



Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Τμήμα Ηλεκτρολογίας

Πτυχιακή Εργασία

Μελέτη Ηλεκτροδότησης Υφιστάμενης Κατοικίας Από
Α.Π.Ε.



Υπεύθυνος Καθηγητής : Κονταξάκης Κων/νος

Συνεργαζόμενος Καθηγητής : Καραπιδάκης Μανώλης

Σπουδαστής : Λυρατζάκης Ιωάννης

Πτυχιακή Εργασία

Μελέτη Ηλεκτροδότησης Υφιστάμενης Κατοικίας Από
Α.Π.Ε.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ όσους πραγματικά πίστεψαν σε εμένα , γιατί εγώ τόσα χρόνια δεν κατάφερα να το κάνω . Ακόμα ένα μεγάλο ευχαριστώ στα άτομα που με στήριξαν όχι μόνο οικονομικά αλλά και ψυχολογικά . Χωρίς αυτούς μπορεί να μην τα κατάφερα να φτάσω σε αυτό το σημείο , να κινδυνεύω να πάρω πτυχίο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία στοχεύει στην σχεδίαση ενός μικρού υβριδικού συστήματος το οποίο έχει ως στόχο και σκοπό να καλύψει πλήρως τις απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας μιας εξοχικής κατοικίας η οποία βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή του Ηρακλείου της Κρήτης. Πέραν αυτού, η συγκεκριμένη εργασία έχει και ως δεύτερο στόχο να ερευνήσει την οικονομική βιωσιμότητα του συγκεκριμένου υβριδικού συστήματος. Για αυτό τον λόγο δημιουργούνται πέντε κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η κατοικία, καταγράφονται τα γενικά χαρακτηριστικά της και η οικογένεια που διαμένει σε αυτή. Με γνωστά αυτά υπολογίζονται τα ηλεκτρικά φορτία που απαιτούνται, αναλόγως των ηλεκτρικών συσκευών που υπάρχουν. Στο δεύτερο κεφάλαιο, μετά από μια γενική αναφορά στα υβριδικά συστήματα, παρουσιάζονται όλα τα θεωρητικά στοιχεία που αφορούν τα επιμέρους τμήματα του υβριδικού συστήματος που θα σχεδιαστεί στην παρούσα εργασία. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται βήμα προς βήμα η σχεδίαση του υβριδικού συστήματος και διαστασιολογούνται όλα τα επιμέρους συστήματα που το αποτελούν. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται μια οικονομική μελέτη σκοπιμότητας για την συγκεκριμένη επένδυση και προσδιορίζεται η σκοπιμότητα ή μη της υλοποίησής της. Στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο το οποίο λειτουργεί και σαν επίλογος της συγκεκριμένης εργασίας καταγράφονται όλα τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τα προηγούμενα κεφάλαια.

Λέξεις κλειδιά: υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, σχεδίαση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οικονομική ανάλυση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

ABSTRACT

This thesis aims to design a compact renewable energy hybrid system. The target of this system is to fully cover the electricity requirements of a house which is located in the area of Heraklion in Crete. Furthermore this thesis has a second objective to investigate the economic feasibility of this renewable energy hybrid system.

So this thesis divided to five chapters. The first chapter presents the general characteristics of the house. Also here we calculate the required electric loads of the house. In the second chapter, after a general reference to the hybrid systems, we put down all the theoretical knowledge of the individual parts of the designed hybrid system. The third chapter is the step by step design of the hybrid system. The fourth chapter is an economic feasibility study for the designed hybrid system. In the final fifth chapter recorded all the conclusions of the previews chapters.

Keywords: Renewable energy hybrid system, renewable energy system design, renewable energy system feasibility study

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	3
Περίληψη	4
Abstract	5
Περιεχόμενα	6
Κατάλογος εικόνων	8
Κατάλογος σχημάτων	9
Κατάλογος πινάκων	10
Εισαγωγή.....	12
1 ^ο Κεφάλαιο “Ανάλυση υφιστάμενης κατάστασης της υπό μελέτη κατοικίας”	14
1.1 Τοποθεσία κατοικίας	14
1.2 Τοπογραφικά στοιχεία κατοικίας	15
1.3 Στοιχεία στεγαζόμενης οικογένειας	16
1.4 Εγκατεστημένες ηλεκτρικές συσκευές στην υπό μελέτη κατοικία	17
1.5 Περιγραφή ηλεκτρικού πίνακα της υπό μελέτη κατοικίας	22
1.6 Υπολογισμός υφιστάμενων καταναλώσεων της υπό μελέτη κατοικίας	25
1.6.1 Το πρόγραμμα AUTON.....	25
1.6.2 Ωριαία κατανομή φορτίων	29
1.6.2.1 Φορτία θερινής περιόδου	33
1.6.2.2 Φορτία χειμερινής περιόδου	36
2 ^ο Κεφάλαιο “Μελέτη ενεργειακά αυτόνομης κατοικίας”	40
2.1 Μετεωρολογικά στοιχεία της υπό μελέτη περιοχής	40
2.2 Υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.....	43
2.2.1 Ηλιακή ενέργεια.....	49
2.2.1.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	53
2.2.1.2 Θερμικά ηλιακά συστήματα	57
2.2.1.3 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας.....	61
2.2.2 Αιολική ενέργεια.....	67
2.2.3 Αβαθής γεωθερμία	74
2.2.4 Η/Ζ ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος	77
2.2.5 Συσσωρευτές.....	79
2.2.6 Σφόνδυλοι.....	81

2.2.7	Συστήματα ελέγχου	82
2.2.8	Αναστροφείς	83
3 ^ο	Κεφάλαιο “Σχεδιασμός μικρού υβριδικού συστήματος”	85
3.1	Διαστασιολόγηση μικρού υβριδικού συστήματος	85
3.1.1	Κάλυψη αναγκών σε θερμική ενέργεια.....	85
3.1.2	Κάλυψη αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια.....	93
3.1.2.1	Φωτοβολταϊκό σύστημα.....	93
3.1.2.2	Σύστημα ανεμογεννητριών.....	97
3.1.2.3	H/Z Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος	99
3.1.2.4	Κατανομή ηλεκτροπαραγωγής στα τρία συστήματα με στόχο την βελτιστοποίηση του κόστους εγκατάστασης και του συνολικού κόστους λειτουργίας.....	100
3.1.3	Συσσωρευτές.....	109
3.1.4	Σύστημα ελέγχου	113
3.1.5	Αναστροφείς	113
3.2	Σχεδιασμός εγκατάστασης υβριδικού συστήματος	114
4 ^ο	Κεφάλαιο “Οικονομική μελέτη αυτόνομης κατοικίας”	120
4.1	Κόστος συστημάτων αυτόνομης κατοικίας	120
4.1.1	Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης θερμικού ηλιακού συστήματος.....	120
4.1.2	Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος.....	121
4.1.3	Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης συστήματος ανεμογεννητριών.....	122
4.1.4	Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους.....	123
4.1.5	Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης λοιπών στοιχείων.....	123
4.1.6	Ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης συστημάτων αυτόνομης κατοικίας	124
4.2	Ετήσιο κέρδος από μείωση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.....	126
4.3	Χρηματοδότηση συστήματος	128
4.4	Οικονομική αξιολόγηση συστήματος.....	129
4.4.1	Υπολογισμός οικονομικών δεικτών	129
4.4.1.1	Καθαρή παρούσα αξία NPV.....	130
4.4.1.2	Απόδοση κεφαλαίου IRR	133
4.4.1.3	Λόγος οφέλους – κόστους BCR.....	133
4.4.1.4	Έντοκη περίοδος αποπληρωμής DBP	134
4.4.2	Οικονομική σκοπιμότητα υλοποίησης της επένδυσης	135
5 ^ο	Κεφάλαιο “Συμπεράσματα”	138
	Βιβλιογραφία.....	142

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1: Τοποθεσία Αγίας Πελαγίας και απεικόνιση του υπό μελέτη κτιρίου ^[22]	14
Εικόνα 1.2: Πρόσοψη της υπό μελέτη κατοικίας.....	15
Εικόνα 1.3: Ηλεκτρικός πίνακας υπό μελέτη οικίας.....	24
Εικόνα 1.4: Εισαγωγή δεδομένων αυτόνομου συστήματος στο πρόγραμμα AUTON.....	26
Εικόνα 1.5: Εισαγωγή μέρους ηλιακών δεδομένων και το αντίστοιχο γράφημα στο πρόγραμμα AUTON	26
Εικόνα 1.6: Εισαγωγή περιόδου λειτουργίας του αυτόνομου συστήματος στο πρόγραμμα AUTON .	27
Εικόνα 1.7: Εισαγωγή ανεμολογικών δεδομένων και πίνακας αποτελεσμάτων του προγράμματος AUTON	27
Εικόνα 1.8: Δυνατότητα επιλογής συσκευών οικίας στο πρόγραμμα AUTON	28
Εικόνα 1.9: Εισαγωγή συσκευών της υπό μελέτη οικίας στο πρόγραμμα AUTON.....	28
Εικόνα 1.10: Μεταβολή ώρας χρήσης και ποσοστού κατανάλωσης ονομαστικής ισχύος της κάθε συσκευής στο πρόγραμμα AUTON	29
Εικόνα 2.1: Διαχωρισμός της ελληνικής επικράτειας σε κλιματικές ζώνες ^[10]	42
Εικόνα 2.2: Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας στην ελληνική επικράτεια σε kWh/m ² ^[32]	52
Εικόνα 2.3: Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου, πολυκρυσταλλικού και μονοκρυσταλλικού πυριτίου ^[36]	56
Εικόνα 2.4: Κατηγοριοποίηση φωτοβολταϊκών με βάση το μέγεθός τους ^[37]	57
Εικόνα 2.5: Κίνηση αερίων μαζών στην γη ^[39]	68
Εικόνα 2.6: Αιολικό δυναμικό ευρωπαϊκής ηπείρου ^[8]	69
Εικόνα 2.7: Πίεση, θερμοκρασία, αποστάσεις και χημικά στοιχεία του εσωτερικού της γης ^[54]	75
Εικόνα 3.1: Εγκατάσταση ανεμογεννήτριας AEOLOS 1KW σε κτίριο ^[58]	99
Εικόνα 3.2: Τοποθέτηση των δύο ηλιακών συλλεκτών στην ταράτσα της οικίας.....	114
Εικόνα 3.3: Τοποθέτηση των 10 φωτοβολταϊκών πλαισίων στην ταράτσα της οικίας	117
Εικόνα 3.4: Τοποθέτηση ανεμογεννήτριας στον χώρο της οικίας και τελική διάταξη των ηλιακών συλλεκτών και των φωτοβολταϊκών πλαισίων	118

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Κάτοψη 1 ^{ου} ορόφου – υπό μελέτη κατοικίας.....	16
Σχήμα 1.2: Αυτόματες ασφάλειες της εταιρίας Geyer που χρησιμοποιούνται στον πίνακα της οικίας ^[16]	24
Σχήμα 1.3: Ωριαία διακύμανση κατανάλωσης φορτίου θερινής περιόδου υφιστάμενων καταναλώσεων	34
Σχήμα 1.4: Ωριαία διακύμανση κατανάλωσης φορτίου θερινής περιόδου προτεινόμενων καταναλώσεων	35
Σχήμα 1.5: Ωριαία διακύμανση κατανάλωσης φορτίου χειμερινής περιόδου υφιστάμενων καταναλώσεων	37
Σχήμα 1.6: Ωριαία διακύμανση κατανάλωσης φορτίου χειμερινής περιόδου προτεινόμενων καταναλώσεων	38
Σχήμα 2.1: Ιστορική μεταβολή τιμών πετρελαίου τα τελευταία 65 έτη ^[26]	44
Σχήμα 2.2: Διαγραμματική απεικόνιση μικρού υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για εφαρμογές αυτόνομων κατοικιών ^[27]	48
Σχήμα 2.3: Άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία ^[33]	53
Σχήμα 2.4: Λειτουργία φωτοβολταϊκού στοιχείου ^[34]	54
Σχήμα 2.5: Λειτουργία ηλιακού συλλέκτη ^[38]	59
Σχήμα 2.6: Λειτουργία σωλήνων κενού ^[19]	59
Σχήμα 2.7: Ανοικτό, κλειστό και βεβιασμένης κυκλοφορίας θερμικό ηλιακό σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας ^[20]	61
Σχήμα 2.8: Κατανομή Weibull για διάφορες τιμές της παραμέτρου C ^[9]	73
Σχήμα 2.9: Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα (επάνω) και οριζόντιου άξονα (κάτω) ^[8]	74
Σχήμα 2.10: Εκμετάλλευση γεωθερμικής ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή ^[56]	77
Σχήμα 2.11: Σφόνδυλοι αποθήκευσης ενέργειας ^[30]	81
Σχήμα 3.1: Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένα επίπεδα στο Ηράκλειο της Κρήτης....	95
Σχήμα 3.2: Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο των 30°	96
Σχήμα 3.3: Διάγραμμα κόστους εγκατάστασης με βάση τις περιπτώσεις κατανομής ποσοστού ηλεκτροπαραγωγής από φωτοβολταϊκό σύστημα, σύστημα ανεμογεννητριών και ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος.....	108
Σχήμα 3.4: Διάγραμμα συνολικού κόστους με βάση τις περιπτώσεις κατανομής ποσοστού ηλεκτροπαραγωγής από φωτοβολταϊκό σύστημα, σύστημα ανεμογεννητριών και ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος.....	109
Σχήμα 3.5: Υψόμετρο ηλίου για γεωγραφικό πλάτος 39° ^[13]	115
Σχήμα 3.6: Διάταξη μιας σειράς φωτοβολταϊκών πλαισίων και απόσταση από την επόμενη σειρά..	116
Σχήμα 3.7: Ποσοστό ηλεκτροπαραγωγής από κάθε επιμέρους σύστημα σύμφωνα με το AUTON ..	119

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ονομαστικές καταναλώσεις ισχύος της υπό μελέτη κατοικίας.....	19
Πίνακας 2: Προτεινόμενες καταναλώσεις ισχύος της υπό μελέτη κατοικίας.....	21
Πίνακας 3: Ωριαία κατανάλωση ισχύος και ενέργειας της υπό μελέτη οικίας (προτεινόμενων καταναλώσεων) για την θερινή περίοδο	33
Πίνακας 4: Ωριαία κατανάλωση ισχύος και ηλεκτρικής ενέργειας της υπό μελέτη οικίας για την χειμερινή περίοδο.....	36
Πίνακας 5: Μέση μηνιαία θερμοκρασία στην περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης ^[11]	40
Πίνακας 6: Μέσες μηνιαίες τιμές ολικής και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης ^[11]	41
Πίνακας 7: Μέση ταχύτητα ανέμου ανά μήνα στην περιοχή του Ηρακλείου ^[11]	41
Πίνακας 8: Μέση μηνιαία θερμοκρασία δικτύου ύδρευσης στο Ηράκλειο Κρήτης ^[40]	42
Πίνακας 9: Μέση μηνιαία ημέρα και γωνιακή απόκλιση ανά μήνα ^[21]	62
Πίνακας 10: Καταναλώσεις ζεστού νερού χρήσης ανά τύπο κτιρίου ^[10]	86
Πίνακας 11: Θερμοκρασίες ζεστού νερού χρήσης ανά εφαρμογή ^[10]	88
Πίνακας 12: Μηνιαίες απαιτήσεις θερμικής ισχύος για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.....	89
Πίνακας 13: Βαθμός αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας ανά τύπο και κλίση συλλέκτη στην πόλη του Ηρακλείου ^[10]	90
Πίνακας 14: Ολική ηλιακή ακτινοβολία στα κεκλιμένα επίπεδα 15, 45 και 65 μοιρών για το Ηράκλειο Κρήτης	91
Πίνακας 15: Τεχνικά χαρακτηριστικά συλλέκτη Logasol SKN 3.0 – s [□]	92
Πίνακας 16: Τεχνικά χαρακτηριστικά δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης ^[43]	92
Πίνακας 17: Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού πλαισίου ASM POLY 1 – 6 CS ^[46]	94
Πίνακας 18: Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία ανά κεκλιμένο επίπεδο.....	95
Πίνακας 19: Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο των 30°.....	96
Πίνακας 20: Υπολογισμός απαιτούμενης επιφάνειας φωτοβολταϊκών πλαισίων	97
Πίνακας 21: Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους KPD8500M ^[44]	100
Πίνακας 22: Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας 200W ^[60]	103
Πίνακας 23: Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας 2 kW ^[61]	104
Πίνακας 24: Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας 3 kW ^[62]	105
Πίνακας 25: Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας 5 kW ^[62]	106
Πίνακας 26: Κατανομή ποσοστού ηλεκτροπαραγωγής στο φωτοβολταϊκό σύστημα, στο σύστημα ανεμογεννητριών και στο ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος	107
Πίνακας 27: Κόστος εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος, συστήματος ανεμογεννητριών, ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους και συνολικά του υβριδικού συστήματος	108
Πίνακας 28: Συνολικό κόστος φωτοβολταϊκού συστήματος, συστήματος ανεμογεννητριών, ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους και συνολικά του υβριδικού συστήματος	108
Πίνακας 29: Τεχνικά χαρακτηριστικά ρυθμιστή φόρτισης ^[50]	113
Πίνακας 30: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστροφέα SB1700 ^[52]	113
Πίνακας 31: Κόστος προμήθειας υλικών θερμικού ηλιακού συστήματος ^{[42], [43]}	121
Πίνακας 32: Συνολικό κόστος θερμικού ηλιακού συστήματος	121
Πίνακας 33: Συνολικό κόστος φωτοβολταϊκού συστήματος ^[48]	122

Πίνακας 34: Συνολικό κόστος προμήθειας και εγκατάστασης συστήματος ανεμογεννητριών ^[49]	122
Πίνακας 35: Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους ^{[44], [45]}	123
Πίνακας 36: Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης λοιπών στοιχείων υβριδικού συστήματος ^{[47], [51], [53]}	124
Πίνακας 37: Συνολικό κόστος προμήθειας και εγκατάστασης υβριδικού συστήματος.....	124
Πίνακας 38: Αναγκαία ηλεκτρική ενέργεια που πρέπει να παραχθεί από το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος	125
Πίνακας 39: Κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος στην οικία σε περίπτωση που δεν υπήρχε το υβριδικό σύστημα	126
Πίνακας 40: Χαρακτηριστικά δανειοδότησης για την υλοποίηση του υβριδικού συστήματος.....	129
Πίνακας 41: Υπολογισμός ετήσιων καθαρών κερδών για προσδιορισμό της καθαρής παρούσας αξίας	131
Πίνακας 42: Οικονομικοί δείκτες επένδυσης υβριδικού συστήματος	135
Πίνακας 43: Οικονομικοί δείκτες που διέπουν την περίπτωση μειωμένου κόστους επένδυσης.....	136
Πίνακας 44: Οικονομικοί δείκτες που διέπουν την περίπτωση αυξημένου κέρδους.....	137

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την είσοδο του 21^{ου} αιώνα δεν μεταβλήθηκαν πολλά πράγματα στην ζωή του ανθρώπου. Μια από τις σημαντικότερες μεταβολές είναι η διείσδυση του διαδικτύου στην καθημερινότητά μας. Μια άλλη σημαντική μεταβολή είναι η κλιματική αλλαγή που συντελείται στον πλανήτη. Μια τρίτη εξίσου σημαντική μεταβολή είναι η αύξηση των τιμών των συμβατικών καυσίμων. Με την πρώτη μεταβολή δεν θα ασχοληθούμε, αντιθέτως θα επικεντρωθούμε στις άλλες δύο. Ταυτόχρονα με αυτές τις μεταβολές ξεκίνησε να αναπτύσσεται και μια οικολογική συνείδηση στον κόσμο που αφορά τόσο την προστασία του πλανήτη όσο και την μείωση της κατανάλωσης καυσίμων.

Σε αυτό το σύγχρονο οικολογικό κλίμα κινείται και η παρούσα πτυχιακή εργασία. Το θέμα της πραγματεύεται τον σχεδιασμό μιας ενεργειακά αυτόνομης κατοικίας. Η ενεργειακά αυτόνομη κατοικία συμβάλλει τόσο στον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής όσο και στην μείωση της κατανάλωσης των ορυκτών καυσίμων. Αυτό καθιστά σαφές πόσο χρήσιμη θα είναι εν τέλει η συγκεκριμένη εργασία. Για την επίτευξη του στόχου της χωρίζεται σε πέντε κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται η καταγραφή των ηλεκτρικών απαιτήσεων της οικίας. Στο δεύτερο καταγράφονται όλα τα επιμέρους συστήματα που δύναται να έχει ένα μικρό υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και θα καταστήσουν την συγκεκριμένη οικία αυτόνομη. Στο τρίτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η διαστασιολόγηση ενός υβριδικού συστήματος το οποίο θα καλύπτει τις ανάγκες της υπό μελέτη κατοικίας. Ταυτόχρονα γίνεται και ο σχεδιασμός του συστήματος στην διαθέσιμη επιφάνεια της παρούσας οικίας. Στο τέταρτο κεφάλαιο εξετάζεται η οικονομική σκοπιμότητα αυτής της επένδυσης. Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα εργασία. Στις επόμενες παραγράφους ακολουθεί η περιγραφή των επιμέρους κεφαλαίων.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται ενδελεχής ανάλυση των ηλεκτρικών καταναλώσεων της υπό μελέτη οικίας. Πριν γίνει αυτό όμως παρουσιάζεται αυτή η οικία, η τοποθεσία της, τα στοιχεία της οικογένειας που στεγάζει, οι ηλεκτρικές συσκευές οι οποίες βρίσκονται εντός αυτής και ο ηλεκτρικός πίνακας που ήδη χρησιμοποιείται. Αφού γίνουν όλα αυτά τότε είναι πολύ εύκολος ο υπολογισμός των ηλεκτρικών καταναλώσεων ανά ώρα της ημέρας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αρχικά καταγράφονται τα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής στην οποία θα εγκατασταθεί το μικρό υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ακολούθως περιγράφεται ένα τυπικό υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και όλα τα επιμέρους συστήματα που το αποτελούν, μέρος των οποίων θα χρησιμοποιηθεί στο υβριδικό σύστημα που θα σχεδιαστεί για την υπό μελέτη οικία.

Στο τρίτο κεφάλαιο καταγράφεται η επιλογή και η εγκατάσταση όλων των επιμέρους συστημάτων βάσει των οποίων θα καταστεί αυτόνομη ενεργειακά η κατοικία. Έτσι, κατά σειρά υπολογίζονται και σχεδιάζονται ένα φωτοβολταϊκό σύστημα για ηλεκτροπαραγωγή, ένα θερμικό ηλιακό σύστημα για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, ένα σύστημα ανεμογεννητριών για ηλεκτροπαραγωγή και ένα σύστημα ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους για ηλεκτροπαραγωγή. Επίσης διαστασιολογούνται οι συσσωρευτές, το σύστημα ελέγχου και οι αντιστροφείς που θα χρησιμοποιηθούν. Στο τέλος γίνεται ο σχεδιασμός του συστήματος στις δεδομένες επιφάνειες της υπό μελέτη οικίας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η οικονομική μελέτη της αυτόνομης κατοικίας. Αρχικά θα παρουσιαστούν τα κόστη προμήθειας και εγκατάστασης όλων των επιμέρους συστημάτων της αυτόνομης κατοικίας. Ακολούθως θα προσδιοριστούν τα κέρδη που προκύπτουν από την μη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από το τοπικό δίκτυο. Στην συνέχεια, αφού ευρεθούν οι τρόποι χρηματοδότησης του συστήματος, θα υπολογιστεί μια σειρά από οικονομικούς δείκτες βάσει των οποίων θα καταδειχθεί η οικονομική σκοπιμότητα ή όχι της εφαρμογής της παρούσας επένδυσης.

Εν τέλει, στο πέμπτο κεφάλαιο, τον επίλογο της παρούσας πτυχιακής εργασίας, θα καταγραφούν τα συμπεράσματα μας. Θα επιχειρηθεί η συνολική τοποθέτηση γύρω από τις αυτόνομες οικίες και ταυτόχρονα θα παρουσιαστούν και τα περιβαλλοντικά κέρδη από την εγκατάσταση όλων των συστημάτων.

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ”

1.1 Τοποθεσία κατοικίας

Η κατοικία η οποία μελετάται στην παρούσα εργασία βρίσκεται σε ένα ιδανικό μέρος (κυρίως από πλευρά ηλιοφάνειας) για την εγκατάσταση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Βρίσκεται στην Κρήτη, την περιφέρεια της χώρας με την μεγαλύτερη ηλιοφάνεια εν συγκρίσει με όλες τις άλλες. Συγκεκριμένα βρίσκεται στην περιοχή της Αγίας Πελαγίας Ηρακλείου η οποία διοικητικά ανήκει στην δημοτική ενότητα Γαζίου, του δήμου Μαλεβιζίου. Είναι μια παραθαλάσσια περιοχή στα βόρεια παράλια της Κρήτης, περίπου 18 χιλιόμετρα δυτικά του Ηρακλείου και βρέχεται από τα νερά του Αιγαίου. Είναι ένα καθαρά τουριστικό κέντρο όπου βρίσκονται μεγάλες τουριστικές μονάδες, σύγχρονα εστιατόρια, κέντρα συνεδριάσεων και υπάρχει έντονη νυκτερινή ζωή υψηλής ποιότητας. Η εικόνα 1.1 δείχνει την τοποθεσία της Αγίας Πελαγίας και με κόκκινο σημάδι καθορίζεται η θέση του υπό μελέτη κτιρίου.^[22]



Εικόνα 1.1: Τοποθεσία Αγίας Πελαγίας και απεικόνιση του υπό μελέτη κτιρίου^[22]

1.2 Τοπογραφικά στοιχεία κατοικίας

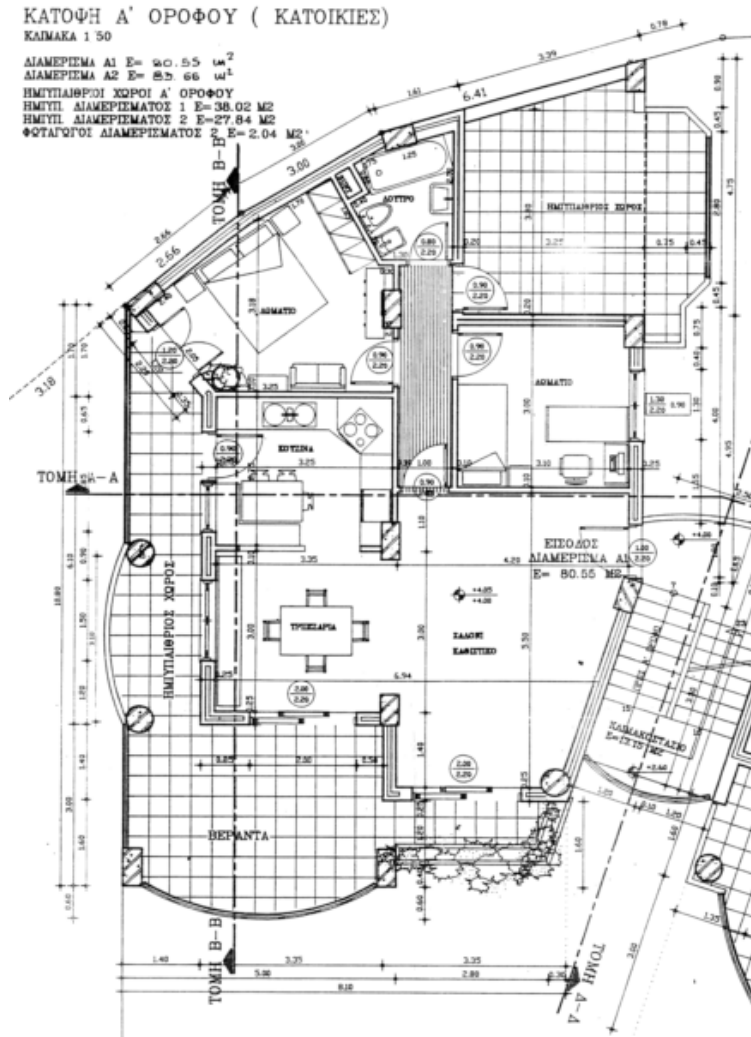
Η υπό μελέτη κατοικία είναι μια εξοχική κατοικία η οποία είναι κτισμένη στην περιοχή Λενικό της Αγίας Πελαγίας. Ο προσανατολισμός της είναι Βορειοδυτικός (ΒΔ). Είναι ένα τριώροφο κτίσμα το οποίο αποτελείται από ένα υπόγειο, το ισόγειο και τον 1^ο όροφο. Στην εικόνα 1.2 τοποθετείται η φωτογραφία της προσόψεως του υπό μελέτη κτίσματος.



Εικόνα 1.2: Πρόσοψη της υπό μελέτη κατοικίας

Οι χρήσεις στα τρία επίπεδα του κτίσματος είναι διαφορετικές. Στο υπόγειο βρίσκεται ένας αποθηκευτικός χώρος. Το ισόγειο είναι χωρισμένο σε δύο μέρη τα οποία είναι καταχωρημένα στην πολεοδομία ως επαγγελματικοί χώροι εκτάσεως 46 m² και 36 m² αντίστοιχα. Προς το παρόν και οι δύο επαγγελματικοί χώροι είναι ανεκμετάλλευτοι και δεν υπάρχει τροφοδοσία τους με ηλεκτρικό ρεύμα. Στον 1^ο όροφο του κτίσματος στεγάζεται η κατοικία της οικογένειας για την οποία θα γίνει η παρούσα μελέτη. Η κατοικία αποτελείται από 7 δωμάτια. Τα τρία εξ αυτών είναι υπνοδωμάτια, τα άλλα δύο είναι λουτρά, το έκτο δωμάτιο είναι η κουζίνα και το έβδομο είναι η σαλοτραπεζαρία. Πέραν αυτών υπάρχουν ένας διάδρομος που ενώνει τα υπνοδωμάτια και τρία μπαλκόνια. Στο διάγραμμα του σχήματος 1.1 παρουσιάζεται η κάτοψη του 1^{ου} ορόφου που στεγάζει την υπό μελέτη κατοικία. Η παρούσα οικία είναι το αριστερό τμήμα του κτιρίου, το δεξί (τμήμα του οποίου φαίνεται στο κάτω δεξί άκρο του σχήματος 1.1) ανήκει σε συγγενικό πρόσωπο και δεν μελετάται στην εργασία.

Κεφάλαιο 1. Ανάλυση υφιστάμενης κατάστασης της υπό μελέτη κατοικίας



Σχήμα 1.1: Κάτοψη 1^{ου} ορόφου – υπό μελέτη κατοικίας

1.3 Στοιχεία στεγαζόμενης οικογένειας

Το επόμενο σημαντικό στοιχείο που πρέπει να καταγραφεί είναι η σύνθεση της οικογένειας που στεγάζεται στην παρούσα οικία καθώς και τα ωράρια της καθημερινότητάς τους. Αυτά τα στοιχεία είναι κρίσιμα για να καθοριστούν οι ωριαίες καταναλώσεις ηλεκτρικού ρεύματος που εμφανίζονται στην οικία και στις οποίες βασίζεται ο σχεδιασμός του υβριδικού συστήματος. Η οικογένεια που στεγάζεται στην οικία είναι τετραμελής. Αποτελείται από τον πατέρα, την μητέρα και δύο παιδιά. Ο πατέρας είναι ελεύθερος επαγγελματίας, δουλεύει τόσο το πρωί όσο και το απόγευμα. Η μητέρα είναι δημόσια υπάλληλος, απουσιάζει από την οικία μεταξύ των ωρών 07:00 και 15:00. Τέλος, τα δύο παιδιά είναι φοιτητές και το ωράριο που βρίσκονται εντός της οικίας είναι τυχαίο. Δεδομένου του ότι η οικία είναι εξοχική κατοικία τότε, και βάσει του παραπάνω ωραρίου, θεωρείται ότι χρησιμοποιείται μόνο το σαββατοκύριακο. Επίσης θεωρείται ότι χρησιμοποιείται και

καθημερινές σε μέρες που τα μέλη της οικογένειας έχουν άδεια άρα θα βρίσκονται όλη μέρα εντός της οικίας. Για αυτό τον λόγο, κατά τον υπολογισμό των φορτίων, θα θεωρηθεί ότι η οικογένεια βρίσκεται συνεχώς στο σπίτι και δεν υπάρχει μεταβολή των καταναλώσεων εξαιτίας απουσίας για δουλειά.

1.4 Εγκατεστημένες ηλεκτρικές συσκευές στην υπό μελέτη κατοικία

Το σημαντικό στοιχείο για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύος του υβριδικού συστήματος είναι οι εγκατεστημένες ηλεκτρικές συσκευές καθώς αυτές καθορίζουν το φορτίο που πρέπει να καλύπτεται. Σε αυτή την ενότητα γίνεται αναλυτική καταγραφή των ηλεκτρικών καταναλώσεων ανά χώρο που υπάρχουν στην υπό μελέτη οικία. Επίσης πρέπει να γίνουν υποδείξεις για αλλαγές συσκευών με χρήση άλλων χαμηλότερης ισχύος. Για την καταγραφή της ισχύος των ηλεκτρικών συσκευών χρησιμοποιήθηκαν διαδικτυακές πηγές^{[23], [24], [25]} και οι τεχνικοί οδηγοί των ήδη εγκατεστημένων συσκευών.

Ο πρώτος χώρος που υπάρχει είναι το υπόγειο. Είναι ένας χώρος 40,18 m² ο οποίος χρησιμοποιείται ως αποθηκευτικός χώρος. Αυτό συνεπάγεται ότι δεν υπάρχουν ηλεκτρικές συσκευές εντός του υπογείου. Ως εκ τούτου οι ηλεκτρικές καταναλώσεις είναι πολύ μικρές. Κύρια κατανάλωση είναι ο φωτισμός ενώ υπάρχουν και τρεις διαθέσιμες πρίζες για σύνδεση μικροσυσκευών. Η τροφοδοσία γίνεται μέσω ενός μικρού υποπίνακα 3 γραμμών ο οποίος τροφοδοτείται από τον κεντρικό πίνακα του κτιρίου που βρίσκεται στον πρώτο όροφο. Για φωτισμό χρησιμοποιούνται δύο λαμπτήρες φθορίου οικονομίας T8 μήκους 120 cm και ισχύος 22W έκαστος.

Το ισόγειο αποτελείται από δύο ανεξάρτητους χώρους κατασκευασμένους για επαγγελματική χρήση. Κατά την παρούσα κατάσταση δεν χρησιμοποιείται κανείς από αυτούς τους χώρους και υπάρχει διακοπή της ηλεκτροδότησής τους. Έτσι δεν καταναλώνεται σε αυτά ηλεκτρικό φορτίο το οποίο πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την διαστασιολόγηση του υβριδικού συστήματος. Πέραν των δύο καταστημάτων όμως υπάρχουν ημιυπαίθριοι χώροι οι οποίοι φωτίζονται και μέσω αυτών φωτίζεται και η αυλή του κτιρίου. Επίσης υπάρχει και το κλιμακοστάσιο από το οποίο γίνεται η άνοδος στον 1^ο όροφο όπου και εκεί υπάρχει ο φωτισμός. Συνολικά υπάρχουν 5 λαμπτήρες για τον φωτισμό των ημιυπαίθριων χώρων και 4 για τον φωτισμό του κλιμακοστασίου. Οι λαμπτήρες αυτοί είναι τύπου φθορίου οικονομίας e27, μήκους 5cm και ισχύος 18W έκαστος.

Οι κύριες καταναλώσεις του παρόντος κτιρίου βρίσκονται στον 1^ο όροφο όπου στεγάζεται και η οικία. Στις επόμενες παραγράφους καταγράφονται οι ηλεκτρικές συσκευές ανά δωμάτιο στο οποίο είναι εγκατεστημένες. Στο τέλος γίνεται αναφορά και σε ηλεκτρικές συσκευές που δεν είναι εγκατεστημένες σε ένα συγκεκριμένο δωμάτιο αλλά είναι απαραίτητες για μια οικία.

Τα πρώτα δωμάτια που εξετάζονται είναι τα υπνοδωμάτια. Σε αυτά η μόνη μόνιμη κατανάλωση που είναι εγκατεστημένη είναι 3 λαμπτήρες, ένας για κάθε δωμάτιο, τύπου φθορίου οικονομίας e27, μήκους 5 cm και ισχύος 18W έκαστος. Βέβαια είναι δυνατή η περιοδική χρήση διαφόρων άλλων συσκευών όπως για παράδειγμα σίδερο, σεσουάρ, φορτιστές τηλεφώνων οι οποίες όμως θα ενταχθούν σε άλλη κατηγορία γιατί δύναται να χρησιμοποιηθούν σε πολλά δωμάτια.

Ακολούθως υπάρχουν τα δύο λουτρά. Σε αυτά βρίσκονται εγκατεστημένοι τέσσερις λαμπτήρες φθορίου οικονομίας e14 ισχύος 7W έκαστος, απαραίτητοι για τον φωτισμό των δύο χώρων. Πέραν αυτών υπάρχουν εγκατεστημένοι 2 ανεμιστήρες, έκαστος σε κάθε λουτρό, ισχύος 8W, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τον εξαερισμό των χώρων. Τέλος, στο ένα λουτρό είναι εγκατεστημένο ένα πλυντήριο ισχύος 2800W. Τα υπνοδωμάτια και τα λουτρά ενώνονται με το υπόλοιπο σπίτι με ένα διάδρομο στον οποίο υπάρχουν για τον φωτισμό του 4 λαμπτήρες spot αλογόνου, ισχύος 35W έκαστος.

Επόμενο δωμάτιο είναι η σαλοτραπεζαρία. Σε αυτό βρίσκονται ηλεκτρικές καταναλώσεις φωτισμού και συσκευών ψυχαγωγίας της οικογένειας. Για τον φωτισμό χρησιμοποιούνται 13 λαμπτήρες φθορίου οικονομίας e27, μήκους 5cm και ισχύος 18W έκαστος και 4 λαμπτήρες spot αλογόνου, ισχύος 35W έκαστος. Οι συσκευές ψυχαγωγίας που υπάρχουν εγκατεστημένες είναι μια τηλεόραση TFT 42 ιντσών, ένα στερεοφωνικό σύστημα μουσικής Hi – fi και ένα σύστημα αναπαραγωγής ταινιών home cinema. Η ισχύς της τηλεόρασης είναι 240W, η ισχύς του στερεοφωνικού είναι 150W και η ισχύς του home cinema είναι ίση με 300W. Τέλος, στην σαλοτραπεζαρία βρίσκεται εγκατεστημένο και ένα σύστημα κλιματισμού 18000 BTU το οποίο καταναλώσει ηλεκτρική ενέργεια ισχύος 1831W.

Το τελευταίο δωμάτιο της οικίας είναι η κουζίνα, το δωμάτιο με τις πιο ενεργοβόρες συσκευές. Σε αυτό βρίσκονται εγκατεστημένες μια ηλεκτρική κουζίνα ισχύος 2000W, ένας απορροφητήρας ισχύος 600W και ένας ψυγείοκαταψύκτης ισχύος 300W. Επίσης λειτουργούν και διάφορες άλλες μικροσυσκευές κουζίνας (όπως για παράδειγμα καφετιέρα, πολυκόπτης,

στίφτης, mixer κλπ) ισχύος 200W. Τέλος, 2 λαμπτήρες spot αλογόνου ισχύος 35W έκαστος και ένας λαμπτήρας φθορίου ισχύος 14W είναι απαραίτητοι για τον φωτισμό της.

Αυτά είναι τα επιμέρους δωμάτια της οικίας. Πέραν των δωματίων όμως υπάρχουν και τα μπαλκόνια στα οποία μπορεί να μην βρίσκεται εγκατεστημένη μια συγκεκριμένη ηλεκτρική συσκευή όμως απαιτούν την ύπαρξη φωτισμού. Για τον φωτισμό τους συνολικά χρησιμοποιούνται 10 λαμπτήρες φθορίου οικονομίας e27, μήκους 5cm, ισχύος 18W έκαστος.

Οι συσκευές που έχουν καταγραφεί έως τώρα δεν είναι οι μοναδικές ηλεκτρικές συσκευές που χρησιμοποιούνται στην οικία. Υπάρχουν και άλλες συσκευές οι οποίες δεν εντάσσονται σε κάποιο δωμάτιο. Πρώτη και σημαντικότερη εξ αυτών είναι ο ηλιακός θερμοσίφοντας ισχύος 4000W. Επίσης εξίσου σημαντική είναι η ύπαρξη μιας μικρής ηλεκτρικής αντλίας ισχύος 800W η οποία χρησιμοποιείται για να στέλνει το νερό στον πρώτο όροφο στον οποίο βρίσκεται η οικία. Πέραν αυτών εξίσου σημαντικές είναι οι συσκευές σιδερώματος και σκουπίσματος. Χρησιμοποιούνται αντίστοιχα ηλεκτρικό σίδερο γεννήτριας ατμού ισχύος 1400W και ηλεκτρική σκούπα ισχύος 1300W. Και στις δύο περιπτώσεις έγιναν επιλογές συσκευών με την χαμηλότερη δυνατή απαίτηση ηλεκτρικής ισχύος. Ακόμη μια ηλεκτρική συσκευή είναι ένας φορητός ηλεκτρικός υπολογιστής ο οποίος απαιτεί ηλεκτρική ενέργεια ισχύος 120W. Τέλος, δύναται να χρησιμοποιούνται διάφορες άλλες ηλεκτρικές μικροσυσκευές (όπως για παράδειγμα φορτιστές τηλεφώνου, σεσουάρ, ηλεκτρικά εργαλεία κλπ) έτσι προστίθεται για αυτά μια απαίτηση ηλεκτρικής ισχύος της τάξεως των 200W. Στον πίνακα 1 καταγράφονται οι εγκατεστημένες καταναλώσεις ανά όροφο και δωμάτιο και υπολογίζεται το άθροισμά τους.

Πίνακας 1: Ονομαστικές καταναλώσεις ισχύος της υπό μελέτη κατοικίας

Καταναλώσεις Ισχύος	
Υπόγειο	
Φωτισμός	2 λάμπες φθορίου οικονομίας T8, μήκους 120 cm, 22W
Σύνολο ισχύος	44 W
Ισόγειο	
Καταστήματα	
Φωτισμός	Δεν χρησιμοποιείται
Ημιυπαίθριοι χώροι	
Φωτισμός	5 λάμπες φθορίου οικονομίας e27 μήκος 5 cm, 18W
Κλιμακοστάσιο	
Φωτισμός	4 λάμπες φθορίου οικονομίας e27 μήκος 5cm, 18W
Σύνολο ισχύος	162W

Κεφάλαιο 1. Ανάλυση υφιστάμενης κατάστασης της υπό μελέτη κατοικίας

1ος Όροφος	
3 Υπνοδωμάτια	
Φωτισμός	3 λάμπες φθορίου οικονομίας e27 μήκος 5cm, 18W
2 Λουτρά	
Φωτισμός	4 λάμπες φθορίου οικονομίας e14, 7W
Εξαερισμός	2 ανεμιστήρες, 8W
Πλυντήριο	2800W
Διάδρομος	
Φωτισμός	4 λάμπες spot αλογόνου, 35W
Σαλοτραπεζαρία	
Φωτισμός	13 λάμπες φθορίου οικονομίας e27 μήκος 5cm, 18W 4 λάμπες spot αλογόνου, 35W
Aircondition	18000BTU - 1831W
Τηλεόραση	42" TFT - 240W
Hi - fi	150W
Home Cinema	300W
3 Μπαλκόνια	
Φωτισμός	10 λάμπες φθορίου οικονομίας e27 μήκος 5cm, 18W
Κουζίνα	
Φωτισμός	2 λάμπες spot αλογόνου, 35W 1 λάμπα φθορίου 14W
Κουζίνα	2000W
Απορροφητήρας	600W
Ψυγειοκαταψύκτης	300W
Υπόλοιπα	
Ηλεκτρική σκούπα	1300W
Σίδερο	1400W
H/Y	120W
Λοιπές ηλεκτρικές συσκευές	200W
Θερμοσίφωνας	4000W
Αντλία νερού	800W
Σύνολο ισχύος	16917W
Σύνολο ισχύος κτιρίου	17123W

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρείται ότι η συνολικά εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς των συσκευών της οικίας είναι ιδιαίτερα υψηλή και θα είναι εξαιρετικά δύσκολο να καλυφθεί από ένα υβριδικό σύστημα. Προτείνονται στην οικία συγκεκριμένες αλλαγές που ακολουθούνται σε όλα τα κτίσματα που τροφοδοτούνται αποκλειστικά από ΑΠΕ (είτε μέσω υβριδικών συστημάτων είτε μέσω αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων). Η πρώτη αλλαγή η οποία είναι και χαμηλού κόστους είναι η αντικατάσταση των συμβατικών

λαμπτήρων ή των ενεργειακών λαμπτήρων φθορισμού από λαμπτήρες LED των οποίων η κατανάλωση είναι πάρα πολύ χαμηλή (1/20 μικρότερη από τους συμβατικούς και 1/4 μικρότερη από τους ενεργειακούς λαμπτήρες φθορισμού). Μόνο σε μια περίπτωση δεν κατέσται δυνατός ο εντοπισμός λαμπτήρα LED και παρέμεινε σε χρήση λαμπτήρας φθορίου. Μια δεύτερη αλλαγή είναι η μη χρήση ηλεκτρικού θερμοσίφωνα ο οποίος, όπως φαίνεται και στον πίνακα 1, αποτελεί την μεγαλύτερη κατανάλωση ισχύος. Αντιθέτως, θα σχεδιαστεί ως τμήμα του υβριδικού συστήματος η χρήση ενός ηλιακού θερμοσίφωνα (ηλιακό θερμικό σύστημα). Η τρίτη αλλαγή είναι η αντικατάσταση της ηλεκτρικής κουζίνας με μια κουζίνα υγραερίου. Με αυτό τον τρόπο απαλλασσόμαστε από την τρίτη μεγαλύτερη ηλεκτρική κατανάλωση της οικίας. Συνήθως σε οικίες οι οποίες τροφοδοτούνται αυτόματα από ΑΠΕ δεν χρησιμοποιούνται ούτε συστήματα κλιματισμού. Αντιλαμβανόμενοι όμως τις ιδιαίτερες κλιματολογικές συνθήκες της Κρήτης με τις εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες της θερινής περιόδου κατανοούμε ότι αυτό είναι απαραίτητο. Με βάση τις παραπάνω τροποποιήσεις η εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύς του κτιρίου μειώνεται κατά 6738W και ισούται με 10385W. Αυτή η μειωμένη ισχύς παρουσιάζεται στον πίνακα 2 και θα χρησιμοποιηθεί για την διαστασιολόγηση του υβριδικού συστήματος. Αυτή όμως η κατανάλωση είναι πάντα η ίδια; Σαφώς όχι καθώς σπάνια χρησιμοποιούνται όλες οι ηλεκτρικές συσκευές ταυτόχρονα. Η ωριαία μεταβολή της απαίτησης ισχύος βάσει της οποίας θα διαστασιολογηθεί το υβριδικό σύστημα υπολογίζεται στην ενότητα 1.6 που ακολουθεί.^{[23], [24], [25]}

Πίνακας 2: Προτεινόμενες καταναλώσεις ισχύος της υπό μελέτη κατοικίας

Καταναλώσεις Ισχύος	
Υπόγειο	
Φωτισμός	2 λάμπες φθορίου LED T8, μήκους 120 cm, 20W
Σύνολο ισχύος	40 W
Ισόγειο	
Καταστήματα	
Φωτισμός	Δεν χρησιμοποιείται
Ημιυπαίθριοι χώροι	
Φωτισμός	5 λάμπες LED e27, 6W
Κλιμακοστάσιο	
Φωτισμός	4 λάμπες LED e27, 6W
Σύνολο ισχύος	54W
1ος Όροφος	
3 Υπνοδωμάτια	
Φωτισμός	3 λάμπες LED e27, 6W
2 Λουτρά	
Φωτισμός	4 λάμπες LED e14, 6W

Κεφάλαιο 1. Ανάλυση υφιστάμενης κατάστασης της υπό μελέτη κατοικίας

Εξαερισμός	2 ανεμιστήρες, 8W
Πλυντήριο	2800W
Διάδρομος	
Φωτισμός	4 λάμπες LED spot, 4W
Σαλοτραπεζαρία	
Φωτισμός	13 λάμπες LED e27, 6W 4 λάμπες LED spot, 4W
Aircondition	18000BTU - 1831W
Τηλεόραση	42" TFT - 240W
Hi - fi	150W
Home Cinema	300W
3 Μπαλκόνια	
Φωτισμός	10 λάμπες LED e27, 6W
Κουζίνα	
Φωτισμός	2 λάμπες LED spot, 4W 1 λάμπα φθορίου 14W
Απορροφητήρας	600W
Ψυγείοκαταψύκτης	300W
Υπόλοιπα	
Ηλεκτρική σκούπα	1300W
Σίδερο	1400W
H/Y	120W
Λοιπές ηλεκτρικές συσκευές	200W
Αντλία νερού	800W
Σύνολο ισχύος	10291W
Σύνολο ισχύος κτιρίου	10385W

1.5 Περιγραφή ηλεκτρικού πίνακα της υπό μελέτη κατοικίας

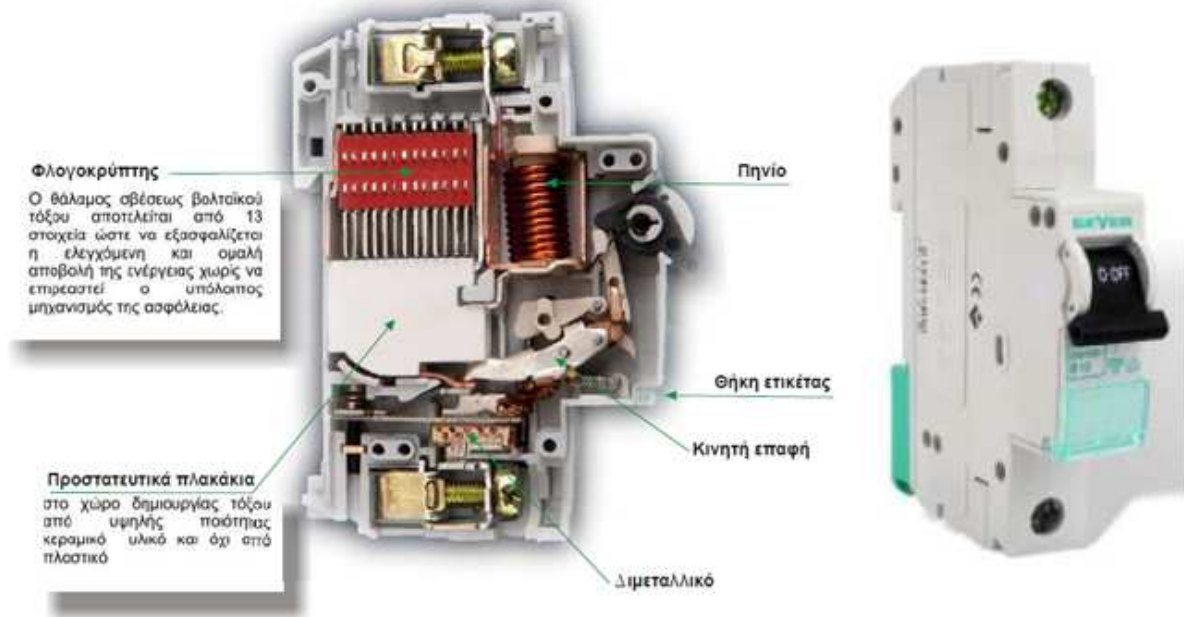
Η υπό μελέτη οικία φέρει τριφασικό πίνακα τριών σειρών και 12 στοιχείων έκαστη σειρά της εταιρίας Geyer. Αυτοί οι πίνακες ονομάζονται και πίνακες ραγούλικών καθώς όλα τα στοιχεία μπαίνουν σε σειρά, σαν μια ράγα ενός τραίνου. Είναι ένας συνηθισμένος χωνευτός, μεταλλοπλαστικός πίνακας. Στην πρώτη σειρά του πίνακα τοποθετούνται 10 στοιχεία και στις υπόλοιπες δύο από 11 στοιχεία. Αυτό συνεπάγεται ότι υπάρχουν κενές θέσεις για τέσσερα στοιχεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε προσθήκες ηλεκτρικών κυκλωμάτων στα επόμενα χρόνια. Τα στοιχεία που είναι τοποθετημένα στον ηλεκτρικό πίνακα της οικίας είναι αυτόματες ασφάλειες, διακόπτες ράγας, ρελέ διαφυγής και λυχνίες.

Οι αυτόματες ασφάλειες, 18 στον αριθμό χρησιμοποιούνται για να ελέγχονται τα επιμέρους ηλεκτρικά κυκλώματα της οικίας όπως για παράδειγμα τα κυκλώματα φωτισμού και πριζών. Είναι εγκατεστημένες αυτόματες ασφάλειες χαρακτηριστικής C, 10A. Οι 10 είναι τοποθετημένες στην πρώτη ράγα οι 5 στην δεύτερη ράγα και οι τρεις στην τρίτη ράγα. Στην εικόνα 1.3 όπου απεικονίζεται ο ηλεκτρικός πίνακας της υπό μελέτη οικίας φαίνονται με μαύρο χρώμα. Τα γενικά χαρακτηριστικά των συγκεκριμένων ασφαλειών της Geyer είναι η αντοχή σε βραχυκύκλωμα έως 10A, το ιδανικό σύστημα μανδάλωσης χάρις στο οποίο τοποθετούνται εύκολα στην ράγα χωρίς απαίτηση εργαλείων, η υψηλή αντοχή που παρουσιάζουν σε θραύση, χρόνο διακοπής μικρότερο της 1h ακόμη και σε φορτίο μεγέθους 1,45 φορές μεγαλύτερο από το ονομαστικό, δυνατότητα χρήσης και σε συνεχή ρεύματα τάσεως έως και 60V, παρουσιάζουν πολύ μικρό χρόνο απόζευξης, της τάξεως του 0,1ms, η λειτουργία με αναγκαστική σβέση τόξου και περιορισμό του ρεύματος βραχυκυκλώσεως, είναι πιστοποιημένες και δύναται να χρησιμοποιηθούν ως γενικοί διακόπτες. Στο διάγραμμα του σχήματος 1.2 παρουσιάζεται η εσωτερική κατασκευή και λειτουργία αυτών των ασφαλειών και η εξωτερική του εμφάνιση.

Πέραν των αυτόματων ασφαλειών χρησιμοποιούνται και τρεις διακόπτες ράγας, δύο διπολικό και ένας τριπολικός. Οι διακόπτες αυτοί είναι διακόπτες φορτίου και με αυτούς τους ελέγχεται η ενεργοποίηση ή όχι του κυκλώματος μιας συσκευής. Χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των συσκευών με τις υψηλότερες απαιτήσεις. Οι δύο διπολικό χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του θερμοσίφωνα και της ηλεκτρικής κουζίνας. Μάλιστα συνοδεύονται έκαστος από λυχνία τύπου LED, κόκκινου χρώματος έτσι ώστε να μπορεί ο χρήστης να γνωρίζει εάν είναι ενεργοποιημένο ή όχι το κύκλωμα. Ο τριπολικός διακόπτης χρησιμοποιείται ως γενικός διακόπτης του πίνακα.

