

φωτοβολταϊκά

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ & ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ
ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



Δρ. ΠΕΤΡΟΣ ΚΑΡΑΪΣΑΣ



ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΜΙΚΡΩΝ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΩΝ
ΓΕΝΙΚΗ ΣΥΝΟΜΟΣΠΟΝΔΙΑ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΩΝ
ΒΙΟΤΕΧΝΩΝ ΕΜΠΟΡΩΝ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΔΡΑΣΕΙΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΕΚΠΡΟΣΩΠΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗ ΓΣΕΒΕΕ ΣΤΑ
ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΚΡΙΣΗΣ ΔΙΑΜΕΣΟΥ ΠΙΛΟΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ ΤΕΧΝΙΚΗΣ ΚΑΤΑΡΤΙΣΗΣ
ΚΑΙ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗΣ - ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ ΤΗΣ ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΚΩΝ ΠΡΟΣΟΝΤΩΝ

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ
ΚΑΡΑΪΣΑΣ ΠΕΤΡΟΣ



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ, ΚΟΙΝΩΝΙΚΗΣ ΑΣΦΑΛΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ



**ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
"ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ"**
Προσανατολισμός στον Άνθρωπο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ

Ινστιτούτο Μικρών Επιχειρήσεων

Γενική Συνομοσπονδία Επαγγελματιών Βιοτεχνών Εμπόρων Ελλάδας

Αριστοτέλους 46

104 33, Αθήνα

Τηλ.: 210 8846 852

Φαξ: 210 8846 853

E-mail: info@imegsevee.gr

www.imegsevee.gr

Εκδότης: **ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ**

Χρονολογία έκδοσης: **2014**

Τίτλος: **ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Συγγραφέας: **Πέτρος Καραϊσάς**

Επιμέλεια-Διόρθωση: **Γραμμένου Χρυσούλα**

Σχεδιασμός – παραγωγή:



ACCESS ΓΡΑΦΙΚΕΣ ΤΕΧΝΕΣ Α.Ε.

Πασαδώνος 23 & Συντ. Δαβάκη

144 51 Μεταμόρφωση

Τηλ.: 210 3804 460 - Fax: 210 3847 447

e-mail: access@access.gr

www.access.gr

 **ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ**

978-618-5025-50-2

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Βασικός σκοπός του προγράμματος είναι να αποκτήσουν οι καταρτιζόμενοι μεταβιβάσιμα προσόντα, εξειδικευμένες επαγγελματικές ικανότητες και τις ζητούμενες από την αγορά εργασίας γνώσεις, δεξιότητες και ικανότητες στο αντικείμενο εργασιών κάθε τομέα, έτσι ώστε να βελτιωθούν οι δυνατότητες απασχόλησής τους και να επιτευχθεί η ένταξή τους στην αγορά εργασίας της συγκεκριμένης επαγγελματικής ειδικότητας. Η συνεχής και αυξανόμενη χρήση των Φωτοβολταϊκών (Φ/Β) συστημάτων θα απαιτήσει ειδικευμένους τεχνικούς για την εγκατάσταση, επισκευή και συντήρησή τους. Η κατάρτιση Τεχνιτών Εγκαταστατών Φ/Β συστημάτων θα δημιουργήσει ικανό δυναμικό, σύμφωνα με διεθνώς αναγνωρισμένα πρότυπα, και θα συμβάλει σε αποδοτικές και ασφαλείς εγκαταστάσεις και θα ενισχύσει την αξιοπιστία και την ανταγωνιστικότητα στη Φ/Β τεχνολογία.

