



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω μετρήσεων σε
φωτοβολταϊκά συστήματα για την παραγωγή ηλεκτρικής
ενέργειας»**

**«Exploitaion of the solar radiation by measuring photovoltaics
systems for production of electric energy»**



Φοιτητής :

Πελέκης Αντόνιος

Αρ. Μητρώου : 43223

Επιβλέπων Καθηγητής:

Μανουσάκης Νικόλαος

Αιγάλεω 2019

Copyright © Πελέκης Αντώνιος , 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή της για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή επιβλέπωντα κ. Νικόλαο Μανουσάκη , Καθηγητή του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής , τόσο για τη δυνατότητα όσο και για τη συνδρομή του ώστε να πραγματοποιηθεί αυτή η πτυχιακή εργασία.

Επίσης κρίνω απαραίτητο να εκφράσω ξεχωριστές ευχαριστίες στο υποψήφιο διδάκτορα Στέργιο Γερασόπουλο ο οποίος καθ'όλη αυτή την διάρκεια μου παρείχε άπλετη βοήθεια σε όλα τα στάδια εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας και δεν θα ήταν ίδια χωρίς την συμβολή εκείνου.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους δικούς μου ανθρώπους, όπως και την οικογένεια μου που με στήριξαν στο εγχείρημα μου αυτό.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει σκοπό να παρουσιάσει την λειτουργία του αυτόνομου συστήματος που αποτελείται από φωτοβολταϊκούς συλλέκτες. Ως γνωστό όσο πηγαίνουμε προς το Νότο η προσπίπτουσα ακτινοβολία είναι μεγαλύτερη από τον Βορρά .Είναι επόμενο φυσικά να έχουμε διαφορές στις αποδόσεις των αυτόνομων συστημάτων.

Πιο αναλυτικά στο 1^ο κεφάλαιο γίνεται μία ιστορική αναδρομή στις ΑΠΕ καθώς και στην κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα και στην Ευρώπη.

Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται μια εκτενείς περιγραφή για την ηλιακή ακτινοβολία και γίνεται χρήση του λογισμικού PVGIS.

Στο 3^ο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας , οι τύποι των συλλεκτών και τα μέρη που αποτελείται.

Στο 4^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο αυτόνομο σύστημα και επεξήγηση των μερών των οποίων αποτελείται.

Στο 5^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στο διασυνδεδεμένο σύστημα και επεξήγηση των μερών των οποίων αποτελείται.

Στο 6^ο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα ηλεκτρολογικά κυκλώματα στα οποία αποτελείται ένα σύστημα με φωτοβολταϊκά.

Στο 7^ο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μελέτη ενός αυτόνομου συστήματος σε δύο διαφορετικά μέρη της Ελλάδος .

ABSTRACT

This subject for thesis is the operation for stand alone system which consist of PV module. As it is widely known as we go to the South, the incident radiation is greater than the North. Of course, there are differences in the performance of stand alone systems.

More precisely in first chapter we will make a historical flashback at renewable energy sources and the situation which prevails in Greece and Europe.

In the second chapter, the solar radiation is described by making use of the PVGIS software.

In the third chapter, the photovoltaic technology is analysed, as well as the PV modules and their parts.

In the fourth chapter are described stand alone system and analyzed the parts which have the stand alone system.

In the fifth chapter it is described the grid connected system and analyzed the parts which have the grid connected system.

In the sixth chapter it is described the electrical circuits which have the PV system.