Τέλος, στην τρίτη ράγα, ο πίνακας φέρει και ένα ρελέ διαφυγής τετραπολικό. Το ρελέ αυτό είναι υπεύθυνο για την διακοπή του ρεύματος σε περίπτωση που υπάρχει διαρροή του στον άνθρωπο προστατεύοντας έτσι με αυτό τον τρόπο την ζωή του. Στην εικόνα 1.3 παρουσιάζεται συνολικά ο ηλεκτρικός πίνακας της υπό μελέτη οικίας όπως έχει περιγραφεί στις προηγούμενες παραγράφους.^[16]

Κεφάλαιο 1. Ανάλυση υφιστάμενης κατάστασης της υπό μελέτη κατοικίας



Σχήμα 1.2: Αυτόματες ασφάλειες της εταιρίας Geyser που χρησιμοποιούνται στον πίνακα της οικίας^[16]



Εικόνα 1.3: Ηλεκτρικός πίνακας υπό μελέτη οικίας

1.6 Υπολογισμός υφιστάμενων καταναλώσεων της υπό μελέτη κατοικίας

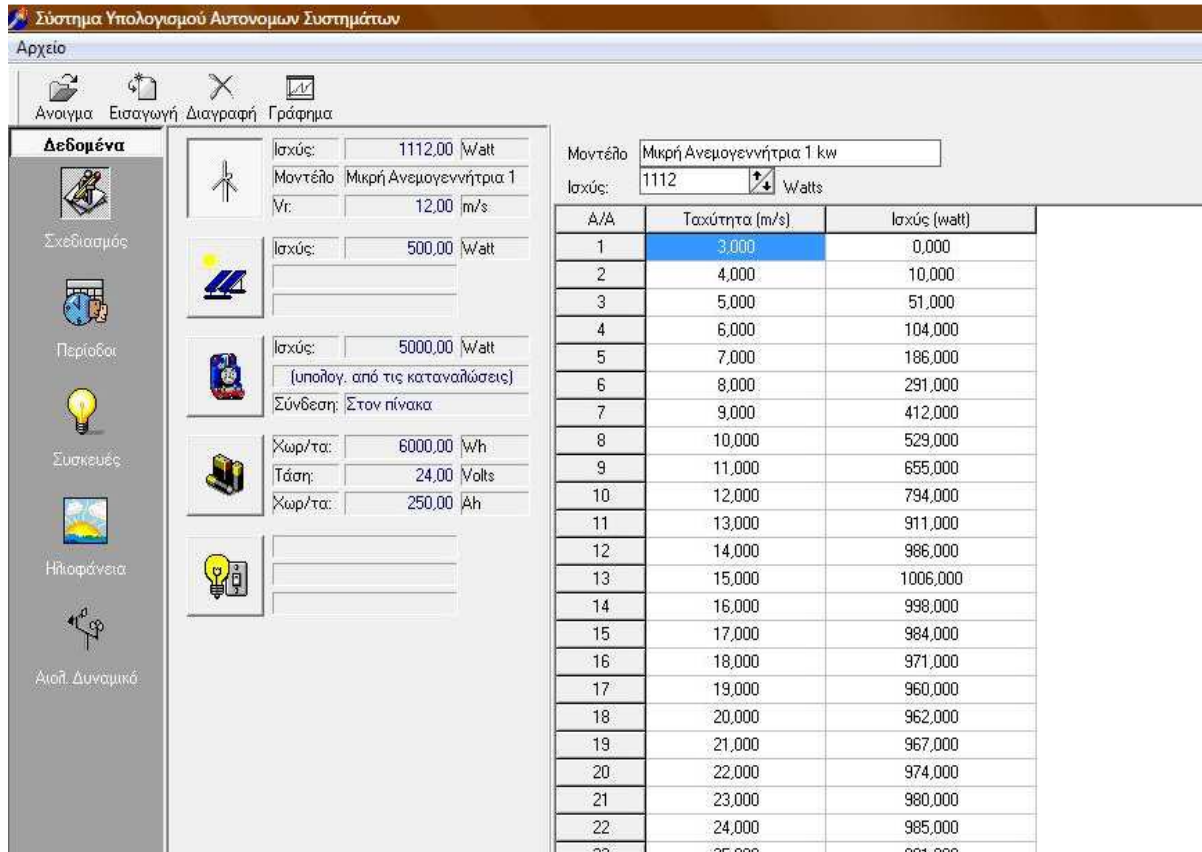
Στην ενότητα 1.4 έγινε αναφορά στις εγκατεστημένες ηλεκτρικές συσκευές της υπό μελέτη οικίας και στις καταναλώσεις ηλεκτρικής ισχύος έκαστης. Σε μια οικία όμως είναι αντιληπτό ότι δεν δουλεύουν όλες οι συσκευές ταυτόχρονα. Χαρακτηριστικότερο παράδειγμα είναι ο φωτισμός όπου την ημέρα είναι εκτός λειτουργίας. Αυτό συνεπάγεται ότι η συνολική ισχύς που πρέπει να καλύπτει το υβριδικό σύστημα είναι μικρότερη από την συνολική ονομαστική ισχύ όλων των συσκευών της οικίας. Ο υπολογισμός της κατανομής των ισχύων θα γίνει στην δεύτερη υποενότητα. Στην πρώτη υποενότητα θα περιγραφεί ένα πρόγραμμα, το AUTON, που αναπτύχθηκε στο ΤΕΙ Ηρακλείου και υπολογίζει τα φορτία μιας οικίας. Το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιείται και για την παραγωγή των ωριαίων διαγραμμάτων φορτίων που παρουσιάζονται στην δεύτερη υποενότητα.

1.6.1 Το πρόγραμμα AUTON

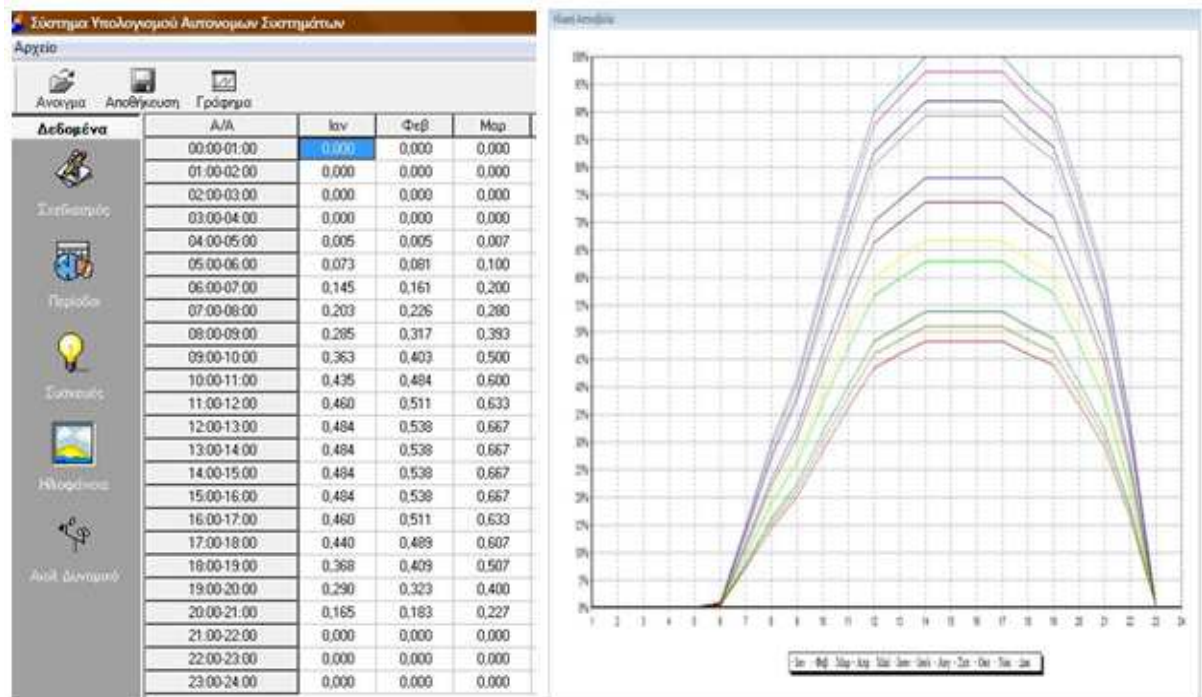
Το πρόγραμμα AUTON αναπτύχθηκε στο τμήμα μηχανολογίας του ΤΕΙ Ηρακλείου. Στόχος του είναι η υποβοήθηση του μηχανικού στον κατάλληλο σχεδιασμό ενός αυτόνομου συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Δέχεται ως δεδομένα τις ηλεκτρικές συσκευές και την ισχύ τους, την ηλιοφάνεια και τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής. Επίσης εισάγονται από τον χρήστη τα χαρακτηριστικά του συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ισχύς φωτοβολταϊκών, χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας, χαρακτηριστικά συσσωρευτών, αντιστροφέα, ρυθμιστή φόρτισης και καλωδίων). Με δεδομένα όλα τα παραπάνω υπολογίζει την απόδοση του συστήματος και τι ποσοστό από κάθε τμήμα του συστήματος χρησιμοποιείται. Επίσης καθορίζεται το ποσοστό των ηλεκτρικών αναγκών που απαιτείται από την λειτουργία του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους.

Στην εικόνα 1.4 παρατηρείται η αρχική σελίδα του προγράμματος κατά την οποία εισάγονται τα δεδομένα του αυτόνομου υβριδικού συστήματος. Εν προκειμένω εισάγονται τα δεδομένα της καμπύλης της ανεμογεννήτριας. Στην εικόνα 1.5 φαίνεται η εισαγωγή των δεδομένων ηλιακής ακτινοβολίας και το διάγραμμα που προκύπτει από αυτά. Στην εικόνα 1.6 παρουσιάζεται το επόμενο βήμα, η επιλογή της χρονικής περιόδου λειτουργίας του συστήματος. Τέλος, στην εικόνα 1.7 φαίνεται η μορφή του πίνακα αποτελεσμάτων που δίδει το πρόγραμμα AUTON. Τα αποτελέσματα αυτά μεταβάλλονται αναλόγως του αιολικού δυναμικού που δίδεται ως δεδομένο στην πρώτη στήλη αυτής της εικόνας.

Κεφάλαιο 1. Ανάλυση υφιστάμενης κατάστασης της υπό μελέτη κατοικίας



Εικόνα 1.4: Εισαγωγή δεδομένων αυτόνομου συστήματος στο πρόγραμμα AUTON



Εικόνα 1.5: Εισαγωγή μέρους ηλιακών δεδομένων και το αντίστοιχο γράφημα στο πρόγραμμα AUTON

Κεφάλαιο 1. Ανάλυση υφιστάμενης κατάστασης της υπό μελέτη κατοικίας

Δεδομένα	α/α	Περιγραφή	Εναρξη	Λήξη	Ημέρες	Λειτουργία
	1	Όλο το έτος	01/01	31/12	365	Συνεχής

Εικόνα 1.6: Εισαγωγή περιόδου λειτουργίας του αυτόνομου συστήματος στο πρόγραμμα AUTON

Δεδομένα	Ζήτηση	3.525.370	Χωρ/τητα Μπατ. :	49.652
	Παραγωγή (Α/Γ)	1.663.705	Κάλυψη (Α/Γ) :	35,40%
	Παραγωγή (Φ/Β) :	2.122.305	Κάλυψη (Φ/Β) :	45,15%
	Παραγωγή (Η/Ζ)	685.644	Κάλυψη (Η/Ζ) :	19,45%
	Περίσσεια	946.285		

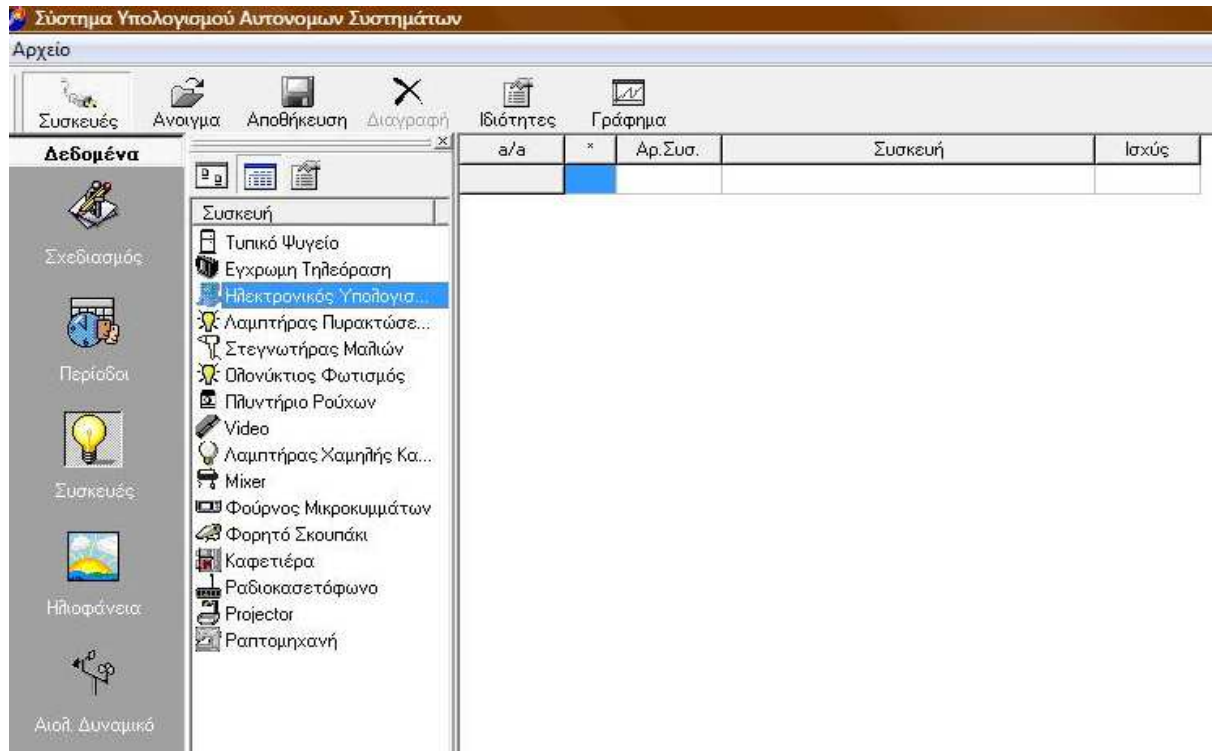
Ημερομηνία	Ταχύτητα Ανέμου	Παραγωγή Α/Γ	Παραγωγή Φ/Β	Φορτίο Ζήτησης	Χωρητικότητα Μπαταρίας	Παραγωγή Η/Ζ	Περίσσεια Ενέργειας
01/01 00:00	0,033	115,590	0,000	311,370	49,455,929	0,000	0,000
01/01 01:00	0,047	260,190	0,000	421,132	49,294,987	0,000	0,000
01/01 02:00	0,070	45,569	0,000	680,480	48,660,076	0,000	0,000
01/01 03:00	6,757	166,102	0,000	455,906	48,370,272	0,000	0,000
01/01 04:00	9,038	416,418	0,000	356,346	48,430,343	0,000	0,000
01/01 05:00	3,781	0,000	5,000	324,505	48,110,838	0,000	0,000
01/01 06:00	7,708	260,292	75,000	242,158	48,203,972	0,000	0,000
01/01 07:00	1,843	0,000	150,000	350,069	48,003,904	0,000	0,000
01/01 08:00	6,726	163,555	210,000	364,628	48,012,831	0,000	0,000
01/01 09:00	6,321	130,359	295,000	796,225	47,641,966	0,000	0,000
01/01 10:00	6,934	180,576	375,000	667,162	47,530,380	0,000	0,000
01/01 11:00	1,965	0,000	450,000	381,337	47,599,043	0,000	0,000
01/01 12:00	4,823	43,753	475,000	723,291	47,394,505	0,000	0,000
01/01 13:00	6,619	154,771	500,000	156,634	47,892,642	0,000	0,000
01/01 14:00	6,884	176,514	500,000	82,012	48,487,144	0,000	0,000
01/01 15:00	8,336	331,685	500,000	406,327	48,912,502	0,000	0,000
01/01 16:00	3,389	0,000	500,000	235,542	49,176,961	0,000	0,000
01/01 17:00	17,720	974,643	475,000	222,343	49,651,710	0,000	752,551
01/01 18:00	3,661	0,000	455,000	772,690	49,334,020	0,000	0,000
01/01 19:00	7,914	280,971	380,000	69,600	49,651,710	0,000	273,681

Εικόνα 1.7: Εισαγωγή ανεμολογικών δεδομένων και πίνακας αποτελεσμάτων του προγράμματος AUTON

Στην παρούσα ενότητα το πρόγραμμα θα χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία της ωριαίας κατανομής των φορτίων. Στην εικόνα 1.8 φαίνεται το περιβάλλον επιλογής φορτίων. Αναλόγως του φορτίου που θα προστεθεί σύρετε ένα εικονίδιο από την στήλη συσκευές στο κύριο παράθυρο και αυτομάτως εμφανίζεται εκεί. Μετά επιλέγει τον αριθμό και την ισχύ έκαστης συσκευής. Στην εικόνα 1.9 παρουσιάζεται η πλήρης λίστα των συσκευών της υπό μελέτη οικίας έτσι όπως έχει εισαχθεί στο πρόγραμμα AUTON. Οι ώρες λειτουργίας κάθε συσκευής και το ποσοστό ισχύος που καταναλώνουν σε σχέση με την ονομαστική ισχύ τους είναι προκαθορισμένα δεδομένα του προγράμματος. Ο χρήστης όμως έχει την δυνατότητα να τα αλλάξει με την χρήση της επιλογής ιδιότητες αφού επιλέξει την επιθυμητή συσκευή.

Κεφάλαιο 1. Ανάλυση υφιστάμενης κατάστασης της υπό μελέτη κατοικίας

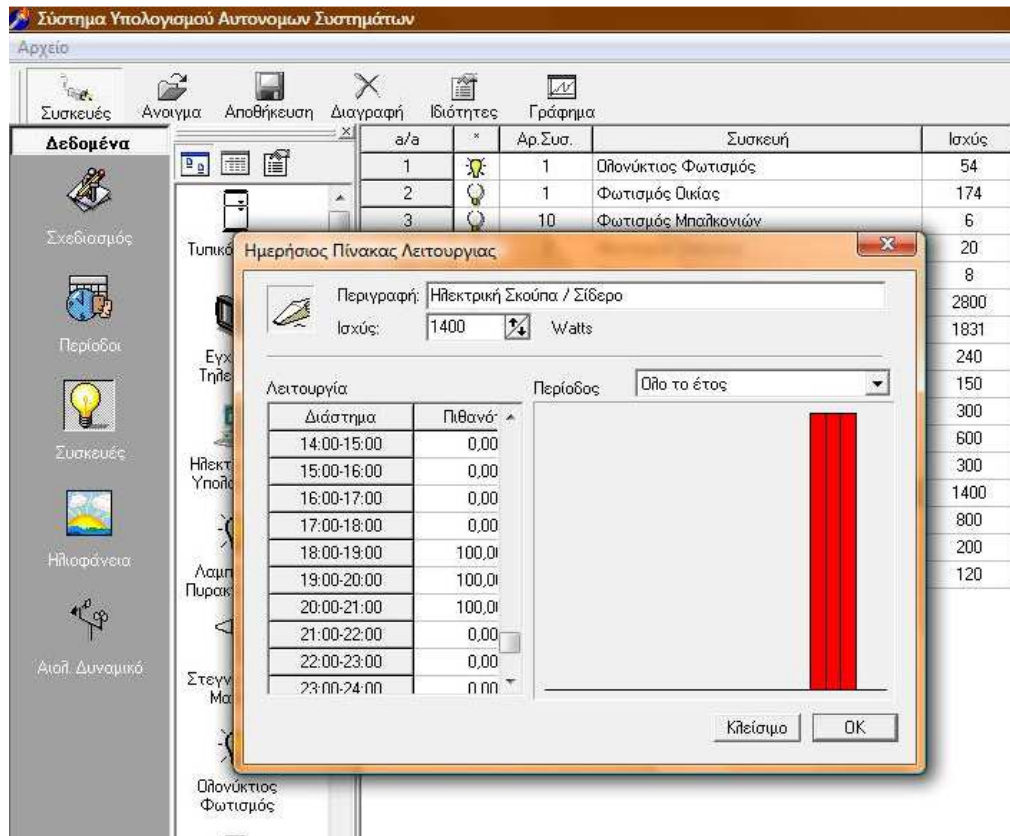
Ακολούθως δίδει ανά ώρα το ποσοστό της ισχύος σε σχέση με την ονομαστική που καταναλώνει η συσκευή. Η εικόνα 1.10 εμφανίζει την συγκεκριμένη δυνατότητα του προγράμματος. Αφού καθοριστούν οι συσκευές και οι ώρες που λειτουργούν τότε το πρόγραμμα μπορεί να δώσει και το ωριαίο γράφημα κατανάλωσης ισχύος της υπό μελέτη οικίας.



Εικόνα 1.8: Δυνατότητα επιλογής συσκευών οικίας στο πρόγραμμα AUTON

a/a	*	Αρ.Συσ.	Συσκευή	Ισχύς
1		1	Οθονόκτιος Φωτισμός	54
2		1	Φωτισμός Οικίας	174
3		10	Φωτισμός Μπαλκονιών	6
4		2	Φωτισμός Υπογείου	20
5		2	Εξαερισμός Λουτρών	8
6		1	Πλυντήριο Ρούχων	2800
7		1	Aircondition	1831
8		1	Τηλεόραση	240
9		1	Hi - Fi	150
10		1	Home Cinema	300
11		1	Απορροφητήρας	600
12		1	Ψυγιοκαταψύκτης	300
13		1	Ηλεκτρική Σκούπα / Σίδερο	1400
14		1	Αντλία Νερού	800
15		1	Λοιπές Ηλεκτρικές Συσκευές	200
16		1	Ηλεκτρονικός Υπολογιστής	120

Εικόνα 1.9: Εισαγωγή συσκευών της υπό μελέτη οικίας στο πρόγραμμα AUTON



Εικόνα 1.10: Μεταβολή ώρας χρήσης και ποσοστού κατανάλωσης ονομαστικής ισχύος της κάθε συσκευής στο πρόγραμμα AUTON

1.6.2 Ωριαία κατανομή φορτίων

Σε αυτή την ενότητα γίνεται μια εκτίμηση της κατανομής των ωρών λειτουργίας έκαστης συσκευής. Για τον σκοπό αυτό λαμβάνονται υπόψη αρκετοί παράγοντες. Πρώτος εξ αυτών είναι τα άτομα της οικογένειας. Είναι προφανές ότι σε μια διμελή οικογένεια χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα πολύ λιγότερες συσκευές σε σχέση με μια τετραμελή οικογένεια. Ο δεύτερος παράγοντας είναι το ωράριο της οικογένειας, δηλαδή οι ώρες που τα μέλη της βρίσκονται εντός της οικίας. Στην υπό μελέτη οικογένεια ο πατέρας είναι ελεύθερος επαγγελματίας, η μητέρα είναι δημόσια υπάλληλος και τα δύο παιδιά φοιτητές. Μόλα αυτά η οικία χρησιμοποιείται ως παραθεριστική οικία έτσι θεωρείται ότι τα μέλη της οικογένειας βρίσκονται εκεί όταν έχουν άδεια άρα το ωράριο της δουλειάς τους δεν επηρεάζει την διαμονή. Θεωρείται ότι και τα τέσσερα μέλη της οικογένειας δύναται να είναι συνέχεια εντός της υπό μελέτη οικίας. Ο τρίτος παράγοντας είναι οι συνήθειες μια μέσης ελληνικής οικογένειας. Σε μια τυπική ελληνική οικογένεια για παράδειγμα το φαγητό μαγειρεύεται μεταξύ των ωρών 10 και 1 το πρωί. Αυτό συνεπάγεται ότι συγκεκριμένες συσκευές που σχετίζονται με την παρασκευή του φαγητού αυτή την ώρα βρίσκονται εντός λειτουργίας. Ο

τελευταίος παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη είναι η εποχή του χρόνου. Για παράδειγμα τον χειμώνα οι συσκευές φωτισμού βρίσκονται περισσότερες ώρες σε λειτουργία καθώς η διάρκεια της νύκτας είναι μεγαλύτερη.

Ακολούθως παρουσιάζονται όλα τα στοιχεία που επηρεάζουν την κατανάλωση κάθε ηλεκτρικής συσκευής. Αποτέλεσμα αυτής της καταγραφής είναι ο προσδιορισμός των ωρών της ημέρας κατά τις οποίες η εκάστοτε συσκευή βρίσκεται από λειτουργία και κατά συνέπεια απαιτεί ηλεκτρική ισχύ. Η ανάλυση των ωρών λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών γίνεται κατά σειρά όπως αυτές καταγράφονται στον πίνακα 1. Ακολούθως, στις δύο υποενότητες 1.6.2.1 και 1.6.2.2 συγκεντρώνονται σε πίνακες οι ωριαίες απαιτήσεις ηλεκτρικής ισχύος για την θερινή και την χειμερινή περίοδο. Παρουσιάζονται επίσης και τα αντίστοιχα γραφήματα της ωριαίας διακύμανσης φορτίου για αυτές τις δύο περιόδους. Για το μεγαλύτερο φορτίο που προκύπτει από αυτή την ανάλυση θα διαστασιολογηθεί το υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Αφού καλύπτει το μεγαλύτερο φορτίο τότε δύναται να καλύπτει όλα τα υπόλοιπα.

- Οι λάμπες του υπογείου ανάβουν όταν απαιτείται η χρήση του χώρου. Το υπόγειο χρησιμοποιείται ως αποθηκευτικός χώρος. Αυτό συνεπάγεται ότι χρησιμοποιείται πολύ λίγες ώρες κατά την διάρκεια της μέρας. Οι ώρες κατά τις οποίες γίνονται δουλειές στις οικίες είναι από το πρωί έως και το μεσημέρι και το απόγευμα. Εμείς θεωρούμε ότι το υπόγειο χρησιμοποιείται από τις 10 έως τις 11 το πρωί και από τις 5 έως τις 6 το απόγευμα τόσο την θερινή όσο και την χειμερινή περίοδο.
- Ο φωτισμός των ημιυπαίθριων χώρων του ισόγειου χρησιμοποιείται για τον εξωτερικό φωτισμό της οικίας. Για λόγους ασφαλείας θα είναι αναμμένα τα εξωτερικά φώτα καθ όλη την διάρκεια της νύκτας. Αυτό συνεπάγεται ότι το την θερινή περίοδο θα είναι ανοικτά από τις 8 το βράδυ έως και τις 6 το πρωί και τον χειμώνα από τις 6 το βράδυ έως και τις 7 το πρωί.
- Ο φωτισμός του κλιμακοστασίου χρησιμοποιείται για να διευκολύνει την άνοδο των κατοίκων εντός της οικίας. Δύναται να ανάψει οποιαδήποτε στιγμή της νύκτας κατά την οποία τα μέλη της οικογένειας θέλουν να εισέλθουν εντός της οικίας. Έτσι, όπως και στα εξωτερικά φώτα, τα φώτα του κλιμακοστασίου ανοίγουν στις 8 το βράδυ και κλείνουν στις 6 το πρωί για την θερινή περίοδο και από τις 6 το βράδυ έως και τις 7 το πρωί κατά την χειμερινή περίοδο.

- Ο εσωτερικός φωτισμός της κυρίως οικίας, όλων των δωματίων, χρησιμοποιείται τις βραδινές ώρες κατά τις οποίες τα μέλη της οικίας είναι ξύπνια. Δεδομένου του ότι η οικία είναι παραθεριστική θα θεωρήσουμε ότι τα μέλη της δύναται να είναι ξύπνια μέχρι και τις 2 το βράδυ. Έτσι, κατά την θερινή περίοδο τα εσωτερικά φώτα θα είναι σε λειτουργία από τις 8 το βράδυ έως και τις 2 ενώ κατά την χειμερινή περίοδο θα είναι σε λειτουργία από τις 6 το βράδυ έως και τις 2.
- Τα φώτα των μπαλκονιών της κυρίως οικίας θα είναι ανοικτά τις ώρες που τα μέλη της οικογένειας κάθονται εκεί να ξεκουραστούν. Οι ώρες αυτές θεωρείται ότι είναι από τις 9 έως τις 12 το βράδυ για την θερινή περίοδο. Την χειμερινή περίοδο δεν χρησιμοποιούνται καθώς το κρύο δεν επιτρέπει στα μέλη της οικογένειας να καθίσουν εκεί το βράδυ.
- Ο ψυγείοκαταψύκτης, η αντλία νερού και οι ανεμιστήρες εξαερισμού των λουτρών είναι συσκευές που λειτουργούν 24 ώρες το 24ώρο και τις δύο περιόδους.
- Το πλυντήριο χρησιμοποιείται κυρίως τις ώρες που γίνονται οι οικιακές δουλειές από την νοικοκυρά. Στην Ελλάδα οι δουλειές αυτές γίνονται κυρίως το πρωί, από τις 8 έως και τις 12 και λιγότερο το απόγευμα. Δεδομένου του ότι η οικία είναι παραθεριστική και δεν υπάρχει μεγάλος όγκος ρούχων για πλύσιμο θεωρείται ότι το πλυντήριο λειτουργεί από τις 8 έως και τις 12 το πρωί και τις δύο περιόδους. Το καλοκαίρι όμως θα θεωρηθεί ότι λειτουργεί επίσης και από τις 10 έως τις 12 το βράδυ έτσι ώστε να πλυθούν τα μαγιό και τα ρούχα που χρησιμοποιούνται στην θάλασσα.
- Το aircondition είναι μια συσκευή απαραίτητη για την ψύξη του χώρου, ιδιαίτερα στην Κρήτη όπου οι θερμοκρασίες την θερινή περίοδο είναι πολύ υψηλές. Έτσι θεωρείται ότι βρίσκεται σε λειτουργία από τις πρωινές ώρες έως και τις βραδινές, από τις 8 το πρωί έως και τις 10 το βράδυ. Μετά η εξωτερική θερμοκρασία πέφτει και δεν απαιτείται η χρήση του. Κατά την χειμερινή περίοδο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί τις λίγες ημέρες που η θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή για θέρμανση του χώρου. Όμως, λόγω του ότι η κατοικία θεωρείται παραθεριστική δεν θα πάει η οικογένεια εκεί τις μέρες που οι θερμοκρασίες είναι πολύ χαμηλές έτσι την χειμερινή περίοδο θεωρείται ότι δεν χρησιμοποιείται το aircondition.
- Η τηλεόραση, το Hi – fi και το Home cinema χρησιμοποιούνται τις ώρες ψυχαγωγίας της οικογένειας. Για την θερινή περίοδο κατά την οποία η οικογένεια το απόγευμα βρίσκεται στην παραλία οι ώρες ψυχαγωγίας είναι από τις 8 έως και τις 2 το βράδυ.

Την χειμερινή περίοδο όμως τα μέλη της οικογένειας βρίσκονται εντός της οικίας και το απόγευμα έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθούν αυτές οι συσκευές το πρωί από τις 10 έως και τις 12 και για το βράδυ από τις 2 το απόγευμα έως και τις 2 το βράδυ.

- Ο απορροφητήρας και οι λοιπές συσκευές της κουζίνας χρησιμοποιούνται τις ώρες προετοιμασίας του φαγητού. Οι ώρες αυτές για το μέσο ελληνικό νοικοκυριό είναι από τις 10 το πρωί έως και τις 1 το μεσημέρι και από τις 7 το βράδυ έως και τις 8, ώρες που ισχύουν και για την υπό μελέτη οικογένεια καθώς η μητέρα δεν δουλεύει, βρίσκεται σε άδεια. Το ωράριο αυτό ισχύει και για την χειμερινή και για την θερινή περίοδο. Αναφορά στην ηλεκτρική κουζίνα δεν γίνεται γιατί έχει προταθεί στην οικογένεια η αντικατάστασή της από κουζίνα υγραερίου έτσι ώστε να περιοριστεί η κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος.
- Η ηλεκτρική σκούπα και το σίδερο χρησιμοποιούνται τις ώρες κατά τις οποίες γίνονται οι δουλειές στην οικία. Οι ώρες αυτές είναι από το πρωί έως και την ώρα του μεσημεριανού φαγητού δηλαδή από τις 8 το πρωί έως και τις 1 το μεσημέρι και για τις δύο περιόδους. Αντίστοιχα, δουλειές γίνονται και το βράδυ, από τις 6 έως και τις 9 την θερινή περίοδο και από τις 5 έως και τις 8 την χειμερινή περίοδο. Συνήθως όμως τόσο το σκούπισμα όσο και το σιδέρωμα γίνονται το απογευματάκι έτσι θα χρησιμοποιηθεί μόνο το απογευματινό ωράριο. Δεδομένου όμως ότι και οι δύο συσκευές χρησιμοποιούνται αποκλειστικά και μόνο από την νοικοκυρά θα θεωρηθεί ότι χρησιμοποιούνται εναλλάξ δηλαδή τις μισές ώρες η μια και τις άλλες μισές η άλλη έτσι για τον προσδιορισμό της ισχύος θα χρησιμοποιηθεί η μέγιστη εκ των δύο ισχύων οι οποίες άλλωστε είναι παραπλήσιες.
- Ο ηλεκτρικός υπολογιστής χρησιμοποιείται κυρίως από τα παιδιά της οικογένειας. Αυτά, την θερινή περίοδο βρίσκονται στην παραλία την μέρα έτσι θα θεωρηθεί ότι χρησιμοποιούν υπολογιστή μόνο από τις 8 έως και τις 2 το βράδυ. Την χειμερινή περίοδο όμως βρίσκονται όλη μέρα εντός της κατοικίας, εκτός από κάποιες ώρες το απόγευμα όπου θα πάνε για καφέ ή βόλτα. Έτσι θεωρείται ότι χρησιμοποιούν τον υπολογιστή από τις 10 το πρωί έως και τις 3 το απόγευμα και από τις 6 το απόγευμα έως και τις 2 το βράδυ.
- Οι λοιπές ηλεκτρικές συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανά πάση ώρα της ημέρας, κατά τις ώρες στις οποίες η οικογένεια είναι ξύπνια. Ως ώρα κατά την οποία ξυπνούν τα πρώτα μέλη της οικογένειας μπορεί να θεωρηθεί η ώρα 7 δεδομένου ότι η οικία χρησιμοποιείται ως εξοχικό και δεν έχουν την υποχρέωση να ξυπνήσουν πιο

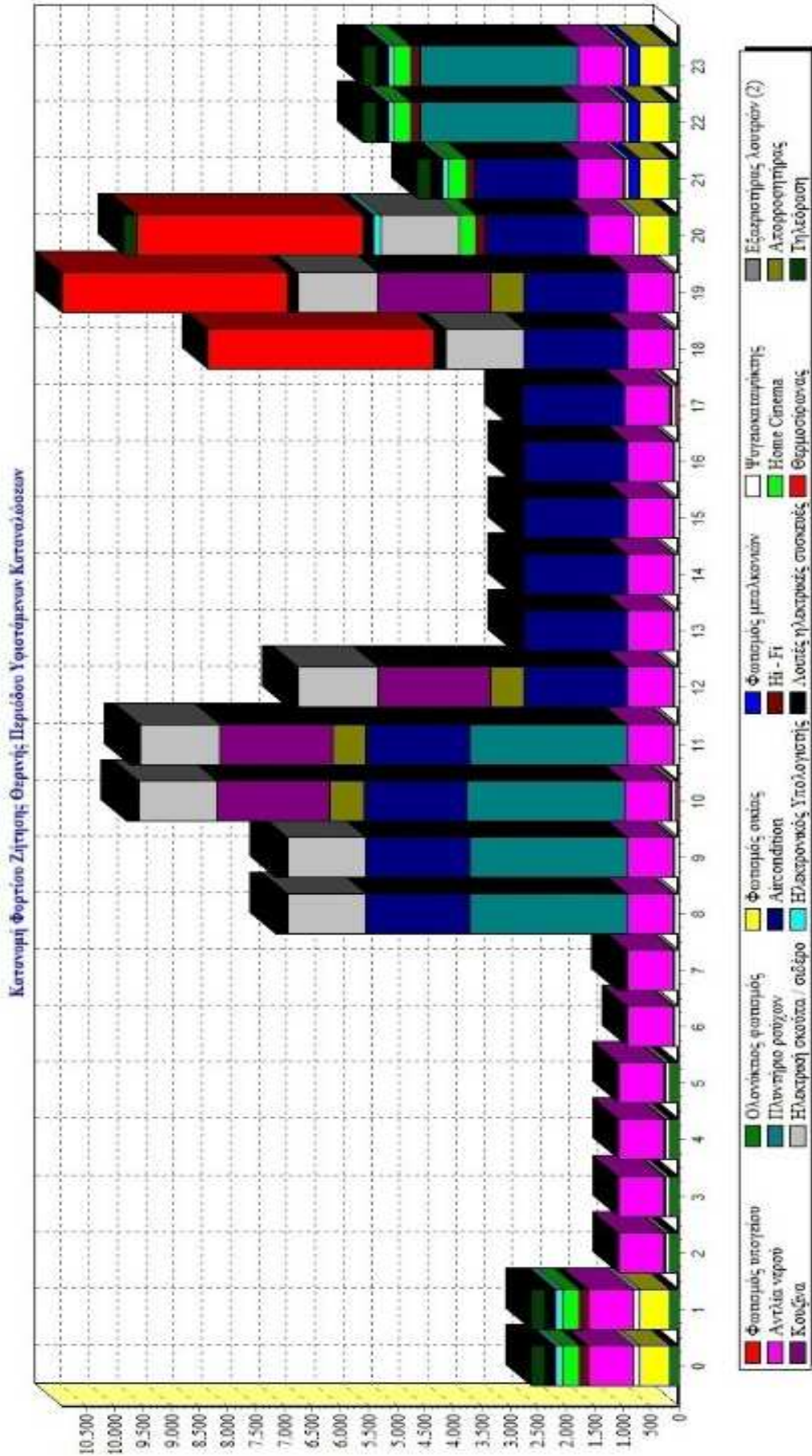
ωρίς για να πάνε στην δουλειά. Αυτό συνεπάγεται ότι οι λοιπές ηλεκτρικές συσκευές δύναται να λειτουργούν από τις 7 το πρωί έως και τις 2 το βράδυ.

1.6.2.1 Φορτία θερινής περιόδου

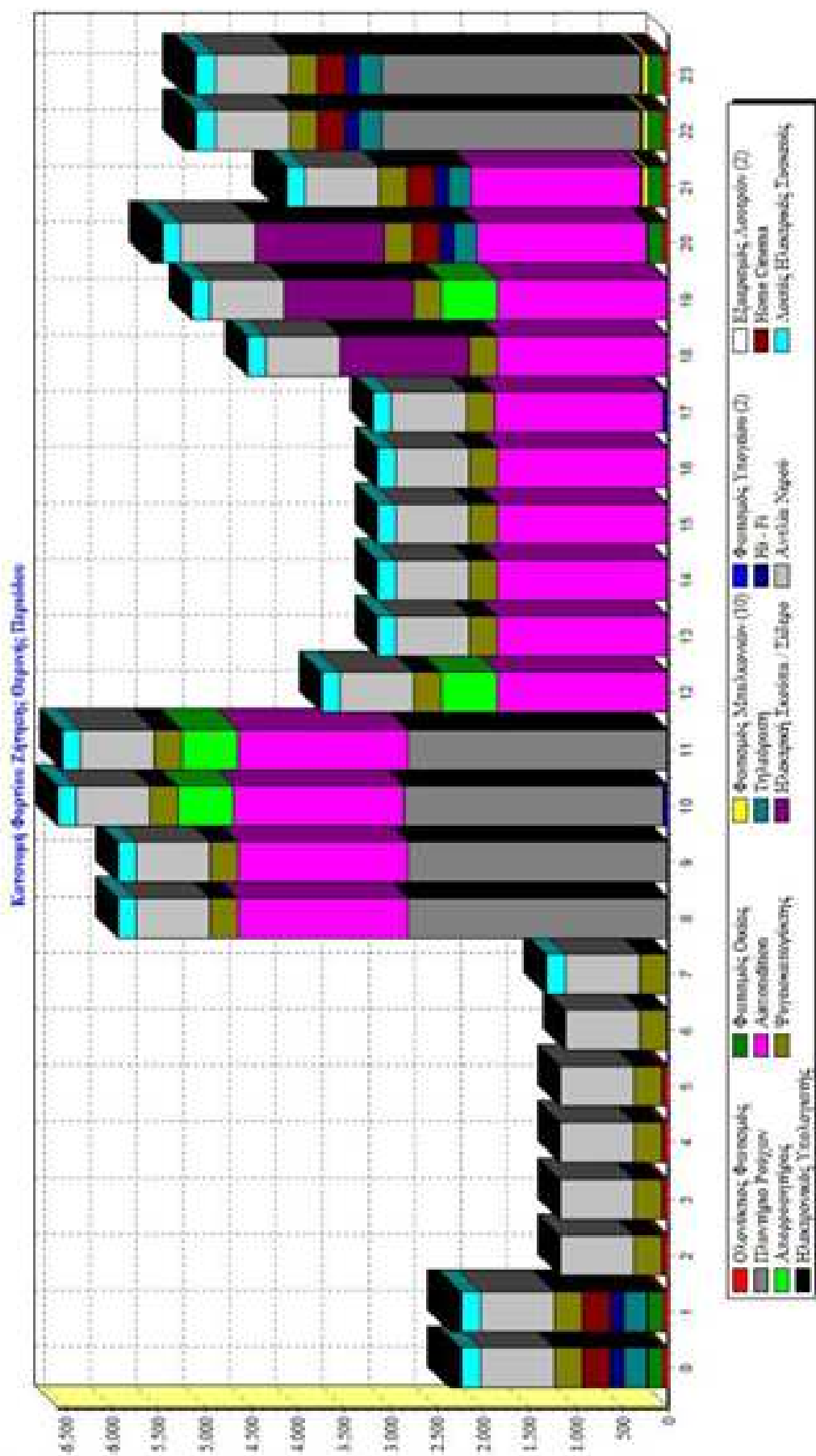
Βάσει της παραπάνω ανάλυσης καταγράφονται στον πίνακα 3 τα ωριαία ηλεκτρικά φορτία που απαιτούνται κατά την θερινή περίοδο. Στο διάγραμμα του σχήματος 1.4 παρουσιάζεται η κατανομή αυτών των ηλεκτρικών φορτίων έτσι ώστε να φανεί η ώρα με την μέγιστη απαίτηση ηλεκτρικής ισχύος. Η ώρα που παρουσιάζεται στο διάγραμμα είναι η αρχή της περιόδου. Για παράδειγμα η ώρα 00:00 – 01:00 εμφανίζεται στο διάγραμμα ως 0. Το διάγραμμα αυτό παρουσιάζεται αυτούσιο όπως δίδεται από το πρόγραμμα AUTON. Για σκοπούς σύγκρισης παρουσιάζεται στο σχήμα 1.3 και η ωριαία κατανάλωση ισχύος των υφιστάμενων φορτίων έτσι ώστε να γίνει κατανοητό το μέγεθος της μείωσης του φορτίου από τις τροποποιήσεις που έγιναν στις συσκευές της οικίας.

Πίνακας 3: Ωριαία κατανάλωση ισχύος και ενέργειας της υπό μελέτη οικίας (προτεινόμενων καταναλώσεων) για την θερινή περίοδο

Ωρα	Κατανάλωση Ισχύος [W]	Κατανάλωση Ενέργειας [kWh]
00:00 - 01:00	2354	2,354
01:00 - 02:00	2354	2,354
02:00 - 03:00	1170	1,170
03:00 - 04:00	1170	1,170
04:00 - 05:00	1170	1,170
05:00 - 06:00	1170	1,170
06:00 - 07:00	1116	1,116
07:00 - 08:00	1316	1,316
08:00 - 09:00	5947	5,947
09:00 - 10:00	5947	5,947
10:00 - 11:00	6787	6,787
11:00 - 12:00	6747	6,747
12:00 - 13:00	3947	3,947
13:00 - 14:00	3147	3,147
14:00 - 15:00	3147	3,147
15:00 - 16:00	3157	3,157
16:00 - 17:00	3147	3,147
17:00 - 18:00	3187	3,187
18:00 - 19:00	4547	4,547
19:00 - 20:00	5347	5,347
20:00 - 21:00	5585	5,585
21:00 - 22:00	4245	4,245
22:00 - 23:00	5214	5,214
23:00 - 24:00	5214	5,214
Ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας [kWh]		87,132



Σχήμα 1.3: Ωριαία διακύμανση καταναλώσεων φορτίου θερινής περιόδου υφιστάμενων καταναλώσεων



Σχήμα 1.4: Ωριαία διακύμανση κατανάλωσης φορτίου θερινής περιόδου προτεινόμενων καταναλώσεων

Κεφάλαιο 1. Ανάλυση υφιστάμενης κατάστασης της υπό μελέτη κατοικίας

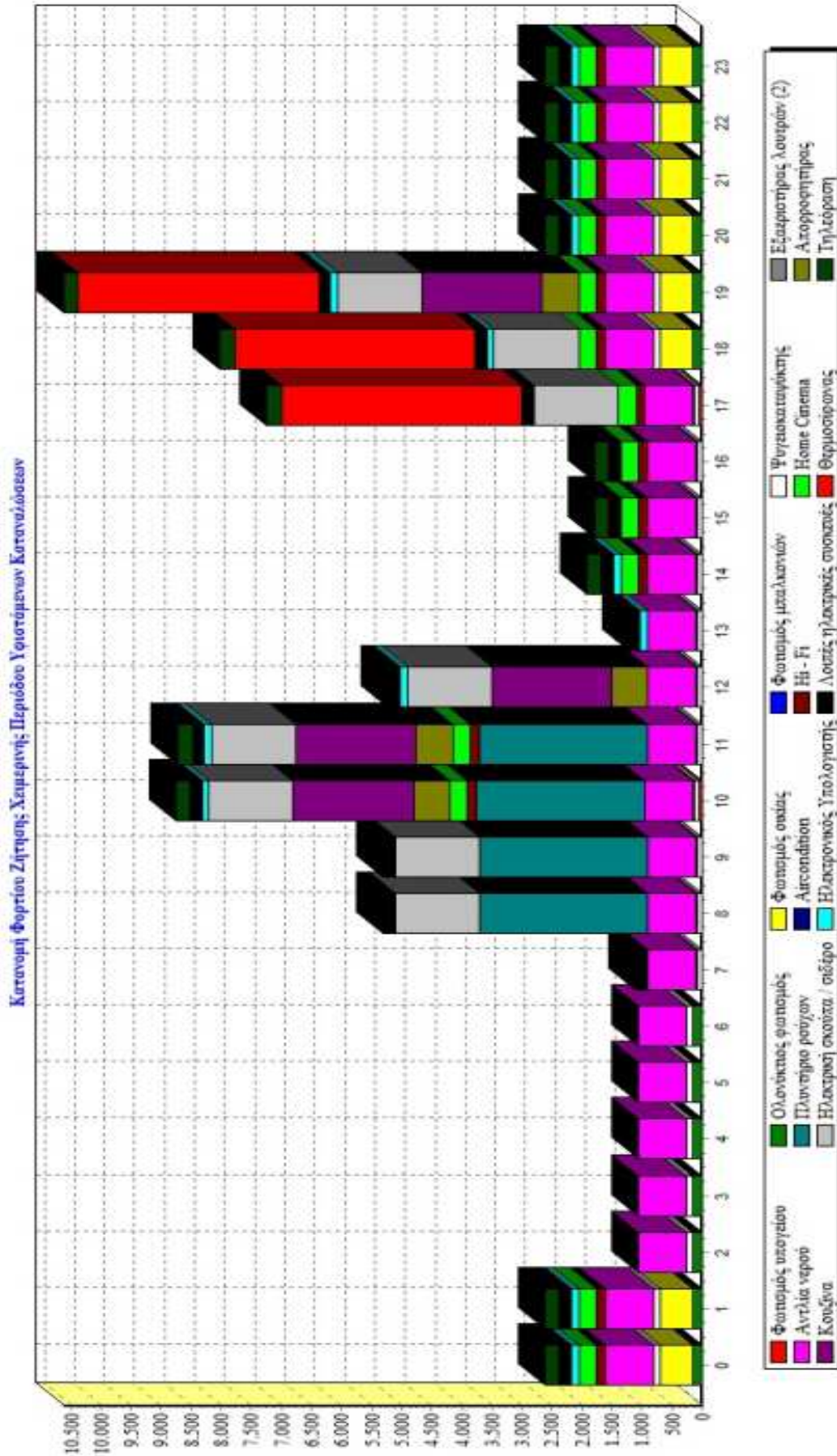
Τόσο από τον πίνακα όσο και από το διάγραμμα φαίνεται ότι το μέγιστο φορτίο κατά την καλοκαιρινή περίοδο, βάσει των προτεινόμενων καταναλώσεων εμφανίζεται στο διάστημα μεταξύ 10:00 και 11:00 και ισούται με 6787 W τα οποία πρέπει να μπορεί να καλύπτει το υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που θα σχεδιαστεί. Παρατηρείται πλήρης ταύτιση των αποτελεσμάτων του προγράμματος AUTON για τις προτεινόμενες καταναλώσεις με τον υπολογισμό που έγινε με το χέρι και καταγράφηκε στον πίνακα 3.

1.6.2.2 Φορτία χειμερινής περιόδου

Αντίστοιχα με την θερινή περίοδο παρουσιάζεται και η ωριαία κατανομή της κατανάλωσης ηλεκτρικών φορτίων κατά την χειμερινή περίοδο στον πίνακα 4 και στο διάγραμμα του σχήματος 1.6. Στο σχήμα 1.5, και πάλι για σκοπούς σύγκρισης, καταγράφεται το ωριαίο απαιτούμενο χειμερινό φορτίο για τις υφιστάμενες καταναλώσεις.

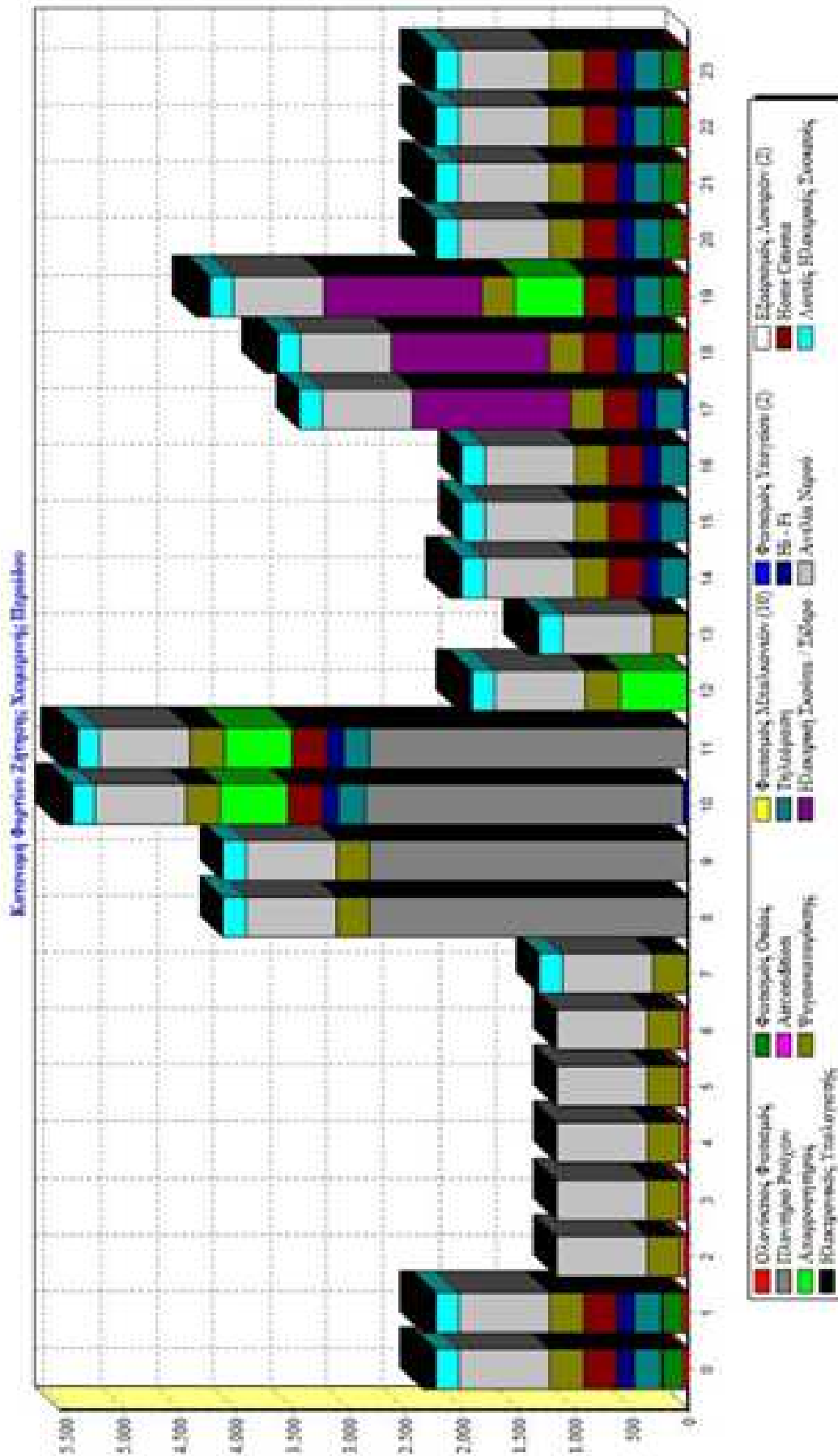
Πίνακας 4: Ωριαία κατανάλωση ισχύος και ηλεκτρικής ενέργειας της υπό μελέτη οικίας για την χειμερινή περίοδο

Ωρα	Κατανάλωση Ισχύος [W]	Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας [kWh]
00:00 - 01:00	2354	2,354
01:00 - 02:00	2354	2,354
02:00 - 03:00	1170	1,170
03:00 - 04:00	1170	1,170
04:00 - 05:00	1170	1,170
05:00 - 06:00	1170	1,170
06:00 - 07:00	1170	1,170
07:00 - 08:00	1316	1,316
08:00 - 09:00	4116	4,116
09:00 - 10:00	4116	4,116
10:00 - 11:00	5766	5,766
11:00 - 12:00	5726	5,726
12:00 - 13:00	2236	2,236
13:00 - 14:00	1436	1,436
14:00 - 15:00	2126	2,126
15:00 - 16:00	2006	2,006
16:00 - 17:00	2006	2,006
17:00 - 18:00	3446	3,446
18:00 - 19:00	3754	3,754
19:00 - 20:00	4554	4,554
20:00 - 21:00	2354	2,354
21:00 - 22:00	2354	2,354
22:00 - 23:00	2354	2,354
23:00 - 24:00	2354	2,354
Ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας [kWh]		62,578



Σχήμα 1.5: Ωριαία διακύμανση κατανάλωσης φορτίου χειμερινής περιόδου υφιστάμενων καταναλώσεων

Κεφάλαιο 1. Ανάλυση υφιστάμενης κατάστασης της υπό μελέτη κατοικίας



Σχήμα 1.6: Ωριαία διακύμανση κατακόρυφης φορτίου χαμηρικής περιόδου προτεινόμενων καταναλώσεων

Βάσει του πίνακα 4 και του διαγράμματος 1.6 παρατηρούμε ότι το μέγιστο φορτίο (βάσει των προτεινόμενων καταναλώσεων) εμφανίζεται μεταξύ των ωρών 10:00 και 11:00 και ισούται με 5766 W. Το φορτίο αυτό πρέπει να καλύπτεται από το υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το θερινό φορτίο όμως είναι μεγαλύτερο έτσι εάν το υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας το καλύπτει αυτό τότε καλύπτει και το χειμερινό φορτίο. Έτσι το φορτίο που πρέπει να καλύπτεται είναι ίσο με 6787 W. Για λόγους ασφάλειας σε περίπτωση που υπάρχει και χρήση κάποιας άλλης συσκευής αυτή την ώρα θα χρησιμοποιηθεί ελαφρά αυξημένο το φορτίο σχεδιασμού, ίσο με 6800 W. Το υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που διαστασιολογείται και σχεδιάζεται στα επόμενα κεφάλαια πρέπει να έχει την δυνατότητα να παράξει ισχύ έως και 6800 W.