SUMMARY

The objective of this educational program is to describe the educational content and the required experience of technical personnel installing and maintaining solar systems and renewable energy sources, to locate the dexterities and the lacks of professionals who are activated in the sector of renewable sources of energy and to present the qualifications that are required from installers so as to achieve efficient installation as well as maintainance of these systems.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στόχος του προγράμματος είναι να περιγράψει το εκπαιδευτικό περιεχόμενο και την απαιτούμενη εμπειρία του τεχνικού προσωπικού που δραστηριοποιείται σήμερα στην εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, να εντοπίσει τις δεξιότητες και τις ελλείψεις των επαγγελματιών που δραστηριοποιούνται στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και να παρουσιάσει τα προσόντα που απαιτούνται από τους εγκαταστάτες προκειμένου να επιτυγχάνεται αποδοτική εγκατάσταση καθώς επίσης και συντήρηση αυτών των συστημάτων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	7
Summary	8
Εισαγωγή.....	9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Εισαγωγικές Παρατηρήσεις	17
Έννοιες κλειδιά - Βασική Ορολογία	17
1.1 Εισαγωγή στα φωτοβολταϊκά συστήματα	17
1.2 Στοιχεία φωτοβολταϊκών συστημάτων	17

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΚΑΙ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΓΟΡΑ. ΚΟΣΤΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Εισαγωγικές Παρατηρήσεις	19
Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα	19
Έννοιες κλειδιά - Βασική Ορολογία	19
2.1 Παγκόσμια αγορά	19
2.2 Κόστος Φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	20
2.3 Ελληνική Αγορά	20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ - ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Εισαγωγικές Παρατηρήσεις	23
Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα	23
Έννοιες κλειδιά - Βασική Ορολογία	23
3.1 Γενικά στοιχεία	24
3.2 Η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο - Ηλιακή σταθερά G_{sc}	25
3.3 Τιμές της ηλιακής ενέργειας H σε οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια της γης, από μετρήσεις μετεωρολογικών σταθμών.....	25
3.4 Υπολογισμός της μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο (H_k) στην επιφάνεια της γης (Ηλιακή ενέργεια στην επιφάνεια Φ/B συλλέκτη που είναι τοποθετημένος με κλίση B ως προς το οριζόντιο επίπεδο, με νότιο προσανατολισμό ($\Gamma=0$) στην επιφάνεια της γης.....	25
3.5 Βέλτιστη γωνία κλίσης Φωτοβολταϊκού Συλλέκτη.....	26

3.6	Εφαρμογές για τον υπολογισμό της μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ο Φ/Β συλλέκτης όταν τοποθετείται με προσανατολισμό το νότο με τη βέλτιστη κλίση	27
-----	---	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Εισαγωγικές Παρατηρήσεις	29
Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα	29
Έννοιες κλειδιά - Βασική Ορολογία	29
4.1 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	30
4.2 Ενεργητικά ηλιακά συστήματα. Μικρό κινητό φωτοβολταϊκό σύστημα. Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα	30
4.2.1 Μικρό κινητό φωτοβολταϊκό σύστημα.....	30
4.2.2 Αυτόνομο Φωτοβολταϊκό Σύστημα	30
4.2.3 Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα (με δυνατότητα κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας)	31
4.2.4 Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα (Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται εξολοκλήρου στο ηλεκτρικό δίκτυο)	32
4.2.5 Υβριδικό σύστημα αυτόνομο και διασυνδεδεμένο	32
4.2.5.1 Υβριδικό σύστημα αυτόνομο	32
4.2.5.2 Υβριδικό σύστημα διασυνδεδεμένο	32
4.2.6 Φωτοβολταϊκός συλλέκτης πυριτίου (πλαίσιο). Διάκριση Φ.Β πλαισίων	33
4.2.6.1 Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Single Crystalline Silicon, sc-Si)	33
4.2.6.2 Φ/Β στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Multi Crystalline Silicon, mc-Si)	34
4.2.6.3 Άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)	35
4.3 Τρόποι σύνδεσης Φ/Β πλαισίων	35
4.3.1 Σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σειρά.....	35
4.3.2 Σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων παράλληλα.....	36
4.3.3 Μεικτή σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων	37
4.3.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά Φ/Β συλλεκτών με οκταγωνικές κυψέλες πυριτίου από την εταιρεία RWF SCH OTT solar GMBH – ECO //SUN LT	37
4.3.5 Υπολογισμός της ονομαστικής ισχύος ενός φωτοβολταϊκού συλλέκτη σε συνθήκες διαφορετικές από τις στάνταρ	37
4.3.6 Υπολογισμός της μέγιστης ισχύος που μας δίνει ένας φωτοβολταϊκός συλλέκτης σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας	40
4.3.7 Απαιτούμενα φωτοβολταϊκά πλαίσια.....	41
4.3.8 Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων σε παράλληλες σειρές.....	42
4.3.9 Εφαρμογές υπολογισμού απαιτούμενης έκτασης για την τοποθέτηση φ/β πλαισίων στο έδαφος.....	43
4.4 Βάσεις στήριξης Φ/Β συλλεκτών	45
4.4.1 Είδη βάσεων στήριξης	45
4.4.2 Βάσεις σταθερές με προσανατολισμό το Νότο, με δυνατότητα χειροκίνητης αυξομείωσης της κλίσης	46

