCCtest;

if LCCfinal<LCCtest;                     % Elegxoume an h timh LCCtest pou upologizetai
se ka8e epanalhps h einai megalytero ths LCCfinal
        LCCfinal=LCCtest;                 % Ean isxyei o parapanw
elegxos,8etoume ws LCCfinal thn timh tou LCCtest
        indOfOptimalSolution=x;           % apo8hkeush tou deikth ths
epanalhps h
        NPV_table=D2;                     % apo8hkeush tou pinaka D san
NPV_table
end% Telos if

        x=x+1;                             % Aykshsh tou x kata 1
end% Telos if
end% Telos for
end% Telos for

close(h)                                  % Telos waitbar

%***** Print Optimal Solution*****
disp(['Optimal Solution'])
disp(['-----'])
disp(['Pp =', num2str(LCC_table(indOfOptimalSolution,3)), ' Pr =',
num2str(LCC_table(indOfOptimalSolution,4)), ' LCCtest =',
num2str(LCC_table(indOfOptimalSolution,1))])
disp(['C_o =', num2str(LCC_table(indOfOptimalSolution,2))])
disp(['-----'])

% Design surf
Pp=stepPp*(1:(limPp/stepPp) );
Pr=stepPr*(1:(limPr/stepPr) );
[XPp, YPr]=meshgrid(Pr/1000,Pp/1000);
figure
%contour(XPp, YPr,LCCMatrix)
surf(XPp, YPr, LCCMatrix)
xlabel('Pr Wind Genenerator [kW]')
ylabel('Pp Photovoltaic [kW]')
zlabel('Investment Value [Eu] ')