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΑΥΤΟΝΟΜΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ”

2.1 Μετεωρολογικά στοιχεία της υπό μελέτη περιοχής

Η ευρύτερη περιοχή του Ηρακλείου της Κρήτης στην οποία ανήκει και η υπό μελέτη τοποθεσία της Αγίας Πελαγίας θεωρείται από τις πλέον θερμές περιοχές της χώρας. Αυτό συνεπάγεται υψηλές μέσες ετήσιες θερμοκρασίες, υψηλή ηλιακή ακτινοβολία και υψηλές θερμοκρασίες νερού δικτύου. Ταυτόχρονα όμως είναι και μια περιοχή με αξιοσημείωτο αιολικό δυναμικό. Όλα αυτά τα δεδομένα είναι πολύ χρήσιμα για την σωστή διαστασιολόγηση και σχεδιασμό ενός συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για αυτό θα καταγραφούν στους πίνακες που ακολουθούν. Αρχικά, στον πίνακα 5 εμφανίζεται η μέση μηνιαία θερμοκρασία της ατμόσφαιρας για την ευρύτερη περιοχή του Ηρακλείου. Ο πίνακας 6 καταγράφει την μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία (ολική και διάχυτη) για την περιοχή του Ηρακλείου. Ο πίνακας 7 δίδει τα ανεμολογικά στοιχεία της περιοχής. Στον πίνακα 8 τοποθετείται η μηνιαία μέση τιμή θερμοκρασίας του νερού του δικτύου ύδρευσης της περιοχής του Ηρακλείου. Τέλος, την εικόνα 2.1 φαίνεται ο διαχωρισμός της Ελλάδας σε κλιματολογικές ζώνες όπως γίνεται από τον κανονισμό του ΤΕΕ με την τεχνική οδηγία Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 1/2010 που αφορά την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. ^{[10],[11] [40]}

Πίνακας 5: Μέση μηνιαία θερμοκρασία στην περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης ^[11]

Μήνας	Μέση μηνιαία θερμοκρασία 24ώρου [°C]
Ιανουάριος	12,1
Φεβρουάριος	12,2
Μάρτιος	13,5
Μάιος	16,5
Απρίλιος	20,3
Ιούνιος	24,4
Ιούλιος	26,2
Αύγουστος	26,1
Σεπτέμβριος	23,6
Οκτώβριος	20,1
Νοέμβριος	16,7
Δεκέμβριος	13,7

Πίνακας 6: Μέσες μηνιαίες τιμές ολικής και διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας στην περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης ^[11]

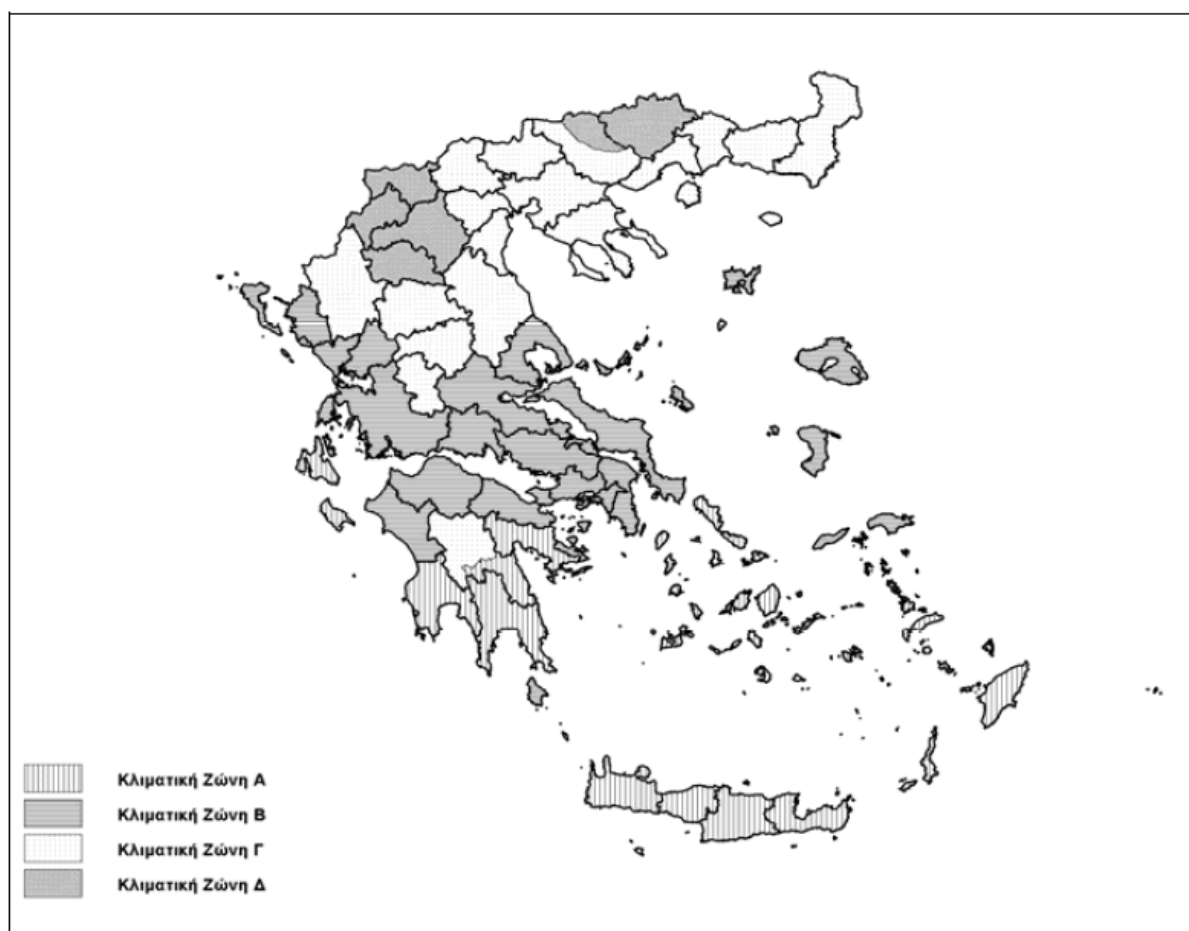
Μήνας	Μέση μηνιαία ολική ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο [kWh/m ² .μην]	Μέση μηνιαία διάχυτη ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο [kWh/m ² .μην]
Ιανουάριος	65,6	27,6
Φεβρουάριος	81,6	34,4
Μάρτιος	125,0	52,6
Μάιος	166,5	66,8
Απρίλιος	207,3	81,5
Ιούνιος	222,4	84,3
Ιούλιος	227,1	84,3
Αύγουστος	207,0	74,1
Σεπτέμβριος	163,0	57,2
Οκτώβριος	117,3	42,8
Νοέμβριος	78,6	29,4
Δεκέμβριος	61,2	24,8

Πίνακας 7: Μέση ταχύτητα ανέμου ανά μήνα στην περιοχή του Ηρακλείου ^[11]

Μήνας	Μέση ταχύτητα ανέμου [m/s]
Ιανουάριος	4,8
Φεβρουάριος	5,1
Μάρτιος	4,7
Μάιος	4,1
Απρίλιος	3,2
Ιούνιος	3,5
Ιούλιος	4,6
Αύγουστος	4,6
Σεπτέμβριος	4,0
Οκτώβριος	3,8
Νοέμβριος	4,2
Δεκέμβριος	4,8

Πίνακας 8: Μέση μηνιαία θερμοκρασία δικτύου ύδρευσης στο Ηράκλειο Κρήτης ^[40]

Μήνας	Μέση μηνιαία θερμοκρασία δικτύου ύδρευσης στο Ηράκλειο [°C]
Ιανουάριος	14,7
Φεβρουάριος	14,2
Μάρτιος	14,8
Μάιος	17,2
Απρίλιος	20,6
Ιούνιος	24,5
Ιούλιος	27,3
Αύγουστος	28,2
Σεπτέμβριος	27,2
Οκτώβριος	24,7
Νοέμβριος	20,9
Δεκέμβριος	17,2



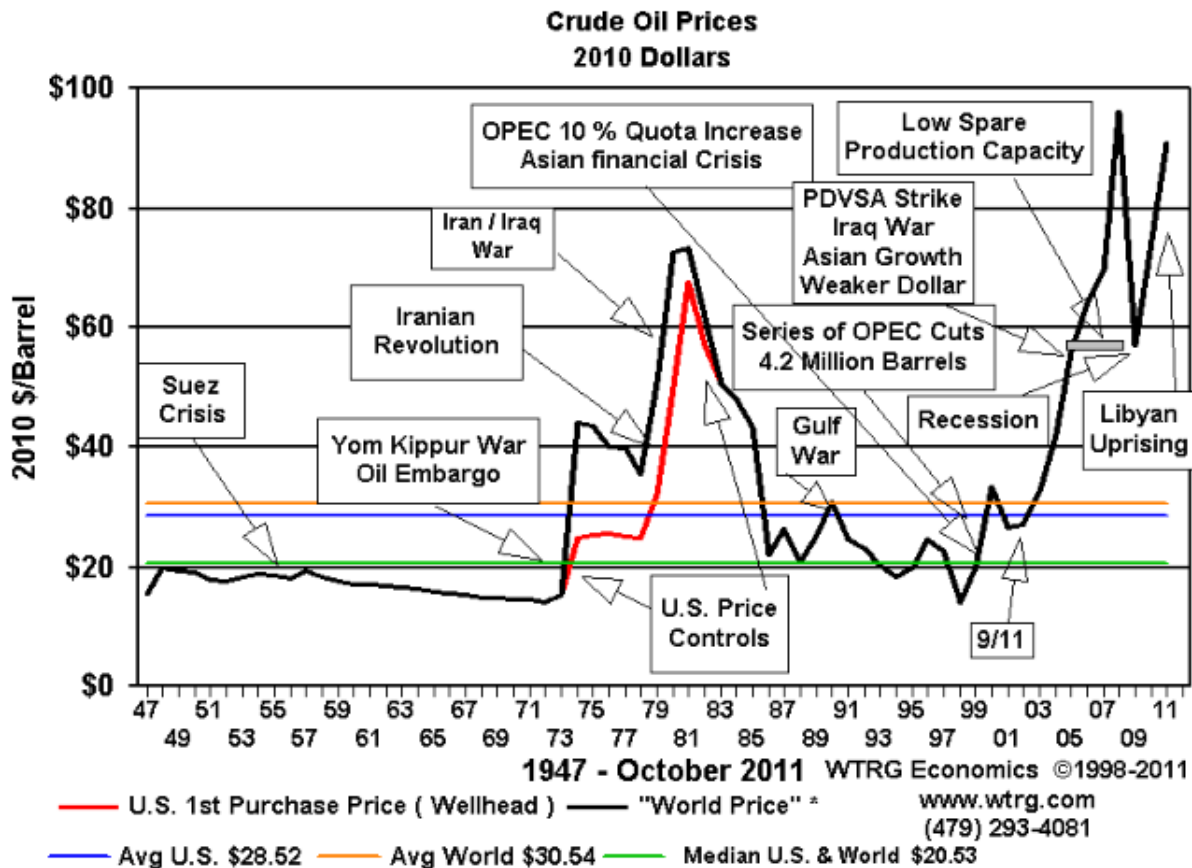
Εικόνα 2.1: Διαχωρισμός της ελληνικής επικράτειας σε κλιματικές ζώνες ^[10]

2.2 Υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ορίζονται οι πηγές ενέργειας που υπάρχουν σε αφθονία στο περιβάλλον και πρακτικά είναι ανεξάντλητες. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μια από τις σύγχρονες μορφές ηλεκτροπαραγωγής, εναρμονισμένη με τις ανάγκες περιορισμού κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, γαιάνθρακες) και ταυτόχρονα μείωσης της ρύπανσης του πλανήτη, δύο από τις σημαντικότερες μεταβολές στις καταναλωτικές συνήθειες των ανθρώπων του δυτικού κόσμου τον 21^ο αιώνα.

Η ανάγκη περιορισμού κατανάλωσης ορυκτών καυσίμων προέρχεται από δύο αιτίες. Η πρώτη αιτία είναι η εξάντληση των κοιτασμάτων των ορυκτών καυσίμων η οποία ανησυχεί τους επιστήμονες για την βιωσιμότητα όλων των παγκόσμιων εφαρμογών (καθώς τα ορυκτά καύσιμα είναι ο κινητήριος μοχλός της ανάπτυξης τους τελευταίους αιώνες) και τους οδηγεί στην αναζήτηση λύσεων για την επόμενη ημέρα. Η δεύτερη αιτία και αιτία που απασχολεί τον περισσότερο κόσμο είναι η ραγδαία αύξηση των τιμών των ορυκτών καυσίμων τα τελευταία 40 χρόνια.

Μετά την πρώτη μεγάλη πετρελαϊκή κρίση του 1973, τον ιρανοϊρακινό πόλεμο του 1979 μετά την κρίση του περσικού κόλπου το 1990 και κυρίως, μετά την τελευταία κρίση της διετίας 2007 – 2008 που κορυφώθηκε το καλοκαίρι του 2008, και της αραβικής άνοιξης, ιδιαίτερα του εμφυλίου στην Λιβύη το 2011, οι τιμές των ορυκτών καυσίμων (κυρίως του πετρελαίου και δευτερευόντως του φυσικού αερίου) έχουν αυξηθεί δραματικά. Από τιμές της τάξεως των 20 δολαρίων που κυμαινόταν και μάλιστα με μικρές διακυμάνσεις η τιμή του βαρελιού έως και το 1973 πλέον έχει φτάσει και ξεπεράσει τα 100 δολάρια ανά βαρέλι. Μάλιστα οι τάσεις προμηνύονται αυξητικές και οι διακυμάνσεις είναι πολύ εντονότερες καθιστώντας την πρόβλεψη της τιμής του αδύνατη καθώς παρουσιάζεται υπερευαισθησία σε διάφορα γεωπολιτικά γεγονότα (πόλεμοι, επαναστάσεις). Στο σχήμα 2.1 καταγράφεται η μεταβολή της τιμής του πετρελαίου τα τελευταία 65 χρόνια.



Σχήμα 2.1: Ιστορική μεταβολή τιμών πετρελαίου τα τελευταία 65 έτη^[26]

Η μείωση της ρύπανσης του πλανήτη είναι η δεύτερη αιτία για την οποία αναπτύσσεται η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια τα περιβαλλοντολογικά προβλήματα είναι έντονα. Ήδη υπάρχουν οι πρώτοι περιβαλλοντικοί πρόσφυγες από νησιά του Ειρηνικού ωκεανού τα οποία «βουλιάζουν». Η αύξηση της στάθμης της θάλασσας, συνέπεια της κλιματικής αλλαγής και της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη φαντάζει ως το σοβαρότερο από τα περιβαλλοντολογικά προβλήματα. Κύρια αιτία του είναι η αύξηση των ρύπων οι οποίοι εντείνουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Δεν είναι όμως και το μοναδικό πρόβλημα. Υπάρχουν και πολλά άλλα περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως για παράδειγμα η όξινη βροχή και η ρύπανση των υπογείων υδάτων που σχετίζονται με την κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων. Το σύγχρονο περιβαλλοντικό – οικολογικό κλίμα που επικρατεί στην δυτική κοινωνία, χαρακτηριστικό του 21^{ου} αιώνα, οδηγεί στην εκτεταμένη μελέτη και χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τόσο σε εθνικό επίπεδο όσο και σε υπερτοπικό, ατομικό επίπεδο.

Οι κυριότερες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η ηλιακή ενέργεια και η αιολική. Η τεχνολογία εκμετάλλευσης των δύο αυτών μορφών είναι πολύ πιο ανεπτυγμένη

και οικονομικά προσιτή και έχουν βρει ευρύτατες εφαρμογές. Η μεν πρώτη ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές μικρής ισχύος (φωτοβολταϊκά πάρκα μικρής ισχύος, θερμικά ηλιακά συστήματα) εν αντιθέσει με την αιολική η οποία χρησιμοποιείται κυρίως σε εφαρμογές υψηλής ισχύος (αιολικά πάρκα). Οι υπόλοιπες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η γεωθερμία, η βιομάζα, οι ενέργειες της θάλασσας και η υδροηλεκτρική ενέργεια οι οποίες όμως δεν θα μας απασχολήσουν στην παρούσα εργασία (πλην της γεωθερμικής) καθώς δεν βρίσκουν πολλές εφαρμογές στα υβριδικά συστήματα. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας παρουσιάζονται ως λύση στο ενεργειακό και το περιβαλλοντικό πρόβλημα που παρουσιάστηκαν προηγουμένως και έχουν μια σειρά πλεονεκτημάτων τα σημαντικότερα εξ αυτών είναι η καθαρότητά τους, το ανεξάντλητό που εμφανίζουν, η παρουσία τους παντού καθιστώντας ελάχιστο σημασίας τα γεωπολιτικά παιχνίδια και η πολύ μεγάλη διαθέσιμη προς εκμετάλλευση ισχύς τους. Ταυτόχρονα όμως έχουν και αρκετά μειονεκτήματα τα κυριότερα όμως είναι τρία. Το πρώτο είναι ο πολύ χαμηλός βαθμός απόδοσης των συστημάτων που τα εκμεταλλεύονται. Το δεύτερο είναι η τεράστια ανισοκατανομή και η τυχαιότητα στην παραγωγή ισχύος που οφείλονται στις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή την εκάστοτε στιγμή. Το τρίτο εκπηγάει από το προηγούμενο και είναι η ανάγκη ύπαρξης συστημάτων αποθήκευσης ισχύος ώστε να καταπολεμηθεί η τυχαιότητα με συνέπεια την αύξηση του κόστους των ήδη ακριβών τεχνολογιών εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Λόγω των μειονεκτημάτων των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας χρησιμοποιούνται κυρίως συνδεδεμένα με το δίκτυο ηλεκτροπαραγωγής. Με αυτό τον τρόπο η τυχαιότητα τους δεν προκαλεί μεγάλα προβλήματα (μη ηλεκτροδότηση κάποια στιγμή της ημέρας) και δεν απαιτείται η ύπαρξη των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας. Σε μικρές αυτόνομες εφαρμογές όμως δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκτός και εάν εφαρμοστούν υβριδικά συστήματα.

Τι είναι όμως τα υβριδικά συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας; Είναι συνδυασμός μιας ή περισσοτέρων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή. Υπάρχει η δυνατότητα για χρησιμοποίηση τουλάχιστον μιας συμβατικής πηγής παραγωγής ενέργειας. Με αυτό τον τρόπο καταπολεμάται σε μεγάλο βαθμό η τυχαιότητα της παραγωγής ισχύος από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ενώ η συμβατική πηγή παρέχει πλήρη κάλυψη των αναγκών σε περίπτωση μηδενικής παραγωγής από τις ανανεώσιμες πηγές. Έτσι ενώ είναι πιθανόν κάποια στιγμή της ημέρας να μην υπάρχει ηλιοφάνεια ή να μην φυσάει, στατιστικά είναι πολύ μικρότερη η πιθανότητα να μην υπάρχει ηλιοφάνεια και ταυτόχρονα να μην υπάρχει άνεμος την ίδια στιγμή. Ταυτόχρονα μειώνει τις αποθηκευτικές ανάγκες του

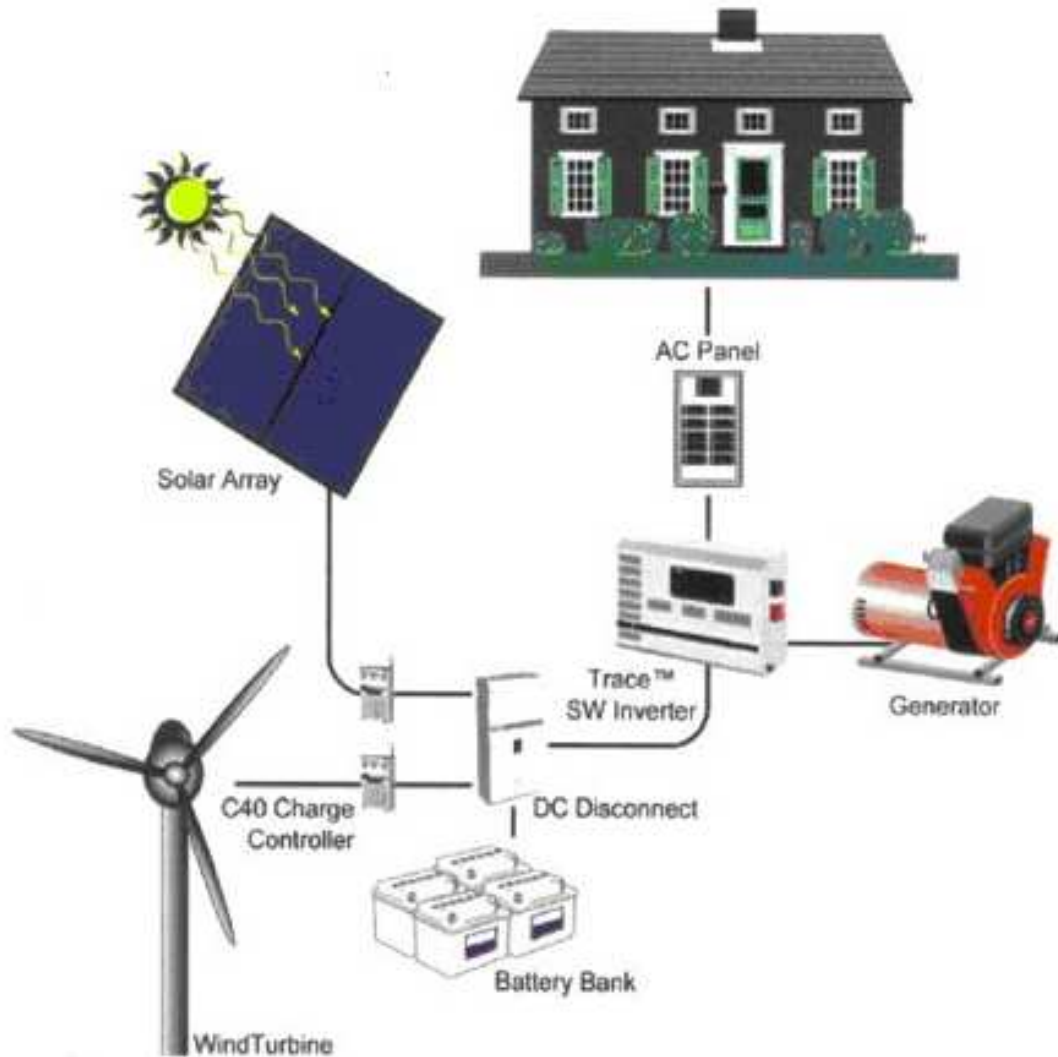
συστήματος μειώνοντας το κόστος καθώς εάν εξαντληθεί και η αποθηκευμένη ενέργεια θα λειτουργεί αποκλειστικά η συμβατική πηγή παραγωγής ενέργειας. Τα υβριδικά συστήματα μπορούν να διαχωριστούν σε μικρά και μεγάλα με τα μικρά να έχουν ως στόχο την αυτόνομη ηλεκτροδότηση μιας οικίας ή άλλων εφαρμογών με παρόμοιες ανάγκες ισχύος ενώ τα μεγάλα να έχουν στόχο την ηλεκτροδότηση βιοτεχνιών, βιομηχανιών, ξενοδοχείων και άλλων εφαρμογών με υψηλή κατανάλωση ισχύος. Στην παρούσα εργασία μελετάται η χρήση ενός μικρού υβριδικού συστήματος σε μια οικία τα χαρακτηριστικά της οποίας έχουν καταγραφεί στο προηγούμενο κεφάλαιο.

Στα υβριδικά συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια γιατί οι τεχνολογίες εκμετάλλευσης τους είναι πιο εξελιγμένες και κυρίως οικονομικά πιο προσιτές. Ειδικότερα για τις μικρές εφαρμογές είναι πολύ μεγάλο πλεονέκτημα το ότι είναι οικονομικά πιο προσιτές γιατί οι άνθρωποι που θα τις χρησιμοποιήσουν στις οικίες τους έχουν περιορισμένες οικονομικές δυνατότητες. Συνήθως η ηλιακή ενέργεια καλύπτει περισσότερες ανάγκες την θερινή περίοδο και κατά την διάρκεια της ημέρας, την νύκτα έχει μηδενική παραγωγή. Αντίθετα, η αιολική ενέργεια καλύπτει περισσότερες ανάγκες κατά την χειμερινή περίοδο και κυρίως καλύπτει όλες ή μέρος των αναγκών της νύκτας. Πέραν των υβριδικών συστημάτων που χρησιμοποιούν ηλιακή και αιολική ενέργεια δύναται να συναντηθούν και υβριδικά συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν γεωθερμία ή βιομάζα. Σε μεγάλα υβριδικά συστήματα είναι δυνατό να συναντηθεί και εκμετάλλευση της υδροηλεκτρικής ενέργειας σε ένα υβριδικό σύστημα. Ως υβριδικά συστήματα θεωρούνται ακόμη και τα συστήματα που χρησιμοποιούν τουλάχιστον μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος και θερμικά ηλιακά συστήματα για την θέρμανση ή και τον κλιματισμό του χώρου.

Στην κατηγορία των υβριδικών συστημάτων όμως ανήκουν και τα συστήματα που συνδυάζουν μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και την χρήση ενός ενεργειακού τζακιού. Το ενεργειακό τζάκι είναι ένα τζάκι το οποίο εκμεταλλεύεται την ροή του αέρα που θερμαίνεται από την καύση. Ο αέρας αυτός χρησιμοποιείται είτε για να αυξήσει περαιτέρω την θερμοκρασία του χώρου είτε για να μεταφέρει θερμότητα σε γειτονικά δωμάτια ώστε να τα θερμάνει και αυτά. Για να εγκλωβιστεί ο αέρας απαιτείται η ύπαρξη ενός θαλάμου στον οποίο θα γίνει η καύση. Ο θάλαμος αυτός μπορεί να είναι μεταλλικός είτε από τον φυσικό τοίχο της οικίας, ντυμένο όμως με θερμομονωτικά υλικά ώστε να μην υπάρχει απώλεια θερμότητας.

Η λειτουργία του ενεργειακού τζακιού είναι πάρα πολύ απλή. Όταν κατά την καύση η πόρτα του θαλάμου είναι κλειστή τότε αυξάνεται πολύ η θερμοκρασία του αέρα μέσα στον θάλαμο με αποτέλεσμα την καύση του μονοξειδίου του άνθρακα που είναι προϊόν της ατελούς καύσης του ξύλου. Με αυτό τον τρόπο αποδίδεται περισσότερη θερμική ενέργεια στον χώρο και το τζάκι έχει μεγαλύτερη απόδοση. Επίσης λόγω της κλειστής πόρτας δεν υπάρχει μεγάλη διαφυγή θερμού αέρα της οικίας από την καμινάδα με αποτέλεσμα την διατήρηση της υψηλής θερμοκρασίας του χώρου. Ταυτόχρονα μειώνεται και η εκπομπή μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα την μικρότερη περιβαλλοντική ρύπανση. Για αυτό τον λόγο θεωρούνται από τις ιδανικές μεθόδους καύσης της βιομάζας και έχουν θέση σε ένα υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Βέβαια στην υπό μελέτη οικία δεν θα χρησιμοποιηθούν γιατί πολύ απλά στην περιοχή της Κρήτης μια θερινή εξοχική οικία δεν απαιτεί την ύπαρξη θέρμανσης.

Ένα υβριδικό σύστημα αποτελείται από αρκετά τμήματα. Καταρχήν έχουν τις τεχνολογίες εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (φωτοβολταϊκά συστήματα, θερμικά ηλιακά συστήματα, ανεμογεννήτριες κλπ). Κατά δεύτερον έχουν μια συμβατική πηγή ενέργειας η οποία κατά κύριο λόγο είναι τουλάχιστον ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος. Εκτός αυτών έχουν ένα σύστημα αποθήκευσης ενέργειας το οποίο συνήθως είναι συσσωρευτές και σπανιότερα σφόνδυλοι για τα μικρά υβριδικά συστήματα ενώ για τα μεγάλα υβριδικά συστήματα συνήθως είναι αποθήκευση νερού σε υψηλότερη στάθμη (μέθοδος αντλησοταμίευσης). Για την σωστή χρήση της ενέργειας που παράγει το σύστημα απαιτείται ένα σύστημα ελέγχου το οποίο καθορίζει εάν θα αποθηκευτεί ή όχι η παραγόμενη ενέργεια, εάν θα χρησιμοποιηθεί αποθηκευμένη ενέργεια ή εάν θα τεθεί σε λειτουργία η συμβατική μέθοδος ηλεκτροπαραγωγής. Απαραίτητοι είναι και οι αντιστροφείς καθώς ορισμένα μέρη του υβριδικού συστήματος παράγουν συνεχές ρεύμα DC (φωτοβολταϊκά, μερικές ανεμογεννήτριες μικρού μεγέθους) ενώ οι καταναλώσεις είναι σχεδόν σε όλες τις εφαρμογές εναλλασσόμενου ρεύματος AC. Φυσικά απαιτείται ένα δίκτυο διανομής της παραγόμενης ισχύος όπως και τα φορτία που την καταναλώνουν. Στο διάγραμμα του σχήματος 2.2 παρουσιάζεται ένα υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



Σχήμα 2.2: Διαγραμματική απεικόνιση μικρού υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για εφαρμογές αυτόνομων κατοικιών^[27]

Στην υπό μελέτη οικία θα εγκατασταθεί ένα σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που θα εκμεταλλεύεται κυρίως την ηλιακή και την αιολική ενέργεια οι οποίες είναι άπλετες στην Κρήτη. Έτσι θα χρησιμοποιεί ως κύρια μέθοδο ηλεκτροπαραγωγής τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Ταυτόχρονα θα χρησιμοποιηθεί ένα θερμικό ηλιακό σύστημα για την κάλυψη των αναγκών της οικογένειας για ζεστό νερό χρήσης. Τέλος, ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος θα χρησιμοποιηθεί ως συμβατική πηγή ενέργειας το οποίο με καύση πετρελαίου θα καλύπτει τις ανάγκες της οικίας σε περίπτωση που δεν υπάρχει ούτε ηλιακή ούτε αιολική ηλεκτροπαραγωγή ή που αυτές δεν επαρκούν για την συνολική κάλυψη των αναγκών. Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται αναλυτικότερα η ηλιακή, η αιολική ενέργεια και το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος. Ακολουθούν οι παρουσιάσεις άλλων επιμέρους στοιχείων που είναι απαραίτητα για την λειτουργία του υβριδικού συστήματος όπως για παράδειγμα οι

μονάδες αποθήκευσης (συσσωρευτές ή σφόνδυλοι), τα συστήματα ελέγχου και οι αναστροφείς. Βάσει όλων των θεωρητικών στοιχείων που παρουσιάζονται παρακάτω γίνεται ο σχεδιασμός του υβριδικού συστήματος στο τρίτο κεφάλαιο.^{[2], [3], [26], [27], [57]}

2.2.1 Ηλιακή ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια είναι η ενέργεια που προέρχεται από την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στην γη και την ενέργεια που εκείνη περιέχει. Πηγή της ενέργειας λοιπόν είναι ο ήλιος, το αστέρι του κεντρικού συστήματος. Ο ήλιος όπως και κάθε άλλο αστέρι είναι μία πύρινη σφαίρα. Η ακτίνα τους πλησιάζει τα 700.000 χιλιόμετρα περίπου ενώ είναι και 300.000 φορές βαρύτερος από τη γη. Το φως του ήλιου φθάνει στη γη διαμέσου της ηλιακής ακτινοβολίας σε χρονικό διάστημα 8 λεπτών, διανύοντας απόσταση 150 εκατομμυρίων χιλιομέτρων.

Ο ήλιος είναι μια τεράστια πηγή ενέργειας η οποία ακτινοβολεί συνεχώς ενέργεια, αδιάκοπα. Η ενέργεια αυτή ακτινοβολείται στο διάστημα σε διάφορα μήκη κύματος. Η λειτουργία του προσομοιάζει την λειτουργία ενός τεράστιου πυρηνικού αντιδραστήρα. Κατά την λειτουργία του, λειτουργία πυρηνικής σύντηξης, 657 εκατομμύρια τόνοι υδρογόνου και μεταβάλλονται σε 653 τόνους ηλίου. Το έλλειμμα μάζας που παρατηρείται μετατρέπεται σε ενέργεια η οποία ακτινοβολείται στο διάστημα. Το ποσό της ενέργειας προσδιορίζεται από την εξίσωση ενέργειας-μάζας ($E=mc^2$). Αυτή η διαδικασία είναι τόσο ισχυρή, ώστε κάθε τετραγωνικό μέτρο του ήλιου εκπέμπει περίπου 70.000 ίππους (Hp) ενέργεια.

Η ηλιακή ακτινοβολία, αφού διασχίσει το διάστημα προσπίπτει στην γήινη σφαίρα. Έχει υπολογιστεί ότι από τα 4.000 Q (1 Q = ενεργειακό ισοδύναμο με 25.000 τόνους πετρέλαιο) της ηλιακής ενέργειας που φθάνει το χρόνο στη γη, τα 1.000 Q ανακλώνται στα εξωτερικά στρώματα της ατμόσφαιρας και τα υπόλοιπα 3.000 Q εισέρχονται στην ατμόσφαιρα. Αυτό το ποσό ενέργειας προκαλεί τις μεταβολές του κλίματος που συμβαίνουν στην γη. Από την εισερχόμενη στην ατμόσφαιρα ακτινοβολία και την ενέργεια που αυτή περιέχει το 1/3 απορροφάται από την ατμόσφαιρα ενώ η υπόλοιπη θερμαίνει την επιφάνεια της γης. Ακολούθως το μεγαλύτερο ποσοστό της ακτινοβολίας που έχει «κτυπήσει στην επιφάνεια της γης» επιστρέφει στην ατμόσφαιρα είτε με την μορφή ακτινοβολίας, είτε με την εξάτμιση του νερού. Μόλις το 1,2 Q της ηλιακής ενέργειας αποταμιεύεται με τη φωτοσύνθεση και από αυτό πάλι, μόνο το 7% χρησιμοποιείται και για άλλες βιολογικές ανάγκες, στην ανάπτυξη των οργανισμών κ.λπ.

Βάσει όλων των παραπάνω η γη δέχεται από τον ήλιο μια ποσότητα ενέργειας ίση περίπου με $7 \cdot 10^{17}$ kWh το χρόνο. Η ενέργεια αυτή δεν στοιχίζει τίποτα, υπάρχει δωρεάν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές όπως για παράδειγμα για ηλεκτροπαραγωγή, για θέρμανση σπιτιών, για παραγωγή και αποθήκευση ζεστού νερού, για μαγείρεμα, για απόσταξη νερού και οινοπνεύματος, για εξαγωγή αλατιού από τη θάλασσα, για αφαλάτωση του θαλασσινού νερού, για λειτουργία εγκαταστάσεων κλιματισμού, για καθαρή τήξη κεραμικών υλικών σε θερμοκρασίες 4.000°C και για άλλα πολλά που ως τώρα στοιχίζαν σε καύσιμα ή και σε ηλεκτρικό ρεύμα. Το μόνο που χρειάζεται είναι η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας με συγκεκριμένες μεθόδους. Οι βασικές μέθοδοι αξιοποίησης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις ενεργητικές και τις παθητικές. Οι ενεργητικές μέθοδοι είναι οι φωτοχημικές, οι φωτοθερμικές και οι φωτοηλεκτρικές. Οι παθητικές μέθοδοι σχετίζονται με την κατασκευή των κτιρίων και τον βιοκλιματικό σχεδιασμό και δεν θα μας απασχολήσουν περαιτέρω.

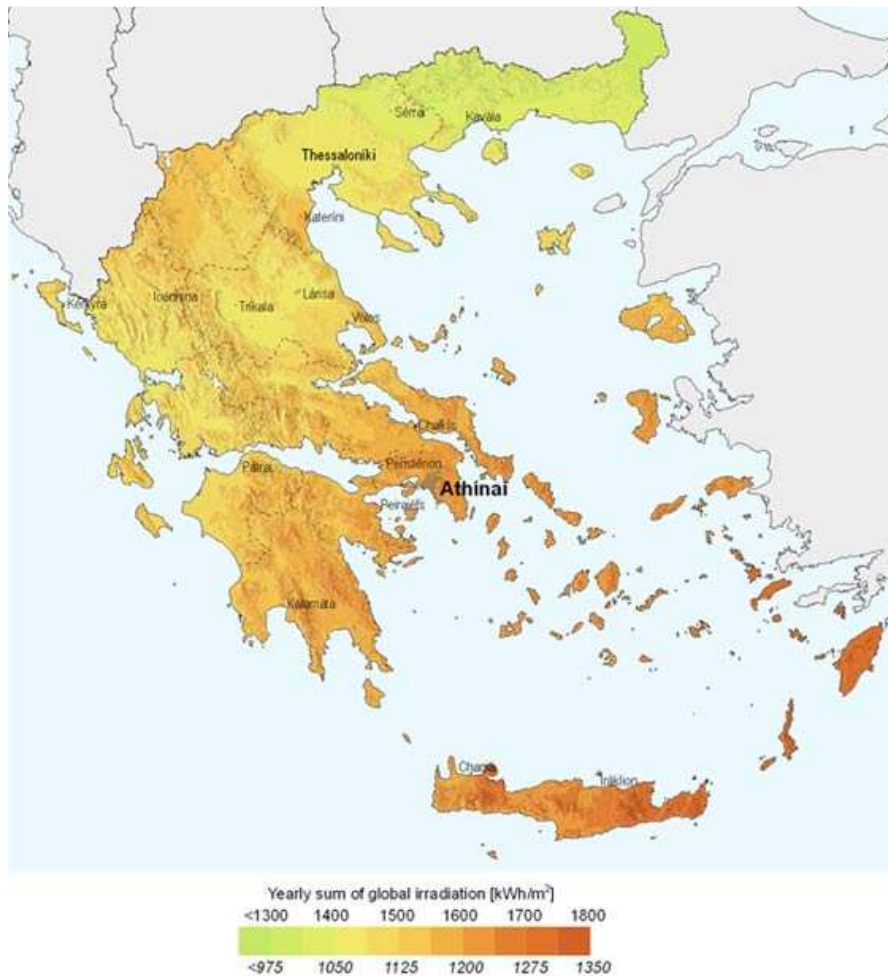
Οι φωτοχημικές μέθοδοι μετατροπής χρησιμοποιούν την ηλιακή ακτινοβολία για να πραγματοποιήσουν μια σειρά χημικών αντιδράσεων μέσω των οποίων παράγονται καύσιμα που χρησιμοποιούνται στην πορεία για καύση και την έκλυση της αποθηκευμένης σε αυτά ηλιακής ενέργειας. Ουσιαστικά μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε χημική, σε καύσιμα. Η κυριότερη φωτοχημική μέθοδος είναι η φωτοσύνθεση μέσω της οποίας τα φυτά κυρίως απορροφούν την ηλιακή ενέργεια και την μετατρέπουν με σειρά αντιδράσεων σε χημικό καύσιμο, εν προκειμένω το ξύλο. Ακολούθως το ξύλο καίγεται και με αυτό τον τρόπο εκμεταλλεύεται η ηλιακή ενέργεια. Εργαστηριακά μελετούνται σήμερα διαδικασίες φωτοηλεκτρόλυσης του νερού και παραγωγής υδρογόνου που θα χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο και σήμερα είναι η κυριότερη μελέτη στις φωτοχημικές μεθόδους.

Οι φωτοηλεκτρικές μέθοδοι μετατροπής της ηλιακής ενέργειας είναι όλες οι μέθοδοι οι οποίες μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια κατευθείαν σε ηλεκτρική ενέργεια. Με αυτές τις μεθόδους δεν απαιτείται η χρήση άλλων ενδιάμεσων συσκευών για να γίνει αυτή η μετατροπή έτσι μειώνονται οι απώλειες ενέργειας. Η κυριότερη φωτοηλεκτρική μέθοδος είναι η φωτοβολταϊκή η οποία θα εξεταστεί ενδελεχώς στην ενότητα των φωτοβολταϊκών συστημάτων που ακολουθεί.

Η τελευταία κατηγορία μεθόδων εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας είναι οι φωτοθερμικές μέθοδοι. Οι μέθοδοι που εντάσσονται σε αυτή την κατηγορία μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε θερμική η οποία με την σειρά της μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε αυτούσια ως θερμική ενέργεια είτε για ηλεκτροπαραγωγή. Τα συστήματα που

χρησιμοποιούνται στις φωτοθερμικές μεθόδους ονομάζονται θερμικά ηλιακά συστήματα και περιλαμβάνουν από τους απλούς ηλιακούς συλλέκτες που υπάρχουν για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και έχουμε δει όλοι μας έως και διάφορα συγκεντρωτικά συστήματα (παραβολικούς συλλέκτες, συγκεντρωτικά συστήματα πύργων και άλλα) τα οποία χρησιμοποιούνται για παραγωγή ατμού υψηλών θερμοκρασιών ή ηλεκτροπαραγωγή. Περαιτέρω αναφορά για τα μικρά θερμικά ηλιακά συστήματα που χρησιμοποιούνται για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης θα γίνει σε επόμενη ενότητα.

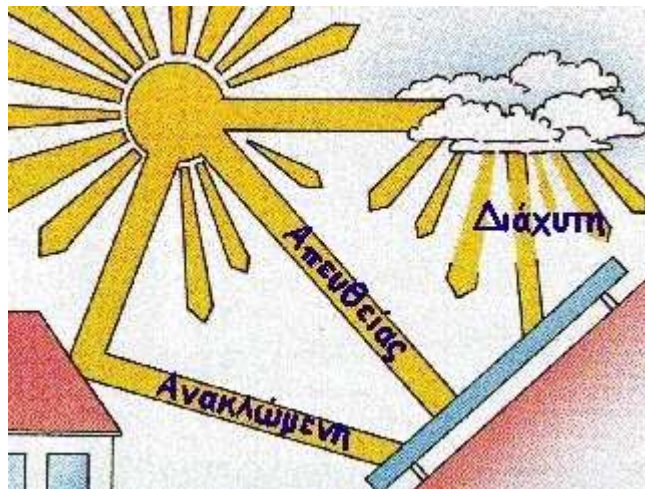
Η τεχνολογία εκμετάλλευσης της ηλιακής τεχνολογίας στις ημέρες μας είναι ιδιαίτερα ώριμη. Ειδικά τα θερμικά ηλιακά συστήματα αλλά και τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν δοκιμαστεί και είναι αρκούτως αποδοτικά έτσι ώστε να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε μικρές εφαρμογές όπως ένα μικρό υβριδικό σύστημα όσο και σε μεγαλύτερες εφαρμογές. Στην Ελλάδα η χρήση αυτών των τεχνολογιών πρέπει να γίνει κεντρική πολιτική της χώρας. Ταυτόχρονα πρέπει να θεωρείται αυτονόητη η χρήση μικρών συστημάτων από τους Έλληνες στην οικία τους. Ο λόγος που πρέπει να χρησιμοποιούνται ευρέως στην χώρα μας αυτές οι τεχνολογίες είναι το τεράστιο ηλιακό δυναμικό. Ο χάρτης της εικόνας 2.2 επιβεβαιώνει τα ανωτέρω. Ειδικότερα στην περιοχή της Κρήτης εμφανίζονται τα υψηλότερα ποσοστά ηλιακής ακτινοβολίας στην χώρα έτσι σε ένα υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που σχεδιάζεται στην παρούσα εργασία τα ηλιακά συστήματα πρέπει να έχουν κεντρικό ρόλο.



Εικόνα 2.2: Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας στην ελληνική επικράτεια σε kWh/m²[32]

Η Ελλάδα όμως δεν έχει μόνο το πλεονέκτημα της μεγάλης ακτινοβολίας, έχει και το πλεονέκτημα του ότι το μεγαλύτερο μέρος αυτής της ακτινοβολίας είναι άμεση ακτινοβολία. Τι είναι όμως η άμεση ηλιακή ακτινοβολία; Είναι η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει κατευθείαν από τον ήλιο χωρίς να έχει υποστεί σκέδαση στην ατμόσφαιρα της γης με αποτέλεσμα να έχει μεγαλύτερο ενεργειακό περιεχόμενο. Το τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας που υπόκειται σε σκέδαση λόγω των σωματιδίων που υπάρχουν εντός της γήινης ατμόσφαιρας και των νεφώσεων χάνει ένα μέρος της ενέργειας που φέρει και ονομάζεται διάχυτη ακτινοβολία. Τέλος, υπάρχει και ένα τρίτο τμήμα της ακτινοβολίας που προσπίπτει σε ένα τμήμα της γης και είναι η ανακλώμενη ακτινοβολία. Η ανακλώμενη ακτινοβολία προέρχεται από την ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας σε διάφορα, γειτονικά προς τον χώρο αντικείμενα. Στο διάγραμμα του σχήματος 2.3 φαίνεται η διάκριση των τριών κατηγοριών της ηλιακής ακτινοβολίας. Στα ηλιακά συστήματα προτιμάται η ύπαρξη όσο το δυνατό μεγαλύτερου ποσοστού άμεσης ακτινοβολίας έτσι ώστε να υπάρχει μεγαλύτερο

ενεργειακό περιεχόμενο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Το άθροισμα και των τριών συνιστωσών της ηλιακής ακτινοβολίας ονομάζεται ολική ηλιακή ακτινοβολία.



Σχήμα 2.3: Αμεση, διάχυτη και ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία^[33]

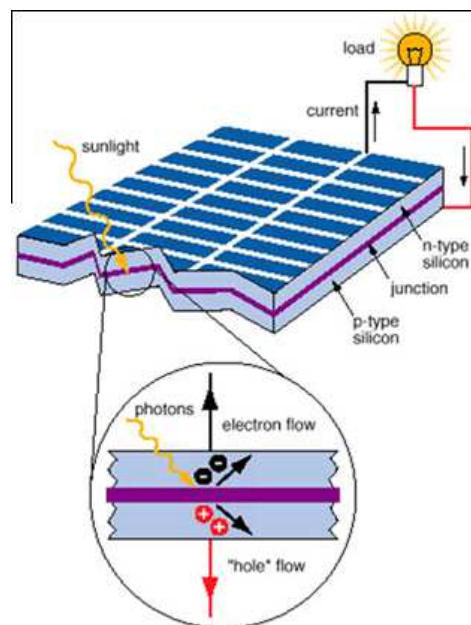
2.2.1.1 Φωτοβολταϊκά συστήματα

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι τα συστήματα που βασίζονται σε φωτοβολταϊκά στοιχεία τα οποία έχουν ως αρχή λειτουργίας τους το φωτοβολταϊκό φαινόμενο μέσω του οποίου παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα δεχόμενα την ηλιακή ακτινοβολία. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι μια φυσική διαδικασία κατά την οποία τα φωτόνια που εμπεριέχονται στην ηλιακή ακτινοβολία με κάποιον τρόπο, ενεργοποιώντας ένα μηχανισμό, παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Ο μηχανισμός αυτός δεν είναι τίποτε άλλο από δύο υλικά τοποθετημένα σε πολύ κοντινή απόσταση μεταξύ τους ώστε να λειτουργούν ως ηλεκτρικό στοιχείο. Τα υλικά αυτά είναι οι ημιαγωγοί, χάρις στις ιδιότητες των οποίων μπορεί να εμφανιστεί το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η σημαντικότερη εξ αυτών των ιδιοτήτων που τους καθιστούν ιδανικούς είναι η πολύ μεγάλη φωτοαγωγιμότητα τους.

Έτσι λοιπόν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από δύο πλάκες μεταλλικών ημιαγωγών, διαφορετικών ημιαγωγών (κυρίως χρησιμοποιούνται ημιαγωγοί διαφορετικού τύπου πυριτίου), οι οποίες είναι τοποθετημένες σε πολύ κοντινή απόσταση. Κατά την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας εμφανίζεται κίνηση ηλεκτρονίων μεταξύ αυτών των δύο πλακών. Εάν λοιπόν συνδεθούν σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα τότε αυτή η κίνηση των ηλεκτρονίων μπορεί να εκμεταλλευτεί και να χρησιμοποιηθεί ως ηλεκτρικό ρεύμα.

Η ύπαρξη των δύο τύπων των ημιαγωγών αποτελεί το πρώτο βήμα για την κατασκευή ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου ή κυψέλης (photovoltaic cell) καθώς αποτελεί την πρώτη ύλη

του. Η κατασκευή του φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι πολύ απλή. Δύο λεπτά στρώματα πλακών από τους δύο τύπους ημιαγωγών χρησιμοποιούνται. Η μια πλάκα τοποθετείται πάνω στην άλλη ενώ ακροδέκτες υπάρχουν μεταξύ της επάνω και της κάτω πλευράς των δύο ενωμένων πλακών για να τις συνδέσουν σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Με την τοποθέτηση αυτών των πλακών στον ήλιο ξεκινάει η παραγωγή ρεύματος. Η διαδικασία ηλεκτροπαραγωγής είναι πολύ απλή. Τα φωτόνια υψηλής ενέργειας που εμπεριέχονται στην ηλιακή ακτινοβολία ενεργοποιούν, δηλαδή δίνουν την απαιτούμενη ενέργεια για να σπάσουν τους δεσμούς με τον πυρήνα, τα επιπλέον ηλεκτρόνια του ενός εκ των δύο ημιαγωγών, του ημιαγωγού τύπου N. Τα ηλεκτρόνια αυτά τώρα είναι σε θέση να κινηθούν. Η κίνηση τους θα είναι προς τον δεύτερο ημιαγωγό τύπου P ο οποίος είναι με τέτοιο τρόπο κατασκευασμένος ώστε να παρουσιάζει έλλειμμα ηλεκτρονίων. Με αυτό τον τρόπο έχει επιτευχθεί συνεχής ροή ηλεκτρονίων από την πλάκα του ημιαγωγού N προς την πλάκα του ημιαγωγού P. Εάν αυτό το στοιχείο ενωθεί σε ένα κύκλωμα τότε αυτή η ροή ηλεκτρονίων είναι κατ' ουσίαν το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα. Για να αυξηθεί η ένταση του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος πρέπει να αυξηθούν τα ηλεκτρόνια που θα κινηθούν άρα είτε πρέπει να αυξηθεί η επιφάνεια των δύο ημιαγωγών είτε πρέπει να τεθούν υπό την επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας με μεγαλύτερο αριθμό φωτονίων. Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία εμπεριέχει μεγαλύτερο αριθμό φωτονίων άρα παράγει περισσότερο ρεύμα και αυτό εξηγεί τα όσα αναφέρθησαν προηγουμένως περί επιθυμίας υψηλού ποσοστού άμεσης ακτινοβολίας. Η λειτουργία των φωτοβολταϊκών στοιχείων παρουσιάζεται στο σχήμα 2.4.



Σχήμα 2.4: Λειτουργία φωτοβολταϊκού στοιχείου^[34]

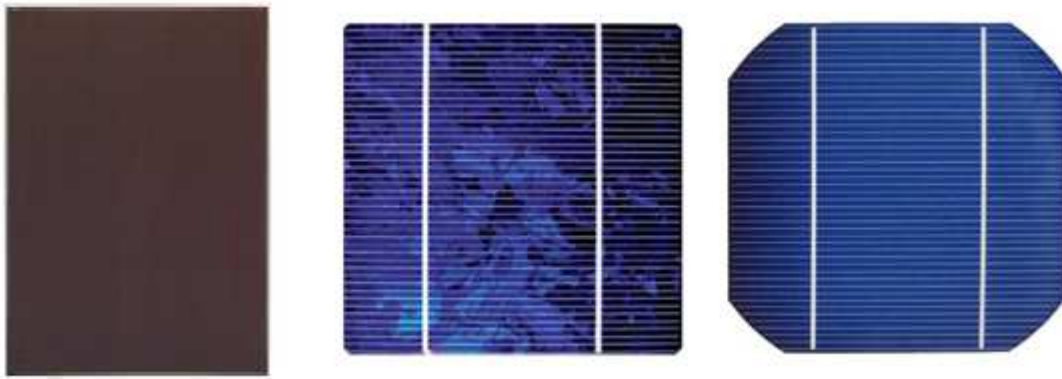
Όπως έχει ήδη αναφερθεί το κύριο υλικό που χρησιμοποιείται στα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι το πυρίτιο. Το πυρίτιο δεν είναι τίποτα άλλο από την άμμο που υπάρχει στις παραλίες (η άμμος συγκεκριμένα είναι οξείδιο του πυριτίου). Υπάρχουν τριών ειδών φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου. Είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου και τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Η διαφορά των τριών τύπων φωτοβολταϊκών στοιχείων έγκειται στην μορφή των κρυστάλλων του πυριτίου που αποτελεί το κάθε ένα.

Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου ($a - Si$) το πυρίτιο είναι τυχαία διατεταγμένο, δεν έχει συγκεκριμένη κρυσταλλική δομή. Συνέπεια αυτού είναι η ύπαρξη ενός γκρι χρώματος στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Λόγω της τυχαίας διάταξης του πυριτίου τα φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση σε διάχυτες ακτινοβολίες. Για τον ίδιο λόγο παρουσιάζουν μικρότερη αύξηση της θερμοκρασίας με αποτέλεσμα την μείωση των απωλειών. Πέραν αυτών, το φως μπορεί να τα διαπερνάει έτσι βρίσκουν εφαρμογές σε πολλά κτίρια ως παράθυρα. Το μεγάλο τους μειονέκτημα όμως είναι ο πολύ μικρός βαθμός απόδοσης, της τάξεως του 8% κατά μέγιστο (σε εργαστηριακές συνθήκες έφτασαν και το 14%) που είναι πολύ μικρότερος σε σχέση με τους βαθμούς απόδοσης των κρυσταλλικών πυριτίων.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου αποτελούνται από κρυστάλλους πυριτίου. Σε αυτά τα στοιχεία ξεχωρίζουν οι κρύσταλλοι πυριτίου, διακρίνονται οι μονοκρυσταλλικές περιοχές, με αποτέλεσμα το φωτοβολταϊκό στοιχείο μοιάζει σαν χάρτης. Όσο μεγαλύτερες είναι οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τότε τόσο καλύτερη απόδοση έχουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου παρουσιάζουν χαμηλότερο κόστος γιατί κατασκευάζονται ευκολότερα. Αυτό όμως έχει συνέπεια και στον βαθμό απόδοσης τους καθώς παρουσιάζουν μικρότερο βαθμό απόδοσης που κυμαίνεται στην πράξη μεταξύ 13% και 15%.

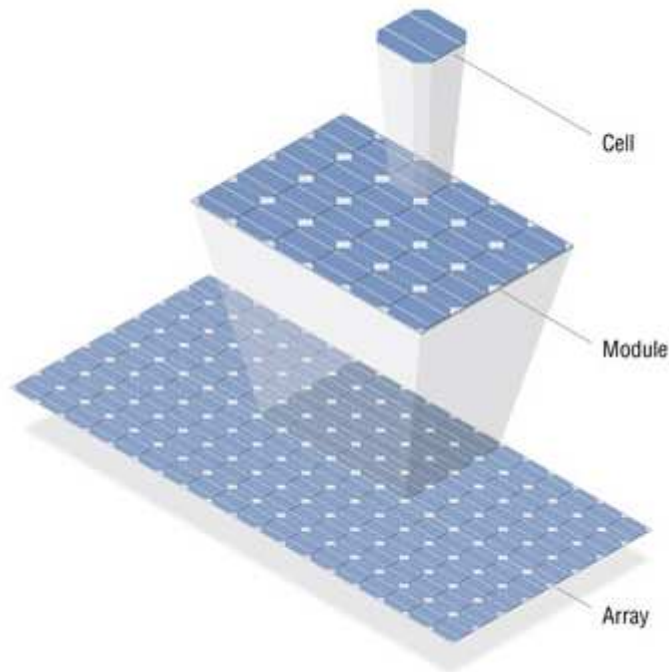
Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου αποτελούνται από ένα κρύσταλλο πυριτίου. Αυτό δίδει ομοιομορφία στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού με αποτέλεσμα ένα εντονότατο μπλε χρώμα. Η ύπαρξη ενός και μόνο κρυστάλλου ανά στοιχείο αυξάνει την απόδοση του στοιχείου καθώς δεν υπάρχουν κενές περιοχές (όπως στο πολυκρυσταλλικό που υπάρχουν κενά μεταξύ των κρυστάλλων που δεν ταιριάζουν ακριβώς). Συνέπεια αυτού είναι η εμφάνιση μεγαλύτερων βαθμών απόδοσης που φτάνουν έως και το 20%. Στην εικόνα 2.3 εμφανίζονται οι τρεις τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων, αριστερά τα

στοιχεία άμορφου πυριτίου, κεντρικά τα στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου και δεξιά τα στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Πέραν αυτών των στοιχείων γίνονται έρευνες σε πολλούς άλλους τύπους ημιαγωγών έτσι ώστε να κατασκευαστούν φωτοβολταϊκά στοιχεία υψηλότερης απόδοσης η αναφορά τους όμως ξεφεύγει των σκοπών της παρούσας εργασίας.



Εικόνα 2.3: Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου, πολυκρυσταλλικού και μονοκρυσταλλικού πυριτίου^[36]

Ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο μόνο του παράγει πολύ μικρή ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος η οποία δεν είναι εκμεταλλεύσιμη. Για αυτό τον τρόπο τα στοιχεία πρέπει να συνδεθούν με κάποιο τρόπο σε μεγαλύτερους αριθμούς ώστε να παράγουν ικανοποιητικό ποσό ηλεκτρικού ρεύματος. Για αυτό συναντούμε τις φωτοβολταϊκές μονάδες ή πάνελ και τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες. Οι φωτοβολταϊκές μονάδες (modules) αποτελούνται από την συνένωση πολλών φωτοβολταϊκών στοιχείων, συνήθως κοντά στα 30. Συχνά τις συναντούμε και με το όνομα φωτοβολταϊκά πλαίσια (panel). Οι φωτοβολταϊκές μονάδες είναι αυτές που συναντούμε στην αγορά κατά την προμήθεια φωτοβολταϊκών. Συνένωση πολλών φωτοβολταϊκών πάνελ οδηγεί στην δημιουργία φωτοβολταϊκών συστοιχιών (arrays). Οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες μπορούν να έχουν έως και μερικές χιλιάδες φωτοβολταϊκά πλαίσια και ένας αριθμός φωτοβολταϊκών συστοιχιών αποτελούν συνήθως ένα φωτοβολταϊκό σύστημα. Στην εικόνα 2.4 φαίνεται η κατηγοριοποίηση των φωτοβολταϊκών από το μέγεθος του στοιχείου έως και το μέγεθος της συστοιχίας.



Εικόνα 2.4: Κατηγοριοποίηση φωτοβολταϊκών με βάση το μέγεθός τους^[37]

2.2.1.2 Θερμικά ηλιακά συστήματα

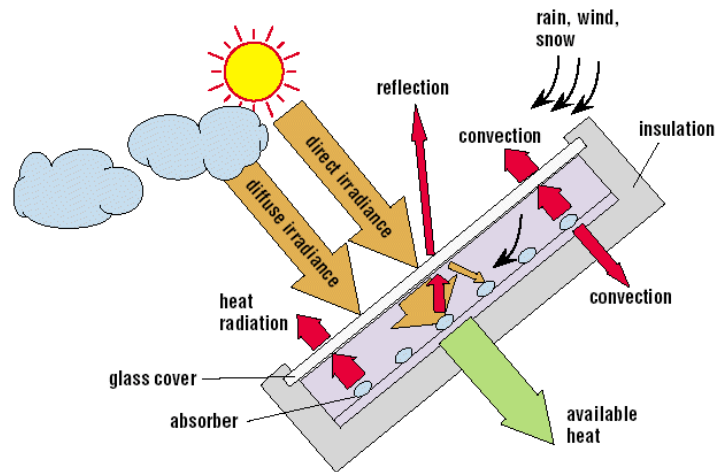
Τα θερμικά ηλιακά συστήματα είναι τα συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν την ακτινοβολία για να παράξουν θερμική ενέργεια. Η λειτουργία τους είναι σαφώς απλούστερη σε σχέση με την λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων για αυτό άλλωστε και η τεχνολογία τους χρησιμοποιείται ευρέως από την δεκαετία του 70 και εντεύθεν. Η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να είναι άμεση ή έμμεση. Δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιείται η ακτινοβολία για να θερμάνει ένα υλικό ή ένα χώρο άμεσα ή για να θερμάνει ένα ρευστό το οποίο θα μεταφέρει την θερμότητα για χρήση αλλού. Αναλόγως του τρόπου με τον οποίο εκμεταλλεύεται η ηλιακή ενέργεια διαφοροποιείται και η λειτουργία τους. Τα θερμικά ηλιακά συστήματα χωρίζονται σε τρεις σημαντικές κατηγορίες, τα παθητικά συστήματα, τα ενεργητικά συστήματα και τα υβριδικά συστήματα.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούνται κυρίως από αρχιτεκτονικές λύσεις βιοκλιματικού σχεδιασμού έτσι ώστε να υπάρχει η μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας για την θέρμανση, την ψύξη και τον φωτισμό της υπό μελέτη οικίας. Η θέρμανση της οικίας επιτυγχάνεται με την συλλογή και την αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας τις ώρες τις ημέρας κατά τις οποίες έχει μεγάλη ένταση και η αποδέσμευσή της στην οικία κατά τις ώρες με μηδενική ακτινοβολία. Ειδικότερα κατά την διάρκεια της ημέρας, με την χρήση μεγάλων υαλοστασίων επιδιώκεται και η άμεση θέρμανση του χώρου

από την ηλιακή ακτινοβολία. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται και ο φωτισμός του χώρου χωρίς την σπατάλη ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης με διάφορους αρχιτεκτονικούς σχεδιασμούς δύναται να επιτευχθεί και η ψύξη του χώρου. Οι βασικές αρχιτεκτονικές διατάξεις που χρησιμοποιούνται είναι η ύπαρξη μεγάλης επιφάνειας νότια προσανατολισμένου υαλοστασίου έτσι ώστε να παγιδεύει την ηλιακή ακτινοβολία και η χρήση συμπαγούς όγκου δομικών υλικών έτσι ώστε να αποθηκεύει την παγιδευμένη θερμότητα και να την αποδίδει πίσω το βράδυ. Πέρα από αυτό, η ύπαρξη νότιων μαρκίζων είναι απαραίτητη έτσι ώστε το καλοκαίρι να μην εισέρχεται ο ήλιος στο σπίτι. Η σχεδίαση μπορεί να γίνει απευθείας στο σπίτι ή με την χρήση ενός βοηθητικού χώρου κατασκευασμένου από γυαλί ο οποίος λειτουργώντας σαν θερμοκήπιο θερμαίνει ένα χώρο. Ο θερμός αέρας του χώρου εναλλάσσεται με τον ψυχρό αέρα του κυρίως κτιρίου έτσι το θερμαίνει. Επίσης μπορεί να τοποθετηθεί ένας τοίχος ενδιάμεσα του γυαλιού και του σπιτιού. Πολλές λύσεις παθητικών συστημάτων μπορούν να σχεδιαστούν, αναλόγως της φαντασίας του αρχιτέκτονα, περαιτέρω αναφορά τους ξεφεύγει του σκοπού της παρούσας εργασίας.

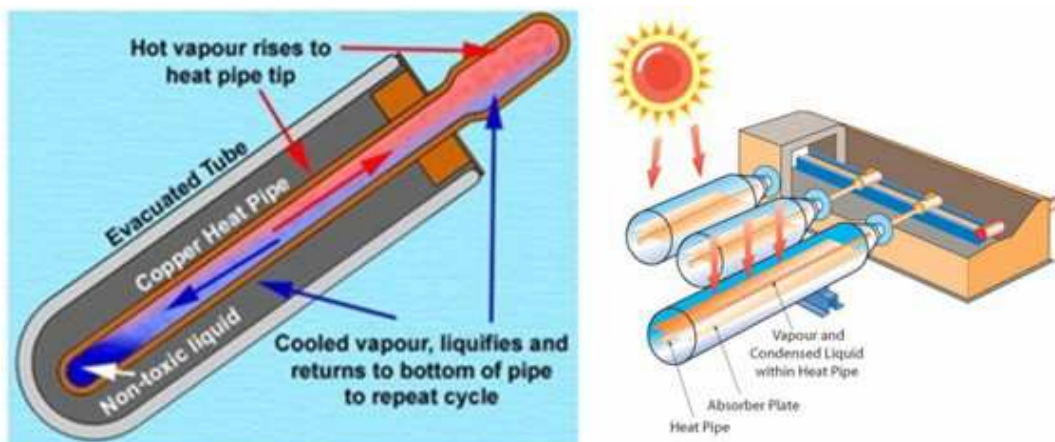
Αντίθετα από τα παθητικά ηλιακά συστήματα τα ενεργητικά θερμικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται την ακτινοβολία του ήλιου για να ζεστάνουν νερό το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως ως ζεστό νερό χρήσης στις οικιακές εφαρμογές και ως ατμός στις βιομηχανικές εφαρμογές. Σε λιγότερο συνηθισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται για να κινήσουν ένα ατμοστρόβιλο για ηλεκτροπαραγωγή ή για να αυξήσουν πολύ την θερμοκρασία ενός υλικού ώστε αυτό να τηχθεί (ηλιακοί φούρνοι) όμως απαιτείται η συγκέντρωση μεγάλης ποσότητας ηλιακής ακτινοβολίας και χρησιμοποιούνται συγκεντρωτικά συστήματα μεγάλου μεγέθους.

Η πιο απλή εφαρμογή τους είναι οι ηλιακοί συλλέκτες. Η συνηθέστερη έκδοση τους είναι οι επίπεδοι συλλέκτες των οποίων η αρχή λειτουργίας είναι πολύ απλή. Η ακτινοβολία του ήλιου προσπίπτει σε μια σκουρόχρωμη (συνήθως μαύρη) επιφάνεια και απορροφάται. Η απορρόφηση της ακτινοβολίας προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας του σώματος που την απορροφάει. Ένα μέρος αυτής της αύξησης της θερμοκρασίας μεταδίδεται ως θερμότητα σε ένα εργαζόμενο μέσο, συνήθως νερό και ένα άλλο μέρος μεταδίδεται στην ατμόσφαιρα μέσω ακτινοβολίας και συναγωγής και θεωρείται ως απώλεια. Εάν η επιφάνεια καλυφθεί με τζάμι τότε μειώνονται πολύ οι απώλειες λόγω συναγωγής. Έτσι η διαθέσιμη θερμότητα που μεταδίδεται στο εργαζόμενο μέσο είναι μεγαλύτερη και αυξάνεται περαιτέρω η θερμοκρασία του. Στο σχήμα 2.5 παρουσιάζεται η λειτουργία ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη.



Σχήμα 2.5: Λειτουργία ηλιακού συλλέκτη^[38]

Πέραν των επίπεδων συλλεκτών υπάρχουν και οι συλλέκτες κενού. Είναι κατασκευασμένοι από κυλινδρικό γυαλί μαύρου χρώματος, τοποθετημένο μέσα σε ένα άλλο κυλινδρικό διάφανο γυαλί. Το διάφανο γυαλί έχει τον ίδιο ρόλο με αυτό του προστατευτικού γυαλιού στους επίπεδους συλλέκτες. Μεταξύ των δύο γυαλιών δημιουργείται κενό, εξ' ου και η ονομασία σωλήνες κενού, για να μειωθούν στο ελάχιστο οι απώλειες λόγω αγωγής και συναγωγής με την ατμόσφαιρα. Στον εσωτερικό σωλήνα τοποθετείται ένα μείγμα ρευστού, συνήθως νερό με πρόσθετα ή αλκοόλη το οποίο έχει σημείο βρασμού της τάξεως των 30°C. Το μείγμα εξατμίζεται όταν υπάρχει ηλιακή ακτινοβολία και κινείται προς το πάνω μέρος του σωλήνα. Εκεί, μια εξοχή εισέρχεται στον σωλήνα μεταφοράς του νερού και το θερμαίνει. Ταυτόχρονα το μείγμα ψύχεται, συμπυκνώνεται και μετακινείται στο κάτω μέρος του σωλήνα. Στο σχήμα 2.6 καταγράφεται η κατασκευή των σωλήνων κενού και ο τρόπος λειτουργίας τους.



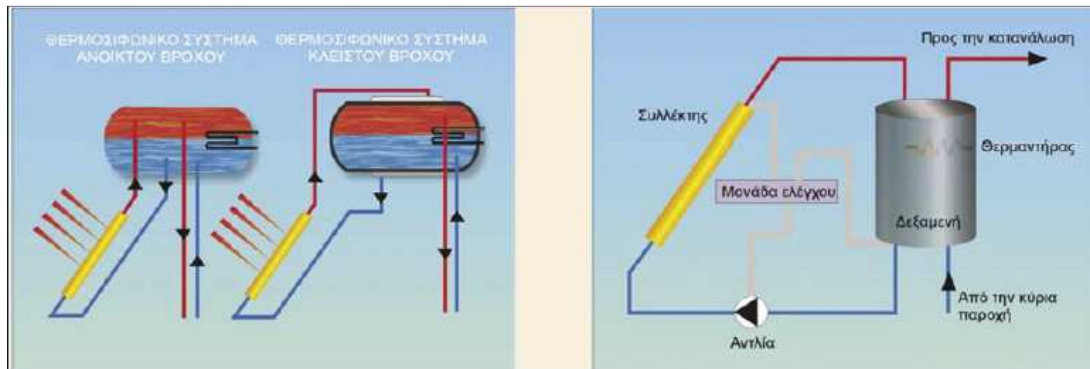
Σχήμα 2.6: Λειτουργία σωλήνων κενού^[19]

Αντίθετα, στα συγκεντρωτικά συστήματα η ακτινοβολία συγκεντρώνεται από διάφορους καθρέπτες σε ένα σημείο από το οποίο διέρχεται το νερό. Η συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας αυξάνει κατά πολύ την ισχύ της με αποτέλεσμα την δημιουργία ατμού ο οποίος είτε χρησιμοποιείται στην βιομηχανία είτε για ηλεκτροπαραγωγή. Τα συγκεντρωτικά συστήματα χωρίζονται σε μικρού μεγέθους όπου αποτελούνται κυρίως από παραβολικά κάτοπτρα και από τα οποία παράγεται ατμός για βιομηχανική χρήση και σε μεγάλου μεγέθους όπου συνήθως είναι τα συγκεντρωτικά συστήματα πύργων και χρησιμοποιούνται για ηλεκτροπαραγωγή.

Η ίδια κατηγοριοποίηση γίνεται και με την θερμοκρασία την οποία αποκτάει το ρευστό μεταφοράς θερμότητας. Χωρίζονται στα συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας (κάτω από 80°C), στα συστήματα μέσης θερμοκρασίας (80°C έως 250°C) και τα συστήματα υψηλής θερμοκρασίας (πάνω από 250°C). Τα συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται σε οικιακές εφαρμογές για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιούνται και σε συνδυασμένα συστήματα τα οποία θερμαίνουν και ψύχουν τον χώρο ταυτόχρονα με την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Για την θέρμανση του νερού χρησιμοποιούνται επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες ή σωλήνες κενού. Τα συστήματα μέσης θερμοκρασίας βρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε βιομηχανίες για παραγωγή ατμού αλλά και σε κάποιες οικιακές εφαρμογές. Για να φτάσει το νερό σε τέτοια θερμοκρασία χρησιμοποιούνται είτε σωλήνες κενού είτε συγκεντρωτικά ηλιακά συστήματα με χαμηλό βαθμό συγκέντρωσης. Τα συστήματα υψηλής θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εφαρμογές. Η αύξηση της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται με συγκεντρωτικά συστήματα υψηλής συγκέντρωσης και διατάξεις παρακολούθησης του ήλιου.

Στην παρούσα εργασία μας ενδιαφέρουν μόνο τα θερμικά ηλιακά συστήματα χαμηλής θερμοκρασίας τα οποία χωρίζονται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες. Ο διαχωρισμός τους γίνεται βάσει του τρόπου με τον οποίο θερμαίνουν το νερό χρήσης. Εάν το νερό που θερμαίνεται στον συλλέκτη είναι ίδιο με τον νερό που χρησιμοποιείται τότε τα συστήματα αυτά είναι ανοικτού κυκλώματος. Εάν το νερό που θερμαίνεται στον συλλέκτη με την βοήθεια ενός εναλλάκτη θερμαίνει το ζεστό νερό χρήσης τότε μιλάμε για συστήματα κλειστού κυκλώματος. Τέλος, εάν το ρευστό που μεταφέρει την θερμότητα απαιτεί την ύπαρξη αντλίας για την κυκλοφορία τους τότε το σύστημα αυτό ονομάζεται σύστημα βεβιασμένης κυκλοφορίας. Συνήθως έχουν επικρατήσει και χρησιμοποιούνται τα συστήματα κλειστού κυκλώματος γιατί η ανεξαρτησία των ρευστών επιτρέπει τον καλύτερο έλεγχο του

συστήματος σε σχέση με αυτά του ανοικτού κυκλώματος ενώ η μη χρήση της αντλίας τα καθιστά ιδανικά έναντι των συστημάτων βεβιασμένης κυκλοφορίας. Πέραν αυτών των δύο υπάρχει και το κύκλωμα βεβιασμένης κυκλοφορίας στο οποίο το εργαζόμενο μέσο κυκλοφορεί με την βοήθεια αντλίας αναλόγως των απαιτήσεων. Στο σχήμα 2.7 παρουσιάζονται τα τρία συστήματα που προαναφέρθηκαν. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται κλειστό σύστημα για παραγωγή μόνο ζεστού νερού χρήσης για την οικία.



Σχήμα 2.7: Ανοικτό, κλειστό και βεβιασμένης κυκλοφορίας θερμικό ηλιακό σύστημα χαμηλής θερμοκρασίας^[20]

Τέλος, τα υβριδικά θερμικά ηλιακά συστήματα αποτελούν ένα συνδυασμό των ενεργητικών και των παθητικών συστημάτων δηλαδή υπάρχουν τόσο οι ηλιακοί συλλέκτες αλλά υπάρχει και η αρχιτεκτονική σχεδίαση, τέτοια ώστε να εκμεταλλεύεται την ηλιακή ακτινοβολία. Τα συστήματα αυτά έχουν την μεγαλύτερη δυνατή απόδοση καθώς εκμεταλλεύονται όσο το δυνατό περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία.

2.2.1.3 Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας

Σε αυτή την ενότητα παρουσιάζεται βηματικά η διαδικασία υπολογισμού της μέσης μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο και σε επίπεδα που βρίσκονται υπό κλίση. Ο υπολογισμός αυτός είναι απαραίτητος ώστε να καθοριστεί η βέλτιστη κλίση που θα επιλεγεί για τα ηλιακά συστήματα για να υπάρχει η μεγαλύτερη δυνατή εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Η ενότητα αυτή χωρίζεται σε τρία τμήματα στον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας, στον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια της γης και στον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας στο κατακόρυφο επίπεδο στην επιφάνεια της γης. Με αντίστοιχη διαδικασία από αυτή που θα παρουσιαστεί μπορούν να υπολογιστούν και η μέση ημερήσια ακτινοβολία και η ακτινοβολία στην διάρκεια μιας συγκεκριμένης ώρας της ημέρας, η αναφορά τους είναι πλεονασμός.

2.2.1.3.1 Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία εκτός της ατμόσφαιρας

Η ηλιακή ακτινοβολία, για μια οποιαδήποτε χρονική στιγμή, εκτός της ατμόσφαιρας, προσδιορίζεται από την εξίσωση 2.1 που ακολουθεί:

$$G_{ON} = G_{SC} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \cdot (\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin\varphi \cdot \sin\delta) \quad \text{Εξ. 2.1}$$

Όπου:

- G_{ON} : Ηλιακή ακτινοβολία εκτός της ατμόσφαιρας, σε W/m^2 .
- G_{SC} : Η ηλιακή σταθερά, ίση με $1353W/m^2$.
- φ : Γεωγραφικό πλάτος.
- ω : Ωριαία γωνία του ήλιου, η γωνία που σχηματίζει ο ήλιος κινούμενος στην ημερήσια τροχιά του. Η γωνία ω μεταβάλλεται κατά 15° ανά μία ώρα και προς 12:00 το μεσημέρι (δηλαδή ηλιακό μεσημέρι) είναι 0° .
- δ : Γωνία ηλιακής απόκλισης, η γωνιακή θέση του ήλιου (συμβατικά κατά την ηλιακή μεσημβρία) σε σχέση με το ισημερινό επίπεδο.
- n : Αύξων αριθμός της ημέρας του χρόνου που αντιστοιχεί στην μέση μηνιαία μέρα.

Ο πίνακας 9 που ακολουθεί καταγράφει την μέση μηνιαία μέρα, την αντιστοιχία της στην ετήσια ημέρα και την γωνιακή απόκλιση.

Πίνακας 9: Μέση μηνιαία ημέρα και γωνιακή απόκλιση ανά μήνα^[21]

Μήνας	Μέση ημέρα μήνα	Αντιστοιχία στην ετήσια ημέρα n	Γωνία ηλιακής απόκλισης δ [°]
Ιανουάριος	17	17	-20.9
Φεβρουάριος	16	47	-13.0
Μάρτιος	16	75	-2.4
Απρίλιος	15	105	9.4
Μάιος	15	135	18.8
Ιούνιος	11	162	23.1
Ιούλιος	17	198	21.2
Αύγουστος	16	228	13.5
Σεπτέμβριος	15	258	2.2
Οκτώβριος	15	288	-9.6
Νοέμβριος	14	318	-18.9
Δεκέμβριος	10	344	-23.0

Ακολούθως δύναται να υπολογιστεί η μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία \bar{H}_0 που υπάρχει εκτός της γήινης ατμόσφαιρας. Για αυτό χρησιμοποιείται η εξίσωση 2.2 που

καταγράφεται αμέσως παρακάτω. Για κάθε μήνα χρησιμοποιείται η μέση ετήσια ημέρα που αντιστοιχεί στον μήνα και η γωνιακή απόκλιση όπως αυτές προκύπτουν από τον πίνακα 5.

$$\bar{H}_0 = \left(\frac{24.3600}{\pi} \right) \cdot G_{SC} \cdot \left[1 + 0,033 \cdot \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right] \cdot \left(\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_s + \frac{2 \cdot \pi \cdot \omega_s \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta}{360} \right) \quad \text{Εξ. 2.2}$$

Όπου:

- \bar{H}_0 : Η μέση μηνιαία ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία, σε J/m².
- ω_s : Ωριαία γωνία δύσης, η ωριαία γωνία ω όταν το ύψος του ήλιου είναι $\alpha=0$ ή όταν η ζενίθια γωνία είναι $\theta_z=90^\circ$. Υπολογίζεται από την εξίσωση 2.3.

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \varphi \cdot \tan \delta) \quad \text{Εξ. 2.3}$$

2.2.1.3.2 Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης σε οριζόντιο επίπεδο

Ο προσδιορισμός της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός της γήινης ατμόσφαιρας είναι αρκετά εύκολος όπως φάνηκε και στην προηγούμενη ενότητα. Αντίθετα, στον προσδιορισμό της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης τα δεδομένα περιπλέκονται και αυτό οφείλεται στην ύπαρξη των τριών τύπων της ακτινοβολίας που έχουν καταγραφεί στην αρχή της ενότητας που αφορά την ηλιακή ενέργεια. Από τους τρεις τύπους της ακτινοβολίας θα ληφθούν υπόψη μόνο οι δύο, η άμεση και η διάχυτη ακτινοβολία καθώς η ανακλώμενη έχει πολύ μικρό ποσοστό εξαιτίας του οριζοντίου επιπέδου. Έτσι η ολική ακτινοβολία προσδιορίζεται από την εξίσωση 2.4.

$$\bar{H} = \bar{H}_b + \bar{H}_d \quad \text{Εξ. 2.4}$$

Όπου:

- \bar{H} : Μέση μηνιαία ημερήσια ολική ακτινοβολία, σε J/m².
- \bar{H}_b : Μέση μηνιαία ημερήσια άμεση ηλιακή ακτινοβολία, σε J/m².
- \bar{H}_d : Μέση μηνιαία ημερήσια διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, σε J/m².

Η μέση μηνιαία ολική ακτινοβολία δύναται να υπολογιστεί διαμέσου του δείκτη αιθριότητας. Η εξίσωση 2.5 καταγράφει την σχέση μεταξύ δείκτη αιθριότητας και μέσης μηνιαίας ολικής ακτινοβολίας.

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \Rightarrow \bar{H} = \bar{K}_T \bar{H}_0 \quad \text{Εξ. 2.5}$$

Όπου:

- \bar{K}_T : Μέσος δείκτης αιθριότητας, αδιάστατος αριθμός. Υπολογίζεται από την εξίσωση 2.6 που ακολουθεί.

$$K_T = a + b \cdot \frac{n_{\eta\lambda}}{N} \quad \text{Εξ. 2.6}$$

Όπου:

- $n_{\eta\lambda}$: Ώρες ηλιοφάνειας περιοχής ανά μήνα.
- N (ημέρες του μήνα) $\cdot \frac{2\omega_s}{15}$: Μέγιστη ηλιοφάνεια.
- a, b σταθερές, ισούνται για την Ελλάδα με $a=0.1992, b=0.5165$.

Ακολούθως προσδιορίζεται η μέση μηνιαία διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία. Αφού έχει προσδιοριστεί η μέση μηνιαία ολική ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο φαίνεται πλεονάζουσα επιλογή ο υπολογισμός της διάχυτης συνιστώσας της. Όμως είναι απολύτως απαραίτητος γιατί θα χρειαστεί ως βάση για τον υπολογισμό των συνιστωσών της ηλιακής ακτινοβολίας και μετά τον προσδιορισμό της ολικής ακτινοβολίας σε κεκλιμένα επίπεδα. Ο υπολογισμός της διαχωρίζεται σε δύο κατηγορίες, αναλόγως της τιμής της ωριαίας γωνίας δύσης ω_s . Αυτή η κατηγοριοποίηση και οι εξισώσεις 2.8 και 2.9 που αντιστοιχούν σε κάθε κατηγορία και χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της μέσης μηνιαίας διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας ισχύουν για ένα συγκεκριμένο εύρος του δείκτη αιθριότητας το οποίο προσδιορίζεται στην εξίσωση 2.7.

$$(0,3 \leq \bar{K}_T \leq 0,8) \quad \text{Εξ. 2.7}$$

Εάν η ωριαία γωνία δύσης παίρνει τιμή μικρότερη ή ίση με 1,4208 τότε η εξίσωση 2.8 προσδιορίζει την μέση μηνιαία διάχυτη ακτινοβολία. Αντίθετα, εάν η τιμή της είναι μεγαλύτερη από 1,4208 τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση 2.9.

$$\omega_s \leq 1,4208 \Rightarrow \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1,391 - 3,560 \cdot \bar{K}_T + 4,189 \cdot \bar{K}_T^2 - 2,137 \cdot \bar{K}_T^3 \quad \text{Εξ. 2.8}$$

$$\omega_s > 1,4208 \Rightarrow \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1,311 - 3,022 \cdot \bar{K}_T + 3,427 \cdot \bar{K}_T^2 - 1,821 \cdot \bar{K}_T^3 \quad \text{Εξ. 2.9}$$

2.2.1.3.3 Μέση μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης σε κεκλιμένο επίπεδο

Ο πλέον δύσκολος και περίπλοκος υπολογισμός είναι ο υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο. Είναι ο υπολογισμός που θα χρησιμοποιηθεί και στην

παρούσα εργασία. Αυτός ο υπολογισμός περιλαμβάνει τον υπολογισμό της μέσης μηνιαίας ολικής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο ο οποίος διασπάτε σε τρεις επιμέρους υπολογισμούς, τους υπολογισμούς της μέσης μηνιαίας άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, της μέσης μηνιαίας διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας και της μέσης μηνιαίας ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας στο ίδιο κεκλιμένο επίπεδο. Με τον υπολογισμό αυτών των συνιστωσών θα καταστεί δυνατός ο υπολογισμός, μέσω της εξίσωσης 2.10 της μέσης μηνιαίας ολικής ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο.

$$\bar{H}_T = \bar{H}_{Tb} + \bar{H}_{Td} + \bar{H}_{Tr} \quad \text{Εξ. 2.10}$$

Όπου:

- \bar{H}_T : Μέση μηνιαία ημερήσια ολική ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο, σε J/m^2 .
- \bar{H}_{Tb} : Μέση μηνιαία ημερήσια άμεση ηλιακή ακτινοβολία, σε J/m^2 .
- \bar{H}_{Td} : Μέση μηνιαία ημερήσια διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, σε J/m^2 .
- \bar{H}_{Tr} : Μέση μηνιαία ημερήσια ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία, σε J/m^2 .

Αρχικά υπολογίζεται με την χρήση της εξίσωσης 2.11 η μέση μηνιαία άμεση ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο. Ο υπολογισμός της γίνεται βάσει της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο (δηλαδή της διαφοράς της ολικής από την ανακλώμενη ακτινοβολία) με την προσθήκη ενός συντελεστή.

$$\bar{H}_{Tb} = \bar{R}_b \cdot \bar{H}_b = \bar{R}_b \cdot (\bar{H} - \bar{H}_d) \quad \text{Εξ. 2.11}$$

Όπου:

- \bar{R}_b : Λόγος μέσης μηνιαίας ημερήσιας άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας.

Μόνος άγνωστος στην εξίσωση 2.11 είναι ο λόγος \bar{R}_b . Ο προσδιορισμός της γίνεται με βάση τις εξισώσεις 2.12 και 2.15, αναλόγως της τιμής της αζιμουθιακής γωνίας του συλλέκτη.

$$\bar{R}_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad \text{για } \gamma \neq 0 \quad \text{Εξ. 2.12}$$

Όπου:

- γ : Αζιμουθιακή γωνία του συλλέκτη που βρίσκεται σε κεκλιμένο επίπεδο.

- θ_z : Ζενίθια γωνία, η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ προς ευθείας που συνδέει το επίπεδο το συλλέκτη ή τον παρατηρητή με τον ήλιο και την κατακόρυφο στον τόπο που βρίσκεται ο ηλιακός συλλέκτης (διεύθυνση Zenith).
- θ : Γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της καθέτου στο επίπεδο του τόπου ή του συλλέκτη και της ευθείας που συνδέει αυτό το επίπεδο με τον ήλιο.

Από την εξίσωση 2.12, και για να είναι δυνατός ο προσδιορισμός του λόγου μέσης μηνιαίας ημερήσιας άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας πρέπει να υπολογιστούν η ζενίθια γωνία και η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτό είναι δυνατό με την χρήση των εξισώσεων 2.13 και 2.14.

$$\begin{aligned} \cos\theta &= \sin\delta \cdot \sin\varphi \cdot \cos\beta - \sin\delta \cdot \cos\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \\ &\quad + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \sin\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \cdot \cos\omega \\ &\quad + \cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma \cdot \sin\omega \end{aligned} \quad \text{Εξ. 2.13}$$

$$\cos\theta_z = \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega + \sin\delta \cdot \sin\varphi \quad \text{Εξ. 2.14}$$

Όπου:

- β : Κλίση κεκλιμένου επιπέδου σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο.

Παραπάνω υπολογίστηκε ο λόγος μέσης μηνιαίας ημερήσιας άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας για μη μηδενικό αζιμούθιο. Σε περίπτωση που το αζιμούθιο είναι μηδενικό τότε η εξίσωση 2.15 υπολογίζει αυτό τον λόγο.

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega'_s + (\pi + 180) \cdot \omega'_s \sin(\varphi - \beta) \sin\delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_s + (\pi + 180) \cdot \omega_s \sin\varphi \cdot \sin\delta}, \gamma = 0 \quad \text{Εξ. 2.15}$$

Όπου:

- ω'_s : Η ωριαία γωνία δύσης ή ανατολής σε κεκλιμένο επίπεδο. Στην ουσία είναι η ωριαία γωνία ω κατά την οποία ο ήλιος δύει ή ανατέλλει στο επίπεδο αυτό, όταν το θεωρήσουμε ως εκτεινόμενο απέραντα. Η εξίσωση 2.16 προσδιορίζει αυτή την γωνία. Σε αυτή την εξίσωση προκύπτουν δύο τιμές από τις οποίες επιλέγεται η μικρότερη.

$$\omega'_s = \min\{\omega_s, \cos^{-1}[-\tan(\varphi - \beta) \cdot \tan\delta]\} \quad \text{Εξ. 2.16}$$

Σειρά έχει ο προσδιορισμός της διάχυτης συνιστώσας της ηλιακής ακτινοβολίας. Ο υπολογισμός της είναι πολύ ευκολότερος, εν συγκρίσει με τον υπολογισμό της άμεσης συνιστώσας της ηλιακής ακτινοβολίας και γίνεται με την χρήση της εξίσωσης 2.17.

$$\bar{H}_{Td} = \bar{R}_d \cdot \bar{H}_d \quad \text{Εξ. 2.17}$$

Όπου:

- \bar{R}_d : Λόγος μέσης μηνιαίας ημερήσιας διάχυτης ηλιακής ακτινοβολίας.

Για να υπολογιστεί η διάχυτη ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο απαιτείται ο υπολογισμός της διάχυτης ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο όπως προσδιορίστηκε στην ενότητα 2.2.1.3.2. Το μόνο που απουσιάζει ώστε να κλείσει το πρόβλημα είναι ο προσδιορισμός του λόγου \bar{R}_d ο οποίος γίνεται με την χρήση της εξίσωσης 2.18.

$$\bar{R}_d = \frac{1 + \cos\beta}{2} \quad \text{Εξ. 2.18}$$

Τέλος μένει ο υπολογισμός της τρίτης συνιστώσας της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κεκλιμένο επίπεδο, της ανακλώμενης ακτινοβολίας. Ο υπολογισμός της είναι ο ευκολότερος εν συγκρίσει με τις άλλες μεθόδους και γίνεται με χρήση της εξίσωσης 2.19.

$$\bar{H}_{Tr} = \frac{\rho \cdot (1 - \cos\beta) \cdot \bar{H}}{2} \quad \text{Εξ. 2.19}$$

Όπου:

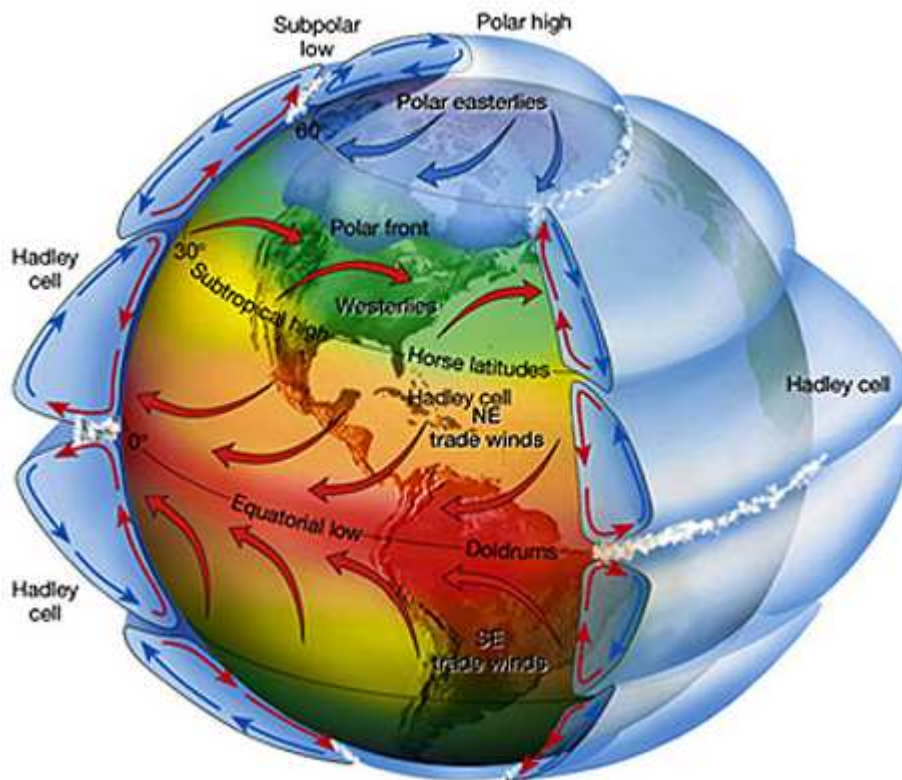
- ρ : ο συντελεστής ανάκλασης εδάφους ανά μήνα.

Με αυτό τον τρόπο έχει ολοκληρωθεί ο υπολογισμός των συνιστωσών της ηλιακής ακτινοβολίας άρα είναι δυνατή η άμεση εύρεση της μέσης μηνιαίας ολικής ακτινοβολίας.^{[1], [2], [6], [7], [14], [15], [19], [20], [21], [32], [33], [34], [35], [36], [38]}

2.2.2 Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια που παράγεται από την κίνηση των ανέμων. Από πού προέρχεται όμως ο άνεμος; Και καταρχήν τι είναι ο άνεμος; Ο άνεμος είναι η κίνηση των αέριων μαζών. Η κίνηση αέριων μαζών σε ολόκληρο τον πλανήτη προκαλείται από δύο αίτια, την ηλιακή ακτινοβολία και την περιστροφή του πλανήτη. Άρα, έμμεσα, η αιολική ενέργεια θεωρείται ως ακόμα μια μορφή ενέργειας που προσφέρει ο ήλιος στον πλανήτη μας.

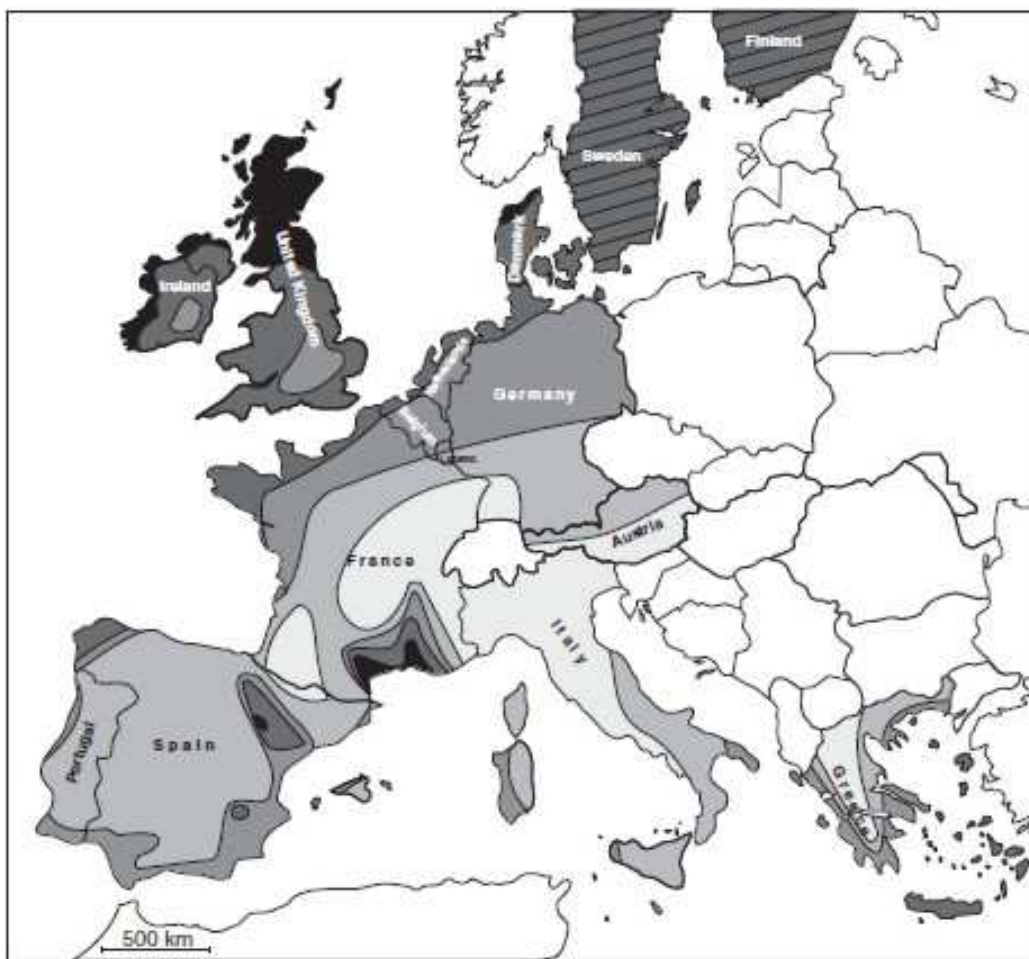
Η ηλιακή ακτινοβολία έχει την ικανότητα να αυξάνει την θερμοκρασία στις περιοχές όπου η έντασή της είναι μεγάλη, κοντά στον ισημερινό. Αυτό έχει ως συνέπεια η γη να είναι πιο ζεστή στον ισημερινό και πιο κρύα στους δύο πόλους με αποτέλεσμα ο θερμός αέρας στον ισημερινό ανεβαίνει σε υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας και κινείται προς τους πόλους ενώ ο ψυχρότερος αέρας των πόλων κινείται προς τον ισημερινό όπου υπάρχει μια ζώνη χαμηλότερης πίεσης. Η κίνηση της γης επηρεάζει και αυτή την κίνηση των αερίων μαζών μέσω του φαινομένου Coriolis. Η αδράνεια των αερίων μαζών τείνει να τις περιστρέψει τις ψυχρότερες που βρίσκονται πάνω στην επιφάνεια της γης προς τα δυτικά και τις θερμότερες που βρίσκονται σε υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας προς τα ανατολικά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η κίνηση που είδαμε παραπάνω λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας να μεταβάλλεται, στους πόλους να είναι σχεδόν παράλληλη με τον ισημερινό ενώ όσο κινούμαστε σε μικρότερο γεωγραφικό πλάτος γίνεται όλο και πιο κάθετη. Εν τέλει, η κίνηση των ανέμων στην γη παρουσιάζεται στην εικόνα 2.5.



Εικόνα 2.5: Κίνηση αερίων μαζών στην γη^[39]

Η κίνηση των αερίων μαζών είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο με πάρα πολλές μεταβλητές. Τεράστια υπολογιστικά συστήματα τρέχουν συνεχώς για να τις υπολογίσουν. Περεταίρω αναφορά σε αυτές ξεφεύγει των σκοπών της παρούσας εργασίας. Αυτό που δεν ξεφεύγει των σκοπών της παρούσας εργασίας είναι ότι η διαθέσιμη ισχύς που προκύπτει από

την κίνηση των αερίων μαζών στον πλανήτη είναι ίση με $3,6 \cdot 10^9$ MW. Επίσης εκτιμάται ότι μπορεί να εκμεταλλευτεί το 1% αυτής της ισχύος με συνέπεια την δυνατότητα ηλεκτροπαραγωγής $175 \cdot 10^{12}$ kWh ετησίως. Το νούμερο αυτό είναι τεράστιο και καλύπτει μεγάλο μέρος των παγκόσμιων αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας. Η Ελλάδα είναι μια από τις χώρες που έχουν πολύ μεγάλο αιολικό δυναμικό το οποίο μπορεί να εκμεταλλευτεί για ηλεκτροπαραγωγή. Ειδικότερα στα νησιά του Αιγαίου μεταξύ των οποίων και η Κρήτη εμφανίζεται αιολικό δυναμικό από τα μεγαλύτερα που συναντούνται σε όλη την ευρωπαϊκή ήπειρο. Στην εικόνα 2.6 τοποθετείται ο χάρτης αιολικού δυναμικού της ευρωπαϊκής ηπείρου και αποδεικνύεται αυτό που καταγράφηκε παραπάνω.



Wind resources at 50 m elevation (mean wind speed m/s, wind power density W/m ²)										
	Forest or urban areas		Flat land		Sea shore		Open sea		Mountains	
	m/s	W/m ²	m/s	W/m ²	m/s	W/m ²	m/s	W/m ²	m/s	W/m ²
darkest	> 6.0	> 250	> 7.5	> 500	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 11.5	> 1800
dark	5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	600-800	10.0-11.5	1200-1800
medium-dark	4.5-5.5	100-150	5.5-6.5	200-300	6.0-7.0	250-400	7.0-8.0	400-600	8.5-10.0	700-1200
medium-light	3.5-4.5	50-100	4.5-5.5	100-200	5.0-6.0	150-250	5.5-7.0	200-400	7.0-8.5	400-700
lightest	< 3.5	< 50	< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 7.0	< 400

Εικόνα 2.6: Αιολικό δυναμικό ευρωπαϊκής ηπείρου^[8]

Πόσο είναι όμως αριθμητικά το αιολικό δυναμικό της Ελλάδος; Οι επιστήμονες υπολογίζουν ότι ένα ποσοστό γύρω στο 2% της ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια των αερίων μαζών. Στην Ελλάδα η μέση ετήσια ένταση της ακτινοβολίας είναι περίπου 200 W/m^2 και η έκταση της χώρας είναι 131000 km^2 . Αυτό οδηγεί στον υπολογισμό ενός αιολικού δυναμικού της τάξεως των $4,5 \cdot 10^{12} \text{ kWh}$ ανά έτος. Σε μια σύγκριση με το παγκόσμιο αιολικό δυναμικό παρατηρείται ότι το αιολικό δυναμικό της ελληνικής επικράτειας πλησιάζει το 1/40 του παγκόσμιου αιολικού δυναμικού. Αυτό και μόνο αρκεί να καταδείξει το πόσο μεγάλο είναι το αιολικό δυναμικό της Ελλάδος. Δεν είναι όμως αξιοποιήσιμο ολόκληρο το αιολικό δυναμικό. Το τεχνικά αξιοποιήσιμο αιολικό δυναμικό είναι πολύ μικρότερο και εκφράζεται μέσω της παρακάτω εξίσωσης.

$$\text{Τεχνικά Αξιοποιήσιμο Αιολικό Δυναμικό} = \frac{1}{S} \int_0^t P_w(t) dt \quad \text{Εξ. 2.20}$$

Όπου:

- S : Μια νοητή επιφάνεια, στην περίπτωση μιας ανεμογεννήτριας είναι η επιφάνεια της πτερωτής.
- t : Διάρκεια εκμετάλλευσης αιολικού δυναμικού, εάν μιλούμε για μια ανεμογεννήτρια τότε είναι η διάρκεια που θα λειτουργεί.
- $P_w(t)$: Είναι η ισχύς του ανέμου. Εάν μιλούμε για συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια τότε το μέγεθος αυτό θα το βρούμε από την καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας που δίδεται από τον κατασκευαστή.

Για να υπολογιστεί το τεχνικά αξιοποιήσιμο δυναμικό πρέπει να προσδιοριστεί η ισχύς του ανέμου. Αυτός ο υπολογισμός είναι δυνατός εάν και εφόσον είναι γνωστή η ταχύτητα του ανέμου γιατί τα διαγράμματα ισχύος των ανεμογεννητριών μεταβάλλονται αναλόγως της ταχύτητας του ανέμου. Με γνώση της ταχύτητας υπολογίζεται μια μέση τιμή της ταχύτητας και η μεταβλητότητά της και βάσει αυτών υπολογίζεται η διαθέσιμη ισχύς του ανέμου. Για να είναι αξιόπιστα τα στοιχεία πρέπει να ληφθούν τιμές της ταχύτητας σε βάθος πενταετίας. Οι εξισώσεις με τις οποίες υπολογίζεται η μέση ταχύτητα και η μεταβλητότητά της είναι οι ακόλουθες.

$$\bar{V} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N V_i \quad \text{Εξ. 2.21}$$

$$\sigma_{\bar{V}}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (V_i - \bar{V})^2 \quad \text{Εξ. 2.22}$$

Όπου:

- \bar{V} : Η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου.
- V_i : Η στιγμιαία τιμή της ταχύτητας του ανέμου όπως έχει μετρηθεί.
- $\sigma_{\bar{V}}^2$: Η μεταβλητότητα της ταχύτητας του ανέμου από την μέση τιμή.
- N : Ο αριθμός των μετρήσεων

Δεν είναι όμως παντού διαθέσιμα ανεμολογικά στοιχεία έτσι ώστε να μπορεί να υπολογιστεί η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου για να προσδιοριστεί η ισχύς του. Σε αυτές τις περιπτώσεις γίνεται εκτίμηση της ταχύτητας του ανέμου με την χρήση δύο στατιστικών κατανομών, των κατανομών Weibull και Rayleigh. Χρησιμοποιούνται οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας των δύο κατανομών έτσι ώστε να προσδιοριστεί η πιθανότητα της ταχύτητας του ανέμου να βρίσκεται μεταξύ δύο οριακών τιμών $V \pm dV/2$. Ταυτόχρονα χρησιμοποιούνται οι αθροιστικές συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας για να προσδιοριστεί η πιθανότητα της ταχύτητας του ανέμου να έχει τιμή μικρότερη από μια ταχύτητα V_s . Η ταχύτητα V_s είναι μια οριακή τιμή της ταχύτητας η οποία έχει πάρει συγκεκριμένη τιμή για κάποιο λόγο όπως για παράδειγμα την τιμή της ταχύτητας ενός γειτονικού μετεωρολογικού σταθμού. Παρακάτω ακολουθούν οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας των δύο κατανομών και η αθροιστική συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Weibull.

Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας Weibull

$$p(V) = \left[\frac{C}{A} \right] \cdot \left[\frac{V}{A} \right]^{C-1} \cdot \exp \left[- \left(\frac{V}{A} \right)^C \right] \quad \text{Εξ. 2.23}$$

Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας Rayleigh

$$p(V) = \left[\frac{\pi \cdot V}{2 \cdot \bar{V}^2} \right] \cdot \exp \left[- \left(\frac{\pi \cdot V^2}{4 \cdot \bar{V}^2} \right) \right] \quad \text{Εξ. 2.24}$$

Αθροιστική συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας Weibull

Εξ. 2.25

$$P(V \leq V_S) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{V_S}{A}\right)^C\right]$$

Όπου:

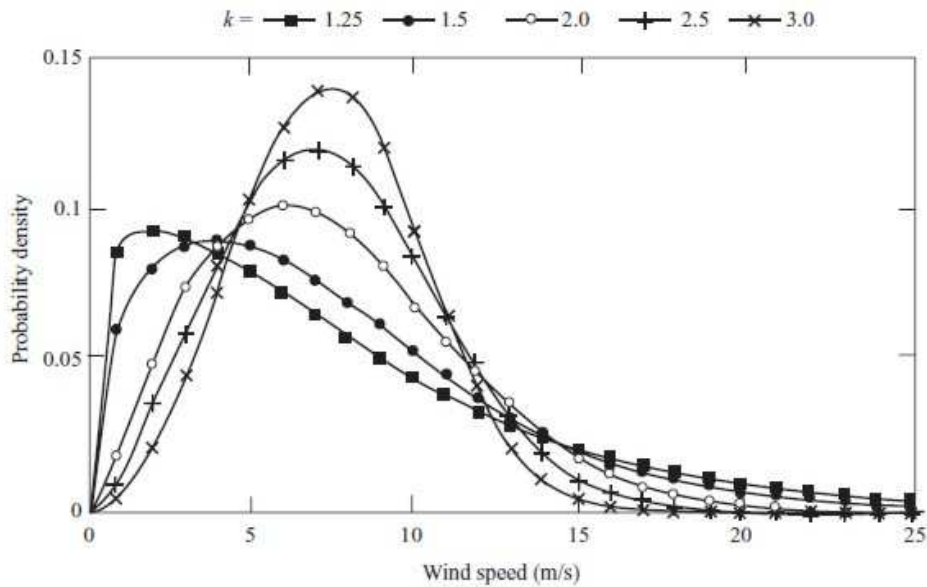
- $p(V)$: Η πιθανότητα έτσι ώστε η ταχύτητα του ανέμου να είναι $V - dV/2 \leq V \leq V + dV/2$
- C : Παράμετρος μορφής της συνάρτησης (form factor).
- A : Σταθερά σχήματος της συνάρτησης (shape factor).
- \bar{V} : Η μέση ταχύτητα του ανέμου.