4.4.3	Βάσεις κινούμενες (περιστρεφόμενες) με αυτόματη πορεία από ανατολικά προς δυτικά και χειροκίνητη μεταβολή ως προς το οριζόντιο επίπεδο	47
4.4.4	Βάσεις περιστρεφόμενες με αυτόματη πορεία σύμφωνα με την πορεία του ήλιου για συνεχή κάθετη πρόπτωση	48
4.4.5	Υπολογισμός των αποστάσεων ανάμεσα στις σειρές των κινούμενων (περιστρεφόμενων βάσεων) για σκίαστρα Φ/Β πάνελ	49

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ. ΕΛΕΓΚΤΕΣ - ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΦΟΡΤΙΣΤΗΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ. ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΑΠΟ DC - AC DC-DC

Εισαγωγικές Παρατηρήσεις	53
Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα	53
Έννοιες κλειδιά - Βασική Ορολογία	53
5.1 Ηλεκτρικοί συσσωρευτές γενικά. Τύποι συσσωρευτών. Συσσωρευτές μολύβδου (Pb-H ₂ SO ₄). Τεχνικά χαρακτηριστικά	54
5.1.1 Ηλεκτρικοί συσσωρευτές γενικά	54
5.1.2 Τύποι συσσωρευτών	54
5.1.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά	54
5.2 Συνδεσμολογία συσσωρευτών	57
5.3 Τοποθέτηση συσσωρευτών στο χώρο του ηλεκτροστασίου	59
5.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά συσσωρευτών του εμπορίου	60
5.5 Συσσωρευτές οξέος μολύβδου ανοιχτού τύπου χαμηλού αντιμονίου (1,6%) ονομαστικής τάσης 12V, 6V, 2V, από την ECO//SUN/BAE Solar	60
5.6 Βιομηχανικοί συσσωρευτές ασβεστίου, ονομαστικής τάσης 12V, 6V, 2V, από την ECO//SUN, BAE SECURA PVV	61
5.7 Βιομηχανικοί συσσωρευτές με σωληνωτές θετικές πλάκες χαμηλού αντιμονίου και χαμηλής συντήρησης PZS/ECO//SUN (αδιαφανείς)	61
5.8 Συσσωρευτές οξέος μολύβδου ανοιχτού τύπου χαμηλού αντιμονίου (1,6%) ονομαστικής τάσης 12V	62
5.9 Συσσωρευτές οξέος μολύβδου ανοιχτού τύπου χαμηλού αντιμονίου (1,6%) ονομαστικής τάσης 2V (δίβολτα στοιχεία βιομηχανικού τύπου)	62
5.10 Τύποι ελεγκτών ρυθμιστών φόρτισης – Ρυθμιστές φόρτισης μικρής ισχύος – Ρυθμιστές φόρτισης χαμηλής ισχύος	62
5.10.1 Τύποι ελεγκτών ρυθμιστών φόρτισης	62
5.10.2 Ρυθμιστές φόρτισης μικρής ισχύος	63
5.10.3 Ρυθμιστές φόρτισης χαμηλής ισχύος	63
5.11 Ελεγκτές ρυθμιστές ενεργειακών συστημάτων – Φορτιστές μπαταριών	63
5.11.1 Ελεγκτές ρυθμιστές ενεργειακών συστημάτων	63
5.12 Φορτιστές μπαταριών	63
5.13 Μετατροπείς γενικά. Μετατροπείς DC-DC, Μετατροπέας DC-AC(Inverter), Μετατροπέας DC-AC δικτύου, Μετατροπείς DC-AC Δικτύου μικρής ισχύος χαμηλής τάσης μονοφασικοί	63
5.13.1 Μετατροπείς γενικά	63
5.14 Μετατροπείς DC-DC	64
5.15 Μετατροπέας DC-AC (Inverter)	64
5.16 Μετατροπέας DC-AC δικτύου	64