% Design Assing to Workspace

```

---

```
assignin('base','LCC_table',LCC_table);  
assignin('base','NPV_table',NPV_table);
```

---

## Βιβλιογραφία

---

- [1] Ιωάννης Ε. Φραγκιαδάκης, 2009, Φωτοβολταϊκά συστήματα, 3<sup>η</sup> έκδοση, Εκδόσεις ΖΗΤΗ
- [2] ΚΑΠΕ-ECOLE DES MINES DE PARIS-ZREU, 2001, Οδηγός Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, Αθήνα
- [3] Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης, Ιστοσελίδα <[http://www.meteo.noa.gr/GR/iersd\\_station-images\\_gr.htm](http://www.meteo.noa.gr/GR/iersd_station-images_gr.htm)>, ημερομηνία πρόσβασης [25/01/2010]
- [4] EarthPower, Ιστοσελίδα <<http://www.earthpower.gr>> ημερομηνία πρόσβασης [13/02/2010 ]
- [5] Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών, 2007, Φωτοβολταϊκά, Ένας πρακτικός οδηγός, Σεπτέμβριος 2007
- [6] TheEnergyBlog, Ιστοσελίδα <<http://www.thefraserdomain.typepad.com>>, ημερομηνία πρόσβασης [18/02/2010 ]
- [7] Αλ. Αλεξιάκης, 2002, Αιολική Ενέργεια, εκδόσεις Μιχ. Σιδέρης, Αθήνα
- [8] Ταξίδια Διακοπές, Ιστοσελίδα <<http://www.taxidia-diakopes.gr>>, ημερομηνία πρόσβασης [20/04/2010 ]
- [9] EcoNews, Ιστοσελίδα <<http://www.econews.gr>>, ημερομηνία πρόσβασης [10/04/2010 ]
- [10] Ιωάννης Καλδέλης, 1999, Διαχείριση Της Αιολικής Ενέργειας, Εκδόσεις Α.ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ
- [11] ΚΑΠΕ, Χάρτης Αιολικού Δυναμικού της Λέσβου, Ιστοσελίδα <[http://www.cres.gr/kape/images/maps/img\\_pre2.htm](http://www.cres.gr/kape/images/maps/img_pre2.htm)>, ημερομηνία πρόσβασης [10/02/2010]
- [12] Γιώργος Κ. Νικολετόπουλος, Αιολική Ενέργεια, Ιστοσελίδα <<http://www.gneng.gr>>, ημερομηνία πρόσβασης [14/03/2010 ]
- [13] Ινστιτούτο Τεχνολογίας & Εφαρμογών Στερεών Καυσίμων (ΙΤΕΣΚ), Ιστοσελίδα <<http://www.allaboutenergy.gr>>, ημερομηνία πρόσβασης [19/03/2010 ]
- [14] Paul Gipe, 1999, WindEnergyBasics: A GuidetoSmallandMicroWindSystems (RealGoodsSolarLiving Book), Chelsea Green Publishing Company April 1, 1999
- [15] Harsh Gupta and Sukanta Roy, 2007, An Alternative Resource For The 21<sup>st</sup> Century, Elsevier
- [16] Mary H. Dickson and Mario Fanelli, What is Geothermal Energy, Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Pisa, Italy, Ιστοσελίδα <<http://www.iga.1it.pl>>, ημερομηνία πρόσβασης [14/04/2010 ]
- [17] Αναστασία Μπένου, 2007, Οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, Εκδόσεις Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας
- [18] Μιχάλης, Γρ. Βροχόπουλος, 2006, Ομαλή Γεωθερμία και Προοπτικές Εφαρμογής, Ιστοσελίδα: <<http://www.renewable.gr>>, ημερομηνία πρόσβασης [20/01/2010]
- [19] Βουδούρη Γεωθερμία, Ιστοσελίδα <<http://www.boudouri.gr>>, ημερομηνία πρόσβασης [20/03/2010 ]
- [20] Arif Hepbasli, 2004, Encyclopedia of energy, Ground source heat pumps, Elsevier Inc.1
- [21] HeliosRes, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Ιστοσελίδα <<http://www.heliosres.gr>>, ημερομηνία πρόσβασης [19/02/2010 ]

- 
- [22] Geothermal Exchange Organization, Ιστοσελίδα <<http://www.geoexchange.org/>>, ημερομηνία πρόσβασης [14/02/2010]
- [23] EnergyHomes, Ιστοσελίδα <<http://www.energyhomes.gr>>, ημερομηνία πρόσβασης [25/02/2010]
- [24] Πρακτικά ημερίδας, 2008, Ενεργειακές Προσεγγίσεις Φιλικές Προς το Περιβάλλον, ΑΤΕΙ Κρήτης-ΣΤΕΦ
- [25] ΚΑΠΕ, 2002, Βιοκλιματικός σχεδιασμός στην Ελλάδα, Ενεργειακή Απόδοση και κατευθύνσεις εφαρμογής, ΚΑΠΕ, Πικέρμι, Ιστοσελίδα: <[http://www.cres.gr/kape/education/bioclimate\\_brochure.pdf](http://www.cres.gr/kape/education/bioclimate_brochure.pdf)>, ημερομηνία πρόσβασης [25/01/2010]
- [26] L.D. Danny Harvey, 2006, A handbook on Low-Energy Buildings and District-Energy Systems, Earthscan, London-Sterling, VA
- [27] Κώστας, Θέμης Τσιπής, 2006, Οικολογική Αρχιτεκτονική, 5η Έκδοση, Εκδόσεις Κέδρος Α.Ε.
- [28] PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) Ιστοσελίδα: <<http://sunbird.jrc.it/pvgis/>> [ ημερομηνία πρόσβασης 23/01/2010 ]
- [29] Ηλίας Ευθυμιόπουλος, 2005, Κτίριο και Περιβάλλον, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα
- [30] Google Earth, Ένδειξη της τοποθεσίας Φαρά στο χάρτη της Λέσβου. Ιστοσελίδα: <<http://earth.google.com>> [ ημερομηνία πρόσβασης 25/03/2010 ]
- [31] Google maps, Τοπογραφικό τοποθεσίας Φαρά. Ιστοσελίδα: <<http://maps.google.com/>> [ ημερομηνία πρόσβασης 25/03/2010 ]
- [32] Θεοδωρίδης Παναγιώτης, 2008, Αρχιτεκτονικό σχέδιο του συγκροτήματος κατοικιών.
- [33] Παπαμανώλης Νίκος, 2007, Δομική Φυσική και Αρχές Περιβαλλοντικού Σχεδιασμού, Τμήμα Αρχιτεκτόνων, Πολυτεχνείο Κρήτης
- [34] WeatherOnline, Μετρολογικά δεδομένα, Ιστοσελίδα: <<http://maps.google.com/>> [ημερομηνία πρόσβασης 23/01/2010]
- [35] PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) Ιστοσελίδα: <<http://sunbird.jrc.it/pvgis/>> [ ημερομηνία πρόσβασης 23/01/2010 ]
- [36] ASHRAE HandBook-Fundamentals (SI), 2009, Residential cooling and heating load calculations, chapter 17
- [37] ASHRAE HandBook- HVAC Applications (SI), 2007, Geothermal Energy, chapter 32
- [38] Κ. Παπακώστας, Ν. Κυριάκης, Χ. Καραδαγλής και Π. Φελέκης, (χ.χ.), Εκτίμηση θερμοκρασιακών δεδομένων για την ενεργειακή μέθοδο συχνότητας θερμοκρασιών (BinMethod) σε 38 Ελληνικές πόλεις, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Ενεργειακός Τομέας
- [39] Κ. Παπακώστας, Γ. Τσιλιγκιρίδης, Ν. Κυριάκης, 2005, Βαθμοημέρες θέρμανσης 50 Ελληνικών Πόλεων, Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, IV, τεύχ. 1-2
- [40] Δ. Καλιαμπάκος, Δ. Δαμίγος, 2004, Χρηματοοικονομική αξιολόγηση επενδυτικών σχεδίων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα
- [41] Aidengineering, κοστολόγηση γεωθερμικών συστημάτων σε κατοικίες, Ιστοσελίδα: <<http://www.aidengineering.gr>> [ ημερομηνία πρόσβασης 20/05/2010 ]

---

[42] Τιμές πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας υπό χαμηλή τάση(XT), Ιστοσελίδα: <<http://www.dei.gr/Documents/χτ.τιμ.1.7.08.pdf>> [ ημερομηνία πρόσβασης 20/05/2010 ]

[43] Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας, Νομοθετικό πλαίσιο ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ και Συμπαγωγή, Ν.3468/06 (ΦΕΚ Α' 129/ 27/06/06), Ιστοσελίδα: <<http://www.rae.gr>>[ ημερομηνία πρόσβασης 23/03/2010 ]

[44] EmetrisConsulting, Νέος νόμος για τις ΑΠΕ (27/05/2010), Ιστοσελίδα: <<http://www.emetris.gr>>, [ ημερομηνία πρόσβασης 29/05/2010 ]