Με μια προσεκτικότερη παρατήρηση στις συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας παρατηρείται ότι η κατανομή Rayleigh προέρχεται από την κατανομή Weibull εάν η παράμετρος μορφής C έχει σταθερή τιμή, ίση με 2. Αυτός είναι ο λόγος που παραλείπεται και η αναφορά της αθροιστικής συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Weibull. Δεδομένων των εξισώσεων των δύο κατανομών είναι δυνατός ο προσδιορισμός της μέσης ταχύτητας και της μεταβλητότητας του ανέμου ο οποίος και δίδεται από τις εξισώσεις που ακολουθούν. Παρακάτω καταγράφονται οι εξισώσεις για την κατανομή Weibull αφού αποτελεί την γενική περίπτωση.

$$\bar{V} = A \cdot \Gamma \cdot \left[1 + \left(\frac{1}{C}\right)\right] \quad \text{Εξ. 2.26}$$

$$\sigma_V^2 = A^2 \cdot \left\{ \Gamma \cdot \left[1 + \left(\frac{2}{C}\right)\right] - \Gamma^2 \cdot \left[1 + \frac{1}{C}\right] \right\} \quad \text{Εξ. 2.27}$$

Το A είναι μια μεταβλητή της οποίας η τιμή εξαρτάται από το ύψος στο οποίο θα τοποθετηθεί η ανεμογεννήτρια. Μόνος άγνωστος στις παραπάνω εξισώσεις είναι η τιμή που παίρνει η κατανομή Γ η οποία προσδιορίζεται από πίνακες που υπάρχουν σε βιβλία της στατιστικής συναρτήσει μιας παραμέτρου n . Εκτενέστερη αναφορά ξεφεύγει των σκοπών της παρούσας εργασίας. Μια κατανομή Weibull και οι μεταβολές της αναλόγως της σταθεράς C καταγράφεται στο διάγραμμα του σχήματος 2.8. Η καμπύλη που αντιστοιχεί σε τιμή του C (στο διάγραμμα φαίνεται ως k) ίση με 2 αντιστοιχεί στην κατανομή Rayleigh.

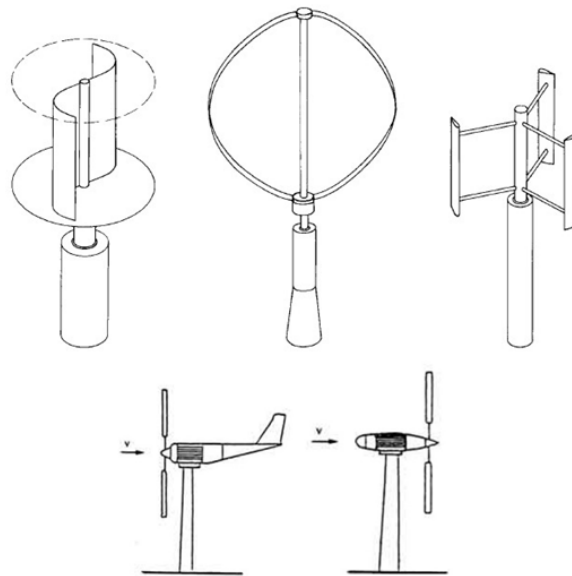


Σχήμα 2.8: Κατανομή Weibull για διάφορες τιμές της παραμέτρου $C^{[9]}$

Η ταχύτητα του ανέμου που θα υπολογιστεί παραπάνω και η κινητική ενέργεια που αυτή συνεπάγεται με κάποιο τρόπο πρέπει να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια. Για την μετατροπή αυτή χρησιμοποιούνται ανεμογεννήτριες. Οι ανεμογεννήτριες είναι στρεφόμενες μηχανές. Η περιστροφή τους οφείλεται στην ταχύτητα του ανέμου και την περιστροφή ενός συστήματος πτερυγίων που περιλαμβάνουν. Κατά την περιστροφή τους τα πτερύγια περιστρέφουν ένα ρότορα στον οποίο είναι στερεά συνδεδεμένα. Ο ρότορας αυτός αποτελεί τμήμα μιας γεννήτριας και η περιστροφή του συνεπάγεται παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή είναι σε γενικές γραμμές η αρχή λειτουργίας των ανεμογεννητριών.

Οι ανεμογεννήτριες χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα και στις ανεμογεννήτριες οριζώντιου άξονα. Στην πρώτη περίπτωση ο άξονας περιστροφής τους είναι κατακόρυφος, κάθετος στη κίνηση του ανέμου. Λόγω της κατασκευής τους δεν απαιτούν προσανατολισμό και φέρουν όλα τα μηχανολογικά τους εξαρτήματα στο έδαφος. Το πρόβλημα όμως είναι ότι παρουσιάζουν πολύ μικρό συντελεστή ισχύος και κακή έως τώρα αεροδυναμική σχεδίαση που αυξάνει τις απώλειες. Εκτός αυτών, ένα τμήμα τους βρίσκεται πολύ κοντά στην γη με αποτέλεσμα να δέχεται μικρότερες ταχύτητες ανέμου. Για αυτούς τους λόγους ακόμη κατέχουν ένα πολύ μικρό μέρος της αγοράς των ανεμογεννητριών στις οποίες υπερέχουν οι ανεμογεννήτριες οριζώντιου άξονα. Σε αυτή την κατηγορία ο άξονας περιστροφής είναι παράλληλος με την κίνηση του ανέμου. Ο λόγος της επικράτησής τους είναι μια σειρά πλεονεκτημάτων τα οποία έχουν. Πρώτο εξ αυτών είναι η δυνατότητα ρύθμισης της ταχύτητας περιστροφής με την ρύθμιση της κλίσης των πτερυγίων με αποτέλεσμα την ρύθμιση και της παραγόμενης ισχύος. Το δεύτερο είναι η

πολύ καλή γνώση της αεροδυναμικής συμπεριφοράς τους η οποία προέρχεται από την αεροπορική βιομηχανία με αποτέλεσμα την μεγαλύτερη απόδοσή τους. Το τρίτο και ίσως σημαντικότερο πλεονέκτημα είναι ότι αυτές οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται εδώ και μια πενήκονταετία με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν μια πολύ ωριμότερη τεχνολογία. Για αυτό τον λόγο προτιμούνται είτε σε μεγάλες εφαρμογές (αιολικά πάρκα) είτε σε μικρές εφαρμογές (υβριδικά συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μικρού μεγέθους). Στο σχήμα 2.9 που ακολουθεί παρουσιάζονται ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα επάνω και οριζόντιου άξονα κάτω.^{[1], [8], [9], [39]}

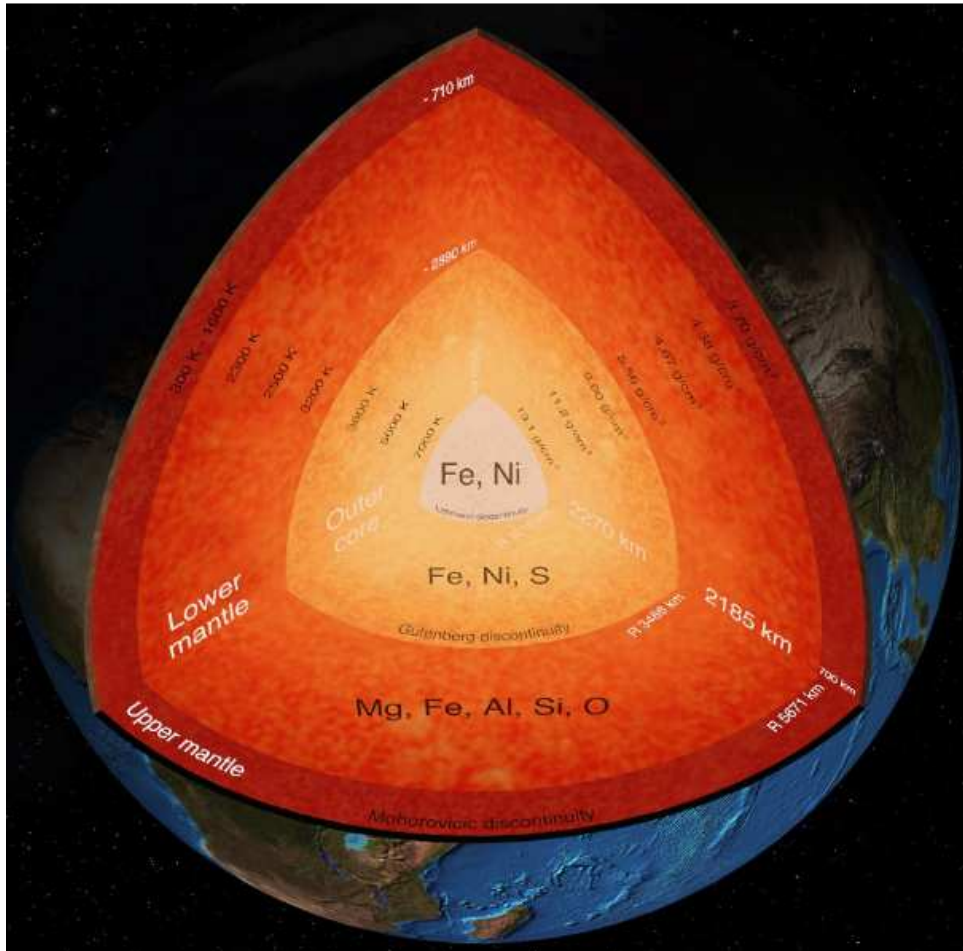


Σχήμα 2.9: Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα (επάνω) και οριζόντιου άξονα (κάτω)^[8]

2.2.3 Αβαθής γεωθερμία

Μια ακόμη μορφή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που δύναται να χρησιμοποιηθεί σε ένα υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η γεωθερμική ενέργεια, αλλιώς η αβαθής γεωθερμία. Η γεωθερμική ενέργεια έχει ως πηγή της το εσωτερικό της γης. Όπως είναι γνωστό στο εσωτερικό της γης η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλότερη από την θερμοκρασία που επικρατεί στην επιφάνεια της γης. Ο λόγος για τον οποίο υπάρχει αυτή η διαφορά θερμοκρασίας δεν έχει βρεθεί από τους επιστήμονες. Η επικρατούσα επιστημονική άποψη είναι η αύξηση της θερμοκρασίας εξαιτίας της διάσπασης των ραδιενεργών ισοτόπων ουρανίου και διάφορων άλλων στοιχείων που υπάρχουν στον πυρήνα της γης. Αυτά τα ισότοπα σύμφωνα με τους επιστήμονες βρίσκονται σε μεγαλύτερη ποσότητα στον μανδύα της γης παρά στον πυρήνα. Αυτό συνεπάγεται ότι όσο πιο βαθιά κινούμαστε στην γη μειώνεται η αύξηση της θερμοκρασίας ανά χιλιόμετρο. Εν τέλει θεωρείται ότι στον πυρήνα

της γης επικρατούν θερμοκρασίες της τάξεως των 7000 K και στον μανδύα της γης (μετά την ζώνη ασυνέχειας του Mohorovicic) επικρατούν θερμοκρασίες της τάξεως των 1000 K. Στην εικόνα 2.7 καταγράφονται οι ζώνες του εσωτερικού της γης, οι θερμοκρασίες, οι χιλιομετρικές αποστάσεις, οι πιέσεις και τα στοιχεία που συναντούνται σε κάθε ζώνη.



Εικόνα 2.7: Πίεση, θερμοκρασία, αποστάσεις και χημικά στοιχεία του εσωτερικού της γης [54]

Τα θερμά ρευστά του εσωτερικού της γης, μέσω κάποιων ρηγμάτων του εδάφους ή ηφαιστειών φτάνουν στην επιφάνεια της γης. Τα θερμά ρευστά μπορεί να είναι είτε ζεστό νερό ή ατμός είτε λάβα. Η λάβα δεν μπορεί να εκμεταλλευτεί άρα την αφήνουμε στην άκρη. Το ζεστό νερό όμως ή ο ατμός βρίσκουν πολλές εφαρμογές έτσι εάν είναι δυνατό να τα πάρουμε έτοιμα τότε δεν χρειάζεται να σπαταλήσουμε καύσιμο για να αυξήσουμε την θερμοκρασία τους. Αυτή είναι η πρώτη αιτία ύπαρξης της γεωθερμικής ενέργειας αλλά όχι και η μοναδική.

Υπάρχει και μια δεύτερη αιτία ύπαρξης της γεωθερμικής ενέργειας πέραν των θερμών ρευστών που εξέρχονται από το εσωτερικό της γης. Αυτή η αιτία είναι η θερμική

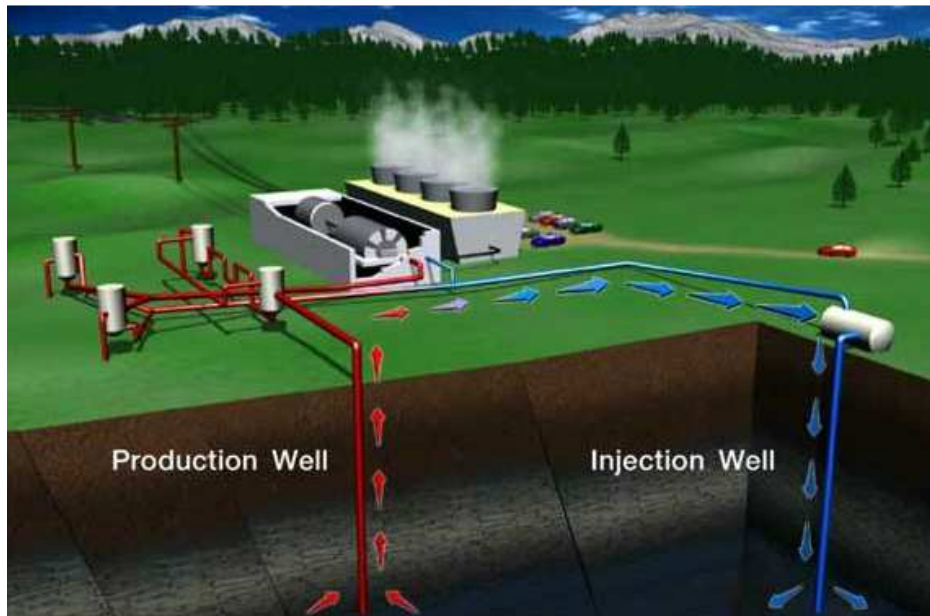
ενέργεια που αποθηκεύεται στα πετρώματα και στο έδαφος της επιφάνειας της γης. Στα πετρώματα που βρίσκονται σε μικρό βάθος συχνά υπάρχει αυξημένη θερμοκρασία εξαιτίας της γειννίας τους τμήματα του εσωτερικού της γης υψηλής θερμοκρασίας. Εάν τα πετρώματα αυτά είναι πορώδη και τα διαπερνάει νερό τότε αυτό το νερό θα θερμανθεί από την υψηλή θερμοκρασία των πετρωμάτων. Το ίδιο συμβαίνει και με το έδαφος όπου σε πολύ μικρό βάθος (της τάξεως των 5 μέτρων) έχει σταθερή θερμοκρασία εν συγκρίσει με την επιφάνεια της γης. Αυτή η θερμοκρασία, ειδικά την καλοκαιρινή περίοδο είναι πολύ χαμηλότερη από την θερμοκρασία της επιφάνειας και αυτό το σκέλος της γεωθερμίας ενδείκνυται για κλιματισμό.

Τα γεωθερμικά πεδία δεν έχουν όλα την ίδια θερμοκρασία του νερού – ατμού. Σε κάποια επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες και σε κάποια άλλα υψηλότερες. Συνήθως οι υψηλότερες θερμοκρασίες συναντούνται στα γεωθερμικά πεδία που προέρχονται από θερμά ρευστά του εσωτερικού της γης ενώ οι χαμηλές θερμοκρασίες προέρχονται από ρευστά που κινούνται σε θερμά πορώδη πετρώματα. Αναλόγως της θερμοκρασίας καθορίζονται οι εφαρμογές για τις οποίες μπορεί να αξιοποιηθεί ένα γεωθερμικό πεδίο. Για αυτό τον λόγο η διάκριση τους σε κατηγορίες βάσει της θερμοκρασίας του ρευστού είναι καθοριστική.

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες γεωθερμικών πεδίων, είναι τα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας, τα γεωθερμικά πεδία μέσης ενθαλπίας και τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας. Τα γεωθερμικά πεδία υψηλής ενθαλπίας φέρουν ρευστό θερμοκρασίας μεγαλύτερης των 150 °C. Τα γεωθερμικά πεδία μέσης ενθαλπίας φέρουν ρευστό θερμοκρασίας που κυμαίνεται μεταξύ 100 °C και 150 °C. Τέλος, τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας φέρουν ρευστά θερμοκρασίας μικρότερης των 100 °C. Με δεδομένο το ότι το κύριο ρευστό είναι το νερό μπορεί να γίνει ο διαχωρισμός ότι στα γεωθερμικά πεδία υψηλής και μέσης ενθαλπίας το θερμό ρευστό είναι ατμός ενώ στα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας το θερμό ρευστό είναι ζεστό νερό. Τα υβριδικά συστήματα μικρού μεγέθους σχεδιάζονται έτσι ώστε να εκμεταλλεύονται τα γεωθερμικά πεδία χαμηλής ενθαλπίας.

Η εκμετάλλευση των γεωθερμικών πεδίων γίνεται κυρίως με μια μέθοδο. Αυτή είναι η είσοδος σωλήνων στο έδαφος. Στις σωλήνες αυτές ρέει ένα μέσο μεταφοράς της θερμότητας. Κατά την ροή του στο έδαφος στο ανάλογο βάθος αποκτάει αυξημένη θερμοκρασία την οποία και μεταφέρει στην επιφάνεια. Αναλόγως του ύψους της θερμοκρασίας που επιθυμείται επιλέγεται και το βάθος στο οποίο πρέπει να φτάνουν οι

σωλήνες. Το σχήμα 2.10 παρουσιάζει μια απλή εφαρμογή εκμετάλλευσης της γεωθερμικής ενέργειας. Βέβαια πρέπει να αναφερθεί και η εκμετάλλευση της γεωθερμικής ενέργειας μέσω ζεστού νερού που εξέρχεται μόνο του στην επιφάνεια από το εσωτερικό της γης, χωρίς καμιά περαιτέρω διαδικασία, και το οποίο εκμεταλλεύεται αυτούσιο. [1], [54], [55], [56]



Σχήμα 2.10: Εκμετάλλευση γεωθερμικής ενέργειας για ηλεκτροπαραγωγή [56]

2.2.4 Η/Ζ ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος

Το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος ή ευρέως γνωστότερο ως γεννήτρια είναι η συμβατική πηγή ενέργειας του υβριδικού συστήματος. Έχει ως στόχο την εφεδρική κάλυψη των απαιτήσεων του συστήματος σε στιγμές που οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν είναι σε θέση να παράξουν την απαιτούμενη ενέργεια. Ταυτόχρονα μπορεί να καλύψει φορτία αιχμής υψηλότερα από εκείνα που δύναται να καλύψουν τα συστήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη λειτουργούν με συμβατικά καύσιμα δηλαδή βενζίνη και πετρέλαιο. Η επιλογή του καυσίμου εξαρτάται από τον σχεδιασμό του υβριδικού συστήματος και ως συνέπεια αυτού την αποστολή του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους. Τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη βενζίνης είναι φθηνότερα όμως παρουσιάζουν αυξημένο κόστος λειτουργίας λόγω της υψηλότερης τιμής της βενζίνης και μειωμένη διάρκεια ζωής. Αντίθετα, τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη πετρελαίου, παρόλο που είναι αρκετά υψηλότερου κόστους παρουσιάζουν πολύ χαμηλότερο κόστος λειτουργίας, αυξημένη διάρκεια ζωής και αυξημένη αξιοπιστία. Από αυτά προκύπτει ότι για πολύ αραιές χρήσεις περιορισμένου χρόνου ιδανικά είναι τα

ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη βενζίνης ενώ για συχνές χρήσης μεγάλης χρονικής διάρκειας ιδανικά είναι τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη πετρελαίου. Από αυτά τα χαρακτηριστικά συμπεραίνεται ότι τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη βενζίνης χρησιμοποιούνται σε περίπτωση που το υβριδικό σύστημα είναι σχεδιασμένο ώστε οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας να καλύπτουν πλήρως τις απαιτήσεις για όλο το χρόνο και το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος λειτουργεί αποκλειστικά ως εφεδρικό. Αντίθετα, τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη πετρελαίου χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καλύπτουν μόνο ένα μέρος των απαιτήσεων της εφαρμογής, υπάρχει έλλειμμα ενέργειας το οποίο πρέπει να καλύπτεται συνεχώς από την λειτουργία του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους. Άρα ο τύπος του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους που θα χρησιμοποιηθεί θα επιλεγεί κατά την σχεδίαση και αφού υπολογιστεί το ποσοστό των απαιτήσεων που καλύπτεται από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σε κάθε περίπτωση πάντως η ισχύς του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους πρέπει να είναι τέτοια έτσι ώστε να μπορεί να καλύψει το συνολικό φορτίο της εφαρμογής σε περίπτωση που για συνεχόμενες ημέρες οι καιρικές συνθήκες δεν είναι ευνοϊκές για ηλεκτροπαραγωγή από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Συνήθως προτιμούνται τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη ανοικτού τύπου τα οποία συναντούνται ευρύτερα. Η εγκατάστασή τους γίνεται σε εσωτερικό χώρο ώστε αυτά να είναι προστατευμένα από τις καιρικές συνθήκες. Ο εσωτερικός χώρος πρέπει να έχει τέτοιες διαστάσεις ώστε να είναι δυνατός ο επαρκής αερισμός του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους (για να μην τίθεται εκτός λειτουργίας λόγω υπερθέρμανσης) και ταυτόχρονα να υπάρχει χώρος για να μπορεί να γίνει η συντήρησή του. Επίσης πρέπει να τοποθετείται μακριά από τους συσσωρευτές γιατί κατά την λειτουργία του αυξάνει την θερμοκρασία του χώρου, κάτι που όπως θα παρουσιαστεί και στην επόμενη ενότητα μειώνει τον χρόνο ζωής των συσσωρευτών. Για λόγους μείωσης του θορύβου καλό είναι να ηχομονώνεται ο χώρος. Εάν δεν είναι δυνατή η ηχομόνωση του χώρου και το πρόβλημα θορύβου είναι μεγάλο τότε καλό είναι να επιλέγεται ηλεκτροπαραγωγό στοιχείο κλειστού τύπου το οποίο τοποθετείται σε εξωτερικό χώρο. Σε κάθε περίπτωση πάντως το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος πρέπει να τοποθετείται σε βάσεις από μπετόν. Σε περίπτωση ηλεκτροπαραγωγών ζευγών μεγάλης ισχύος πιθανόν να απαιτείται και η ύπαρξη ελαστικών στοιχείων ανάμεσα στα μεταλλικά στοιχεία του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους και της βάσης από μπετόν έτσι ώστε να απορροφούνται οι κραδασμοί.^{[1], [31]}

2.2.5 Συσσωρευτές

Οι συσσωρευτές είναι το κύριο στοιχείο που χρησιμοποιείται για αποθήκευση ενέργειας σε όλα τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Συναντούνται σε όλα τα απομονωμένα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τα οποία δεν είναι συνδεδεμένα με το δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού και έχουν ως σκοπό την αποθήκευση ενέργειας όταν η παραγωγή τους είναι μεγαλύτερη από τις απαιτήσεις ενέργειας. Όταν μειωθεί η ενέργεια παραγωγής και είναι χαμηλότερη από τις απαιτήσεις ενέργειας της εφαρμογής στην οποία εγκαθίστανται τότε αποδεσμεύουν ενέργεια που έχουν αποθηκεύσει για να καλύψουν το έλλειμμα. Η χωρητικότητα των συσσωρευτών σε αυτά τα συστήματα είναι ζωτικής σημασίας καθώς καθορίζει και την αυτονομία του συστήματος, δηλαδή πόσες μέρες μπορεί να παρέχεται ισχύς σε περίπτωση που οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν παράγουν ενέργεια. Ο υπολογισμός της χωρητικότητας των συσσωρευτών γίνεται από την εξίσωση 2.28 που ακολουθεί.

$$C = \frac{E \cdot d}{DOD_{max} \cdot f} \quad \text{Εξ. 2.28}$$

Όπου:

- C: Χωρητικότητα συσσωρευτών σε Ah.
- E: Ημερήσιο φορτίο εφαρμογής, σε Ah/ημέρα.
- d: Ο αριθμός των ημερών αυτονομίας του συστήματος.
- DOD_{max} : Το μέγιστο βάθος εκφόρτισης των συσσωρευτών σε ποσοστό επί τοις εκατό του συνολικού βάθους εκφόρτισης.
- f: Ο παράγοντας θερμοκρασίας.

Συνήθως οι συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε χημική. Είναι συσσωρευτές χημικών στοιχείων, σε κατασκευή και λειτουργία είναι της ίδιας οικογενείας με τους συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται στα οχήματα και έχουμε όλοι συναντήσει. Βέβαια υπάρχουν και μικρές διαφορές με κυριότερη το μεγαλύτερο βάθος αποφόρτισης έτσι ώστε να έχουν την δυνατότητα να αποθηκεύσουν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας κάτι όμως που αυξάνει και το κόστος τους. Αποθηκεύουν και αποδεσμεύουν πάντα ηλεκτρική ενέργεια με την μορφή συνεχούς ρεύματος DC έτσι το εναλλασσόμενο ρεύμα που παράγεται από κάποια συστήματα (ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, πλειοψηφία ανεμογεννητριών)

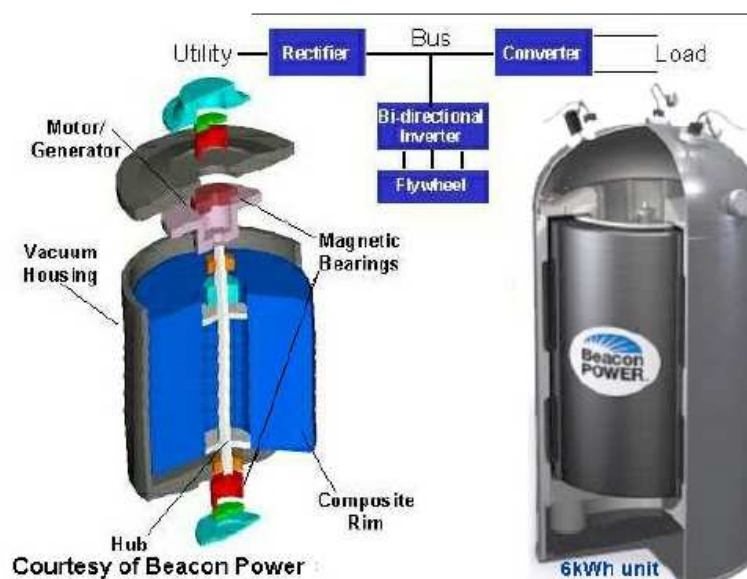
θα πρέπει πρώτα να μετατραπεί σε συνεχές ρεύμα και μετά να αποθηκευτεί. Συνήθως όμως, στα μικρά συστήματα, το εναλλασσόμενο ρεύμα από το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος χρησιμοποιείται για την κάλυψη των φορτίων όταν υπάρχει έλλειψη και όχι για φόρτιση των συσσωρευτών. Με αυτό τον τρόπο δεν απαιτείται η χρήση ενός ακόμη αντιστροφέα. Όπως είναι γνωστό από τους συσσωρευτές των οχημάτων απαιτείται περιοδική συντήρησή τους η οποία κυρίως εστιάζεται στην αλλαγή των υγρών τους. Αυτού του τύπου οι συσσωρευτές παρουσιάζουν μια διάρκεια ζωής της τάξεως των 15 ετών σε περίπτωση που εγκαθίστανται ως ενδείκνυται σε σκιερό μέρος για να έχουν χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας και η συντήρησή τους γίνεται ανελλιπώς. Η μεταβολή άλλωστε της αποθηκευτικής τους ικανότητας και η μείωση της ζωής τους με την αύξηση της θερμοκρασίας είναι το βασικό τους μειονέκτημα.

Το υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απαιτεί την ύπαρξη των συσσωρευτών για να καλύψει την ανομοιομορφία ηλεκτροπαραγωγής από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και να μειώσει το κόστος λειτουργίας του. Ειδικότερα, όταν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, εν προκειμένω τα συστήματα εκμετάλλευσης της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας έχουν την δυνατότητα να παράξουν μεγαλύτερη ενέργεια (ελέω εντονότερης ηλιακής ακτινοβολίας ή ισχυρότερων ανέμων) σε σχέση με τις απαιτήσεις της εφαρμογής τότε το πλεόνασμα αυτής της ενέργειας οδηγείται προς αποθήκευση στους συσσωρευτές. Όταν όμως οι απαιτήσεις είναι μεγαλύτερες από την παραγωγή ισχύος από τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τότε αποδεσμεύεται ενέργεια από τους συσσωρευτές με αποτέλεσμα να καλύπτει το έλλειμμα. Με αυτό τον τρόπο το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος παραμένει εκτός λειτουργίας με αποτέλεσμα την μικρότερη κατανάλωση καυσίμου και την μείωση του κόστους λειτουργίας του υβριδικού συστήματος. Στα υβριδικά συστήματα, εξαιτίας της ύπαρξης και του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους, δεν είναι ζωτικής σημασίας η χωρητικότητα των συσσωρευτών καθώς δεν καθορίζουν την αυτονομία της εφαρμογής. Αντίθετα η επιλογή της χωρητικότητας τους πρέπει να είναι τέτοια έτσι ώστε το κόστος προμήθειάς τους (το οποίο είναι σχετικά υψηλό) να υπερκαλύπτεται από το κέρδος από την μείωση κατανάλωσης συμβατικού καυσίμου κατά την διάρκεια της ζωής τους. Επίσης η επιλογή της χωρητικότητάς τους εξαρτάται και από την ισχύ του υβριδικού συστήματος και κατά πόσο αυτό μπορεί να τους φορτίσει. Δεν έχει νόημα να εγκατασταθούν συστήματα συσσωρευτών μεγάλης χωρητικότητας όταν, ακόμη και υπό τις ευνοϊκότερες καιρικές συνθήκες, δεν είναι σε θέση να φορτιστούν πλήρως από το σχεδιασθέν φωτοβολταϊκό σύστημα. Έτσι η επιλογή είναι συντηρητική δεδομένου του ότι πολύ εύκολα είναι δυνατή η

προσθήκη νέων συσσωρευτών σε περίπτωση που αποδειχθεί στην πράξη ότι είναι απαραίτητοι. Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την διάρκεια ζωής του υβριδικού συστήματος η οποία φθάνει τα 25 έτη θα πρέπει να γίνει μια φορά η αντικατάσταση των συσσωρευτών.^{[1], [5], [28]}

2.2.6 Σφόνδυλοι

Η χρήση των σφονδύλων ως μέσων αποθήκευσης ενέργειας οφείλεται σε μια βασική αρχή της μηχανικής βάσει της οποίας μάζα η οποία περιστρέφεται με γωνιακή ταχύτητα γύρω από ένα άξονα αποκτάει κινητική ενέργεια. Η ενέργεια της μάζας αυξάνεται ή μειώνεται αντίστοιχα με την αύξηση ή την μείωση της ταχύτητάς της. Έτσι οι σφόνδυλοι είναι κατά βάση στρεφόμενες μάζες. Οι μάζες αυτές είναι συνδεδεμένες με ένα ρότορα ο οποίος αποτελεί τμήμα μιας ηλεκτρικής μηχανής που δύναται να λειτουργήσει και ως κινητήρας και ως γεννήτρια. Κατά την ύπαρξη πλεονάσματος ενέργειας από τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας το πλεόνασμα μεταφέρεται στην ηλεκτρική μηχανή η οποία λειτουργεί ως κινητήρας, περιστρέφει και επιταχύνει τον ρότορα επιταχύνοντας την στρεφόμενη μάζα. Με αυτό τον τρόπο αυξάνει την κινητική της ενέργεια. Όταν όμως υπάρχει έλλειμμα ενέργειας τότε η ηλεκτρική μηχανή λειτουργεί ως γεννήτρια. Η στρεφόμενη μάζα περιστρέφει τον ρότορα ο οποίος πλέον παράγει ρεύμα και τροφοδοτεί το σύστημα. Ταυτόχρονα οι στρεφόμενες μάζες επιβραδύνονται και μειώνεται η κινητική τους ενέργεια. Το διάγραμμα ενός τέτοιου σφονδύλου φαίνεται στο σχήμα 2.11.



Σχήμα 2.11: Σφόνδυλοι αποθήκευσης ενέργειας^[30]

Η αποθηκευμένη ενέργεια στους σφονδύλους εξαρτάται άμεσα από την ταχύτητά τους. Ο περιορισμός στην αύξηση της ταχύτητας που υπάρχει περιορίζει και την ενέργεια που μπορεί να αποθηκευτεί. Συνέπεια αυτού είναι η χαμηλή δυνατότητα τροφοδότησης του συστήματος με ισχύ καθώς η αποθηκευμένη ενέργεια αρκεί για 15 με 30 λεπτά. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται μόνο για να καλύψει στιγμιαία φορτία αιχμής και όχι για να σταθμίσει τα στοχαστικά φορτία που παράγονται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σύγχρονες μελέτες στοχεύουν στον ειδικό σχεδιασμό των σφονδύλων ώστε επιτευχθούν όσο το δυνατό μεγαλύτερες ταχύτητες και να αυξηθεί η αποθηκευμένη ενέργεια. Σύγχρονοι πειραματικοί σφόνδυλοι φθάνουν σε ταχύτητες της τάξεως των 60000 στροφών ανά λεπτό. Τα μεγάλα τους πλεονεκτήματα είναι ότι η αποθηκευτική τους ισχύς είναι ανεξάρτητη από την θερμοκρασία και ότι έχουν μεγάλο κύκλιο ζωής της τάξεως των 20 ετών και μπορούν να έχουν μερικές χιλιάδες κύκλους φορτίσεων – αποφορτίσεων. Παρά ταύτα ακόμη δεν θεωρούνται η ιδανικότερη μέθοδος αποθήκευσης ηλεκτρικής ισχύος για τα μικρά υβριδικά συστήματα.^{[18], [30]}

2.2.7 Συστήματα ελέγχου

Τα συστήματα ελέγχου είναι απολύτως απαραίτητα στα υβριδικά συστήματα καθώς αυτά καθορίζουν ποιο τμήμα του υβριδικού συστήματος θα χρησιμοποιηθεί για την τροφοδότηση με ενέργεια της εφαρμογής. Αποτελούνται από δύο τεμάχια, τους ρυθμιστές φόρτισης και τους ανορθωτές.

Οι ρυθμιστές φόρτισης είναι τα εξαρτήματα, ηλεκτρονικά εξαρτήματα, τα οποία ελέγχουν την φόρτιση των συσσωρευτών. Είναι απολύτως απαραίτητοι στα υβριδικά συστήματα, αποτελούν την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του συστήματος και στην ουσία αυτοί καθορίζουν το τμήμα του συστήματος που χρησιμοποιείται για την ηλεκτροδότηση της εφαρμογής. Επακριβώς καθορίζουν πότε και πόσο θα εκφορτιστούν οι συσσωρευτές και πότε και πόσο θα φορτιστούν και θα δώσουν και ηλεκτρονικό σήμα σε περίπτωση που η ενέργεια δεν επαρκεί και είναι αναγκαία η λειτουργία του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους. Ελέγχουν εάν η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι επαρκής για να καλύψει τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Εάν υπάρχει πλεονασμός ενέργειας τότε κατευθύνουν την πλεονάζουσα ποσότητα στους συσσωρευτές. Εάν οι συσσωρευτές είναι ήδη πλήρως φορτισμένοι τότε σταματούν την φόρτισή τους για να μην υπερφορτιστούν και καταστραφούν. Εάν αντίθετα υπάρχει έλλειμμα

ενέργειας τότε τροφοδοτούν με επιπλέον ενέργεια το σύστημα που προέρχεται από την αποφόρτιση των συσσωρευτών. Εάν οι συσσωρευτές φτάσουν το μέγιστο βάθος αποφόρτισης τότε σταματάει η αποφόρτισή τους για να μην καταστραφούν. Ταυτόχρονα δίδεται εντολή για λειτουργία του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους ώστε να καλύψει το έλλειμμα ενέργειας. Βάσει των όσων έχουν αναφερθεί παραπάνω είναι κρίσιμη η λειτουργία του ρυθμιστή φόρτισης ώστε να λειτουργεί σωστά το υβριδικό σύστημα και να είναι ορθή η ηλεκτροδότηση της εφαρμογής. Ταυτόχρονα είναι κρίσιμη και η λειτουργία του για την αύξηση της διάρκειας ζωής των συσσωρευτών καθώς ελέγχει εάν είναι πλήρως φορτισμένοι και σταματάει την περαιτέρω φόρτισή τους ή εάν είναι πλήρως αποφορτισμένοι και σταματάει την περαιτέρω αποφόρτισή τους για να μην υπάρχει φθορά και μείωση του χρόνου ζωής.

Ο ανορθωτής τάσης είναι το δεύτερο εξάρτημα του συστήματος ελέγχου που πρέπει απαραίτητα να εγκατασταθεί. Τα επιμέρους συστήματα του υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χαμηλής τάσεως (συνήθως 12V ή 24V με συνηθέστερη την δεύτερη τιμή). Αντίθετα οι εφαρμογές χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια υψηλής τάσεως, 230V. Είναι προφανές ότι για να είναι συμβατά τα δύο μέρη του συστήματος πρέπει να υπάρχει ένα εξάρτημα που θα εξισορροπεί τις τάσεις. Αυτό το εξάρτημα είναι ο ανορθωτής τάσης ο οποίος ανυψώνει την ισχύ του υβριδικού συστήματος από την χαμηλή τάση στην τάση των 230V. Ακολούθως, το ηλεκτρικό ρεύμα υψηλής τάσεως οδηγείται στο ηλεκτρικό κύκλωμα της εφαρμογής και στον πίνακα χαμηλής τάσης που βρίσκεται εντός αυτής.

Σύστημα ελέγχου όμως φέρει και η ίδια η ανεμογεννήτρια έτσι ώστε να καθορίζεται η βέλτιστη δυνατή λειτουργία της. Το σύστημα αυτό συγκεντρώνεται σε ένα ηλεκτρονικό πίνακα ελέγχου από τον οποίο ελέγχονται όλες οι λειτουργίες της. Τα συστήματα αυτά βασίζονται στον έλεγχο της ροπής της ανεμογεννήτριας και στον έλεγχο της ισχύος και έχουν ως στόχο την διατήρηση σταθερής τάσης στην έξοδο της γεννήτριας και στην είσοδο του αναστροφέα.^[29]

2.2.8 Αναστροφείς

Οι αναστροφείς – inverters είναι τα τελευταία εξαρτήματα που απαιτούνται για την ολοκλήρωση των υβριδικών συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Λειτουργία των αντιστροφέων είναι η μετατροπή συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο, μονοφασικό ή

τριφασικό και το αντίστροφο. Η ύπαρξη τους είναι αναγκαία γιατί όπως προαναφέρθηκε μέρη του υβριδικού συστήματος παράγουν συνεχές ρεύμα ενώ οι καταναλώσεις χρησιμοποιούν εναλλασσόμενο ρεύμα. Όπως έγινε κατανοητό παραπάνω υπάρχουν οι μονοφασικοί και οι τριφασικοί αντιστροφείς από συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα με τους μονοφασικούς να δίδουν στην έξοδό τους εναλλασσόμενο ρεύμα 230 V και τους τριφασικούς εναλλασσόμενο ρεύμα 400 V. Σε μικρές εφαρμογές προτιμούνται οι μονοφασικοί αντιστροφείς καθώς παράγουν την απαιτούμενη τάση για τις καταναλώσεις χωρίς να χρειάζεται μετά μετασχηματιστής για την μείωση της τάσης. Ακόμη και σε τριφασικές μικρές καταναλώσεις προτιμάται η χρήση τριών μονοφασικών αντιστροφέων αντί ενός τριφασικού. Στα υβριδικά συστήματα ανανεώσιμων πηγών μικρού μεγέθους είναι απαραίτητη η χρήση τους μετά τα συστήματα παραγωγής συνεχούς ρεύματος (φωτοβολταϊκά) εάν το παραγόμενο από αυτά ρεύμα δεν θα καταλήξει στους συσσωρευτές αλλά θα μεταφερθεί κατευθείαν για κατανάλωση. Επίσης είναι απαραίτητη η χρήση τους μετά από τους συσσωρευτές. Οι τριφασικοί προτιμούνται μονάχα στα μεγάλα πάρκα (φωτοβολταϊκά είτε αιολικά) στα οποία απαιτείται επιπλέον ανόρθωση της ισχύος πριν καταλήξει στο τοπικό δίκτυο χαμηλής τάσης. Αντίθετα οι αντιστροφείς εναλλασσόμενου σε συνεχές ρεύμα συνήθως δίδουν στην έξοδό τους τάση 12 V ή 24 V. Αυτοί οι αντιστροφείς χρησιμοποιούνται σε περίπτωση που η ανεμογεννήτρια που επιλέγεται παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα. Επίσης είναι απαραίτητη η χρήση τους σε περίπτωση που το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος χρησιμοποιείται και για φόρτιση των συσσωρευτών οι οποίοι αποθηκεύουν συνεχές ρεύμα.^[17]

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΙΚΡΟΥ ΥΒΡΙΔΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ”

3.1 Διαστασιολόγηση μικρού υβριδικού συστήματος

Το τρίτο κεφάλαιο είναι το κεντρικό κεφάλαιο της παρούσας εργασίας. Σε αυτό το κεφάλαιο θα διαστασιολογηθούν και θα σχεδιαστούν όλα τα επιμέρους τμήματα του υβριδικού συστήματος. Έτσι αρχικά θα διαστασιολογηθούν το θερμικό ηλιακό σύστημα που στοχεύει στην παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και το φωτοβολταϊκό σύστημα. Τα δύο αυτά συστήματα έχουν το περιορισμό χώρου που συνεπάγεται η έκταση της ταράτσας. Έτσι, αφού καθοριστεί με βάση το συνολικό κόστος πόσο μέγεθος πρέπει να έχουν τα δύο συστήματα τότε θα πρέπει να ελεγχθεί και εάν τα χωράει η ταράτσα. Τέλος, η διαστασιολόγηση της γεννήτριας είναι πολύ εύκολη καθώς θα πρέπει να καλύπτει το σύνολο του φορτίου έτσι σε περίπτωση παρατεταμένης συννεφιάς και άπνοιας να μπορεί να καλύψει όλες τις καταναλώσεις. Για να θεωρηθεί ολοκληρωμένο το σύστημα θα πρέπει βέβαια να διαστασιολογηθούν και οι συσσωρευτές, το σύστημα ελέγχου και οι αναστροφείς. Πριν από όλα αυτά όμως πρέπει να επιλεγεί η αναλογία της ηλεκτρικής ενέργειας που θα καλύπτεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα, από την ανεμογεννήτρια και από το Η/Ζ ζεύγος. Ο υπολογισμός αυτός θα γίνει με στόχο την μείωση του κόστους του συστήματος και τον περιορισμό της κατανάλωσης του καυσίμου του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους για αυτό θα γίνει μια πολύ γενική οικονομική προμελέτη για διάφορες περιπτώσεις. Η ακριβής και πλήρης οικονομική μελέτη του υβριδικού συστήματος θα γίνουν στο τέταρτο κεφάλαιο. Όλες οι επόμενες ενότητες αφορούν την διαστασιολόγηση κάθε επιμέρους συστήματος.

3.1.1 Κάλυψη αναγκών σε θερμική ενέργεια

Η διαστασιολόγηση του θερμικού ηλιακού συστήματος ουσιαστικά ανάγεται στον προσδιορισμό του αριθμού των ηλιακών συλλεκτών που θα χρησιμοποιηθούν ώστε να καλύπτεται η απαιτούμενη παροχή ζεστού νερού χρήσης στην απαιτούμενη θερμοκρασία. Για να προσδιοριστεί όμως ο αριθμός των συλλεκτών πρέπει να καθοριστεί η απαιτούμενη παροχή ζεστού νερού χρήσης. Η παροχή αυτή εξαρτάται από την χρήση ενός κτίσματος, την

εφαρμογή για την οποία προορίζεται το νερό χρήσης και τα άτομα που θα πρέπει να το χρησιμοποιήσουν.

Ας εξεταστεί πρώτα πως η χρήση του κτιρίου επηρεάζει την απαιτούμενη ποσότητα ζεστού νερού χρήσης. Για κάθε χρήση του κτιρίου το ζεστό νερό χρησιμοποιείται για διαφορετικούς σκοπούς. Για παράδειγμα σε ένα κτίριο γραφείων το ζεστό νερό χρησιμοποιείται μόνο για πλύσιμο χεριών. Σε μια οικία το ζεστό νερό χρησιμοποιείται για μπάνιο, πλύσιμο χεριών και πιάτων. Σε ένα αθλητικό κέντρο χρησιμοποιείται για τα λουτρά των αθλητών. Άρα είναι προφανής η εξάρτηση της ποσότητας του ζεστού νερού χρήσης από την εφαρμογή για την οποία χρησιμοποιείται το κτίριο. Για τον καθορισμό της ποσότητας χρησιμοποιούμε ένα πίνακα που δίδεται στην τεχνική οδηγία του τεχνικού επιμελητηρίου Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 1/2010. Μέρος του πίνακα αυτού φαίνεται στον πίνακα 10 όπου καταγράφονται οι καταναλώσεις ζεστού νερού χρήσης για τους κυριότερους τύπους κτιρίων που μπορούμε να συναντήσουμε. Βάσει αυτού του πίνακα προκύπτει για μια μονοκατοικία κατανάλωση 50 λίτρων ζεστού νερού χρήσης ημερησίως κατά άτομο.

Πίνακας 10: Καταναλώσεις ζεστού νερού χρήσης ανά τύπο κτιρίου ^[10]

Χρήσεις κτιρίων ή θερμικών ζωνών	Κατανάλωση ζεστού νερού χρήσης [lt/άτομο/ημέρα]	Ημερήσια κατανάλωση ανά δομήμ. Επιφάνεια [lt/m ² /ημέρα]	Ετήσια κατανάλωση ανά δομήμ. Επιφάνεια [m ³ /m ² /έτος]
Μονοκατοικία, πολυκατοικία (περισσότερα του ενός διαμερίσματα)	50	2,50	0,91
Ξενοδοχείο ετήσιας λειτουργίας	60	9,00	3,28
Χειμερινής Λειτουργίας	60	9,00	2,18
Θερινής Λειτουργίας	50	7,50	1,59
Εστιατόριο	8	6,40	2,33
Ζαχαροπλαστείο, καφενείο	2	1,60	0,58
Νυχτερινό κέντρο διασκέδασης, μουσική σκηνή	3	3,00	0,62
Θέατρο, κινηματογράφος	2	2,00	0,73
Χώρος εκθέσεων, μουσείο	2	1,60	0,58
Χώρος συνεδρίων, αμφιθέατρο, αίθουσα δικαστηρίων	5	5,50	1,43
Τράπεζα	5	2,00	0,52
Αίθουσα πολλαπλών χρήσεων	5	3,75	0,59
Κλειστό γυμναστήριο, κλειστό κολυμβητήριο	40	30,00	10,92
Λουτρό (κοινόχρηστο)	40	4,00	1,46
Νηπιαγωγείο	5	2,50	0,43
Φροντιστήριο, ωδείο	5	2,75	0,54
Νοσοκομείο, κλινική	60	18,00	6,55
Αίθουσα ασθενών (δωμάτιο)	30	6,60	2,40
Χειρουργείο (τακτικό)	70	0,00	0,00
Εξωτερικών ιατρείων	5	0,50	0,13
Βρεφικός σταθμός, παιδικός σταθμός	10	2,50	0,60
Εμπορικό κέντρο, αγορά και υπεραγορά	1	0,14	0,04

Κατάστημα, φαρμακείο	1	0,14	0,04
Ινστιτούτο γυμναστικής, κουρείο, κομμωτήριο	40	6,00	1,87
Γραφείο	5	0,50	0,13
Βιβλιοθήκη	2	0,44	0,11
Συνεργείο συντήρησης και επισκευής αυτοκινήτων, βαφείο, ξυλουργείο	10	1,00	0,31
Παρασκευαστήριο τροφίμων	10	1,20	0,37
Γενική αποθήκη, αποθήκη καταστήματος, αποθήκη μουσείου	2	0,10	0,04
Χώρος στάθμευσης, πρατήριο υγρών καυσίμων, πλυντήριο αυτοκινήτων	10	0,30	0,09

Το δεύτερο στοιχείο που παίζει ρόλο στον καθορισμό της απαιτούμενης ποσότητας ζεστού νερού είναι ο αριθμός των ατόμων που μένουν στην οικία. Στον πίνακα 10 που έχει παρατεθεί παραπάνω καταγράφεται η ποσότητα ζεστού νερού που απαιτείται κατ άτομο. Είναι λοιπόν λογικό ότι εάν σε μια οικία μένουν 5 άτομα θα είναι πολύ μεγαλύτερη η κατανάλωση σε σχέση με την περίπτωση που στην ίδια οικία έμενε ένα άτομο. Εν προκειμένω στην οικία διαμένουν 4 άτομα. Με δεδομένη την απαίτηση ημερήσια ατομική απαίτηση όπως προκύπτει από τον πίνακα 10 μπορεί να υπολογιστεί με την χρήση της εξίσωσης 3.1 η συνολική ημερήσια απαίτηση ζεστού νερού χρήσης που πρέπει να καλύπτεται από το θερμικό ηλιακό σύστημα.

$$V_W = N_{Person} \cdot V_{Person} \quad \text{Εξ. 3.1}$$

Όπου:

- V_W : Η συνολική ημερήσια απαίτηση ζεστού νερού χρήσης σε lt / ημέρα.
- N_{Person} : Αριθμός ατόμων που διαμένουν στην κατοικία, εν προκειμένω ισούται με 4 άτομα.
- V_{Person} : Η ημερήσια απαίτηση ζεστού νερού χρήσης κατ' άτομο, εν προκειμένω ισούται με 50 lt / άτομο / ημέρα όπως προκύπτει από τον πίνακα 10.

$$\Rightarrow V_W = 4 \text{ άτομα} \cdot 50 \frac{\text{lt}}{\text{άτομο} \cdot \text{ημέρα}} = 200 \frac{\text{lt}}{\text{ημέρα}}$$

Με δεδομένη την ημερήσια απαίτηση ζεστού νερού χρήσης μπορούν να υπολογιστούν οι ενεργειακές απαιτήσεις του θερμικού ηλιακού συστήματος. Για να γίνει αυτό κατορθωτό όμως πρέπει να καθοριστεί η τελική θερμοκρασία στην οποία πρέπει να φτάσει το ζεστό νερό. Εάν για παράδειγμα το νερό πρέπει να φτάσει στους 30 βαθμούς απαιτείται μικρή επιφάνεια συλλεκτών καθώς η άνοδος της θερμοκρασίας που θα πρέπει να

επιφέρουν είναι πολύ μικρή. Αντίθετα, εάν η θερμοκρασία πρέπει να φτάσει στους 80 βαθμούς απαιτείται πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών. Η τελική θερμοκρασία του νερού χρήσης εξαρτάται από τις εργασίες που θα γίνουν. Σε μια οικία χρησιμοποιείται κυρίως το ζεστό νερό χρήσης για το ντους και το μπάνιο των ατόμων που διαμένουν στην οικία, για το πλύσιμο των χεριών και το νίψιμο των ατόμων και για το πλύσιμο των πιάτων. Σπανιότερα το ζεστό νερό χρησιμοποιείται και για πλύσιμο ρούχων σε περίπτωση που αυτό γίνεται στο χέρι αλλά στις μέρες μας αυτό πλέον είναι πολύ σπάνιο. Η σύνδεση δε του πλυντηρίου με το ζεστό νερό χρήσης αποφεύγεται, οι κατασκευαστές συνιστούν να συνδέεται το πλυντήριο με το νερό του δικτύου και θα το θερμαίνει το ίδιο. Ο πίνακας 11 δίδει τις απαραίτητες θερμοκρασίες του ζεστού νερού χρήσης ανά εφαρμογή.

Πίνακας 11: Θερμοκρασίες ζεστού νερού χρήσης ανά εφαρμογή ^[10]

Δραστηριότητα	Θερμοκρασία [°C]
Ντους	40
Μπάνιο	40
Πλύσιμο χεριών - Νίψιμο	40
Πλύσιμο πιάτων	50
Πλύσιμο ρούχων	30 - 90

Με δεδομένο τον παραπάνω πίνακα, και βάσει των όσων έχουν αναφερθεί στην προηγούμενη παράγραφο περί της πλύσης ρούχων, το ζεστό νερό χρήσης για την παρούσα οικία πρέπει να ισούται με 50 °C. Με γνωστή και την θερμοκρασία του ζεστού νερού χρήσης υπολογίζεται η θερμική απαίτηση που πρέπει να καλύπτει το θερμικό ηλιακό σύστημα. Ο υπολογισμός γίνεται με χρήση της εξίσωσης 3.2.

$$Q_W = N_{day} \cdot \rho \cdot C_P \cdot V_W \cdot (T_{Wi} - T_{Wt}) \quad \text{Εξ. 3.2}$$

Όπου:

- Q_W : Θερμικές απαιτήσεις που πρέπει να καλύπτει το θερμικό ηλιακό σύστημα, σε MJ/μήνα.
- N_{day} : Αριθμός των ημερών του μήνα, σε ημέρες/μήνα.
- ρ : Πυκνότητα του νερού, ίση με 1 kg/lit.
- C_P : Ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού, ίση με 4190 J/kg.°C.
- V_W : Η συνολική ημερήσια απαίτηση ζεστού νερού χρήσης όπως έχει υπολογιστεί από την εξίσωση 3.1, ίση με 200 lt/ημέρα.
- T_{Wi} : Η απαιτούμενη θερμοκρασία του ζεστού νερού χρήσης, ίση με 50 °C όπως προέκυψε από τον πίνακα 11.

- T_{w1} : Η θερμοκρασία του νερού του δικτύου ύδρευσης όπως προκύπτει ανά μήνα από τον πίνακα 8 για το δίκτυο ύδρευσης του Ηρακλείου.

Ο υπολογισμός θα γίνει ξεχωριστά για κάθε μήνα γιατί όπως είναι λογικό διαφέρει η θερμοκρασία του νερού του δικτύου ύδρευσης. Το θερμικό ηλιακό σύστημα που θα σχεδιαστεί πρέπει να είναι σε θέση να καλύψει την χειρίστη περίπτωση δηλαδή τις υψηλότερες θερμικές απαιτήσεις οι οποίες θα προκύψουν στον μήνα κατά τον οποίο το νερό δικτύου θα έχει την χαμηλότερη θερμοκρασία. Ο πίνακας 12 δίδει τα αποτελέσματα των υπολογισμών και για τους 12 μήνες του έτους.