In the seventh chapter last but not least it is described the technical research for stand alone system at two different places of Greece.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT	2
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο - ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ – ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	12
1.1 Ιστορική αναδρομή στη χρήση της ενέργειας	12
1.2 Ενεργειακό πρόβλημα και συνέπειες	13
1.2.1 Το ενεργειακό πρόβλημα	13
1.2.2 Οι επιπτώσεις στο περιβάλλον	14
1.2.3 Το φαινόμενο του θερμοκήπιο	16
1.2.4 Το πρωτόκολλο του Κιότο.....	16
1.3 Κύριες πηγές ενέργειας.....	18
1.3.1 Πηγές ενέργειας	18
1.3.2 Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	18
1.3.3 Είδη μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	18
1.3.4 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	19
1.3.5 Είδη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας	20
1.4 Πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα ΑΠΕ.....	22
1.4.1 Πλεονεκτήματα των ΑΠΕ.....	22
1.4.2 Μειονεκτήματα των ΑΠΕ	23
1.5 Κατάσταση των ΑΠΕ σε Ευρωπαϊκό επίπεδο και στην Ελλάδα.....	24
1.5.1 Διεθνής τάσεις.....	24
1.5.2 Δεδομένα και προοπτικές στην Ελλάδα	27
1.5.3 Εμπόδια ανάπτυξης των ΑΠΕ στην Ελλάδα	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο - ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	31
2.1 Ο Ήλιος	31
2.2 Ηλιακή σταθερά G_{sc}	32
2.3 Ηλιακή ακτινοβολία	32
2.3.1 Άμεση ακτινοβολία.....	33
2.3.2 Διάχυτη ακτινοβολία	33

2.3.3	Ολική ακτινοβολία	33
2.3.4	Φασμα ηλιακής ακτινοβολίας	34
2.4	Εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας	35
2.4.1	Παθητικά ηλιακά συστήματα.....	36
2.4.2	Ενεργητικά ηλιακά συστήματα	36
2.4.3	Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	37
2.5	Ηλιακή γεωμετρία	37
2.5.1	Γεωγραφικό πλάτος	37
2.5.2	Γεωγραφικό μήκος	38
2.6	Σφαιρικές συντεταγμένες	38
2.6.1	Το ύψος του ήλιου	38
2.6.2	Το αζιμούθιο ή αζιμουθιακή γωνία	39
2.6.3	Η ωριαία γωνία του ήλιου.....	39
2.6.4	Απόκλιση του ήλιου δ (Declination)	39
2.7	Η ηλιακή ακτινοβολία μέσω λογισμικού PVGIS	40
2.7.1	Μέση ηλιακή ακτινοβολία ανά περιοχή στην Ελλάδα	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ		46
3.1	Η εξέλιξη του φωτοβολταϊκού έως σήμερα	46
3.2	Βασική θεωρία ημιαγωγών	47
3.2.1	Ημιαγωγοί.....	47
3.2.2	Ημιαγωγοί προσμίξεων.....	48
3.2.3	Ημιαγωγοί τύπου N	48
3.2.4	Ημιαγωγοί τύπου P	49
3.2.5	Ημιαγωγοί τύπου P-N.....	49
3.2.6	Ημιαγωγός πυριτίου.....	51
3.3	Φωτοβολταϊκό φαινόμενο	52
3.4	Τύποι φωτοβολταϊκών κυττάρων	53
3.4.1	Κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου	53
3.4.1.1	Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (singlecrystalline Silicon, sc-Si).....	54
3.4.2	Φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτού υμενίου (thin film).....	56
3.4.3	Άλλες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών στοιχείων	59
3.5	Συγριτικός πίνακας.....	60
3.6	Τα βασικά μέρη ενός «standard» φωτοβολταϊκού πλαισίου και τα χαρακτηριστικά του	61