Πίνακας 12: Μηνιαίες απαιτήσεις θερμικής ισχύος για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης

Μήνας	Αριθμός ημερών μήνα	Πυκνότητα νερού [kg/l]	Ειδική θερμοχωρητικότητα νερού [J/kg.°C]	Απαιτούμενος ημερήσιος όγκος ζεστού νερού χρήσης [lt/ημέρα]	Απαιτούμενη θερμοκρασία ζεστού νερού χρήσης [°C]	Θερμοκρασία του νερού του δικτύου [°C]	Μηνιαίες θερμικές απαιτήσεις [MJ/μήνα]
Ιανουάριος	31	1	4190	200	50	14.7	917
Φεβρουάριος	28	1	4190	200	50	14.2	840
Μάρτιος	31	1	4190	200	50	14.8	914
Απρίλιος	30	1	4190	200	50	17.2	825
Μάιος	31	1	4190	200	50	20.6	764
Ιούνιος	30	1	4190	200	50	24.5	641
Ιούλιος	31	1	4190	200	50	27.3	590
Αύγουστος	31	1	4190	200	50	28.2	566
Σεπτέμβριος	30	1	4190	200	50	27.2	573
Οκτώβριος	31	1	4190	200	50	24.7	657
Νοέμβριος	30	1	4190	200	50	20.9	732
Δεκέμβριος	31	1	4190	200	50	17.2	852

Παρατηρείται από τον παραπάνω πίνακα ότι η μέγιστη θερμική ενέργεια που απαιτείται ώστε να υπάρχει ζεστό νερό χρήσης στην απαιτούμενη θερμοκρασία ισούται με 917 MJ/μήνα, περίπου 920 MJ/ μήνα ή αλλιώς σε μονάδες ηλεκτρικής ισχύος ισούται με περίπου 255 kWh / μήνα. Αυτή η ποσότητα θερμικής ισχύος πρέπει να παράγεται από τους ηλιακούς συλλέκτες. Η θερμική ισχύς ενός ηλιακού συλλέκτη εξαρτάται από την ακτινοβολία στο επίπεδο τοποθέτησης του συλλέκτη, από τον βαθμό απόδοσης του συλλέκτη που θα επιλεγεί και από την συνολική επιφάνεια των συλλεκτών και δίδεται από την εξίσωση 3.3.

$$Q_c = H_t \cdot n \cdot A_c$$

Εξ. 3.3

Όπου:

- Q_c : Η παραγόμενη θερμική ισχύς από τους ηλιακούς συλλέκτες σε kWh/μήνα.
- H_t : Η ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση τοποθέτησης των ηλιακών συλλεκτών, σε kWh/m².μήνα.
- n : Ο βαθμός απόδοσης του ηλιακού συλλέκτη.
- A_c : Η επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών που θα τοποθετηθούν, σε m².

Οι ηλιακοί συλλέκτες που θα τοποθετηθούν πρέπει να είναι σε θέση να καλύψουν πλήρως τις ενεργειακές απαιτήσεις για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης, ακόμη και τον δυσμενέστερο μήνα. Αυτό συνεπάγεται ότι η παραγόμενη θερμική ισχύς από τους ηλιακούς συλλέκτες ισούται με 255 kWh/μήνα. Τα μόνα άγνωστα πλέον ώστε να καθοριστεί η επιφάνεια των συλλεκτών είναι ο βαθμός απόδοσης και η ακτινοβολία στην γωνία κλίσης. Άρα πρέπει πρώτα να επιλεγθεί η γωνία κλίσης. Αυτό θα γίνει με την βοήθεια της TOTEE 20701 – 1/2010 στην οποία μέρος ενός μεγαλύτερου πίνακα αποτελεί ο πίνακας 13 που ακολουθεί.

Πίνακας 13: Βαθμός αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας ανά τύπο και κλίση συλλέκτη στην πόλη του Ηρακλείου^[10]

Τύπος συλλέκτη	Κλίση συλλέκτη		
	15°	45°	65°
Απλός επίπεδος	0,333	0,339	0,343
Επιλεκτικός επίπεδος	0,355	0,364	0,361
Σωλήνας κενού	0,370	0,375	0,378

Βάσει του παραπάνω παρατηρείται ότι για τους επιλεκτικούς επίπεδους σωλήνες οι οποίοι είναι οι πλέον χρησιμοποιούμενοι καθώς είναι πιο αποδοτικοί από τους απλούς επίπεδους σωλήνες και πιο φθινοί από τους σωλήνες κενού η βέλτιστη κλίση είναι στις 45°. Με χρήση των εξισώσεων του δευτέρου κεφαλαίου υπολογίζεται η ηλιακή ακτινοβολία (και οι τρεις συνιστώσες) στο επίπεδο των 45 μοιρών. Ο πίνακας 14 δίδει το αποτέλεσμα ανά μήνα. Στον ίδιο πίνακα τοποθετείται και για σκοπούς σύγκρισης η ηλιακή ακτινοβολία των 15 και των 65 μοιρών.

Πίνακας 14: Ολική ηλιακή ακτινοβολία στα κεκλιμένα επίπεδα 15, 45 και 65 μοιρών για το Ηράκλειο Κρήτης

Μήνας	Ηλιακή ακτινοβολία [kWh/m ² /μήνα]		
	15°	45°	65°
Ιανουάριος	84.73	109.15	112.61
Φεβρουάριος	97.61	114.52	112.85
Μάρτιος	138.59	145.54	134.54
Απρίλιος	173.12	162.83	139.76
Μάιος	205.89	178.48	144.80
Ιούνιος	216.45	180.67	142.64
Ιούλιος	223.00	189.03	150.69
Αύγουστος	211.30	191.78	160.03
Σεπτέμβριος	177.61	180.18	162.03
Οκτώβριος	138.64	159.37	154.81
Νοέμβριος	101.10	129.26	132.61
Δεκέμβριος	81.59	108.68	113.75

Από τον παραπάνω πίνακα είναι σαφές ότι οι γωνίες 45 και 65 μοιρών έχουν καλύτερη συνολική ετήσια απόδοση εξαιτίας της υψηλότερης ακτινοβολίας που δέχονται τους χειμερινούς μήνες. Επίσης παρατηρούμε ότι κατά τον μήνα Ιανουάριο όπου απαιτείται η υψηλότερη θερμική ισχύς από το θερμικό ηλιακό σύστημα υπάρχει μεγαλύτερη ακτινοβολία στην γωνία των 65 μοιρών. Έτσι θα ελεγχθεί και αυτή η περίπτωση παρόλο τον μικρότερο βαθμό απόδοσης ώστε να επιλεγθεί εν τέλει η βέλτιστη λύση. Στην εξίσωση 3.3 χρησιμοποιείται η ακτινοβολία του μηνός Ιανουαρίου. Ως βαθμός απόδοσης χρησιμοποιείται η τιμή 45%, μια λογική τιμή για ολόκληρο το σύστημα δεδομένου ότι οι βαθμοί απόδοσης των επιλεκτικών συλλεκτών φτάνουν το 80%.

$$A_{C45^\circ} = \frac{Q_c}{H_t \cdot n} = \frac{225 \frac{kWh}{\mu\eta\nu\alpha}}{109,15 \frac{kWh}{m^2 \mu\eta\nu\alpha} \cdot 0,45} = 4,58m^2$$

$$A_{C65^\circ} = \frac{Q_c}{H_t \cdot n} = \frac{225 \frac{kWh}{\mu\eta\nu\alpha}}{112,61 \frac{kWh}{m^2 \mu\eta\nu\alpha} \cdot 0,45} = 4,44m^2$$

Παρατηρείται ότι απαιτείται μικρότερη επιφάνεια συλλέκτη εάν αυτός τοποθετηθεί στις 65 μοίρες. Επίσης σε αυτή την γωνία θα καταλαμβάνει λιγότερο χώρο το θερμικό ηλιακό σύστημα και θα αφήνει επιπλέον χώρο για τα φωτοβολταϊκά. Το μόνο που απομένει είναι η επιλογή του αριθμού των συλλεκτών. Αυτή φυσικά εξαρτάται από τον συλλέκτη που θα χρησιμοποιηθεί. Επιλέγεται ο συλλέκτης Logasol SKN 3.0 – s της εταιρίας Buderous. Ο συλλέκτης αυτός έχει ενεργή επιφάνεια 2,23 m² πράγμα που συνεπάγεται ότι χρήση δύο

τέτοιων συλλεκτών οδηγεί σε συνολική επιφάνεια συλλέκτη 4,46 m² που καλύπτει ακριβώς τις απαιτήσεις μας για τοποθέτηση σε γωνία 65 μοιρών.

Πίνακας 15: Τεχνικά χαρακτηριστικά συλλέκτη Logasol SKN 3.0 – s¹¹

Μοντέλο	Logasol SKN 3.0 - s
Τρόπος τοποθέτησης	Κάθετα
Εξωτερική επιφάνεια (μικτή)	2.37 m ²
Επιφάνεια ανοίγματος (εισόδου φωτός)	2.26 m ²
Επιφάνεια απορροφητή (καθαρή επιφάνεια)	2.23 m ²
Περιεχόμενο απορροφητή	0.86 l
Βαθμός απόδοσης	77%
Ονομαστική παροχή	50 lt/h
Μέγιστη πίεση λειτουργίας	6 bar
Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας	120 °C
Ύψος	2070 mm
Πλάτος	1145 mm
Βάθος	90 mm
Βάρος	41 kg

Το μόνο που απομένει για να ολοκληρωθεί πλήρως η σχεδίαση του θερμικού ηλιακού συστήματος είναι η επιλογή του δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης το οποίο πρέπει να είναι χωρητικότητας 200 lt ώστε να καλύπτει πλήρως τις ανάγκες της οικογένειας. Για λόγους συμβατότητας αλλά και μείωσης του κόστους εγκατάστασης θα προτιμηθεί ένα δοχείο της ίδιας εταιρίας, της Buderus. Το δοχείο αυτό πρέπει να είναι διπλής ενέργειας έτσι ώστε στην περίπτωση που δεν υπάρχει επαρκής ηλιοφάνεια να ζεσταίνεται το νερό με ηλεκτρικό ρεύμα. Επιλέγεται η χρήση του θερμοδοχείου Logalux SU 200. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου θερμοδοχείου παρουσιάζονται στον πίνακα 16 που ακολουθεί. ^{[1], [10], [41], [42], [43]}

Πίνακας 16: Τεχνικά χαρακτηριστικά δοχείου αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης ^[43]

Μοντέλο	Logalux SU 200
Χωρητικότητα	200 lt
Διάμετρος	556 mm
Ύψος	1448 mm
Είσοδος κρύου νερού	57 mm
Έξοδος ζεστού νερού	1371 mm
Προσαγωγή θερμαντήρα	644 mm
Επιστροφή θερμαντήρα	238 mm
Βάρος	110 kg
Μέγιστη πίεση λειτουργίας	10 bar
Μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας	95 °C

3.1.2 Κάλυψη αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια

Στην δεύτερη ενότητα του παρόντος κεφαλαίου θα γίνει μια εκτενής αναφορά στα συστήματα ηλεκτροπαραγωγής που θα χρησιμοποιηθούν και εν τέλει θα γίνει η διαστασιολόγηση τους. Καταρχήν θα γίνει μια αναφορά στα επιλεγμένα μέσα που θα χρησιμοποιηθούν για ηλεκτροπαραγωγή. Ακολούθως θα γίνει η κατανομή των ποσοστών που πρέπει να καλύπτει κάθε πηγή ενέργειας έτσι ώστε να βελτιστοποιηθεί η λύση. Κριτήρια βελτιστοποίησης θα αποτελούν τόσο το κόστος εγκατάστασης όσο και το συνολικό κόστος κατά την διάρκεια της ζωής του συστήματος.

3.1.2.1 Φωτοβολταϊκό σύστημα

Το πρώτο σύστημα ηλεκτροπαραγωγής που πρέπει να υπολογιστεί είναι το φωτοβολταϊκό σύστημα. Ο υπολογισμός του έγκειται στον προσδιορισμό της απαιτούμενης επιφάνειας φωτοβολταϊκών πλαισίων ώστε να μπορούν να καλύπτουν πλήρως τις απαιτήσεις ηλεκτρικής ισχύος της οικίας. Επίσης πρέπει να παράγουν τέτοια ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος έτσι ώστε να μπορούν να φορτίσουν και τους συσσωρευτές, είτε μόνο για το βράδυ είτε και για όσες μέρες αυτονομίας επιλεχθούν για το σύστημα. Ο προσδιορισμός της επιφάνειας των φωτοβολταϊκών στοιχείων γίνεται με την χρήση της εξίσωσης 3.4.

$$A_{pv} = \frac{\frac{L_d}{n_{bat}} + L_{bat}}{n_{tot} \cdot \frac{H}{\text{days of the month}}} \quad \text{Εξ. 3.4}$$

Όπου:

- A_{pv} : Η επιφάνεια των φωτοβολταϊκών στοιχείων.
- L_d : Το συνολικό ημερήσιο φορτίο που απαιτεί η οικία, σε Wh.
- n_{bat} : Ο βαθμός απόδοσης των συσσωρευτών.
- L_{bat} : Το φορτίο που πρέπει να καλύπτουν οι συσσωρευτές, σε Wh.
- n_{tot} : Ο συνολικός βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος.
- H_t : Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην κλίση τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Όλα τα παραπάνω μεγέθη έχουν υπολογιστεί στην ενότητα διαστασιολόγησης των συσσωρευτών που ακολουθεί. Τα μόνα μεγέθη που πρέπει να προσδιοριστούν είναι ο συνολικός βαθμός απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων και η ένταση της ηλιακής

ακτινοβολίας στην γωνιά κλίσης που θα τοποθετηθούν τα πλαίσια. Ο βαθμός απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων εξαρτάται από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο που θα επιλεγεί. Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια εμφανίζουν υψηλότερους βαθμούς απόδοσης αλλά και πολύ μεγαλύτερο κόστος προμήθειας. Αντίθετα, τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά πλαίσια, παρόλο που εμφανίζουν μικρότερους βαθμούς απόδοσης εντούτοις έχουν πολύ χαμηλότερο κόστος που εν τέλει τα καθιστά πολύ πιο θελκτικά. Επιλέγεται η χρήση ενός πολυκρυσταλλικού φωτοβολταϊκού πλαισίου της εταιρίας Algatec Solar, της σειράς ASM Poly 1 – 6 CS. Μάλιστα, λόγω του περιορισμένου χώρου της ταράτσας της οικίας επιλέγεται η χρήση του πλαισίου με την μεγαλύτερη ονομαστική ισχύ, ίση με $230 W_{peak}$. Στον πίνακα 17 φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου φωτοβολταϊκού πλαισίου.

Πίνακας 17: Τεχνικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού πλαισίου ASM POLY 1 – 6 CS ^[46]

Μοντέλο	ASM POLY 1-6 CS 230Wp
Τεχνολογία φωτοβολταϊκού στοιχείου	πολυκρυσταλλικό
Ονομαστική ισχύς P_{max}	230 W_{peak}
Αριθμός φωτοβολταϊκών στοιχείων ανά πλαίσιο	60
Μήκος πάνελ	1650 mm
Πλάτος πάνελ	1010 mm
Πάχος πάνελ	42 mm
Βάρος πάνελ	19 kg
Τάση μέγιστης ισχύος V_{MPP}	29.94 V
Τάση ανοικτού κυκλώματος V_{OC}	37.14 V
Ένταση ρεύματος μέγιστης ισχύος I_{MPP}	7.56 A
Ένταση ρεύματος βραχυκυκλωμένου κυκλώματος I_{SC}	5.09 A
Μέγιστη τάση	1000 V
Βαθμός απόδοσης μονάδος σε συνθήκες (STC)	13.50%

Από τον παραπάνω πίνακα βρίσκουμε εύκολα τον βαθμό απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου, ίσο με 13,5%. Μόνο άγνωστο πλέον είναι η ηλιακή ακτινοβολία στην κλίση τοποθέτησης του ηλίου. Και αυτό είναι άγνωστο γιατί είναι άγνωστη η κλίση τοποθέτησης των πλαισίων. Η κλίση πρέπει να είναι τέτοια ώστε να μας δίδει το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, συνολικά, σε όλη την διάρκεια του έτους, την μέγιστη απόδοση άρα την μέγιστη ηλεκτροπαραγωγή. Η μέγιστη ηλεκτροπαραγωγή υπάρχει όταν είναι μέγιστη η συνολική ηλιακή ακτινοβολία του ήλιου. Άρα θα πρέπει να υπολογιστεί η ηλιακή ακτινοβολία ανά μοίρα κλίσης επιπέδου και η μοίρα που θα δίδει την μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο θα είναι η γωνία εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν όλες οι σχέσεις με τις οποίες μπορεί να υπολογιστεί η ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο. Για λόγους οικονομίας χρόνου ο υπολογισμός γίνεται ανά 5 μοίρες και όχι ανά 1 μοίρα. Και γνωρίζοντας ότι η γωνία

εγκατάστασης πρέπει να είναι κοντά στην τιμή του γεωγραφικού πλάτους της περιοχής ώστε να υπάρχει η βέλτιστη απόδοση θα εκτελέσουμε τους υπολογισμούς έως και τις 45°. Ο πίνακας 21 δίνει τα αποτελέσματα αυτών των υπολογισμών, καταγράφει την συνολική ετήσια ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται το φωτοβολταϊκό πλαίσιο σε κάθε επίπεδο κλίσης ανά 5°. Από τον πίνακα αυτό είναι εμφανές ότι η μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία συνολικά για το έτος εμφανίζεται σε κεκλιμένο επίπεδο γωνίας 30°. Αυτό γίνεται ευκολότερα αντιληπτό και από το σχήμα 3.1 στο οποίο φαίνεται το γράφημα που προκύπτει από τον πίνακα 18.

Πίνακας 18: Ετήσια ηλιακή ακτινοβολία ανά κεκλιμένο επίπεδο

Γωνία κλίσης κεκλιμένου επιπέδου [°]	Συνολική ετήσια ηλιακή ακτινοβολία [kWh/m ² /έτος]
0	1722,26
5	1773,63
10	1816,13
15	1849,63
20	1873,81
25	1888,42
30	1893,31
35	1888,42
40	1873,77
45	1849,49



Σχήμα 3.1: Υπολογισμός ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένα επίπεδα στο Ηράκλειο της Κρήτης

Με δεδομένη την επιλογή της κλίσης τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πλαισίων ίση με 30° πρέπει να υπολογιστεί η μηνιαία ακτινοβολία σε αυτή την κλίση. Η μηνιαία τιμή είναι απαραίτητη γιατί η επιφάνεια των φωτοβολταϊκών θα υπολογιστεί ανά μήνα και θα επιλεγεί η δυσμενέστερη περίπτωση. Ο λόγος που θα γίνει ο μηνιαίος υπολογισμός είναι γιατί τα φορτία αλλάζουν αναλόγως του μήνα (θερινή ή χειμερινή περίοδος) έτσι αλλάζουν οι απαιτήσεις σε φορτία. Στον πίνακα 19 παρουσιάζεται η μηνιαία ολική ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο των 30° και στο σχήμα 3.2 αποτυπώνεται αυτή η διακύμανση σε ένα διάγραμμα.

Πίνακας 19: Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο των 30°

Μήνας	Συνολική μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία [kWh/m ² /μήνα]
Ιανουάριος	99,58
Φεβρουάριος	108,84
Μάρτιος	145,59
Απρίλιος	171,88
Μάιος	196,14
Ιούνιος	202,35
Ιούλιος	210,13
Αύγουστος	206,15
Σεπτέμβριος	183,47
Οκτώβριος	152,98
Νοέμβριος	118,37
Δεκέμβριος	97,78



Σχήμα 3.2: Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο των 30°

Με όλα τα δεδομένα γνωστά μπορεί να υπολογιστεί, με την χρήση της εξίσωσης 3.4, η απαιτούμενη επιφάνεια των φωτοβολταϊκών στοιχείων ανά μήνα. Ο πίνακας 20 παρουσιάζει αυτά τα αποτελέσματα.

Πίνακας 20: Υπολογισμός απαιτούμενης επιφάνειας φωτοβολταϊκών πλαισίων

Μήνας	Αριθμός ημερών μήνα	Απαιτούμενο φορτίο μπαταρίας [Wh]	Απαιτούμενο ημερήσιο φορτίο [Wh]	Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία [kWh/m ² /μήνα]	Επιφάνεια φωτοβολταϊκών πλαισίων [m ²]
Ιανουάριος	31	34878	34296	99.58	173
Φεβρουάριος	28	34878	34296	108.84	143
Μάρτιος	31	34878	34296	145.59	119
Απρίλιος	30	34878	34296	171.88	97
Μάιος	31	34878	52254	196.14	113
Ιούνιος	30	34878	52254	202.35	106
Ιούλιος	31	34878	52254	210.13	105
Αύγουστος	31	34878	52254	206.15	107
Σεπτέμβριος	30	34878	52254	183.47	117
Οκτώβριος	31	34878	34296	152.98	113
Νοέμβριος	30	34878	34296	118.37	141
Δεκέμβριος	31	34878	34296	97.78	177

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει απαίτηση για 177 m² φωτοβολταϊκών πλαισίων για να καλυφθούν εξ ολοκλήρου από το φωτοβολταϊκό σύστημα οι ανάγκες ηλεκτροπαραγωγής για μια ημέρα του Δεκεμβρίου. Με δεδομένο το ότι η επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου που έχει επιλεγθεί ισούται με 1,67 m² απαιτούνται 106 φωτοβολταϊκά πλαίσια για να καλυφθεί πλήρως η ανάγκη της οικίας. Είναι σαφές ότι κάτι τέτοιο δεν δύναται να πραγματοποιηθεί γιατί δεν χωράνε στην ταράτσα της οικίας. Με βάση την διαθέσιμη επιφάνεια δώματος μπορούν να τοποθετηθούν έως και 24 πάνελ φωτοβολταϊκών. Ο ακριβής αριθμός τους θα προκύψει με το πέρας της παρούσας ενότητας και μετά την κατανομή της ηλεκτρικής ενέργειας ανά πηγή παραγωγής. ^{[1], [46]}

3.1.2.2 Σύστημα ανεμογεννητριών

Το επόμενο τμήμα του υβριδικού συστήματος που πρέπει να διαστασιολογηθεί είναι το σύστημα των ανεμογεννητριών. Το σύστημα αυτό πρέπει να λειτουργεί μαζί με το σύστημα φωτοβολταϊκών έτσι ώστε να μπορέσουν να καλύψουν όσο το δυνατό μεγαλύτερο μέρος της συνολικής απαιτούμενης ισχύος για να λειτουργήσει όσο το δυνατό λιγότερο η ηλεκτρογεννήτρια. Από τους υπολογισμούς του ημερήσιου φορτίου βλέπουμε ότι αυτό ανέρχεται περίπου στις 80kWh ανά ημέρα. Εάν λάβουμε υπόψη μας ότι το σπίτι ως εξοχικό

χρησιμοποιείται περίπου 10 ημέρες τον μήνα τότε πρέπει να καλύπτεται περίπου ένα ποσό της τάξεως των 800 kWh ανά μήνα. Το ποσό αυτό κατά ένα μέρος θα καλύπτεται από το ηλιακό σύστημα. Το υπόλοιπο τμήμα πρέπει να καλυφθεί από το σύστημα των ανεμογεννητριών, ειδικά σε στιγμές που η παραγωγή από το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι πολύ μικρή.

Η επιλογή της κάθε ανεμογεννήτριας θα γίνει κατά περίπτωση, αναλόγως της ισχύος που θέλουμε να καλύψουμε σε κάθε κατανομή ποσοστών ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των συστημάτων. Έτσι η επιλογή τους θα γίνει ξεχωριστά σε κάθε μια εκ των υποπεριπτώσεων που εξετάζονται στην ενότητα 3.1.2.4. Ο υπολογισμός της απόδοσής τους θα γίνει σε μηνιαία βάση και για αυτό θα χρησιμοποιηθεί η εξίσωση 3.5 που ακολουθεί:

$$P = \frac{E}{H \cdot n} \quad \text{Εξ. 3.5}$$

Όπου:

- P: Η ισχύς της ανεμογεννήτριας σε kW.
- E: Η ηλεκτρική ενέργεια που πρέπει να καλύψει η ανεμογεννήτρια ανά περίπτωση, σε kWh.
- H: Ο αριθμός των ωρών που βρίσκεται σε λειτουργία ανά μήνα η ανεμογεννήτρια. Με δεδομένο το 24ώρο της ημέρας και τις 30 μέρες του μήνα τότε λαμβάνει τιμή ίση με 720h ανά μήνα.
- n: Ο βαθμός απόδοσης της ανεμογεννήτριας με δεδομένο την αστάθεια του ανέμου. Βάσει της κατανομής Weibull η χρήση ενός βαθμού απόδοσης της τάξεως του 20% είναι ικανοποιητικότητα.

Στην εικόνα 3.1 που ακολουθεί παρουσιάζεται η χρήση μιας οικιακής ανεμογεννήτριας για να γίνει αντιληπτό σε τι αναφερόμαστε.



Εικόνα 3.1: Εγκατάσταση ανεμογεννήτριας ΑΕΟΛΟΣ 1KW σε κτίριο ^[58]

3.1.2.3 Η/Ζ Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος

Η επιλογή του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους είναι η ευκολότερη εν συγκρίσει με τις προηγούμενες. Αυτό οφείλεται στο ότι μοναδικό κριτήριο είναι το ότι το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος πρέπει να είναι σε τέτοια θέση ώστε να καλύψει την μέγιστη δυνατή ισχύ που απαιτεί η οικία. Και αυτό γίνεται για λόγους ασφαλείας ώστε το υβριδικό σύστημα να μπορεί να καλύψει τις συνολικές απαιτήσεις της οικίας σε περίπτωση παρατεταμένης άπνοιας και μη ηλιοφάνειας ή σε περίπτωση βλάβης κάποιου μέρους του συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το μέγιστο φορτίο της οικίας ισούται με περίπου 6,8 kW για τις προμεσημβρινές ώρες της θερινής περιόδου. Αυτό συνεπάγεται ότι η ισχύς που πρέπει να παράγεται από το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος πρέπει να είναι αυτής της τάξεως μεγέθους.

Πριν την επιλογή του μοντέλου όμως πρέπει να καθοριστεί το καύσιμο του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους δηλαδή εάν θα χρησιμοποιείται βενζίνη ή πετρέλαιο. Κάθε ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος έχει τα δικά του πλεονεκτήματα όμως φαίνεται ότι αυτά των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών πετρελαίου είναι περισσότερα. Πρώτο εξ αυτών η πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, έως και 30 φορές περισσότερο από τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη βενζίνης. Επίσης το πετρέλαιο είναι λιγότερο εύφλεκτο εν συγκρίσει με την βενζίνη με αποτέλεσμα να προτιμάται για αποθήκευση στις οικίες. Ένα άλλο πλεονέκτημα τους είναι η φθηνότερη τιμή του πετρελαίου σε σύγκριση με τις τιμές της βενζίνης. Τέλος, τα

ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη πετρελαίου έχουν μεγαλύτερη ισχύ από τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη βενζίνης. Έχουν βέβαια και μια σειρά μειονεκτημάτων όπως ο μεγαλύτερος θόρυβος που παράγουν, τα περισσότερα καυσαέρια που εκλύουν στην ατμόσφαιρα και το υψηλότερο κόστος αγοράς τους. Συγκρίνοντας αυτά αποφασίζεται η χρήση ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους πετρελαίου γιατί κρίνεται ότι τα πλεονεκτήματα του υπερτερούν έναντι των μειονεκτημάτων του. Επιλέγεται ένα μοντέλο της εταιρίας Komatsu, μιας από τις γνωστότερες εταιρίες στον χώρο παραγωγής μηχανημάτων. Το μοντέλο είναι το KPD8500M το οποίο σε συνθήκες μέγιστης απόδοσης παράγει ρεύμα ισχύος 8,5KVA που αντιστοιχεί σε 6,8 kW, άρα μπορεί να οδηγήσει σε ωριαία ηλεκτροπαραγωγή 6,8 kWh. Στον πίνακα 21 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους. Τέλος πρέπει να γίνει και μια επιλογή δεξαμενής αποθήκευσης πετρελαίου. Νοούμενου του ότι το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος θα λειτουργεί ως εφεδρική πηγή ενέργειας δεν απαιτείται μεγάλος όγκος πετρελαίου έτσι επιλέγεται μια δεξαμενή 500 λίτρων. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση χώρου και ταυτόχρονα μείωση του απαιτούμενου ποσού που χρειάζεται για να γεμίσει η δεξαμενή καυσίμου. ^[44]

Πίνακας 21: Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους KPD8500M^[44]

Μοντέλο	KPD8500M
Μέγιστη απόδοση	6,8 kW
Ηλεκτροπαραγωγή ανά ώρα	6,8 kWh
Τάση	230 V
Ισχύς	10 HP
Κυβισμός	420 cc
Βάρος	100 kg
Κινητήρας	Τετράχρονος OHV

3.1.2.4 Κατανομή ηλεκτροπαραγωγής στα τρία συστήματα με στόχο την βελτιστοποίηση του κόστους εγκατάστασης και του συνολικού κόστους λειτουργίας

Τα τρία συστήματα που έχουν την δυνατότητα να παράξουν ηλεκτρικό ρεύμα είναι το φωτοβολταϊκό, οι ανεμογεννήτριες και η ηλεκτρογεννήτρια. Ποιο όμως πρέπει να παράγει το περισσότερο ρεύμα και γιατί; Το ερώτημα αυτό θα απαντηθεί στην παρούσα ενότητα όπου θα χρησιμοποιηθούν δύο κριτήρια βελτιστοποίησης, το κόστος εγκατάστασης και το συνολικό κόστος κατά την διάρκεια ζωής του συστήματος. Η ημερήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας της οικίας προκύπτει από τους πίνακες 3 και 4 του πρώτου κεφαλαίου. Από αυτούς παρατηρείται η μέγιστη ημερήσια κατανάλωση ίση με 87,132kWh για την θερινή περίοδο. Για λόγους ασφαλείας θεωρούμε ότι το υβριδικό σύστημα πρέπει να παράξει

περί τις 90kWh ανά ημέρα. Για την οικονομική προμελέτη σκοπιμότητας θα ληφθούν υπόψη γενικά οικονομικά στοιχεία. Τα ακριβή οικονομικά στοιχεία του συστήματος θα παρουσιαστούν στο τέταρτο κεφάλαιο αναλυτικά.

Για το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, του οποίου η επιλογή του παρουσιάζεται στην ενότητα 3.1.2.3, η κατανάλωση καυσίμου ισούται με 12,5 λίτρα πετρελαίου ανά 8 ώρες λειτουργίας. Αυτό συνεπάγεται ωριαία κατανάλωση ίση με 1,56 λίτρα πετρελαίου. Για να παράξει ενέργεια 90kWh πρέπει να δουλεύει 13,24 ώρες άρα θα καταναλώσει 20,65 λίτρα πετρελαίου. Με σημερινές τιμές πετρελαίου ίσες με 1,65 ευρώ ανά λίτρο θα υπάρχει ημερήσιο κόστος πετρελαίου 34 ευρώ και κόστος ανά παραγόμενη kWh ίσο με 0,38 ευρώ. Το κόστος του πετρελαίου όμως είναι κόστος λειτουργίας άρα κάθε ημέρα προστίθεται το συγκεκριμένο ποσό. Έτσι, στο σύνολο του έτους (με δεδομένο ότι το σύστημα είναι εγκατεστημένο σε εξοχική κατοικία άρα λειτουργεί 10 ημέρες ανά μήνα άρα 120 ημέρες ετησίως) το κόστος ανά παραγόμενη kWh θα ισούται με 45,6 ευρώ ενώ στο σύνολο της 25ετίας που είναι ο κύκλος ζωής του συστήματος το κόστος ανά παραγόμενη kWh φθάνει τις 1140 ευρώ σε περίπτωση που θέλουμε το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος να καλύψει πλήρως την ηλεκτροπαραγωγή. Πέραν όμως του κόστους λειτουργίας υπάρχει και κόστος συντήρησης. Στο τέταρτο κεφάλαιο εκτιμάται κόστος συντήρησης ίσο με 200 ευρώ ετησίως για όλο το αυτόνομο σύστημα. Δεδομένου του ότι συντήρηση δεν απαιτεί το φωτοβολταϊκό σύστημα θα επιμεριστεί το κόστος στο ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος και το σύστημα ανεμογεννητριών. Έτσι το κόστος συντήρησης του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους ανέρχεται στα 100 ευρώ ετησίως ήτοι 2500 ευρώ στο σύνολο της 25ετίας. Το κόστος εγκατάστασής του προκύπτει καταγράφεται ενδελεχώς στο τέταρτο κεφάλαιο, στην ενότητα 4.1.4 και ισούται με 1583 ευρώ. Το κόστος εγκατάστασης μένει πάντα το ίδιο για το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος γιατί όποιο και αν είναι το ποσοστό συμμετοχής του στην κάλυψη των αναγκών της οικίας η διαστασιολόγηση του θα γίνει με κριτήριο την συνολική κάλυψη ισχύος. Αυτό γίνεται γιατί σε περίπτωση βλάβης των συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πρέπει να είναι σε θέση να καλύψει οποιαδήποτε ισχύ εμφανιστεί. Βάσει αυτού και στις τέσσερις περιπτώσεις που θα ελεγχθούν παρακάτω ώστε να επιλεγεί η βέλτιστη θα χρησιμοποιηθεί το ίδιο ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος άρα θα έχει το ίδιο κόστος εγκατάστασης.

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος 1kWp έχει την δυνατότητα να παράγει περί τις 1500kWh^[59] ετησίως στην περιοχή της Κρήτης. Αυτό συνεπάγεται μηνιαία παραγωγή 125kWh και ημερήσια παραγωγή 4,17kWh. Το κόστος εγκατάστασης του 1kWp (άρα 4

πάνελ, συνολικής ονομαστικής ισχύος 920Wp) του φωτοβολταϊκού στοιχείου που επιλέχθηκε ισούται με 2600 ευρώ. Υπάρχουν όμως και περιφερειακά συστήματα που θα χρησιμοποιηθούν όπως για παράδειγμα οι μετατροπείς έτσι το κόστος θα προσαυξηθεί λίγο και θα φθάσει τις 3000 ευρώ ανά kWp. Αφού η ονομαστική ισχύς των τεσσάρων πάνελ είναι κατά τι μικρότερη θα θεωρήσουμε ότι μπορεί να παράξει ημερησίως 4kWh άρα το κόστος ανά παραγόμενη kWh ισούται με 750 ευρώ. Με μια πρώτη ματιά βλέπουμε πόσο υψηλότερο είναι το κόστος της ηλεκτροπαραγωγής από φωτοβολταϊκά ημερησίως. Όμως το κόστος αυτό είναι κόστος εγκατάστασης, τα λοιπά έξοδα (λειτουργίας και συντήρησης) είναι πολύ χαμηλά κατά την 25ετία με αποτέλεσμα στο τέλος της 25ετίας να θεωρείται ότι το κόστος ηλεκτροπαραγωγής από φωτοβολταϊκά παραμένει 750 ευρώ ανά παραγόμενη kWh. Άρα βλέπουμε ότι σε βάθος 25ετίας είναι πιο συμφέρουσα η ηλεκτροπαραγωγή από το φωτοβολταϊκό σύστημα. Βέβαια η οικονομικής προμελέτη είναι πολύ γενική καθώς δεν λαμβάνονται υπόψη αρχές καθαρής παρούσας αξίας όμως απλά γίνεται για να επιλεγεί η οικονομικά βέλτιστη λύση. Πλήρης οικονομική μελέτη θα ακολουθήσει στο τέταρτο κεφάλαιο.

Η ανεμογεννήτρια θα επιλεγεί ανά περίπτωση στις επόμενες τέσσερις περιπτώσεις που ακολουθούν. Έτσι το κόστος της θα προσδιοριστεί σε κάθε περίπτωση ξεχωριστά. Στην ενότητα 4.1.3 καταγράφεται η ανάλυση του κόστους εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας που εν τέλει έχει επιλεγεί. Παρόμοια ανάλυσή έχει γίνει και για τις υπόλοιπες περιπτώσεις ανεμογεννητριών που επιλέγονται για χρήση σε έκαστη εκ των τεσσάρων περιπτώσεων και καταγράφεται αντίστοιχα σε κάθε περίπτωση. Πέραν όμως του κόστους εγκατάστασης η ανεμογεννήτρια έχει και ένα κόστος συντήρησης. Με βάση τα όσα προαναφέρθηκαν στο ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος το κόστος που αντιστοιχεί στο σύστημα ανεμογεννητριών ισούται με 100 ευρώ ετησίως άρα 2500 ευρώ στην 25ετία. Το σύστημα ανεμογεννητριών, όπως και το φωτοβολταϊκό σύστημα, έχει μηδενικά κόστη λειτουργίας.

Στις επόμενες παραγράφους θα εξεταστούν τέσσερις εναλλακτικές περιπτώσεις κατανομής φορτίου. Αυτές είναι οι κάτωθι:

1. Ηλεκτροπαραγωγή κατά 95% από τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που κατανέμεται κατά 90% στο φωτοβολταϊκό σύστημα και κατά 5% στο σύστημα ανεμογεννητριών και ηλεκτροπαραγωγή κατά 5% από το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος: Αυτή η κατανομή συνεπάγεται ημερήσια παραγωγή 4,5 kWh από το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος άρα ημερήσιο κόστος πετρελαίου 1,71 ευρώ και κόστος σε

βάθος 25ετίας 5130 ευρώ. Σε αυτό το ποσό πρέπει να προστεθεί το κόστος εγκατάστασης το οποίο ισούται με 1583 ευρώ και το κόστος συντήρησης το οποίο ισούται με 2500 ευρώ για όλη την 25ετία. Έτσι το συνολικό κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης φθάνει τα 9213 ευρώ. Η κατανομή αυτή επίσης συνεπάγεται και ημερήσια ηλεκτροπαραγωγή 81 kWh από το φωτοβολταϊκό σύστημα άρα κόστος 60750 ευρώ το οποίο παραμένει σταθερό στην 25ετία καθώς είναι αποκλειστικά κόστος εγκατάστασης, δεν υπάρχουν λειτουργικά κόστη ή κόστη συντήρησης. Τέλος, η συγκεκριμένη κατανομή συνεπάγεται και ηλεκτροπαραγωγή 4,5 kWh, άρα 45 kWh τον μήνα. Βάσει της εξίσωσης 3.5 προκύπτει ότι η ισχύς της ανεμογεννήτριας πρέπει να ισούται με 280 W. Επιλέγεται η ανεμογεννήτρια 200 W κάθετου άξονα, της εταιρίας Allrun καθώς δεν υπάρχει άλλο πλησιέστερο μοντέλο. Βέβαια το μοντέλο αυτό μπορεί να δώσει μέγιστη ισχύ 300 W άρα μας καλύπτει. Τα χαρακτηριστικά της φαίνονται στον πίνακα 22 που ακολουθεί.

Πίνακας 22: Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας 200W^[60]

Μοντέλο	ARFDHF200W
Ονομαστική ισχύς	200 W
Μέγιστη ισχύς	300 W
Διάμετρος ρότορα	2,2 μέτρα
Αριθμός πτερυγίων	3
Τάση	24 / 36 V
Εύρος ανέμων λειτουργίας	1,8 έως 25 m/s

Η τιμή της ανεμογεννήτριας δίδεται από τον κατασκευαστή ίση με 600 ευρώ. Σε αυτή την τιμή όμως πρέπει να προσθέσουμε και το κόστος μεταφοράς και εκτελωνισμού. Έτσι θα θεωρήσουμε ότι κοστίζει σε εμάς 1000 ευρώ παραδομένη στην Κρήτη. Βάσει του κόστους εγκατάστασης που δίδεται σε μια ανεμογεννήτρια και παρουσιάζεται στην αντίστοιχη ενότητα του κεφαλαίου 4 και την προσθήκη του ΦΠΑ το συνολικό κόστους εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας ισούται με 1845 ευρώ. Πρέπει όμως να προστεθεί και το κόστος συντήρησης το οποίο σε βάθος 25ετίας ισούται με 2500 ευρώ. Εν τέλει το σύστημα των ανεμογεννητριών θα κοστίσει 4345 ευρώ. Σε αυτή την κατανομή ηλεκτρικής ενέργειας το συνολικό κόστος του συστήματος για την κάλυψη των αναγκών της οικίας στην 25ετία ισούται με 74308 ευρώ.

2. Ηλεκτροπαραγωγή κατά 95% από τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που κατανέμεται κατά 60% στο φωτοβολταϊκό σύστημα και κατά 35% στο σύστημα ανεμογεννητριών και ηλεκτροπαραγωγή κατά 5% από το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος:

Αυτή η κατανομή συνεπάγεται ημερήσια παραγωγή 4,5 kWh από το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος άρα ημερήσιο κόστος πετρελαίου 1,71 ευρώ και κόστος σε βάθος 25ετίας 5130 ευρώ. Σε αυτό το ποσό πρέπει να προστεθεί το κόστος εγκατάστασης το οποίο ισούται με 1583 ευρώ και το κόστος συντήρησης το οποίο ισούται με 2500 ευρώ για όλη την 25ετία. Έτσι το συνολικό κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης φθάνει τα 9213 ευρώ. Η κατανομή αυτή επίσης συνεπάγεται και ημερήσια ηλεκτροπαραγωγή 54 kWh από το φωτοβολταϊκό σύστημα άρα κόστος 40500 ευρώ το οποίο παραμένει σταθερό στην 25ετία καθώς είναι αποκλειστικά κόστος εγκατάστασης, δεν υπάρχουν λειτουργικά κόστη ή κόστη συντήρησης. Τέλος, η συγκεκριμένη κατανομή συνεπάγεται και ηλεκτροπαραγωγή 31,5 kWh, άρα 315 kWh τον μήνα. Βάσει της εξίσωσης 3.5 προκύπτει ότι η ισχύς της ανεμογεννήτριας πρέπει να ισούται με 1,96 kW. Επιλέγεται η ανεμογεννήτρια 2 kW κάθετου άξονα, της εταιρίας Allrun πολύ κοντά στο μοντέλο που απαιτείται. Τα χαρακτηριστικά της φαίνονται στον πίνακα 23 που ακολουθεί.

Πίνακας 23: Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας 2 kW ^[61]

Μοντέλο	ARFDHF2000W
Ονομαστική ισχύς	2000 W
Μέγιστη ισχύς	3000 W
Διάμετρος ρότορα	2,2 μέτρα
Αριθμός πτερυγίων	3
Τάση	24 / 36 V
Εύρος ανέμων λειτουργίας	1,8 έως 25 m/s

Η τιμή της ανεμογεννήτριας δίδεται από τον κατασκευαστή ίση με 1200 ευρώ. Σε αυτή την τιμή όμως πρέπει να προσθέσουμε και το κόστος μεταφοράς και εκτελωνισμού. Έτσι θα θεωρήσουμε ότι κοστίζει σε εμάς 1600 ευρώ παραδομένη στην Κρήτη. Βάσει του κόστους εγκατάστασης που δίδεται σε μια ανεμογεννήτρια και παρουσιάζεται στην αντίστοιχη ενότητα του κεφαλαίου 4 και την προσθήκη του ΦΠΑ το συνολικό κόστους εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας ισούται με 2600 ευρώ. Πρέπει όμως να προστεθεί και το κόστος συντήρησης το οποίο σε βάθος 25ετίας ισούται με 2500 ευρώ. Εν τέλει το σύστημα των ανεμογεννητριών θα κοστίσει 5100 ευρώ. Σε αυτή την κατανομή ηλεκτρικής ενέργειας το συνολικό κόστος του συστήματος για την κάλυψη των αναγκών της οικίας στην 25ετία ισούται με 54813 ευρώ.

3. Ηλεκτροπαραγωγή κατά 95% από τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που κατανέμεται κατά 35% στο φωτοβολταϊκό σύστημα και κατά 60% στο σύστημα ανεμογεννητριών και ηλεκτροπαραγωγή κατά 5% από το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος: Αυτή η κατανομή συνεπάγεται ημερήσια παραγωγή 4,5 kWh από το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος άρα ημερήσιο κόστος πετρελαίου 1,71 ευρώ και κόστος σε βάθος 25ετίας 5130 ευρώ. Σε αυτό το ποσό πρέπει να προστεθεί το κόστος εγκατάστασης το οποίο ισούται με 1583 ευρώ και το κόστος συντήρησης το οποίο ισούται με 2500 ευρώ για όλη την 25ετία. Έτσι το συνολικό κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης φθάνει τα 9213 ευρώ. Η κατανομή αυτή επίσης συνεπάγεται και ημερήσια ηλεκτροπαραγωγή 31,5 kWh από το φωτοβολταϊκό σύστημα άρα κόστος 23625 ευρώ το οποίο παραμένει σταθερό στην 25ετία καθώς είναι αποκλειστικά κόστος εγκατάστασης, δεν υπάρχουν λειτουργικά κόστη ή κόστη συντήρησης. Τέλος, η συγκεκριμένη κατανομή συνεπάγεται και ηλεκτροπαραγωγή 54 kWh, άρα 540 kWh τον μήνα. Βάσει της εξίσωσης 3.5 προκύπτει ότι η ισχύς της ανεμογεννήτριας πρέπει να ισούται με 3,37 kW. Επιλέγεται η ανεμογεννήτρια 2 kW κάθετου άξονα, της εταιρίας Allrun καθώς είναι αρκετά κοντά στο μοντέλο που απαιτείται. Τα χαρακτηριστικά της φαίνονται στον πίνακα 24 που ακολουθεί.

Πίνακας 24: Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας 3 kW ^[62]

Μοντέλο	ARBF-H-3000W
Ονομαστική ισχύς	3000 W
Μέγιστη ισχύς	3500 W
Διάμετρος ρότορα	2 μέτρα
Αριθμός πτερυγίων	5
Τάση	48 V
Εύρος ανέμων λειτουργίας	3 έως 25 m/s

Η τιμή της ανεμογεννήτριας δίδεται από τον κατασκευαστή ίση με 2500 ευρώ. Σε αυτή την τιμή όμως πρέπει να προσθέσουμε και το κόστος μεταφοράς και εκτελωνισμού. Έτσι θα θεωρήσουμε ότι κοστίζει σε εμάς 2900 ευρώ παραδομένη στην Κρήτη. Βάσει του κόστους εγκατάστασης που δίδεται σε μια ανεμογεννήτρια και παρουσιάζεται στην αντίστοιχη ενότητα του κεφαλαίου 4 και την προσθήκη του ΦΠΑ το συνολικό κόστος εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας ισούται με 4200 ευρώ. Πρέπει όμως να προστεθεί και το κόστος συντήρησης το οποίο σε βάθος 25ετίας ισούται με 2500 ευρώ. Εν τέλει το σύστημα των ανεμογεννητριών θα

κοστίζει 6700 ευρώ. Σε αυτή την κατανομή ηλεκτρικής ενέργειας το συνολικό κόστος του συστήματος για την κάλυψη των αναγκών της οικίας στην 25ετία ισούται με 39538 ευρώ.

4. Ηλεκτροπαραγωγή κατά 95% από τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που κατανέμεται κατά 5% στο φωτοβολταϊκό σύστημα και κατά 90% στο σύστημα ανεμογεννητριών και ηλεκτροπαραγωγή κατά 5% από το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος: Αυτή η κατανομή συνεπάγεται ημερήσια παραγωγή 4,5 kWh από το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος άρα ημερήσιο κόστος πετρελαίου 1,71 ευρώ και κόστος σε βάθος 25ετίας 5130 ευρώ. Σε αυτό το ποσό πρέπει να προστεθεί το κόστος εγκατάστασης το οποίο ισούται με 1583 ευρώ και το κόστος συντήρησης το οποίο ισούται με 2500 ευρώ για όλη την 25ετία. Έτσι το συνολικό κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης φθάνει τα 9213 ευρώ. Η κατανομή αυτή επίσης συνεπάγεται και ημερήσια ηλεκτροπαραγωγή 4,5 kWh από το φωτοβολταϊκό σύστημα άρα κόστος 3375 ευρώ το οποίο παραμένει σταθερό στην 25ετία καθώς είναι αποκλειστικά κόστος εγκατάστασης, δεν υπάρχουν λειτουργικά κόστη ή κόστη συντήρησης. Τέλος, η συγκεκριμένη κατανομή συνεπάγεται και ηλεκτροπαραγωγή 81 kWh, άρα 810 kWh τον μήνα. Βάσει της εξίσωσης 3.5 προκύπτει ότι η ισχύς της ανεμογεννήτριας πρέπει να ισούται με 5,07 kW. Επιλέγεται η ανεμογεννήτρια 5 kW κάθετου άξονα, της εταιρίας Allrun που είναι πολύ κοντά στο μοντέλο που απαιτείται. Τα χαρακτηριστικά της φαίνονται στον πίνακα 25 που ακολουθεί.

Πίνακας 25: Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας 5 kW ^[62]

Μοντέλο	ARBF-H-5000W
Ονομαστική ισχύς	5000 W
Μέγιστη ισχύς	5500 W
Διάμετρος ρότορα	4 μέτρα
Αριθμός πτερυγίων	5
Τάση	48 V
Εύρος ανέμων λειτουργίας	3,2 έως 25 m/s

Η τιμή της ανεμογεννήτριας δίδεται από τον κατασκευαστή ίση με 4000 ευρώ. Σε αυτή την τιμή όμως πρέπει να προσθέσουμε και το κόστος μεταφοράς και εκτελωνισμού. Έτσι θα θεωρήσουμε ότι κοστίζει σε εμάς 4400 ευρώ παραδομένη στην Κρήτη. Βάσει του κόστους εγκατάστασης που δίδεται σε μια ανεμογεννήτρια και παρουσιάζεται στην αντίστοιχη ενότητα του κεφαλαίου 4 και την προσθήκη του ΦΠΑ το συνολικό κόστους εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας ισούται με 6100

ευρώ. Πρέπει όμως να προστεθεί και το κόστος συντήρησης το οποίο σε βάθος 25ετίας ισούται με 2500 ευρώ. Εν τέλει το σύστημα των ανεμογεννητριών θα κοστίσει 8600 ευρώ. Σε αυτή την κατανομή ηλεκτρικής ενέργειας το συνολικό κόστος του συστήματος για την κάλυψη των αναγκών της οικίας στην 25ετία ισούται με 21188 ευρώ.

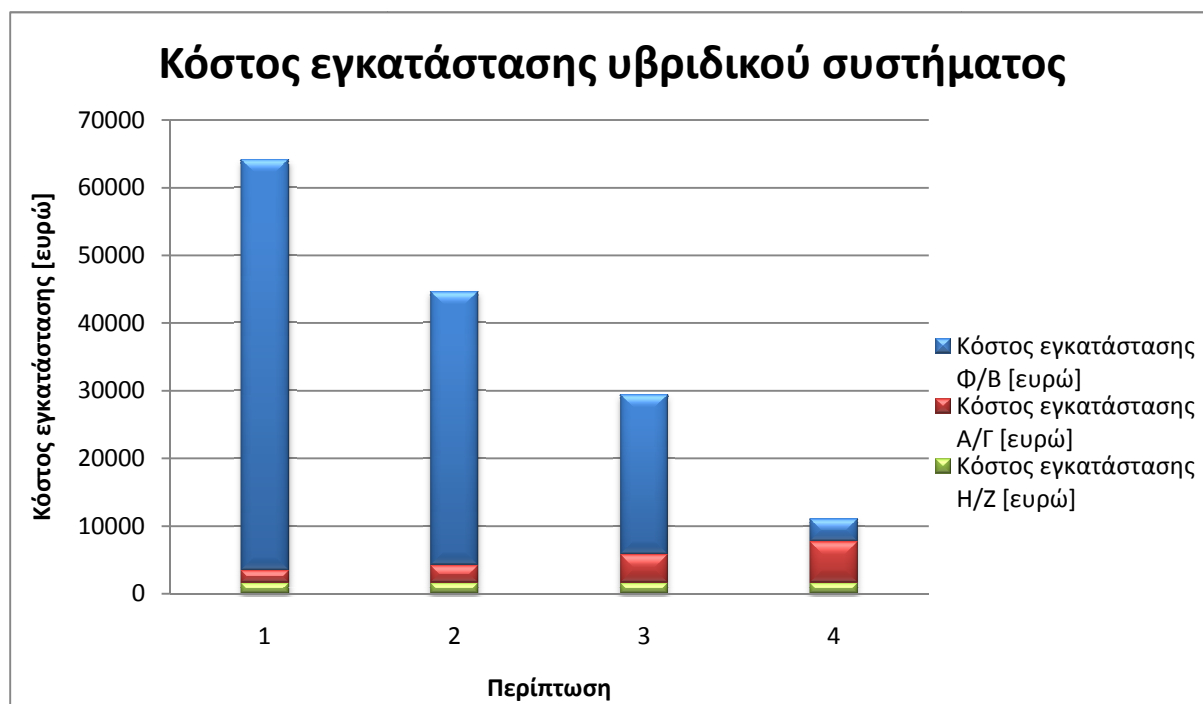
Στους πίνακες 27 και 28 που ακολουθούν παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωμένες οι τέσσερις περιπτώσεις. Στον πίνακα 27 βρίσκονται τα κόστη εγκατάστασης ενώ στον πίνακα 28 βρίσκονται τα συνολικά κόστη σε βάθος 25ετίας που αποτελούνται από τα επιμέρους κόστη εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης για κάθε σύστημα και συνολικά για το υβριδικό σύστημα. Πριν από αυτούς τους πίνακες τοποθετείται ο πίνακας 26 ο οποίος συγκεντρώνει τα ποσοστά ηλεκτροπαραγωγής για κάθε επιμέρους περίπτωση. Στα διαγράμματα των σχημάτων 3.3 και 3.4 παρουσιάζονται και γραφικά τα αποτελέσματα που καταγράφονται στους πίνακες 27 και 28. Έτσι, παρατηρείται και οπτικά πλέον, από το διάγραμμα 3.4 η βέλτιστη λύση η οποία είναι αυτή που περιλαμβάνει όσο το δυνατό λιγότερα φωτοβολταϊκά, μια μεγάλη ανεμογεννήτρια και μικρή χρήση του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους. Αυτή η λύση είναι βέλτιστη γιατί μειώνει το συνολικό κόστος της εγκατάστασης και λειτουργίας σε βάθος 25ετίας. Από το διάγραμμα 3.3 παρατηρείται ότι η βέλτιστη λύση όσο αφορά την μείωση του κόστους εγκατάστασης είναι και πάλι η περίπτωση που περιλαμβάνει μικρή ποσότητα φωτοβολταϊκών έναντι των λοιπών συστημάτων και κυρίως της ανεμογεννήτριας. Σε όλη την διάρκεια αυτής της ενότητας το ποσοστό της ηλεκτροπαραγωγής από το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος περιορίστηκε στο 5% έτσι ώστε το σύστημά μας να λειτουργεί με όσο το δυνατό μεγαλύτερη δυνατή χρήση των ΑΠΕ και να περιοριστεί στο ελάχιστο η χρήση των ορυκτών καυσίμων.

Πίνακας 26: Κατανομή ποσοστού ηλεκτροπαραγωγής στο φωτοβολταϊκό σύστημα, στο σύστημα ανεμογεννητριών και στο ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος

Περίπτωση	Ποσοστό ηλεκτροπαραγωγής από Φ/Β [%]	Ποσοστό ηλεκτροπαραγωγής από Α/Γ [%]	Συνολικό ποσοστό ηλεκτροπαραγωγής από συστήματα ΑΠΕ [%]	Ποσοστό ηλεκτροπαραγωγής από Η/Ζ [%]
1	90	5	95	5
2	60	35	95	5
3	35	60	95	5
4	5	90	95	5

Πίνακας 27: Κόστος εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος, συστήματος ανεμογεννητριών, ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους και συνολικά του υβριδικού συστήματος

Περίπτωση	Κόστος εγκατάστασης Φ/Β [ευρώ]	Κόστος εγκατάστασης Α/Γ [ευρώ]	Κόστος εγκατάστασης Η/Ζ [ευρώ]	Συνολικό κόστος εγκατάστασης [ευρώ]
1	60750	1845	1583	64178
2	40500	2600	1583	44683
3	23625	4200	1583	29408
4	3375	6100	1583	11058



Σχήμα 3.3: Διάγραμμα κόστους εγκατάστασης με βάση τις περιπτώσεις κατανομής ποσοστού ηλεκτροπαραγωγής από φωτοβολταϊκό σύστημα, σύστημα ανεμογεννητριών και ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος

Πίνακας 28: Συνολικό κόστος φωτοβολταϊκού συστήματος, συστήματος ανεμογεννητριών, ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους και συνολικά του υβριδικού συστήματος

Περίπτωση	Συνολικό κόστος Φ/Β [ευρώ]	Συνολικό κόστος Α/Γ [ευρώ]	Συνολικό κόστος Η/Ζ [ευρώ]	Συνολικό κόστος υβριδικού συστήματος [ευρώ]
1	60750	4345	9213	74308
2	40500	5100	9213	54813
3	23625	6700	9213	39538
4	3375	8600	9213	21188



Σχήμα 3.4: Διάγραμμα συνολικού κόστους με βάση τις περιπτώσεις κατανομής ποσοστού ηλεκτροπαραγωγής από φωτοβολταϊκό σύστημα, σύστημα ανεμογεννητριών και ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος

Από αυτά είναι προφανές ότι όσο πιο λίγα φωτοβολταϊκά στοιχεία χρησιμοποιήσουμε τόσο μεγαλύτερο θα είναι το κέρδος μας σε βάθος 25ετίας με δεδομένο το ότι η οικία θα βρίσκεται σε χρήση 120 ημέρες. Έτσι κατά την διαστασιολόγηση στην διαστασιολόγηση που ακολουθεί τα φωτοβολταϊκά θα καλύψουν μόλις 4,5kWh ηλεκτρικής ισχύος ανά ημέρα. Η φθηνότερη ενέργεια σε βάθος 25ετίας παράγεται από τις ανεμογεννήτριες έτσι θα βάλω μια μεγάλη η οποία θα έχει δυνατότητα παραγωγής 81kWh ανά ημέρα. Τέλος, μεγαλύτερο κόστος εμφανίζει η ηλεκτροπαραγωγή από το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος έτσι θα την περιορίσω όσο το δυνατό περισσότερο.

3.1.3 Συσσωρευτές

Η διαστασιολόγηση των συσσωρευτών είναι κρίσιμης σημασίας για το υβριδικό σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Υποδιαστασιολόγηση τους θα οδηγήσει σε μικρή κάλυψη των αναγκών της οικίας από τις ανανεώσιμες και μεγαλύτερη χρήση του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους άρα μεγαλύτερη χρήση καυσίμου. Αντίθετα υπερδιαστασιολόγηση τους συνεπάγεται ότι το σύστημα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν θα έχει την δυνατότητα να τους φορτίσει άρα θα υπάρχει αυξημένο κόστος προμήθειας και συντήρησής τους που θα είναι ουσιαστικά άχρηστο. Η επιλογή των συσσωρευτών γίνεται με στόχο να καλύπτουν ένα απαιτούμενο φορτίο. Το φορτίο αυτό δίδεται από την εξίσωση 3.5.

Όπου:

- L_{bat} : Το φορτίο που πρέπει να καλύψουν οι συσσωρευτές, σε Wh.
- L_n : Το συνολικό νυκτερινό φορτίο που απαιτεί η οικία, σε Wh.
- N_{aut} : Οι ημέρες αυτοδυναμίας.
- L_{tot} : Το συνολικό φορτίο 24ώρου που απαιτεί η οικία, σε Wh.
- η_{bat} : Ο βαθμός απόδοσης των συσσωρευτών.
- L_d : Το συνολικό ημερήσιο φορτίο που απαιτεί η οικία, σε Wh.

Για τον υπολογισμό του φορτίου που πρέπει να καλύψουν οι συσσωρευτές απαιτείται ο καθορισμός των παραπάνω μεγεθών. Οι ημέρες αυτοδυναμίας εξαρτώνται από την χρήση της οικίας αλλά και τις εξωτερικές συνθήκες του χώρου εγκατάστασης. Εάν η οικία κατοικείται μόνιμα απαιτείται υψηλός αριθμός ημερών αυτοδυναμίας. Εάν η οικία είναι εξοχική απαιτείται μικρός αριθμός ημερών αυτοδυναμίας. Ο λόγος είναι γιατί στην δεύτερη περίπτωση μειώνονται αισθητά οι πιθανότητες παρατεταμένης άπνοιας και ταυτόχρονα μηδενικής ηλιοφάνειας για συνεχόμενες μέρες. Βέβαια αυτό αναιρείται εάν η οικία βρίσκεται σε περιοχή με μικρότερη ηλιοφάνεια, κάτι που δεν ισχύει στην Κρήτη. Σύμφωνα με τον κύριο Τσιλιγκιρίδη επιλέγονται έως και 5 ημέρες αυτοδυναμίας για μόνιμες οικίες ενώ για εξοχικές κατοικίες επιλέγεται το πολύ μια μέρα. Επειδή η οικία φέρει τόσο φωτοβολταϊκό σύστημα όσο και σύστημα ανεμογεννητριών μειώνεται κατά πολύ η πιθανότητα ταυτόχρονης άπνοιας και μηδενικής ηλιοφάνειας έτσι δεν θα επιλεχθούν ημέρες αυτονομίας. Σε αυτή την απόφαση συμβάλλει και η ύπαρξη του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους που μας εγγυάται ότι θα υπάρχει απρόσκοπτη παροχή ισχύος ακόμη και αν εμφανιστούν οι δυσμενέστερες καιρικές συνθήκες. Ο βαθμός απόδοσης των συσσωρευτών εξαρτάται από τους συσσωρευτές που θα χρησιμοποιηθούν, συνήθως παίρνει τιμές μεταξύ 80% και 90%, θα θεωρηθεί μια μέση τιμή ίση με 85%.

Για να μπορέσει να γίνει ο υπολογισμός απαιτείται και ο προσδιορισμός των ημερήσιων φορτίων. Τα φορτία αυτά διαφέρουν για την χειμερινή και την θερινή περίοδο. Ο υπολογισμός των φορτίων γίνεται πολύ εύκολα με την χρήση των πινάκων 3 και 4. Σε αυτούς τους πίνακες υπάρχει η ωριαία απαιτούμενη ισχύς ηλεκτρικής ενέργειας άρα ταυτόχρονα και η τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας σε Wh. Άθροισμα των ημερήσιων και των νυκτερινών τιμών δίνει τα ημερήσια και νυκτερινά φορτία που απαιτείται να χωράνε οι συσσωρευτές. Με δείκτη χ αναφερόμαστε στα φορτία της χειμερινής περιόδου και με δείκτη θ αναφερόμαστε

στα φορτία της θερινής περιόδου. Η διάκριση στις ώρες που θεωρούνται ημέρα ή νύκτα σε κάθε εποχή γίνεται στο πρώτο κεφάλαιο. Έτσι προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές για τα φορτία:

$$L_{n_x} = 28282Wh$$

$$L_{d_x} = 34296Wh$$

$$L_{n_\theta} = 29646Wh$$

$$L_{d_\theta} = 57486Wh$$

Με όλα τα δεδομένα γνωστά μπορεί να χρησιμοποιηθεί το δεύτερο σκέλος της εξίσωσης 3.5 ώστε να υπολογιστεί το φορτίο που πρέπει να χωράνε οι συσσωρευτές.

$$L_{bat_x} = \frac{L_{n_x} + N_{αυτ} \cdot (L_{n_x} + L_{d_x})}{n_{bat}} = \frac{28282Wh + 0 \cdot (28282 + 34296)}{0,85} = 33272Wh$$

$$L_{bat_\theta} = \frac{L_{n_\theta} + N_{αυτ} \cdot (L_{n_\theta} + L_{d_\theta})}{n_{bat}} = \frac{29646Wh + 0 \cdot (29646 + 57486)}{0,85} = 34878Wh$$

Παρατηρείται ότι το φορτίο της θερινής περιόδου είναι μεγαλύτερο άρα με βάση αυτό θα γίνει η διαστασιολόγηση των συσσωρευτών. Οι συσσωρευτές έχουν ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό το οποίο έχει να κάνει με το βάθος εκφόρτισης τους. Οι συσσωρευτές δεν δύναται να εκφορτιστούν πλήρως, παρουσιάζουν ένα βάθος εκφόρτισης συνήθως της τάξης του 80%. Αυτό συνεπάγεται ότι το ονομαστικό φορτίο τους πρέπει να είναι μεγαλύτερο έτσι ώστε στο βάθος που εκφορτίζεται να καλύπτει το παραπάνω φορτίο. Ο υπολογισμός του ονομαστικού φορτίου γίνεται με χρήση της εξίσωσης 3.6.

$$L_{on} = \frac{L_{bat}}{DOD} \quad \text{Εξ. 3.7}$$

Όπου:

- L_{on} : Ονομαστικό φορτίο συσσωρευτών, σε Wh.
- L_{bat} : Απαιτούμενο φορτίο συσσωρευτών, υπολογίστηκε παραπάνω ίσο με 34878 Wh ή αλλιώς ίσο με 34,878 kWh.
- DOD: Βάθος εκφόρτισης συσσωρευτών.

Όλα τα παραπάνω δεδομένα είναι γνωστά (το βάθος εκφόρτισης είπαμε παραπάνω ότι ισούται με 80%) έτσι μπορεί να γίνει ο υπολογισμός του ονομαστικού φορτίου που πρέπει να έχουν οι συσσωρευτές.

$$L_{on} = \frac{L_{bat}}{DOD} = \frac{34,878kWh}{0,8} = 43,598kWh$$

Στην αγορά όμως οι συσσωρευτές κατηγοριοποιούνται με μονάδες μέτρησης της χωρητικότητάς τους τα Ah και όχι τις kWh. Άρα πρέπει να γίνει η μετατροπή των μονάδων η οποία γίνεται με βάση την τάση των συσσωρευτών, με την βοήθεια της εξίσωσης 3.7.

$$C_N = \frac{L_{on}}{V} \quad \text{Εξ. 3.8}$$

Όπου:

- C_N : Η χωρητικότητα των συσσωρευτών, σε Ah.
- L_{on} : Το ονομαστικό φορτίο των συσσωρευτών, υπολογίστηκε παραπάνω ίσο με 43,598 kWh.
- V : Η τάση των συσσωρευτών, σε V.

Μοναδικός άγνωστος στην εξίσωση 3.7 είναι η τάση των συσσωρευτών. Αυτή εξαρτάται από τους συσσωρευτές που να επιλεγούν. Στην αγορά υπάρχουν συσσωρευτές που ξεκινούν από την τάση των 2V και καταλήγουν στην τάση των 48V. Στα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πιο συχνά χρησιμοποιούνται οι συσσωρευτές τάσεως 12V, 24V και 48V. Εμείς επιλέγουμε συσσωρευτές τάσης 12V. Τώρα μπορεί να υπολογιστεί η χωρητικότητα των συσσωρευτών.

$$C_N = \frac{L_{on}}{V} = \frac{43,598kWh}{12V} = 3633,17Ah \cong 3650Ah$$

Επιλέγεται η χρήση των συσσωρευτών Rolls 12 CS 11PS με χωρητικότητα 357Ah έκαστος. Αυτό συνεπάγεται ότι απαιτούνται 11 συσσωρευτές αυτού του τύπου που δίδουν εν τέλει συνολική χωρητικότητα 3927Ah. Εάν συνυπολογιστεί το βάθος εκφόρτισης τότε το φορτίο που καλύπτουν αυτοί οι συσσωρευτές είναι ίσο με 37700 Wh. Το νούμερο αυτό είναι μεγαλύτερο από το 34878 Wh που απαιτείται άρα η συγκεκριμένη επιλογή καλύπτει τις απαιτήσεις μας. ^{[1], [47]}

3.1.4 Σύστημα ελέγχου

Επόμενο τμήμα του υβριδικού συστήματος που πρέπει να διαστασιολογηθεί είναι το σύστημα ελέγχου άρα ο ρυθμιστής φόρτισης. Θα επιλεγεί η χρήση ενός ρυθμιστή φόρτισης τύπου MPS80 της εταιρίας rhocos. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου ρυθμιστή φαίνονται στον πίνακα 26. ^[50]

Πίνακας 29: Τεχνικά χαρακτηριστικά ρυθμιστή φόρτισης ^[50]

Μοντέλο	MPS 80
Ονομαστική τάση	12/24/48 V
Μέγιστη ένταση ρεύματος	80 A
Κατανάλωση ρεύματος από τον ρυθμιστή	<10 mA
Θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας	από -40°C έως 50°C
Πλάτος	108 mm
Ύψος	150 mm
Βάθος	112 mm
Τύπος προστασίας	IP22

3.1.5 Αναστροφείς

Το τελευταίο τμήμα του υβριδικού συστήματος που πρέπει να διαστασιολογηθεί είναι οι αναστροφείς. Δεδομένου του ότι οι συσσωρευτές χρησιμοποιούν συνεχές ρεύμα συνεπάγεται ότι οι αναστροφείς θα τοποθετηθούν μετά από αυτούς και πριν τον κεντρικό πίνακα της οικίας. Για λόγους ασφαλείας θα χρησιμοποιηθούν τρεις αναστροφείς ώστε σε περίπτωση που ο ένας πάθει κάποια βλάβη να λειτουργούν οι άλλοι δύο ώστε να μην μένει ανεκμετάλλευτο ολόκληρο το σύστημα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το σύστημα χρησιμοποιεί 11 συσσωρευτές. Αυτό συνεπάγεται ότι θα συνδεθούν από 4 συσσωρευτές στους δύο αναστροφείς και τρεις συσσωρευτές στον τρίτο αναστροφέα. Η μέγιστη ισχύς που απαιτεί η οικία ισούται με περίπου 6,8kW. Αυτό συνεπάγεται ότι οι αντιστροφείς πρέπει να έχουν ισχύ περί τα 2kW έκαστος. Επιλέγονται τέσσερις αντιστροφείς της εταιρίας SMA, μοντέλο SB 1700 που έχουν ονομαστική ισχύ ίση με 1,7kW έκαστος. Αυτό συνεπάγεται συνολική ισχύς 6,8kW, καλύπτει όση απαιτεί η υπό μελέτη οικία. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά αυτού του αντιστροφέα καταγράφονται στον πίνακα 27. ^{[1], [52]}

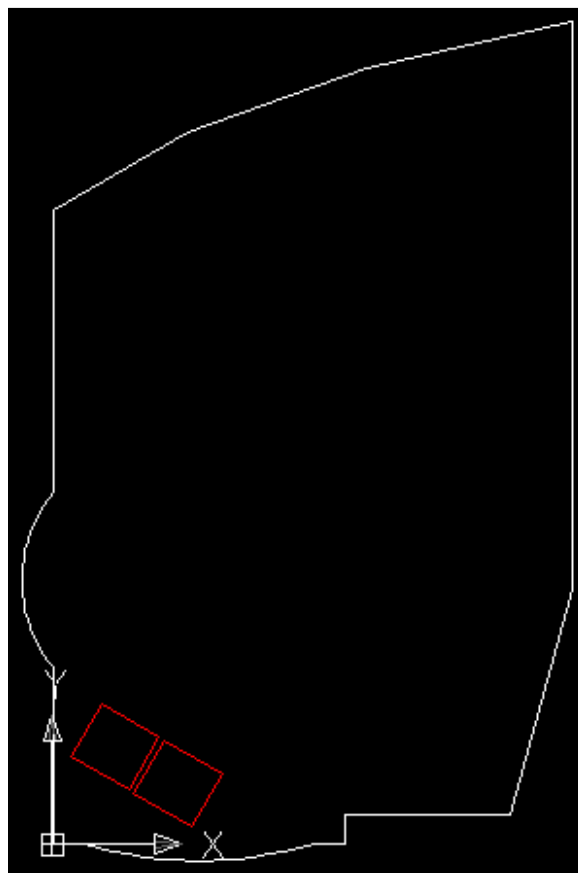
Πίνακας 30: Τεχνικά χαρακτηριστικά αντιστροφέα SB1700 ^[52]

Μοντέλο	SB 1700
Μέγιστη ισχύς DC	1850 W
Μέγιστη τάση DC	400 V
Μέγιστη ισχύς AC	1700 W
Μέγιστη τάση AC	400 V
Τύπος αντιστροφέα	Μονοφασικός

Πλάτος	434 mm
Ύψος	295 mm
Βάθος	214 mm
Βάρος	25 kg
Θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας	από -25°C έως +60°C

3.2 Σχεδιασμός εγκατάστασης υβριδικού συστήματος

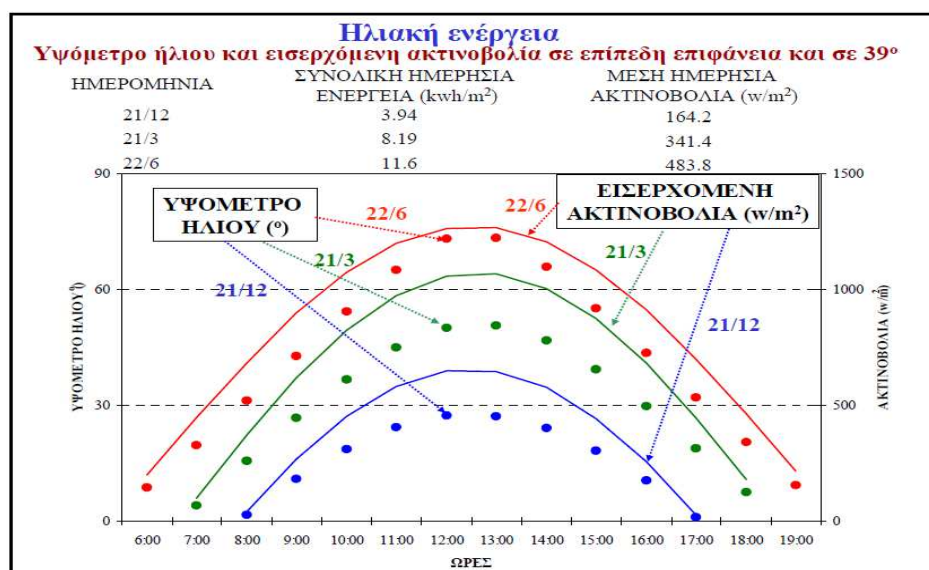
Ο σχεδιασμός του υβριδικού συστήματος ανάγεται στην τοποθέτηση των ηλιακών συλλεκτών και των φωτοβολταϊκών στοιχείων στην ταράτσα της οικίας. Αρχικά θα τοποθετηθούν οι ηλιακοί συλλέκτες οι οποίοι είναι υψηλότεροι. Θα μπουν στο πιο βόρειο μέρος της ταράτσας έτσι ώστε να περιοριστεί το φαινόμενο της σκίασης. Η σκίαση από τους ηλιακούς συλλέκτες είναι μεγαλύτερη από την σκίαση που προκαλούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια για δύο λόγους. Ο πρώτος λόγος είναι γιατί οι ηλιακοί συλλέκτες έχουν μεγαλύτερες διαστάσεις. Ο δεύτερος λόγος είναι γιατί τοποθετούνται σε μεγαλύτερη κλίση με αποτέλεσμα την δημιουργία μεγαλύτερης περιοχής σκίασης στο πίσω μέρος τους. Η εικόνα 3.2 παρουσιάζει την κάτοψη της οικίας και την θέση στην οποία τοποθετούνται οι δύο ηλιακοί συλλέκτες οι οποίοι φαίνονται με το κόκκινο χρώμα.



Εικόνα 3.2: Τοποθέτηση των δύο ηλιακών συλλεκτών στην ταράτσα της οικίας

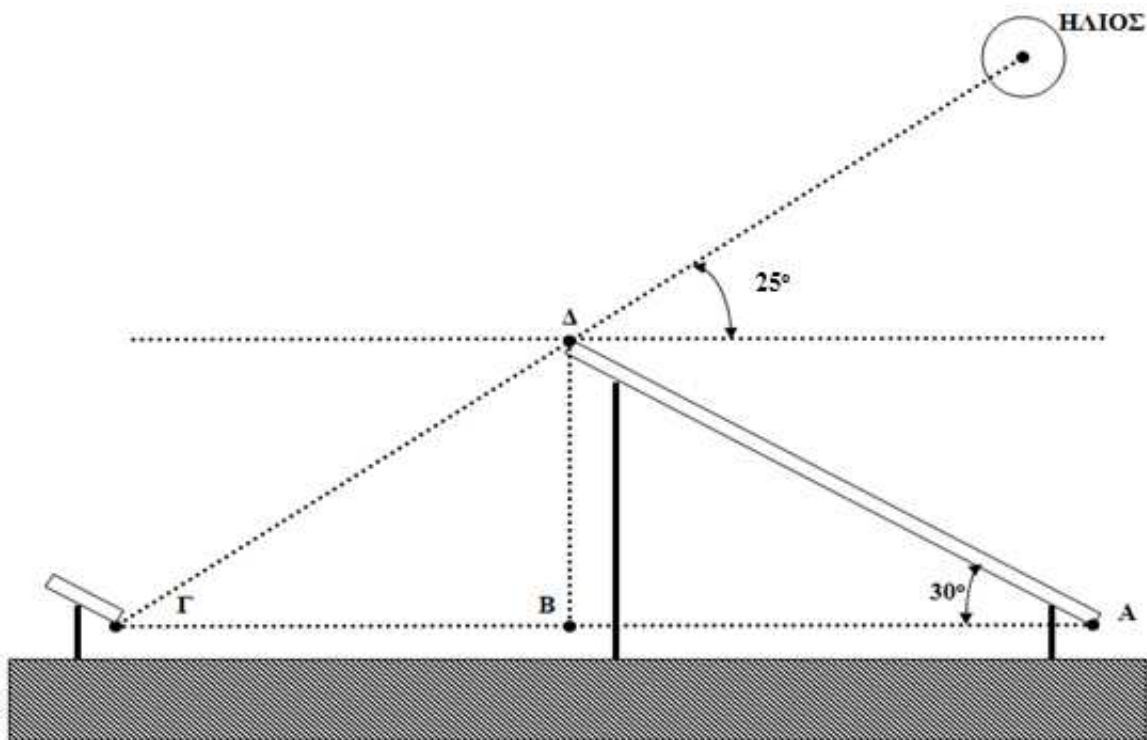
Με δεδομένη την θέση των ηλιακών συλλεκτών ξέρουμε τον διαθέσιμο χώρο για την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Στόχος μας είναι να τοποθετήσουμε τόσα φωτοβολταϊκά στοιχεία ώστε να μπορούν να παράξουν 4,5 kWh ημερησίως ακόμη και στις δυσκολότερες συνθήκες δηλαδή την χειμερινή περίοδο. Βάσει της ενότητας 3.1.2.4 ένα φωτοβολταϊκό σύστημα ονομαστικής ισχύος 1 kWp παράγει κατά μέσο όρο 4,1 kWh ημερησίως. Για λόγους ασφαλείας θα διπλασιάσουμε το μέγεθος του συστήματος έτσι ώστε να είμαστε καλυμμένοι και την χειμερινή περίοδο και ας υπάρχει πλεονασμός ενέργειας την θερινή περίοδο, άλλωστε το κόστος των φωτοβολταϊκών πλέον είναι αρκετά μειωμένο. Έτσι θα εγκαταστήσουμε φωτοβολταϊκά ισχύος περίπου 2 kWp στην ταράτσα της υπό μελέτη οικίας. Με βάση την ονομαστική ισχύ του πλαισίου που έχει επιλεγεί (230 kWp ανά πλαίσιο) θα τοποθετηθούν 10 πλαίσια με αποτέλεσμα ονομαστική ισχύ συστήματος 2,3 kWp όπου μας δίνει και τον επιθυμητό πλεονασμό για λόγους ασφαλείας.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια πρέπει να έχουν νότιο προσανατολισμό, ίδιο προσανατολισμό με τους συλλέκτες, ώστε να δέχονται την μέγιστη δυνατή ηλιοφάνεια και να έχουν την μέγιστη απόδοση. Για να δέχονται όμως την μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία πρέπει οι διαδοχικές σειρές να έχουν τέτοια απόσταση έτσι ώστε να μην υπάρχει πρόβλημα σκίασης της πίσω σειράς από την μπροστινή. Η απόσταση αυτή εξαρτάται από την γωνία που σχηματίζει ο ήλιος με την γη γνωστότερη και ως ηλιακό υψόμετρο και θα πρέπει να υπολογιστεί πριν χωροθετηθούν στην ταράτσα της οικίας. Στο σχήμα 3.5 φαίνεται το ηλιακό υψόμετρο αναλόγως της εποχής για γεωγραφικό πλάτος 39 μοιρών, αντίστοιχο περίπου με το γεωγραφικό πλάτος της Κρήτης (υπάρχει μια πολύ μικρή απόκλιση).



Σχήμα 3.5: Υψόμετρο ηλίου για γεωγραφικό πλάτος 39° [13]

Από το σχήμα 3.5 παρατηρείται ότι το μικρότερο ύψος εμφανίζεται την χειμερινή περίοδο. Ακόμη και αυτή την περίοδο όμως, από τις 11 το πρωί έως και τις 14 το απόγευμα, τις ώρες με την μέγιστη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η γωνία του ήλιου είναι μεγαλύτερη των 25° . Εάν λάβουμε υπόψη μας και την διαφορά του γεωγραφικού πλάτους (η Κρήτη έχει γεωγραφικό πλάτος της τάξεως των 35° ενώ στο σχήμα το γεωγραφικό πλάτος είναι 39°) τότε αυτό το διάστημα διευρύνεται περαιτέρω. Έτσι, εάν τοποθετηθούν σε τέτοια απόσταση οι διαδοχικές σειρές των φωτοβολταϊκών πλαισίων ώστε να μην εμφανίζεται σκίαση για γωνίες ήλιου μεγαλύτερες από 25° , θα υπάρχει εκμετάλλευση του μεγαλύτερου ποσοστού της ηλιακής ακτινοβολίας ακόμη και την χειμερινή περίοδο. Το σχήμα 3.6 παρουσιάζει την διάταξη μιας σειράς φωτοβολταϊκών στοιχείων. Βάσει του σχήματος αυτού απαιτείται ο υπολογισμός της απόστασης ΒΓ, αυτή είναι η απόσταση μεταξύ των δύο διαδοχικών σειρών φωτοβολταϊκών πλαισίων.



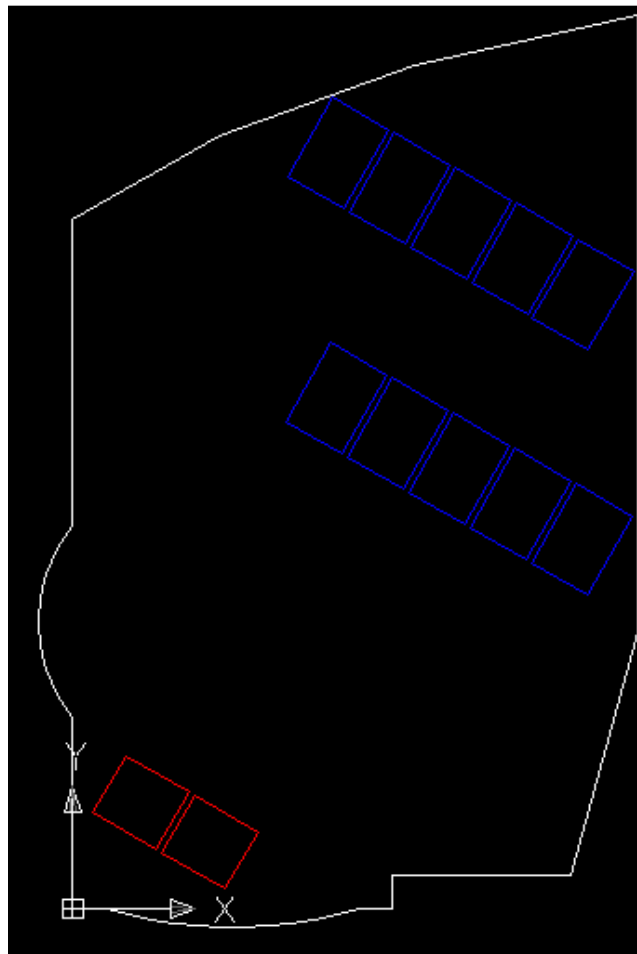
Σχήμα 3.6: Διάταξη μιας σειράς φωτοβολταϊκών πλαισίων και απόσταση από την επόμενη σειρά

Ο υπολογισμός της απόστασης ΒΓ είναι πολύ απλός εάν εφαρμοστούν βασικές αρχές της γεωμετρίας στα επιμέρους τρίγωνα που δημιουργούνται. Για τον υπολογισμό του απαιτείται η γνώση της τιμής του ευθύγραμμου τμήματος ΒΔ η οποία μπορεί να προσδιοριστεί από το τρίγωνο ΑΒΔ με δεδομένη την απόσταση ΑΔ ίση με το μήκος του φωτοβολταϊκού πλαισίου δηλαδή ίση με 1650 mm. Οι υπολογισμοί ακολουθούν παρακάτω:

$$\overline{B\Delta} = \overline{A\Delta} \cdot \sin\hat{A} = 1650\text{mm} \cdot \sin 30^\circ \Rightarrow \overline{B\Delta} = 825\text{mm}$$

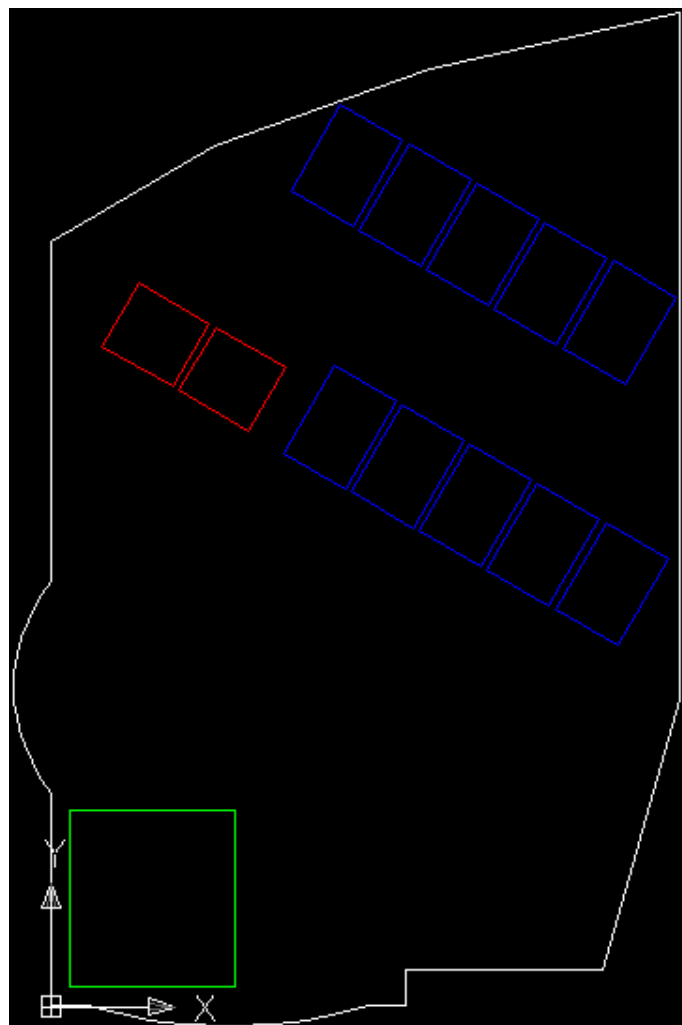
$$\overline{B\Gamma} = \frac{\overline{B\Delta}}{\tan\hat{\Gamma}} = \frac{825\text{mm}}{\tan 25^\circ} = 1769\text{mm} \approx 1,8\text{m}$$

Με δεδομένη την μεταξύ διαδοχικών σειρών απόσταση τοποθετούμε στην ταράτσα τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Η ίδια απόσταση πρέπει να τηρείται και μεταξύ της τελευταίας σειράς των φωτοβολταϊκών και των ηλιακών συλλεκτών ώστε να μην σκιάζονται οι ηλιακοί συλλέκτες. Βάσει του αριθμού των πλαισίων (10) δεν υπάρχει πρόβλημα τοποθέτησης των πλαισίων από άποψη «χωρητικότητας» της ταράτσας. Έτσι τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα τοποθετηθούν σε δύο σειρές των 5 πλαισίων έκαστη έτσι ώστε να μπορούν να δημιουργήσουν και δύο δίκτυα για σύνδεση στον αντιστροφέα. Στην εικόνα 3.3 παρουσιάζεται η κάτοψη της ταράτσας της οικίας με την τοποθέτηση και των 10 φωτοβολταϊκών πλαισίων (μπλε χρώμα). Μετά την τοποθέτηση και των φωτοβολταϊκών στοιχείων στην ταράτσα θεωρείται ολοκληρωμένη η σχεδίαση του υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.



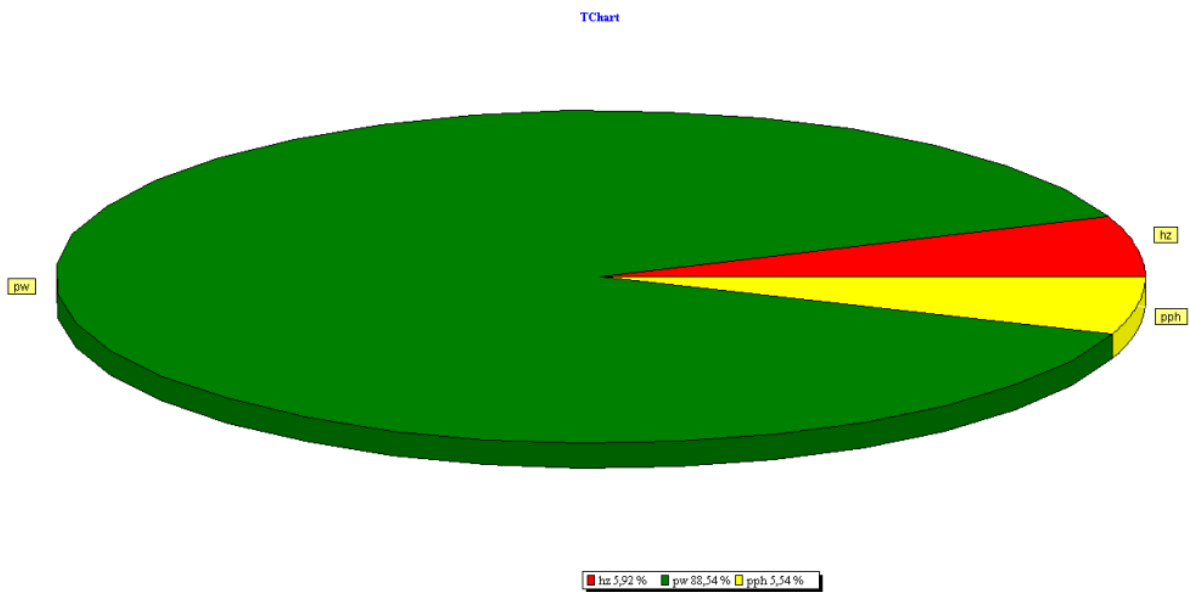
Εικόνα 3.3: Τοποθέτηση των 10 φωτοβολταϊκών πλαισίων στην ταράτσα της οικίας

Το τελευταίο τμήμα του υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που πρέπει να τοποθετηθεί χωροταξικά στον χώρο της ταράτσας της οικίας είναι οι ανεμογεννήτριες. Όπως προέκυψε από την διαστασιολόγηση του υβριδικού συστήματος θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια ανεμογεννήτρια ισχύος 5kW. Η ανεμογεννήτρια πρέπει να τοποθετηθεί σε τέτοιο χώρο ώστε να μην επηρεάζουν τα φωτοβολταϊκά και τους ηλιακούς συλλέκτες, να μην τους σκιάζουν. Έτσι η τοποθέτησή τους γίνεται στο βόρειο μέρος της ταράτσας. Άλλωστε λόγω του ότι είναι κάθετου άξονα δεν υπάρχει κάποιος περιορισμός στον χώρο τοποθέτησής τους σε ότι αφορά την τοποθέτησή τους. Για να μην επηρεάζουν την λειτουργία της οι συλλέκτες για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης τοποθετούνται πιο μπροστά, δίπλα στην δεύτερη σειρά των φωτοβολταϊκών πλαισίων με προσοχή όμως ώστε να τηρείται η απόσταση που αναφέρθηκε παραπάνω. Στην εικόνα 3.4 παρουσιάζεται η θέση τοποθέτησης της ανεμογεννήτριας και η συνολική διάταξη των τεμαχίων του υβριδικού συστήματος πάνω στην ταράτσα της υπό μελέτη οικίας.



Εικόνα 3.4: Τοποθέτηση ανεμογεννήτριας στον χώρο της οικίας και τελική διάταξη των ηλιακών συλλεκτών και των φωτοβολταϊκών πλαισίων

Με βάση τα στοιχεία του συστήματος που εν τέλει σχεδιάστηκε, χρησιμοποιείται το πρόγραμμα AUTON ώστε να επαληθευτεί το ότι το σύστημα ανεμογεννητριών καλύπτει περίπου του 90% της κατανάλωσης και το σύστημα ανεμογεννητριών καλύπτει περίπου το 5%. Όντως το πρόγραμμα μας το επαληθεύει. Μας δίνει χρήση ανεμογεννητριών 88,54, χρήση φωτοβολταϊκών 5,54 και χρήση ηλεκτρογεννήτριας 5,92, νούμερα σχεδόν τα ίδια με αυτά που σχεδιάστηκε το σύστημα. Το γράφημα του σχήματος 3.7 επιβεβαιώνει τα παραπάνω.



Σχήμα 3.7: Ποσοστό ηλεκτροπαραγωγής από κάθε επιμέρους σύστημα σύμφωνα με το AUTON

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΥΤΟΝΟΜΗΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ”

4.1 Κόστος συστημάτων αυτόνομης κατοικίας

Η οικονομική μελέτη της αυτόνομης κατοικίας ανάγεται σε μελέτη του κατά πόσον το κόστος προμήθειας, εγκατάστασης και λειτουργίας του υβριδικού συστήματος είναι χαμηλότερο από το κόστος σύνδεσης της οικίας με το τοπικό δίκτυο παροχής ηλεκτρισμού κατά την διάρκεια των ετών ζωής του συστήματος. Έτσι αρχικά η μελέτη οικονομικής σκοπιμότητας ξεκινάει από τον προσδιορισμό του κόστους. Στις πρώτες ενότητες προσδιορίζεται το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης των επιμέρους τμημάτων του υβριδικού συστήματος. Στην τελευταία ενότητα καθορίζεται το ετήσιο κόστος λειτουργίας του συστήματος. Έτσι μπορεί να καθοριστεί το συνολικό κόστος του συστήματος κατά την διάρκεια της ζωής του.

4.1.1 Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης θερμικού ηλιακού συστήματος

Το κόστος του θερμικού ηλιακού συστήματος οφείλεται κυρίως στην προμήθεια των ηλιακών συλλεκτών και του δοχείου αποθήκευσης του ζεστού νερού χρήσης. Επιμέρους κόστη εμφανίζονται στην προμήθεια συμπληρωματικού εξοπλισμού, απαραίτητου για την εγκατάσταση των συλλεκτών. Ο παρακάτω πίνακας 31 καταγράφει το σύνολο του είδους των τεμαχίων που απαιτούνται για την πλήρη εγκατάσταση του συστήματος, τον αριθμό κάθε είδους τεμαχίων που χρησιμοποιείται, το κόστος ανά τεμάχιο και το συνολικό κόστος του συνόλου των τεμαχίων. Στο τέλος καταγράφεται το συνολικό κόστος προμήθειας του θερμικού ηλιακού συστήματος. Η μελέτη ενός ηλιακού συστήματος είναι πολύ εύκολη όπως και η εγκατάστασή του έτσι το κόστος μελέτης και εγκατάστασης είναι σχετικά μικρό, θα θεωρηθεί ίσο με 100 ευρώ. Αυτό φαίνεται στον πίνακα 32. Σε αυτό τον πίνακα φαίνεται και η τιμή που προκύπτει μετά την προσθήκη του ΦΠΑ που την δεδομένη στιγμή ισούται με 23% και στο τέλος προκύπτει το τελικό κόστος προμήθειας και εγκατάστασης του θερμικού

ηλιακού συστήματος. Από τον πίνακα 32 προκύπτει συνολικό κόστος είναι ίσο με 2000 ευρώ. [42], [43]

Πίνακας 31: Κόστος προμήθειας υλικών θερμικού ηλιακού συστήματος [42], [43]

Είδος εξαρτήματος	Κόστος τεμαχίου [ευρώ]	Αριθμός τεμαχίων	Συνολικό κόστος εξαρτήματος [ευρώ]
Ηλιακός συλλέκτης Logasol SKN 3.0 - s	400	2	800
Βάση ταράτσας για συλλέκτη	259	1	260
Θερμοδοχείο Logalux SU 200	880	1	380
Ηλεκτρική αντίσταση 3,5kW	90	1	90
Συνολικό κόστος προμήθειας υλικών ηλιακού θερμικού συστήματος			1530

Πίνακας 32: Συνολικό κόστος θερμικού ηλιακού συστήματος

Αιτία κόστους	Κόστος [ευρώ]
Κόστος προμήθειας θερμικού ηλιακού συστήματος	1530
Κόστος εγκατάστασης θερμικού ηλιακού συστήματος	100
Συνολικό κόστος προμήθειας και εγκατάστασης θερμικού ηλιακού συστήματος	1630
Κόστος ΦΠΑ	370
Συνολικό κόστος θερμικού ηλιακού συστήματος	2000

4.1.2 Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος

Το φωτοβολταϊκό σύστημα που σχεδιάστηκε στο τρίτο κεφάλαιο αποτελείται από 10 φωτοβολταϊκά πλαίσια τύπου ASM POLY 1 – 6 CS 230Wpeak. Το συγκεκριμένο σύστημα έχει κόστος προμήθειας ίσο με 529 ευρώ ανά πλαίσιο, χωρίς την προσθήκη του ΦΠΑ. Πέρα από το κόστος προμήθειας των ιδίων των πλαισίων υπάρχει και ένα κόστος προμήθειας για τις βάσεις εγκατάστασης των συγκεκριμένων πλαισίων και τα καλώδια σύνδεσής τους. Συγκεκριμένα θα χρειαστούν δύο βάσεις για 5 φωτοβολταϊκά πλαίσια έκαστη με κόστος 100 ευρώ η κάθε μια. Στον πίνακα 33 παρουσιάζεται η ανάλυση του κόστους προμήθειας αυτών των εξαρτημάτων. Ταυτόχρονα καταγράφεται και το κόστος εργασιών που υπολογίζεται στα 500 ευρώ. Τέλος προστίθεται ο ΦΠΑ και προκύπτει το συνολικό κόστος προμήθειας και εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος. Από τον πίνακα προκύπτει συνολικό κόστος του φωτοβολταϊκού συστήματος ίσο με 7615 ευρώ. Το κόστος αυτό είναι μεγαλύτερο από το

κόστος που είδαμε στην ενότητα 3.1.2.4, στην περίπτωση 4. Ο λόγος είναι γιατί υπερδιαστασιολογήσαμε το φωτοβολταϊκό σύστημα, το υπερδιπλασιάσαμε, για λόγους ασφαλείας, και σίγουρης κάλυψης ακόμη και την χειμερινή περίοδο. ^[48]

Πίνακας 33: Συνολικό κόστος φωτοβολταϊκού συστήματος ^[48]

Αιτία κόστους	Κόστος [ευρώ]	Αριθμός τεμαχίων	Συνολικό κόστος [ευρώ]
Κόστος προμήθειας φωτοβολταϊκού πλαισίου	529	10	5290
Βάση εγκατάστασης φωτοβολταϊκών	100	2	200
Καλώδια και λοιπά παρελκόμενα	200	1	200
Κόστος εργασιών	-	-	500
Σύνολο κόστους χωρίς ΦΠΑ	-	-	6190
ΦΠΑ	-	-	1425
Συνολικό κόστος φωτοβολταϊκού συστήματος			7615

4.1.3 Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης συστήματος ανεμογεννητριών

Επόμενο τμήμα του υβριδικού συστήματος που πρέπει να κοστολογηθεί είναι το σύστημα ανεμογεννητριών. Το σύνολο του κόστους του οφείλεται σχεδόν κατ' αποκλειστικότητα στο κόστος προμήθειας της ανεμογεννήτριας. Πολύ μικρότερο είναι το κόστος των παρελκόμενων που απαιτούνται για την εγκατάστασή τους (βάσεις και καλώδια σύνδεσης). Έτσι θα θεωρηθεί κόστος παρελκόμενων 250 ευρώ. Επίσης μικρό είναι το κόστος εγκατάστασής τους γιατί απαιτεί πολύ μικρή δουλειά από το συνεργείο, θα θεωρηθεί ίσο με 300 ευρώ. Άλλωστε το συνεργείο αυτό θα εγκαταστήσει τόσο τον ηλιακό όσο και τα φωτοβολταϊκά άρα θα έχει συνολικά χαμηλότερο κόστος η εγκατάσταση από την περίπτωση που το συνεργείο θα έπρεπε να εγκαταστήσει μόνο το σύστημα των ανεμογεννητριών. Ο πίνακας 34 παρουσιάζει το σύνολο του κόστους προμήθειας και εγκατάστασης του συστήματος ανεμογεννητριών χωρίς και με την προσθήκη του ΦΠΑ. ^[49]

Πίνακας 34: Συνολικό κόστος προμήθειας και εγκατάστασης συστήματος ανεμογεννητριών ^[49]

Αιτία κόστους	Κόστος τεμαχίου [ευρώ]	Αριθμός τεμαχίων	Συνολικό κόστος [ευρώ]
Προμήθεια ανεμογεννητριών	4400	1	4400
Προμήθεια παρελκόμενων εγκατάστασης	200	1	250
Κόστος εργασίας εγκατάστασης	-	-	300
Συνολικό κόστος χωρίς το ΦΠΑ	-	-	4950
ΦΠΑ	-	-	1150

Συνολικό κόστος προμήθειας και εγκατάστασης ανεμογεννητριών	6100
---	------

4.1.4 Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους

Το κόστος του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους ανάγεται κυρίως σε κόστος προμήθειας καθώς απαιτεί πολύ μικρές διαδικασίες εγκατάστασης. Οι διαδικασίες αυτές οφείλονται κυρίως στην σύνδεση του με το δίκτυο και όχι στην τοποθέτησή τους γιατί όπως παραλαμβάνεται από την αγορά τοποθετείται στον χώρο εφαρμογής. Έτσι το κόστος εγκατάστασης θα θεωρηθεί ίσο με 40 ευρώ, όπως τιμολογείται συνήθως μια απλή επίσκεψη ηλεκτρολόγου. Ο πίνακας 35 δείχνει το κόστος προμήθειας του ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους και των παρελκόμενων του, το κόστος εργασίας, το κόστος του ΦΠΑ και εν τέλει το συνολικό κόστος του συστήματος. ^{[44], [45]}

Πίνακας 35: Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους ^{[44], [45]}

Αιτία κόστους	Κόστος [ευρώ]
Προμήθεια ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους	1100
Προμήθεια δεξαμενής καυσίμου	147
Κόστος εγκατάστασης	40
Σύνολο κόστους προμήθειας και εγκατάστασης ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους χωρίς ΦΠΑ	1287
ΦΠΑ	296
Σύνολο κόστους προμήθειας και εγκατάστασης ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους	1583

4.1.5 Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης λοιπών στοιχείων

Το πρώτο τμήμα των λοιπών στοιχείων είναι οι συσσωρευτές. Στο τρίτο κεφάλαιο επιλέχθηκε η χρήση 11 συσσωρευτών τύπου Rolls 12 CS 11PS οι οποίοι κοστολογούνται στα 839 ευρώ έκαστος χωρίς την ύπαρξη του ΦΠΑ. Το συνολικό κόστος των συσσωρευτών χωρίς ΦΠΑ είναι ίσο με 9229 ευρώ. Το επόμενο τμήμα των λοιπών στοιχείων είναι το σύστημα ελέγχου και ο ρυθμιστής φόρτισης. Το κόστος του μοντέλου MPS 80 που έχει επιλεγεί είναι 198,16 ευρώ χωρίς αυτή η τιμή να περιέχει τον ΦΠΑ. Με δεδομένο ότι έχει επιλεγεί η χρήση ενός ρυθμιστή φόρτισης τότε το συνολικό κόστος του συστήματος ελέγχου χωρίς το ΦΠΑ είναι 198,16 ευρώ. Το τελευταίο από τα λοιπά στοιχεία είναι ο αντιστροφέας. Έχει κόστος 744,9 ευρώ έκαστος. Αφού θα χρησιμοποιηθούν 4 συνεπάγεται συνολικό κόστος 2979,6 ευρώ, χωρίς να συμπεριλαμβάνεται ο ΦΠΑ. Θα θεωρηθεί και ένα κόστος εργασίας της τάξεως των 100 ευρώ για την τοποθέτηση αυτών των εξαρτημάτων. Ο πίνακας 36 δίδει το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης των λοιπών στοιχείων. ^{[47], [51], [53]}

Πίνακας 36: Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης λοιπών στοιχείων υβριδικού συστήματος ^{[47], [51], [53]}

Αιτία κόστους	Κόστος τεμαχίου [ευρώ]	Αριθμός τεμαχίων	Συνολικό κόστος [ευρώ]
Προμήθεια συσσωρευτών	839	11	9229
Προμήθεια ρυθμιστή φόρτισης	198.16	1	198
Προμήθεια αντιστροφών	744.9	4	2980
Κόστος εργασίας εγκατάστασης	-	-	100
Συνολικό κόστος χωρίς το ΦΠΑ	-	-	12507
ΦΠΑ	-	-	2877
Συνολικό κόστος προμήθειας και εγκατάστασης ανεμογεννητριών			15383

Αθροίζοντας τα επιμέρους κόστη προμήθειας και εγκατάστασης του κάθε συστήματος μπορούμε να καταλήξουμε στο συνολικό κόστος προμήθειας και εγκατάστασης του υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ο πίνακας 37 παρουσιάζει τα συνολικά αποτελέσματα κόστους κάθε επιμέρους συστήματος και εν τέλει συνολικά του υβριδικού συστήματος. Από ότι παρατηρούμε το συνολικό κόστος εγκατάστασης είναι σχεδόν 32500 ευρώ.

Πίνακας 37: Συνολικό κόστος προμήθειας και εγκατάστασης υβριδικού συστήματος

Αιτία κόστους	Κόστος [ευρώ]
Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης θερμικού ηλιακού συστήματος	2000
Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος	7615
Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης συστήματος ανεμογεννητριών	6100
Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους	1583
Κόστος προμήθειας και εγκατάστασης λοιπών στοιχείων	15383
Συνολικό κόστος υβριδικού συστήματος	32681

4.1.6 Ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης συστημάτων αυτόνομης κατοικίας

Πέρα από το κόστος προμήθειας και εγκατάστασης του υβριδικού συστήματος υπάρχει και ένα ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Το θερμικό ηλιακό σύστημα και το σύστημα φωτοβολταϊκών στοιχείων παρουσιάζουν μηδενικό κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Αντίθετα, οι ανεμογεννήτριες, το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος και οι συσσωρευτές απαιτούν ετήσια συντήρηση η οποία θα θεωρηθεί ότι κοστίζει περί τα 200 ευρώ ανά έτος δηλαδή 5000 ευρώ στον κύκλο της 25ετίας.

Επιπλέον πρέπει να θεωρηθεί ως έξοδο λειτουργίας και το καύσιμο που καίει το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος. Το καύσιμο αυτό καίγεται για να καλύψει τις επιπλέον ανάγκες της οικίας για τις οποίες δεν αρκεί η ηλεκτροπαραγωγή από το φωτοβολταϊκό σύστημα και

το σύστημα ανεμογεννητριών. Όπως αναφέρθηκε και στον σχεδιασμό του υβριδικού συστήματος το φωτοβολταϊκό σύστημα στην περιοχή της Κρήτης, βέλτιστα σχεδιασμένο, παράγει περί τις 1500 kWh ετησίως ανά εγκατεστημένο kWp. Το σύστημα που έχουμε σχεδιάσει εμείς είναι βέλτιστο (νότιος προσανατολισμός, βέλτιστη κλίση πλαισίων) και έχει ονομαστική ισχύ 2,3 kWp καθώς αποτελείται από 10 πλαίσια ονομαστικής ισχύος 230 Wp έκαστο. Αυτό συνεπάγεται ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα παράγει περί τις 3450 kWh ετησίως άρα 290 kWh μηνιαίως. Ταυτόχρονα, η ανεμογεννήτρια έχει την δυνατότητα παραγωγής 720 kWh ανά μήνα όπως έχει αναφερθεί στο τρίτο κεφάλαιο. Συνολικά, τα δύο συστήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παράγουν περίπου 1000 kWh μηνιαίως και 12000 kWh ετησίως.

Αυτή η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια καλύπτει την συνολικά απαιτούμενη από την οικία η οποία, όπως προκύπτει από τους πίνακες 3 και 4, ισούται με 87,132 kWh ανά ημέρα την θερινή περίοδο και 62,578 kWh ανά ημέρα την χειμερινή περίοδο. Δεδομένου του ότι η θερινή περίοδος διαρκεί από τον Μάιο έως και τον Σεπτέμβριο και η χειμερινή περίοδος διάρκειά από τον Οκτώβριο έως και τον Απρίλιο προκύπτουν στον πίνακα 38 οι απαιτούμενες kWh ανά μήνα. Οι kWh αυτές προκύπτουν με δεδομένο το ότι η οικία, ως εξοχική οικία, βρίσκεται σε χρήση 10 ημέρες ανά μήνα.