3.7.1 Φωτοβολταϊκές κυψελίδες (Photovoltaic cells).....	62
3.7.2 Φωτοβολταϊκά πλαίσια (Photovoltaic modules or panels)	63
3.7.3 Φωτοβολταϊκή συστοιχία (string or array).....	64
3.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών.....	65
3.8.1 Πλεονεκτήματα φωτοβολταϊκών	65
3.8.2 Μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών	65
3.9 Βαθμός απόδοσης.....	65
3.9.1 Βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	65
3.9.2 Βαθμός απόδοσης φωτοβολταϊκού πλαισίου	66
3.9.3 Υπολογισμός ποσοστού απόδοσης	67
3.9.4 Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση.....	68
3.10 Συνδεσμολογία συστοιχιών φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	69
3.10.1 Σύνδεση σε σειρά	70
3.10.2 Σύνδεση σε σειρά μέσω bypass diode	70
3.10.3 Παράλληλη σύνδεση	71
3.10.4 Μικτή Συνδεσμολογία	72
3.11 Βάσεις στήριξης φωτοβολταϊκών συλλεκτών.....	73
3.11.1 Είδη βάσεων στήριξης.....	73
3.11.2 Σταθερές βάσεις.....	73
3.11.3 Αρθρωτές βάσεις	74
3.11.4 Κινούμενες βάσεις με αυτόματη πορεία απο ανατολικά προς δυτικά	74
3.11.5 Κινούμενες βάσεις με αυτόματη παρακολούθηση της πορείας του ήλιου .	75
4.1 Αυτονόμο σύστημα	77
4.2 Ρυθμιστές φόρτισης	78
4.2.1 Ρυθμιστής φόρτισης PWM (Pulse Width Modulation).....	78
4.2.2 Ρυθμιστής φόρτισης MPPT (Maximum Power Point Tracking).....	79
4.2.3 Σύγκριση τεχνολογίας PWM με MPPT	80
4.3 Μετατροπέας D.C/A.C	82
4.3.1 Είδη αντιστροφών.....	82
4.4 Συσσωρευτές	83
4.4.1 Συσσωρευτές μολύβδου-οξέως (Lead acid)	84
4.4.2 Κατηγορίες συσσωρευτών μολύβδου-οξέως (Lead acid)	85
4.4.4 Συνδεσμολογία συσσωρευτών	87
4.4.5 Τύποι συσσωρευτών σε αυτόνομα συστήματα φωτοβολταϊκών	89

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο - ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	90
5.1 Διασυνδεδεμένο σύστημα	90
5.2 Διασυνδεδεμένο σύστημα ενεργειακού συμψηφισμού (grid connected system net metering)	90
5.3 Διασυνδεδεμένο σύστημα ενεργειακού συμψηφισμού με χρήση συσσωρευτών (grid connected system net metering with batteries)	91
5.4 Βασικά μέρη ενός διασυνδεδεμένου συστήματος	92
5.5 Μετατροπείς D.C – A.C δικτυου	93
5.5.1 Διαμορφώσεις μετατροπέα ηλιακής ενέργειας.....	93
5.5.2 Είδη κυματομορφών εξόδου μετατροπέα	96
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο - ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.....	98
6.1 Χαρακτηριστικές ηλεκτρικές τιμές ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.....	98
6.1.1 Τάση	98
6.1.2 Ένταση.....	98
6.1.3 Θερμοκρασία.....	98
6.2 Συνεργασία φωτοβολταϊκού – Αντιστροφή	99
6.3 Διερεύνηση σφαλμάτων	100
6.4 Προστασία	101
6.6 Καλωδίωση.....	104
6.6.1 Πλευρά D.C.....	104
6.6.2 Πλευρά A.C.....	105
6.7 Προστασία των κτηριακών φωτοβολταϊκών συστημάτων από υπερτάσεις–αντικεραυνική προστασία.....	106
Κεφαλαίο 7ο - ΜΕΛΕΤΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	108
7.1 Εισαγωγή	108
7.2 Σχεδιασμός του συστήματος	108
7.3 Ηλεκτρικές καταναλώσεις	108
7.4 Γωνία κλίσης των φωτοβολταϊκών συλλεκτών.....	111
7.5 Υπολογισμός της ισχύος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας	114
7.5.1 Υπολογισμός της ισχύος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας για το αυτόνομο στα Χανιά	115
7.5.2 Υπολογισμός της ισχύος της φωτοβολταϊκής συστοιχίας για το αυτόνομο στην Αλεξανδρούπολη	117
7.6 Διάταξη και επιλογή φωτοβολταϊκών συλλεκτών	118
7.6.1 Αυτόνομο στα Χανιά.....	120

7.6.2 Αυτόνομο στην Αλεξανδρούπολη	120
7.7 Ρυθμιστής φόρτισης.....	121
7.8 Υπολογισμός χωρητικότητας συσσωρευτή.....	122
7.9 Επιλογή μετατροπέα D.C / A.C.....	124
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ^ο – Συμπεράσματα-Προτάσεις	126
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	128