Πίνακας 38: Αναγκαία ηλεκτρική ενέργεια που πρέπει να παραχθεί από το ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος

Μήνας	Αριθμός ημερών	Κατανάλωση ανά μήνα [kWh]	Μηνιαία κάλυψη από συστήματα ΑΠΕ [kWh]	Κάλυψη από Η/Ζ [kWh]
Ιανουάριος	10	625.78	1010	-384.22
Φεβρουάριος	10	625.78	1010	-384.22
Μάρτιος	10	625.78	1010	-384.22
Απρίλιος	10	625.78	1010	-384.22
Μάιος	10	871.32	1010	-138.68
Ιούνιος	10	871.32	1010	-138.68
Ιούλιος	10	871.32	1010	-138.68
Αύγουστος	10	871.32	1010	-138.68
Σεπτέμβριος	10	871.32	1010	-138.68
Οκτώβριος	10	625.78	1010	-384.22
Νοέμβριος	10	625.78	1010	-384.22
Δεκέμβριος	10	625.78	1010	-384.22
Σύνολο	120	8737.06	12120	0

Από τον πίνακα παρατηρείται ότι η παραγόμενη από τα συστήματα ΑΠΕ ενέργεια κατά μέσο όρο είναι επαρκής ώστε να καλύψει πλήρως τις ανάγκες της οικίας τους χειμερινούς και τους θερινούς μήνες. Επειδή όμως οι συνθήκες δεν θα είναι κάθε μέρα βέλτιστες θα χρειαστεί κάποιες μέρες να επέμβει η ηλεκτρογεννήτρια η οποία εν τέλει θα καλύπτει το 5% του συνολικού φορτίου (όπως είδαμε και στην ενότητα 3.2.1.4) ήτοι 4,5kWh ανά ημέρα και 540 kWh ανά έτος με κόστος 205,2 ευρώ. Για λόγους ασφαλείας θα υποθέσω ότι απαιτείται κόστος 250 ευρώ ανά έτος ως καύσιμο.

4.2 Ετήσιο κέρδος από μείωση κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας

Για να γίνει μια ολοκληρωμένη οικονομική μελέτη σκοπιμότητας πρέπει να καθοριστεί το κέρδος που θα υπάρξει με την δημιουργία του υβριδικού συστήματος. Εν προκειμένω, από την στιγμή που το υβριδικό σύστημα θα καλύψει πλήρως τις ανάγκες σε φορτίο της οικίας, το κέρδος θα είναι η μη σύνδεση με το τοπικό δίκτυο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και η μηδενική κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος. Στο τρίτο κεφάλαιο υπολογίστηκε ημερήσιο φορτίο της τάξεως των 62,5 kWh την χειμερινή περίοδο και της τάξεως των 87 kWh την θερινή περίοδο. Εάν σε αυτά προστεθεί και ένα επιπλέον φορτίο περί τις 4,5 kWh ανά μέρα λόγω της ύπαρξης του θερμοσίφωνα για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης τότε η οικία, εάν δεν είχε το υβριδικό σύστημα, θα κατανάλωνε περί τις 67 kWh ημερησίως τον χειμώνα και περί τις 92 kWh ημερησίως το καλοκαίρι.

Για να υπολογιστεί η συνολική ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος πρέπει τα παραπάνω νούμερα να πολλαπλασιασθούν επί τον αριθμό των ημερών του χρόνου που βρίσκεται σε χρήση η εξοχική κατοικία. Στο τρίτο κεφάλαιο η διαστασιολόγηση έγινε με δεδομένη χρήση της οικίας 10 μέρες τον μήνα. Έτσι και τώρα θα θεωρηθεί ότι η οικία λειτουργεί 10 μέρες ανά μήνα. Στον πίνακα 39 γίνεται ο υπολογισμός των τελικών μηνιαίων απαιτήσεων ηλεκτρικού ρεύματος στην οικία. Επίσης υπολογίζεται το κόστος με τιμές kWh της τάξεως των 13 λεπτών που επικρατούν σήμερα στην Ελλάδα.

Πίνακας 39: Κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος στην οικία σε περίπτωση που δεν υπήρχε το υβριδικό σύστημα

Μήνας	Ημερήσιο φορτίο κατανάλωσης [kWh]	Ημέρες μήνα που βρίσκεται σε χρήση η κατοικία	Μηνιαίο φορτίο κατανάλωσης [kWh]	Κόστος kWh [ευρώ]	Μηνιαίο κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος [ευρώ]
Ιανουάριος	67	10	670	0.13	87.1

Φεβρουάριος	67	10	670	0.13	87.1
Μάρτιος	67	10	670	0.13	87.1
Απρίλιος	67	10	670	0.13	87.1
Μάιος	92	10	920	0.13	119.6
Ιούνιος	92	10	920	0.13	119.6
Ιούλιος	92	10	920	0.13	119.6
Αύγουστος	92	10	920	0.13	119.6
Σεπτέμβριος	92	10	920	0.13	119.6
Οκτώβριος	67	10	670	0.13	87.1
Νοέμβριος	67	10	670	0.13	87.1
Δεκέμβριος	67	10	670	0.13	87.1
Συνολικό ετήσιο κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος					1207.7

Το συνολικό ετήσιο κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος προκύπτει ίσο με 1207,7 ευρώ, περίπου 1210 ευρώ. Όμως σε ένα λογαριασμό ηλεκτρικού ρεύματος υπάρχουν και άλλα στοιχεία που χρεώνονται όπως πάγιες χρεώσεις ηλεκτρικού ρεύματος, δημοτικά τέλη, τέλη ΕΡΤ, τέλη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και άλλα. Αυτά τα τέλη συνήθως κυμαίνονται στα 80 ευρώ ανά λογαριασμό, κυμαίνονται όμως από περιοχή σε περιοχή, κυρίως γιατί μεταβάλλονται τα δημοτικά τέλη. Στο σύνολο του έτους κάθε νοικοκυριό πληρώνει 6 λογαριασμούς της ΔΕΗ άρα θα πληρώσει περί τα 480 ευρώ σε αυτά τα τέλη. Έτσι προκύπτει συνολικό κόστος της τάξεως των 1700 ευρώ ετησίως για το ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτό το ποσό είναι χωρίς τον φόρο προστιθέμενης αξίας ο οποίος ισούται με 23%. Για το ποσό της τάξεως των 1500 ευρώ ο ΦΠΑ είναι 391 ευρώ άρα προκύπτει συνολικό ετήσιο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας ίσο με περίπου 2100 ευρώ ετησίως. Αυτό είναι το ετήσιο κέρδος από την ύπαρξη του υβριδικού συστήματος.

Αυτό είναι το σκέλος που κερδίζεται από την μη κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος. Από την στιγμή όμως που έχουμε αυτόνομο σύστημα δεν χρειάζεται να γίνει καν σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ. Έτσι σε αυτή την περίπτωση υπάρχει και κέρδος από την μη ύπαρξη τελών σύνδεσης και την μη ύπαρξη μελέτης του ηλεκτρολόγου που πρέπει να κατατεθεί στην ΔΕΗ. Αυτό το κέρδος θα θεωρηθεί ίσο με 8000 ευρώ. Αυτό οδηγεί σε κόστος αρχικής επένδυσης μειωμένο κατά 8000 ευρώ, ίσο με 24500 ευρώ.

4.3 Χρηματοδότηση συστήματος

Από τον πίνακα 37 παρατηρείται ότι το κόστος εγκατάστασης του υβριδικού συστήματος είναι περίπου 32500 ευρώ. Για τους λόγους που αναφέραμε αμέσως παραπάνω το καθαρό κόστος της αρχικής επένδυσης μειώνεται στα 24500 ευρώ. Αυτά τα κεφάλαια με κάποιο τρόπο πρέπει να εξευρεθούν. Οι μέθοδοι χρηματοδότησης είναι τρεις. Η πρώτη είναι με ίδια κεφάλαια όπου ο ιδιοκτήτης καλύπτει με δικά του λεφτά το κόστος της επένδυσης. Η δεύτερη είναι με δάνειο όπου ο ιδιοκτήτης καλύπτει με δάνειο από τράπεζα μέρος ή και ολόκληρο το κόστος επένδυσης. Η τρίτη είναι με επιχορήγηση όπου εντάσσεται η επένδυση σε ένα πρόγραμμα και μέρος των κεφαλαίων επιστρέφεται στον ιδιοκτήτη. Εν προκειμένω δεν τρέχει κάποιο πρόγραμμα επιχορήγησης άρα το οικονομικό κόστος θα καλυφθεί από τον ιδιοκτήτη και από δάνειο. Λόγω της οικονομικής κρίσης οι τράπεζες έχουν γίνει πολύ φειδωλές στον δανεισμό άρα ο ιδιοκτήτης δεν θα μπορέσει να εξασφαλίσει τον δανεισμό ολόκληρου του κεφαλαίου, πρέπει να συνεισφέρει ο ίδιος με ίδια κεφάλαια σε ένα ποσοστό. Έστω λοιπόν ότι η επένδυση γίνεται με 30% ίδια κεφάλαια (7350 ευρώ) και 70% δανεισμό (17150 ευρώ).

Ο δανεισμός συνεπάγεται ύπαρξη τόκων και τοκοχρεολυσίων. Αναλόγως των χαρακτηριστικών του δανείου προκύπτουν από την οικονομική επιστήμη αυτά τα δύο χαρακτηριστικά. Έστω λοιπόν ότι το δάνειο είναι 10ετές με ένα επιτόκιο σταθερό, της τάξεως του 6%. Οι τιμές αυτές δεν είναι τυχαίες, είναι οι τιμές που επικρατούν στην αγορά των τραπεζών για εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Για να προκύψει η ετήσια δόση τόκων και χρεολυσίων χρησιμοποιείται η εξίσωση 4.1.

$$X = \frac{L \cdot i_L}{1 - (1 + i_L)^{-N_L}} \quad \text{Εξ. 4.1}$$

Όπου:

- X: Τοκοχρεολύσιο.
- L: Κεφάλαιο δανεισμού.
- i_L : Επιτόκιο δανεισμού.
- N_L : Περίοδος αποπληρωμής δανείου.

Στον πίνακα 40 καταγράφονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών. Φαίνεται η ετήσια δόση που προκύπτει από την παραπάνω εξίσωση, το μέρος της που αντιστοιχεί στους τόκους και το μέρος της που αντιστοιχεί στα χρεολύσια και το υπόλοιπο του δανείου μέχρι να εξοφληθεί πλήρως. ^[12]

Πίνακας 40: Χαρακτηριστικά δανειοδότησης για την υλοποίηση του υβριδικού συστήματος

Έτος	Τόκος [Ευρώ]	Χρεολύσιο [Ευρώ]	Τοκοχρεολύσιο (δόση) [Ευρώ]	Υπόλοιπο δανείου [Ευρώ]
1	1029	1301	2330	15849
2	951	1379	2330	14470
3	868	1462	2330	13008
4	780	1550	2330	11458
5	687	1643	2330	9815
6	589	1741	2330	8074
7	484	1846	2330	6228
8	374	1956	2330	4272
9	256	2074	2330	2198
10	132	2198	2330	0

4.4 Οικονομική αξιολόγηση συστήματος

Η οικονομική αξιολόγηση του μικρού υβριδικού συστήματος έχει ως στόχο να παρουσιάσει με συγκεκριμένα στοιχεία το κατά πόσο η κατασκευή του συστήματος θα επιφέρει οικονομικό κέρδος ή οικονομική ζημιά για τον επενδυτή. Η οικονομική αξιολόγηση γίνεται με την χρήση οικονομικών δεικτών. Ο υπολογισμός τους καθορίζει την οικονομική σκοπιμότητα ή μη σκοπιμότητα για την υλοποίηση της συγκεκριμένης επένδυσης.

4.4.1 Υπολογισμός οικονομικών δεικτών

Πολλοί είναι οι οικονομικοί δείκτες που εμφανίζονται στην διεθνή οικονομική βιβλιογραφία και έχουν ως στόχο να παρουσιάσουν την οικονομική σκοπιμότητα ή όχι μιας επένδυσης. Είναι προφανές ότι η καταγραφή και ο υπολογισμός όλων αυτών των δεικτών ξεφεύγει του σκοπού της παρούσας εργασίας. Έτσι θα παρουσιαστούν οι κατά την άποψη μας τέσσερις κυριότεροι οικονομικοί δείκτες. Οι δείκτες αυτοί είναι η καθαρή παρούσα αξία, η απόδοση κεφαλαίου, ο λόγος οφέλους – κόστους και η έντοκη περίοδος αποπληρωμής. Στις επόμενες τέσσερις υποενότητες παρουσιάζεται αρχικά το θεωρητικό

υπόβαθρο του κάθε οικονομικού δείκτη και στην συνέχεια γίνεται ο υπολογισμός του με βάση τα οικονομικά μεγέθη του σχεδιασθέντος μικρού υβριδικού συστήματος που υπολογίστηκαν παραπάνω. Με γνώση της τιμής όλων αυτών των δεικτών θα είναι εύκολη η κρίση περί σκοπιμότητας ή όχι του παρόντος συστήματος.

4.4.1.1 Καθαρή παρούσα αξία NPV

Ο πρώτος οικονομικός δείκτης που καλείται να υπολογιστεί είναι η καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value – NPV). Ως οικονομικός δείκτης η καθαρή παρούσα αξία εκφράζει το συνολικό καθαρό όφελος οιασδήποτε επένδυσης κατά το σύνολο του κύκλου ζωής της. Με άλλα λόγια εκφράζει την προεξόφληση στο παρόν όλων των μελλοντικών εσόδων και εξόδων σε σημερινή αξία, σε χρηματικές μονάδες.

Αναλόγως της τιμής της καθαρής παρούσας αξίας μπορεί να προεξοφληθεί η οικονομική σκοπιμότητα ή όχι μιας επένδυσης. Εάν η τιμή της είναι θετική τότε η επένδυση είναι οικονομικά σκόπιμη να πραγματοποιηθεί. Μάλιστα όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η τιμή τόσο σκοπιμότερη είναι η επένδυση καθώς θα αποφέρει μεγαλύτερα συνολικά κέρδη στο σύνολο του κύκλου ζωής της. Αντίθετα, η επένδυση προκύπτει οικονομικά μη σκόπιμη στην περίπτωση που ο δείκτης της καθαρής παρούσας αξίας είναι αρνητικός. Σε αυτή την περίπτωση η επένδυση θα αποφέρει πολύ χαμηλά κέρδη, τέτοια που είναι μικρότερα από την τοποθέτηση του αρχικού κεφαλαίου σε ένα απλό τραπεζικό πρόγραμμα. Σε περίπτωση που η καθαρή παρούσα αξία πάρει την τιμή μηδέν τότε συνεπάγεται ότι το κέρδος της επένδυσης είναι ίσο με το κέρδος ενός τραπεζικού προϊόντος με το επιτόκιο του ίσο με μια επιθυμητή τιμή. Σε αυτή την περίπτωση είναι οριακή η απόφαση και παίζουν και άλλοι παράγοντες ρόλο όπως για παράδειγμα το ρίσκο της επένδυσης. Ο υπολογισμός της καθαρής παρούσας αξίας είναι αρκετά εύκολος, δίδεται από την εξίσωση 4.2.

$$NPV = -C_{in} + \sum_{t=1}^N \left[\frac{F_t}{(1+d)^t} \right] + \frac{SV_N}{(1+d)^N} \quad \text{Εξ. 4.2}$$

Όπου:

- NPV: Καθαρή παρούσα αξία.
- C_{in} : Αρχικό κόστος επένδυσης.
- F_t : Ετήσιο καθαρό όφελος.

- N: Οικονομικός κύκλος ζωής συστήματος.
- d: Επιθυμητό επιτόκιο αναγωγής.
- t: Τρέχον έτος.
- SV_N : Παραμένουσα αξία του συστήματος μετά το τέλος του οικονομικού κύκλου ζωής του.

Το αρχικό κόστος επένδυσης είναι γνωστό, έχει υπολογιστεί ίσο με 32500 ευρώ. Ο οικονομικός κύκλος ζωής του συστήματος είναι της τάξεως των 25 ετών όπως σχεδόν όλα τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το επιθυμητό επιτόκιο αναγωγής είναι το επιτόκιο που θα θέλαμε να πάρουμε από την τοποθέτηση των χρημάτων μας σε ένα τραπεζικό προϊόν, θα θεωρηθεί ίσο με 6% έτσι ώστε να καλύπτει και τα ρίσκα της επένδυσης. Η παραμένουσα αξία του συστήματος θεωρητικά υπάρχει γιατί θα λειτουργεί και πέραν των 25 ετών αλλά επειδή θεωρούμε ότι εκεί κλείνει ο κύκλος ζωής του συστήματος θα την θεωρήσουμε μηδενική. Το μόνο που απομένει να υπολογιστεί είναι το ετήσιο καθαρό όφελος που αποτελεί το κέρδος του συστήματος ανά έτος μείον το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης, το κόστος της ετήσιας δόσης του δανείου και το κόστος των φόρων. Επειδή το κέρδος που προκύπτει είναι από μείωση κατανάλωσης και όχι από πώληση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας δεν φορολογείται έτσι αυτή η συνιστώσα μείωσης του ετήσιου καθαρού οφέλους δεν υπάρχει. Δεδομένης της μη φορολόγησης δεν χρειάζεται να υπολογιστούν και οι αποσβέσεις που οδηγούν σε φοροαπαλλαγές. Παρατηρώ όμως ότι η ετήσια δόση του δανείου είναι ίση με 2330 ευρώ και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης ίσο με 450 ευρώ (250 ευρώ σε καύσιμο και 200 ευρώ σε συντήρηση ετησίως) που δίδουν ετήσιο κόστος 2780 ευρώ ενώ το κέρδος είναι της τάξης των 2100 ευρώ. Αυτό οδηγεί σε ετήσια ζημιά για την πρώτη δεκαετία, όπως και αναμενόταν εξαιτίας του υψηλού κόστους της επένδυσης. Αυτή η ζημιά θα καλυφθεί από τα κέρδη της επόμενης 15ετίας και μάλιστα με το επιθυμητό επιτόκιο αναγωγής; Στον πίνακα 41 παρουσιάζεται ο υπολογισμός του ετήσιου καθαρού οφέλους ανά έτος και εν τέλει καταλήγει στον υπολογισμό της καθαρής παρούσας αξίας του συστήματος.

Πίνακας 41: Υπολογισμός ετήσιων καθαρών κερδών για προσδιορισμό της καθαρής παρούσας αξίας

Έτος	Ακαθάριστα κέρδη	Τόκοι	Χρεολύσιο	Καθαρά κέρδη
1	1650	1029	1301	-680
2	1650	951	1379	-680

3	1650	868	1462	-680
4	1650	780	1550	-680
5	1650	687	1643	-680
6	1650	589	1741	-680
7	1650	484	1846	-680
8	1650	374	1956	-680
9	1650	256	2074	-680
10	1650	132	2198	-680
11	1650	0	0	1650
12	1650	0	0	1650
13	1650	0	0	1650
14	1650	0	0	1650
15	1650	0	0	1650
16	1650	0	0	1650
17	1650	0	0	1650
18	1650	0	0	1650
19	1650	0	0	1650
20	1650	0	0	1650
21	1650	0	0	1650
22	1650	0	0	1650
23	1650	0	0	1650
24	1650	0	0	1650
25	1650	0	0	1650
				17950

Από τον παραπάνω πίνακα βλέπουμε ότι ξεπληρώνεται το κόστος του δανεισμού. Στην ουσία στην 25ετία θα πάρουμε τέτοιο κέρδος έτσι ώστε να ξεπληρώσουμε το κόστος δανεισμού, τα λειτουργικά έξοδα και τα έξοδα συντήρησης και θα υπάρχει ένα οικονομικό κέρδος της τάξεως των 17950 ευρώ. Αυτό μας κάνει να αναμένουμε φυσικά πολύ μικρή, πιθανότητα και αρνητική καθαρή παρούσα αξία. Ο υπολογισμός της μας δίνει μια τιμή της τάξεως των -20000.

$$NPV = -20556,5$$

Αυτό το νούμερο της καθαρής παρούσας αξίας είναι μη αποδεκτό και καθιστά την επένδυση οικονομικά μη σκόπιμη. ^[12]

4.4.1.2 Απόδοση κεφαλαίου *IRR*

Ο δεύτερος οικονομικός δείκτης που καλούμαστε να υπολογίσουμε για να κρίνουμε την οικονομική σκοπιμότητα της επένδυσης η απόδοση κεφαλαίου (Internal Rate of Return – *IRR*). Η απόδοση κεφαλαίου εκφράζει ένα συγκεκριμένο επιτόκιο αναγωγής για το οποίο προκύπτει μηδενική τιμή της καθαρής παρούσας αξίας. Αυτό συνεπάγεται ότι για να έχουμε το κέρδος που προκύπτει από την επένδυση μας θα έπρεπε να καταθέσουμε το αρχικό μας κεφάλαιο σε ένα τραπεζικό προϊόν το οποίο έχει επιτόκιο ίσο με την τιμή της απόδοσης κεφαλαίου. Είναι προφανές ότι για να κριθεί οικονομικά σκόπιμη μια επένδυση πρέπει η τιμή του δείκτη απόδοσης κεφαλαίου να είναι σημαντικά μεγαλύτερη από τα σημερινά επιτόκια των τραπεζικών προϊόντων που είναι στις καλύτερες περιπτώσεις της τάξης του 5%. Η απόδοση κεφαλαίου υπολογίζεται με την χρήση της εξίσωσης 4.1 για τον υπολογισμό της καθαρής παρούσας αξίας στην οποία τοποθετούμε την τιμή της ίση με μηδέν. Η εξίσωση 4.3 εκφράζει ακριβώς αυτό.

$$NPV_{(d=IRR)} = 0 \quad \text{Εξ. 4.3}$$

Από την στιγμή που γνωρίζουμε ότι η συγκεκριμένη επένδυση δεν αποδίδει ούτε καν το κόστος επένδυσης αναμένουμε αρνητικό επιτόκιο γιατί θα πρέπει να πληρώνουμε επιπλέον λεφτά (ίσα με την ετήσια ζημιά) ώστε να καλυφθεί το κόστος και να οδηγηθούμε σε μηδενική παρούσα αξία. Όντως προκύπτει ίσο με -1,38%.

$$IRR = -1,38\%$$

Αυτό το επιτόκιο εννοείται ότι δεν είναι επιθυμητό και καταδεικνύει την μη σκοπιμότητα (στο οικονομικό σκέλος) της παρούσας επένδυσης.^[12]

4.4.1.3 Λόγος οφέλους – κόστους *BCR*

Ο τρίτος οικονομικός δείκτης που θα μας βοηθήσει στην εξέταση της οικονομικής σκοπιμότητας της υλοποίησης του σχεδιασθέντος υβριδικού συστήματος είναι ο λόγος οφέλους – κόστους (Benefit to Cost Ratio – *BCR*). Αυτός ο λόγος αποτελεί το πηλίκο του συνολικού οφέλους προς το συνολικό κόστος του υβριδικού συστήματος στο σύνολο του κύκλου ζωής του. Εάν η τιμή αυτού του λόγου είναι μεγαλύτερη της μονάδος τότε το συνολικό οικονομικό όφελος είναι μεγαλύτερο από το συνολικό οικονομικό κόστος με αποτέλεσμα το σύστημα να είναι κερδοφόρο άρα και οικονομικά σκόπιμο. Αντίθετα, εάν η

τιμή του είναι μικρότερη της μονάδος τότε το οικονομικό κόστος είναι μεγαλύτερο από το οικονομικό όφελος άρα η επένδυση είναι ζημιογόνα άρα και η υλοποίηση της κρίνεται οικονομικά μη σκόπιμη. Ο υπολογισμός του λόγου οφέλους – κόστους γίνεται με την χρήση της εξίσωσης 4.4.

$$BCR = \frac{NPV + C_{in}}{C_{in}} = 1 + \frac{NPV}{C_{in}} \quad \text{Εξ. 4.4}$$

Όπου:

- BCR: Λόγος οφέλους – κόστους.
- NPV: Καθαρή παρούσα αξία.
- C_{in} : Αρχικό κόστος επένδυσης.

Με δεδομένα τα όσα προέκυψαν στους προηγούμενους δύο οικονομικούς δείκτες αναμένουμε και εδώ μη ευνοϊκές τιμές. Επειδή η επένδυση εξασφαλίζει το δικό της απαιτούμενο κόστος αναμένουμε πιθανόν θετικές τιμές στον λόγο οφέλους – κόστους που θα συνεπάγονται επένδυση με χαμηλό κέρδος. Πραγματοποιώντας τους υπολογισμούς προκύπτει όντως μικρή θετική τιμή, ίση με 0,16.

$$BCR = 0,16$$

Αυτή η τιμή του λόγου οφέλους – κόστους καταδεικνύει ότι ναι μεν είναι κερδοφόρος η επένδυση αλλά το κέρδος είναι πολύ χαμηλό καθώς απέχει πολύ από την μονάδα έτσι συνεπάγεται την μη σκοπιμότητα της παρούσας οικονομικής επένδυσης.^[12]

4.4.1.4 Έντοκη περίοδος αποπληρωμής DBP

Ο τέταρτος και τελευταίος οικονομικός δείκτης που θα υπολογιστεί στην παρούσα εργασία είναι η έντοκη περίοδος αποπληρωμής (Discounted pay Back Period – DBP). Αυτός ο οικονομικός δείκτης εκφράζει το απαιτούμενο χρονικό διάστημα για την αποπληρωμή τόσο της αρχικής επένδυσης όσο και των τόκων που θα μπορούσε να αποφέρει το αρχικό κεφάλαιο εάν είχε επενδυθεί σε ένα άλλο τραπεζικό προϊόν. Όσο μικρότερη είναι η έντοκη περίοδος αποπληρωμής τόσο σκοπιμότερη είναι η υλοποίηση της επένδυσης. Το κριτήριο με το οποίο συγκρίνεται η έντοκη περίοδος αποπληρωμής ώστε να θεωρηθεί μικρή ή μεγάλη είναι ο κύκλος ζωής της επένδυσης. Εν προκειμένω το υβριδικό σύστημα έχει κύκλο ζωής

της τάξεως των 25 ετών άρα επιθυμητές τιμές της έντοκης περιόδου αποπληρωμής είναι τιμές μικρότερες από 10 έτη. Η εξίσωση 4.5 δίδει τον υπολογισμό της έντοκης περιόδου αποπληρωμής. Στην ουσία είναι η χρήση της εξίσωσης 4.2 κατά την οποία μηδενίζεται η τιμή της καθαρής παρούσας αξίας και υπολογίζεται το χρονικό διάστημα N για το οποίο προκύπτει η μηδενική τιμή.

$$NPV_{(N=DPB)} = 0 \quad \text{Εξ. 4.5}$$

Από την στιγμή όμως που δεν εξασφαλίζεται κέρδος η καθαρή παρούσα αξία είναι πάντα αρνητική, δεν παίρνει ποτέ την τιμή μηδέν (με επιτόκιο αναγωγής στο 6%) κατά την διάρκεια του οικονομικού κύκλου ζωής του συστήματος. Αυτό συνεπάγεται ότι η έντοκη περίοδος αποπληρωμής δεν θα επέλθει ποτέ γιατί το κέρδος που θα λαμβάνουμε δεν θα ξεπληρώσει ποτέ το κόστος της επένδυσης. Με αυτή την τιμή της έντοκης περιόδου αποπληρωμής οδηγούμαστε και πάλι στο συμπέρασμα της μη σκοπιμότητας της εφαρμογής της συγκεκριμένης επένδυσης. ^[12]

4.4.2 Οικονομική σκοπιμότητα υλοποίησης της επένδυσης

Με βάση τους οικονομικούς δείκτες έχει αναφερθεί η ότι η επένδυση είναι οικονομικά μη σκόπιμη. Οι υπολογισμένοι οικονομικοί δείκτες συγκεντρώνονται στον πίνακα 42. Η μη σκοπιμότητα οφείλεται σε μη εξασφάλιση ικανοποιητικού κέρδους, μάλιστα ούτε καν του κόστους επένδυσης. Η καθαρή παρούσα αξία παίρνει τιμές μεγαλύτερες και από το αρχικό κόστος επένδυσης κάτι που συνεπάγεται ότι στην πορεία της 25ετίας αντί να καλυφθεί το κόστος επένδυσης προστέθηκε ακόμη ένα τμήμα του κόστους. Η απόδοση κεφαλαίου προκύπτει αρνητική. Αυτό συνεπάγεται ότι δεν θα πάρω καν απόδοση από το κεφάλαιο μου ίση με ένα επιθυμητό επιτόκιο αλλά θα αναγκαστώ να πληρώω επιπλέον ποσό. Ο λόγος οφέλους – κόστους παίρνει αρνητική τιμή. Αυτό συνεπάγεται ότι όχι μόνο το όφελος δεν είναι σε επιθυμητά επίπεδα αλλά υπάρχει μάλιστα ζημιά. Η έντοκη περίοδος αποπληρωμής δεν λαμβάνει τιμή κάτι που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι το κόστος επένδυσης δεν επιστρέφεται ποτέ από την κερδοφορία της.

Πίνακας 42: Οικονομικοί δείκτες επένδυσης υβριδικού συστήματος

Οικονομικός δείκτης	Τιμή
Καθαρή παρούσα αξία NPV	-20556,5

Απόδοση κεφαλαίου IRR	-1,38%
Λόγος οφέλους/κόστους BCR	0,1
Έντοκη περίοδος αποπληρωμής DBP	Ποτέ

Με δεδομένα όλα τα παραπάνω η παρούσα επένδυση κρίνεται μη σκόπιμη. Παρακάτω θα δούμε δύο σενάρια για το πότε θα γινόταν σκόπιμη η επένδυση. Το πρώτο σενάριο αφορά το αρχικό κόστος της επένδυσης ώστε αυτή, με τις παρούσες τιμές κέρδους και χωρίς τον δανεισμό να κρίνεται σκόπιμη. Το δεύτερο σενάριο αφορά το πόσο θα έπρεπε να ήταν το ετήσιο κέρδος από την λειτουργία του συστήματος ώστε και πάλι να ήταν σκόπιμη η επένδυση, με την ύπαρξη του δανείου αυτή την φορά.

Στο πρώτο σενάριο το κόστος της επένδυσης καλύπτεται αποκλειστικά από ίδια κεφάλαια. Με αυτό το τρόπο προκύπτει καθαρή παρούσα αξία ίση με -3407 άρα και πάλι η επένδυση είναι μη σκόπιμη. Εάν όμως μειωθεί και το κόστος της επένδυσης κατά 3500 ευρώ τότε προκύπτει καθαρή παρούσα αξία ίση με 93, απόδοση κεφαλαίου 6,05%, λόγος οφέλους – κόστους 1 και έντοκη περίοδος αποπληρωμής μεταξύ 24 και 25 ετών, τιμές που κάνουν την επένδυση οικονομικά σκόπιμη. Στον πίνακα 43 που ακολουθεί καταγράφονται συγκεντρωμένοι οι οικονομικοί δείκτες που διέπουν την περίπτωση μειωμένου κόστους επένδυσης.

Πίνακας 43: Οικονομικοί δείκτες που διέπουν την περίπτωση μειωμένου κόστους επένδυσης

Οικονομικός δείκτης	Τιμή
Καθαρή παρούσα αξία NPV	92
Απόδοση κεφαλαίου IRR	6,05%
Λόγος οφέλους/κόστους BCR	1.00
Έντοκη περίοδος αποπληρωμής DBP	Μεταξύ 24 και 25 έτη

Στην δεύτερη περίπτωση εξετάζουμε το ύψος του ετήσιο κέρδους που θα έπρεπε να είχαμε ώστε να προκύψει έστω και οριακά οικονομικά σκόπιμη η παρούσα επένδυση. Εάν το ετήσιο κέρδος ισούται με 3435 ευρώ (και με δεδομένο ότι δεν αλλάζει καθόλου το ποσό του δανεισμού, το επιτόκιο και τα έτη) τότε η καθαρή παρούσα αξία λαμβάνει την τιμή 9, ο λόγος απόδοσης κεφαλαίου ισούται με 6,003%, ο λόγος οφέλους – κόστους ισούται με 1 και η απόδοση των χρημάτων της επένδυσης γίνεται μεταξύ του 24 και 25 έτους του κύκλου ζωής της. Αυτό οδηγεί στην ύπαρξη οικονομικής σκοπιμότητας της επένδυσης καθώς το κέρδος που θα αποφέρει στην 25ετία θα είναι ίσο με το κέρδος που θα αποφέρει το

επενδυμένο κεφάλαιο εάν τοποθετηθεί σε τραπεζικό προϊόν με επιτόκιο 6,003%, που στην πράξη δεν υπάρχει. Ο πίνακας 44 δίδει τους οικονομικούς δείκτες σε αυτή την περίπτωση.

Πίνακας 44: Οικονομικοί δείκτες που διέπουν την περίπτωση αυξημένου κέρδους

Οικονομικός δείκτης	Τιμή
Καθαρή παρούσα αξία NPV	9
Απόδοση κεφαλαίου IRR	6.003%
Λόγος οφέλους/κόστους BCR	1.00
Έντοκη περίοδος αποπληρωμής DBP	Μεταξύ 24 και 25 έτη

5^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

“ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ”

Με την ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης μπορεί να εξαχθεί μια σειρά συμπερασμάτων σχετικά με τα μικρά υβριδικά συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας τα οποία παρατίθενται παρακάτω.

- Τα υβριδικά συστήματα αποτελούνται από συνδυασμό συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και συμβατικών πηγών ενέργειας. Οι συνδυασμοί που μπορούν να προκύψουν είναι πάρα πολλοί εξαιτίας των πολλών μορφών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.
- Η Κρήτη ευνοεί την ύπαρξη ηλιακών συστημάτων (είτε θερμικών ηλιακών συστημάτων είτε φωτοβολταϊκών συστημάτων) εξαιτίας της μεγάλης έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που συνεπάγεται μεγάλη αποτελεσματικότητα των ηλιακών συστημάτων. Στην ευρύτερη περιοχή του Ηρακλείου, όπως και σε όλη την βόρεια Κρήτη, ενδείκνυται και η εφαρμογή αιολικών συστημάτων γιατί η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι αρκετά υψηλή καθώς προέρχεται από το Αιγαίο πέλαγος με πολύ μικρές απώλειες κατά την κίνησή του.
- Η εφαρμογή των υβριδικών συστημάτων σε οικιακές εφαρμογές προϋποθέτει την αρχική, όσο το δυνατό μεγαλύτερη, μείωση του φορτίου κατανάλωσης των οικιών. Για αυτό τον λόγο αποφεύγεται η εγκατάσταση ενεργοβόρων συσκευών όπως η ηλεκτρική κουζίνα και ο θερμοσίφωνας οι οποίες αντικαθιστούνται από κουζίνα υγραερίου και θερμικό ηλιακό σύστημα.
- Υπάρχουν και άλλες προτάσεις εξοικονόμησης ενέργειας που μπορούν να εφαρμοστούν ώστε να εξοικονομήσουν περισσότερη ενέργεια αλλά απαιτούν κόστος αντικατάστασης των παλαιών συσκευών. Έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθούν ενεργειακές συσκευές, κυρίως πλυντήριο και ψυγείο, με πολύ χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας. Επίσης μπορεί να προκύψει μια πολύ μεγάλη εξοικονόμηση εάν γίνει πολύ καλύτερη μόνωση της οικίας ώστε να απαιτείται μικρότερη ανάγκη για κλιματισμό. Ένα τέτοιο μέτρο που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί είναι η εξωτερική μόνωση της οικίας (σε τοίχους και στέγη) η οποία θα μειώσει τις απαιτήσεις κλιματισμού και ένα δεύτερο είναι η χρήση σκιάστρων σε παράθυρα και μπαλκόνια

ώστε η ηλιακή ακτινοβολία να μην θερμαίνει περαιτέρω το δωμάτιο. Ένα ακόμη μέτρο εξοικονόμησης της ενέργειας αλλά με πολύ μικρότερο κέρδος είναι η χρήση ανιχνευτών κίνησης για το άναμμα των φώτων τόσο του εξωτερικού χώρου όσο και του κλιμακοστασίου έτσι ώστε αυτοί να ανάβουν μόνο όταν υπάρχει λόγος (κίνηση των ιδιοκτητών ή κάποιου εισβολέα). Τέλος, ένα ακόμη μέτρο, είναι η χρήση εξωτερικών φώτων με φωτοβολταϊκά στοιχεία το κάθε ένα έτσι ώστε να μην απαιτείται τροφοδοσία τους από το μικρό υβριδικό σύστημα. Όλες αυτές οι λύσεις εξοικονόμησης ενέργειας μπορούν να μειώσουν τις διαστάσεις του σχεδιασθέντος συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

- Η διαστασιολόγηση και η σχεδίαση του υβριδικού συστήματος είναι μια επίπονη διαδικασία κατά την οποία πρέπει να γίνει σειρά συμβιβασμών ανάμεσα στις απαιτήσεις που πρέπει να καλυφθούν και του διαθέσιμου χώρου για την εγκατάσταση των επιμέρους τμημάτων του συστήματος.
- Λόγω του υψηλού κόστους προμήθειας των επιμέρους τμημάτων των υβριδικών συστημάτων, σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος στην Ελλάδα, δεν προκύπτει οικονομική σκοπιμότητα υλοποίησης της παρούσας επένδυσης.
- Για να προκύψει οικονομική σκοπιμότητα του παρόντος συστήματος πρέπει να μειωθεί το κόστος της επένδυσης κατά 3500 ευρώ και το κεφάλαιο όλο να εξευρεθεί από ίδια κεφάλαια ή να αυξηθεί το κόστος του ηλεκτρισμού κατά 30%.
- Σε περίπτωση που το σύστημα μπορούσε να διασυνδεθεί με το δίκτυο της ΔΕΗ τότε θα απέφερε μεγάλα οικονομικά κέρδη για τους ιδιοκτήτες. Με μια τιμή αγοράς της ηλεκτρικής kWh της τάξεως των 20 λεπτών θα απέφερε κέρδη πέραν των 130 ευρώ ανά χειμερινό μήνα και των 180 ευρώ ανά θερινό μήνα. Αυτό συνεπάγεται ετήσια κέρδη πέραν των 2000 ευρώ.
- Δυστυχώς αυτή την στιγμή δεν τρέχει κανένα πρόγραμμα επιδοτήσεων από το ελληνικό κράτος έτσι ώστε να εξευρεθεί ένα μέρος των κεφαλαίων από επιδοτήσεις για να καταστεί το σύστημα αυτό οικονομικά σκόπιμο. Και αυτό βέβαια καθιστά το ενδιαφέρον των ελλήνων αρκετά μικρό για αυτόνομα υβριδικά συστήματα. Ο λόγος είναι ο προφανής. Εάν το διασυνδέσουν στην ΔΕΗ θα έχουν μεγαλύτερα κέρδη τα οποία έχουν προσδιοριστεί ήδη. Υπάρχει όμως ένα πρόγραμμα επιδότησης που αφορά τα αυτόνομα συστήματα που εγκαθίστανται σε μεταποιητικές μονάδες ή τουριστικές μονάδες. Αυτό το πρόγραμμα δίδει επιδότηση έως και 70% του κεφαλαίου που απαιτείται. Αυτό καθιστά αυτόματα σκόπιμη αυτή την επένδυση σε

περίπτωση που αφορά αυτές τις μονάδες. Ελπίζουμε, με την ανακοίνωση νέων προγραμμάτων επιδότησης να περιλαμβάνεται σε αυτά και επιδότηση του κεφαλαίου εγκατάστασης αυτόνομων συστημάτων σε οικίες γιατί το ενδιαφέρον την δεδομένη στιγμή είναι πραγματικά μεγάλο αφού το κόστος της ΔΕΗ είναι δυσβάσταχτο για μεγάλο αριθμό ελληνικών νοικοκυριών.

- Πέραν της επιδότησης υπάρχουν και άλλα θέματα που συζητούνται και θα καθιστούν ακόμη πιο ελκυστικά τα αυτόνομα υβριδικά συστήματα. Το πρώτο από αυτά είναι η δυνατότητα εγκατάστασης μικρών ανεμογεννητριών, έως 50 kW, επί εδάφους βέβαια. Αυτό θα δώσει την δυνατότητα σε σπίτια που είναι σε μακρινές από οικισμούς περιοχές να αυτονομηθούν πλήρως με την χρήση κυρίως ανεμογεννητριών και εφεδρικά φωτοβολταϊκών. Βέβαια η συγκεκριμένη κουβέντα αρχικά αφορά την διασύνδεση με το δίκτυο των ανεμογεννητριών αλλά αναμένεται να επεκταθεί και στα αυτόνομα συστήματα.
- Η κυριότερη νομοθετική αλλαγή που συζητείται αυτή την στιγμή όμως είναι ο περιορισμός των διασυνδεδεμένων συστημάτων. Ήδη δραστικά έχει περιοριστεί η τιμή αγοράς της kWh. Αυτό καθιστά ελκυστικά τα αυτόνομα υβριδικά συστήματα καθώς η οικονομική διαφορά που προκύπτει από τα δύο είναι πολύ μικρότερη. Το μεγαλύτερο κέρδος όμως δεν είναι αυτό. Η μείωση της τιμής της αγοράς της kWh έφερε ραγδαία μείωση στις τιμές πώλησης φωτοβολταϊκών και ανεμογεννητριών άρα αυτό οδηγεί σε πολύ χαμηλότερα κόστη εγκατάστασης ακόμη και για τα αυτόνομα συστήματα καθιστώντας τα με τον καιρό σκόπιμα οικονομικά.
- Η μεγαλύτερη όμως νομοθετική αλλαγή, που απλά εξαγγέλθηκε σε προεκλογικές εκστρατείες και δεν εφαρμόστηκε ποτέ είναι ο φόρος καυσίμου. Αυτός ο φόρος αυξάνει το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας για όσους καταναλωτές χρησιμοποιούν «βρώμικες» πηγές ενέργειας. Σε τέτοια περίπτωση το ηλεκτρικό ρεύμα που λαμβάνουμε από την ΔΕΗ θα κοστίζει πολύ ακριβότερα καθώς κύριες πηγές ηλεκτροπαραγωγής είναι ο λιγνίτης, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Σε τέτοια περίπτωση τα αυτόνομα υβριδικά συστήματα θα είναι οικονομικά σκόπιμα να κατασκευαστούν.
- Παρόλο που δεν προκύπτει οικονομική σκοπιμότητα του συγκεκριμένου συστήματος υπάρχουν άλλοι λόγοι που μπορεί να καθιστούν σκόπιμη την εφαρμογή του. Ο πρώτος λόγος είναι η ανεξαρτησία από το δίκτυο της ΔΕΗ. Αυτό συνεπάγεται ενεργειακή ανεξαρτησία της οικίας. Ταυτόχρονα αυτό είναι ένα τεράστιο πλεονέκτημα σε περίπτωση που δεν μπορεί να εξασφαλιστεί σύνδεση με το δίκτυο

της ΔΕΗ όπως για παράδειγμα σε περίπτωση που το κτίσμα είναι αυθαίρετο και δεν δίδει άδεια ηλεκτροδότησης η ΔΕΗ. Ο δεύτερος λόγος είναι η περιβαλλοντική σκοπιμότητα. Παρόλο που δεν υπάρχει οικονομική σκοπιμότητα εντούτοις υπάρχει περιβαλλοντική σκοπιμότητα γιατί θα μειωθούν κατά πολύ οι εκλυόμενοι στο περιβάλλον ρύποι. Με αυτό τον τρόπο περιορίζονται τα περιβαλλοντικά προβλήματα και αυξάνεται, βελτιώνεται το περιβάλλον διαβίωσης και αυξάνεται το βιοτικό επίπεδο των κατοίκων. Ταυτόχρονα, λόγω της βελτίωσης του περιβάλλοντος μειώνονται οι ασθένειες με αποτέλεσμα την μείωση του κόστους περίθαλψης ασθενών με μεγάλα οικονομικά κέρδη για όλο το κράτος.

- Σε περίπτωση που αυτό το αυτόνομο σύστημα μπορούσε να διασυνδεθεί με το δίκτυο της ΔΕΗ τότε θα προέκυπταν πολλαπλά οφέλη για τον ιδιοκτήτη. Καταρχήν, η ΔΕΗ επιδοτεί την παραγόμενη kWh με ποσό μεγαλύτερο από ότι η ίδια πουλάει την δική της kWh στους πελάτες της. Αυτό συνεπάγεται ότι για κάθε παραγόμενη kWh θα υπήρχε ένα κέρδος ίσο με την διαφορά των δύο τιμών. Κατά δεύτερον, από την στιγμή που το σύστημα θα είναι διασυνδεδεμένο δεν θα απαιτείται η ύπαρξη συσσωρευτών που αποτελούν ένα από τα μεγαλύτερα τμήματα του κόστους του αυτόνομου συστήματος γιατί την επάρκεια σε ηλεκτρική ισχύ θα την καλύπτει η διασύνδεση με το δίκτυο. Τρίτον, για τους ίδιους λόγους δεν απαιτείται και η ύπαρξη της ηλεκτρογεννήτριας κάτι που περιορίζει περαιτέρω το κόστος κατασκευής του συστήματος αλλά ταυτόχρονα περιορίζει και το λειτουργικό κόστος του συστήματος.

Βάσει όλων των παραπάνω ο ιδιοκτήτης πρέπει να αποφασίσει την υλοποίηση ή όχι της παρούσας επένδυσης δηλαδή της κατασκευής του υβριδικού συστήματος ανανεώσιμων πηγών ενέργειας γιατί, παρόλο που οικονομικά δεν είναι σκόπιμη, υπάρχουν πολλοί άλλοι λόγοι για να υλοποιηθεί.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία:

1. Γ. Τσιλιγκιρίδης, «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», Διδακτικές σημειώσεις μαθήματος, Τμήμα εκδόσεων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2008.
2. Γ. Τσιλιγκιρίδης, «Διαχείριση Ενεργειακών Πόρων», Διδακτικές σημειώσεις μαθήματος, Τμήμα εκδόσεων Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2008.
3. Ν. Μουσιόπουλος, «Σημειώσεις στο μάθημα Τεχνική Προστασίας Περιβάλλοντος», Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα εκδόσεων, 2003.
4. Α. Μ. Παπαδόπουλος, «Οικονομική Ανάλυση Ενεργειακών Συστημάτων», Διαδικτικές σημειώσεις μαθήματος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2002.
5. Santia National Laboratories, «Stand – Alone Photovoltaic Systems: A Handbook of Recommended Design Practices», National Technical Information Service, U. S. Department of Commerce, Albuquerque, New Mexico, 1995.
6. A. Goetzberger, V. U. Hoffmann, «Photovoltaic Solar Energy Generation», Springer, Berlin, 2005.
7. R. C. Neville, «Solar Energy Conversion: The Solar Cell», Second Edition, Elsevier, Amsterdam, 1995.
8. E. Hau, Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Applications, Economics, Second Edition, Springer – Verlag, Berlin, Germany, 2006.
9. J. F. Manwell, J. G. McGowan, A. L. Rogers, Wind Energy Explained: Theory, Design and Application, John Wiley & Sons, West Essex, UK, 2002.
10. Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 1/2010, «Αναλυτικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης», Α΄ Έκδοση, ΤΕΕ, Αθήνα, 2010.
11. Τεχνική Οδηγία Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδας Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701 – 3/2010, «Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών», Α΄ Έκδοση, ΤΕΕ, Αθήνα, 2010.

12. Α. Μ. Παπαδόπουλος, «Οικονομική Ανάλυση Ενεργειακών Συστημάτων», Διδακτικές σημειώσεις μαθήματος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη, 2002.

Άρθρα:

13. Ν. Μαμάσης, «Εισαγωγή στην ενεργειακή τεχνολογία: Ηλιακή ενέργεια και φωτοβολταϊκά συστήματα», Διαλέξεις, Τομέας υδατικών πόρων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2010. Λήψη από:
http://itia.ntua.gr/~nikos/energy/ene_foto_10.pdf (22/05/2012)
14. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, «Οδηγίες για την Εγκατάσταση Φ/Β Συστημάτων σε Κτηριακές Εγκαταστάσεις», Τμήμα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων και Διεσπαρμένης Παραγωγής, Αθήνα, 2009. Λήψη από:
http://www.cres.gr/kape/pdf/odigos_pv_systimatou.pdf (16/02/2012)
15. Ρ. Χριστοδουλάκη, «Θερμικά Ηλιακά Συστήματα Ζεστού Νερού Χρήσης και Θέρμανσης Κολυμβητικών Δεξαμενών», Τμήμα Θερμικών Ηλιακών, ΚΑΠΕ. Λήψη από:
http://library.tee.gr/digital/m2385/m2385_christodoulaki.pdf (16/02/2012)
16. Geyer, «Κατάλογος προϊόντων πινάκων εταιρίας Geyer», Geyer Hellas, Λήψη από:
<http://www.geyer.gr/cont/gcat2011.pdf> (17/04/2012).
17. Ε. Τατάκης, «Ηλεκτρονικοί μετατροπείς με IGBT – PWM: Αντιστροφείς και μέθοδοι ελέγχου», Διάλεξη στα πλαίσια του σεμιναρίου του ΤΕΕ με τίτλο “Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας”, 9 – 11/02/2009, Πάτρα. Λήψη από:
http://library.tee.gr/digital/m2547/m2547_tatakis.pdf (22/04/2012)
18. Α. Σταύρου, «Ηλεκτρονικά ισχύος: Εφαρμογές στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας» Παρουσιάσεις στα πλαίσια του μαθήματος ΗΜΥ 444, Τμήμα ηλεκτρολόγων μηχανικών και μηχανικών υπολογιστών, Πολυτεχνική σχολή, Πανεπιστήμιο Κύπρου. Λήψη από:
http://www.ece.ucy.ac.cy/courses/ECE444/notes/09_Applications_Renewables.pdf (22/04/2012)
19. Ρ. Χριστοδουλάκη, «Εφαρμογές Θερμικών Ηλιακών στον Κτιριακό Τομέα», Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Ημερίδα Νέες Ενεργειακές Τεχνολογίες στα Κτίρια, 12 Ιουνίου 2008. Λήψη από:

http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/eco_building/4_Christodoulaki.pdf

(23/04/2012)

20. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, «Θερμικά Ηλιακά Συστήματα: Περιγραφή – Εφαρμογές – Οδηγίες Συντήρησης». Λήψη από:

<http://www.cres.gr/kape/education/thermika%20Hliaka.pdf> (23/04/2012)

21. NASA, «NASA Surface meteorology and Solar Energy: Methodology», Λήψη από:

http://www.ceoe.udel.edu/windpower/ResourceMap/SSE_Methodology.pdf

(25/04/2012)

Διαδικτυακοί τόποι:

22. <http://www.gazi.gov.gr/index.php/lang-el/dimotiki-enotita-gaziou/topikes-koinotites/tk-axladas> (28/03/2012)
23. <http://www.ledakia.gr/> (02/04/2012)
24. www.kotsovolos.gr (02/04/2012)
25. http://www.texnologia.gr/index.asp?mod=eshop_itemcats&id=21452085
(02/04/2012)
26. <http://www.wtrg.com/prices.htm> (18/04/2012)
27. <http://indigenouspolicy.org/Articles/VolXVIII/No2/SelfSufficientHomes/tabid/174/Default.aspx> (18/04/2012)
28. <http://www.iqsolarpower.com/demands.htm> (22/04/2012)
29. <http://www.solardirect.com/pv/pvlist/control/control.html> (22/04/2012)
30. http://www.storiesproject.eu/docs/energystorage_greek.pdf (22/04/2012)
31. <http://www.electrologos.gr/article.php?ID=190> (22/04/2012)
32. http://www.climasystem.gr/sl_bosch/gr_pages/fotovoltaiko.htm (23/04/2012)
33. <http://5dim-pyrgou.ilei.sch.gr/energy/html/anan3.htm> (23/04/2012)
34. http://www.engaia.gr/web/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=11&Itemid=112&lang=el (23/04/2012)
35. http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php (23/04/2012)
36. <http://www.pvsolarchina.com/difference-between-monocrystalline-polycrystalline-and-amorphous-thin-film-solar-cell.html> (23/04/2012)
37. http://www.energysavers.gov/your_home/electricity/index.cfm/mytopic=10790
(23/04/2012)
38. <http://www.volker-quaschnig.de/articles/fundamentals4/index.php> (23/04/2012)

39. <http://serc.carleton.edu/earthlabs/climate/5.html> (23/04/2012)
40. <http://www.carrier.gr/carriergreek/DOWNLOADS/weatherData.htm> (15/05/2012)
41. http://www.buderus.us/files/201001242003290.Buderus_SKN3_Installation_Manual_Flat_Roof_6720614824_US.pdf (15/05/2012)
42. http://www.buderus.gr/files/201106071420220.TIMOK_2011_KEF_10_COLOR.pdf (20/05/2012)
43. http://www.buderus.gr/files/201106071417510.TIMOK_2011_KEF_8-COLOR.pdf (20/05/2012)
44. <http://www.nikolaoutools.gr/images/products/1305896732-gennitries-kinitires.pdf> (22/05/2012)
45. <http://www.mgavrielatos.gr/Deksamenes.htm> (22/05/2012)
46. <http://www.artgas.gr/images/pdf/panel.pdf> (23/05/2012)
47. <http://www.crete-shop.com/index.php?act=viewProd&productId=11544> (23/05/2012)
48. http://aenaos-systems.gr/eshop/index.php?cPath=6_11_8&osCsid=37hmbnchhquc2boltg0d1u9mo1 (23/05/2012)
49. http://aenaos-systems.gr/eshop/product_info.php?cPath=1&products_id=29 (24/05/2012)
50. http://www.aenaos-systems.gr/pdf/products/Phocos_datasheet_MPS_e-web.pdf (24/05/2012)
51. http://aenaos-systems.gr/eshop/product_info.php?cPath=4&products_id=97 (24/05/2012)
52. http://www.prasina.gr/downloads/inverters/solar-grid-inverters/SB1100_1700-DEL090511.pdf (24/05/2012)
53. <http://www.tsokaktis-solar.gr/Products.aspx?cid=50> (24/05/2012)
54. <http://shatters.net/forum/viewtopic.php?t=10901> (14/06/2012)
55. http://en.wikipedia.org/wiki/Geothermal_heating (14/06/2012)
56. <http://www.energia.gr/photos/geothermal%20fields%20greece.jpg> (14/06/2012)
57. http://www.lithodomin.gr/lithos/category/110/tzakia_energeiaka (14/06/2012)
58. <http://www.windturbinestar.com/france-2kw-vertical-wind-turbine.html> (31/08/2012)
59. http://www.tm.teicrete.gr/Portals/23/Shmeioseis/anan_piges_enegeias/Φωτοβολταϊκ_ύ.pdf (20/09/2012)

60. http://allrun.en.alibaba.com/product/271901833-212188265/New_high_efficiency_200w_vertical_Wind_power_generator.html
(10/11/2012)
61. http://allrun.en.alibaba.com/product/275106955-212188265/New_Wind_generator_vertical_style_200w_TO_50kw_W_WITH_low_star_widn_as_1_8m_s.html (10/11/2012)
62. http://allrun.en.alibaba.com/product/338696708-212188265/New_vertical_style_3kw_Wind_power_generator.html (10/11/2012)