5.17 Μετατροπείς DC-AC, μέσης ισχύος χαμηλής τάσης, τριφασικοί, Μετατροπέας DC-AC μεγάλης ισχύος μέσης τάξης.....	65
5.17.1 Μετατροπείς DC-AC, μέσης ισχύος χαμηλής τάσης, τριφασικοί	65
5.17.2 Μετατροπέας DC-AC μεγάλης ισχύος μέσης τάξης	65
5.18 Μετατροπέας DC-AC συσσωρευτών	65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

Εισαγωγικές Παρατηρήσεις	67
Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα	67
Έννοιες κλειδιά - Βασική Ορολογία	67
6.1 (Εργαστηριακή εφαρμογή) Φωτοβολταϊκή παραγωγή ενέργειας.....	67
1.1 Σκοπός Εργαστηριακής Εφαρμογής.....	67
1.2 Πειραματικές συσκευές	68
1.3 Πειραματική διαδικασία.....	69
1.4 Μεθοδολογία ανάλυσης.....	72

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ - ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Εισαγωγικές Παρατηρήσεις	73
Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα	73
Έννοιες κλειδιά - Βασική Ορολογία	73
1.1 Μέρη ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα	74
1.2 Ισχύς ανεμογεννήτριας.....	75
1.3 Εκτίμηση του αιολικού δυναμικού – χαρακτηριστικές παράμετροι του ανέμου. Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα του ανέμου και τη διεύθυνσή του	76
1.1.1 Εκτίμηση του αιολικού δυναμικού.....	76
1.1.2 Χαρακτηριστικές παράμετροι του ανέμου.....	76
1.1.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα του ανέμου και τη διεύθυνσή του	77
1.2 Μέτρηση και ανάλυση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής	77
1.3 Εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μια περιοχής από τα υπάρχοντα ανεμολογικά στοιχεία	77

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Εισαγωγικές Παρατηρήσεις	79
Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα	79
Έννοιες κλειδιά - Βασική Ορολογία	79
2.1 Καθορισμός της ονομαστικής ισχύος της Α/Γ.....	80
2.2 Καθορισμός της ταχύτητας στην οποία η Α/Μ αρχίζει να λειτουργεί	80
2.3 Καθορισμός της ταχύτητας διακοπής της λειτουργίας της Α/Γ	81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

Εισαγωγικές Παρατηρήσεις	83
Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα	83
Έννοιες κλειδιά - Βασική Ορολογία	83

3.1	Ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος – Βασικές προϋποθέσεις για την εγκατάσταση αιολικού συστήματος μικρής ισχύος	84
3.1.1	Ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος	84
3.2	Μελέτη των χαρακτηριστικών στοιχείων των καμπυλών ισχύος και ενεργειακής παραγωγής	85
3.3	Αιολικά συστήματα ανεμογεννητριών μικρής ισχύος	85

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ - ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ - ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

	Εισαγωγικές Παρατηρήσεις	87
	Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα	87
	Έννοιες κλειδιά - Βασική Ορολογία	87
4.1	Αυτόνομα αιολικά συστήματα	88
4.2	Διασυνδεδεμένα αιολικά συστήματα	88
4.2.1	Διασυνδεδεμένα αιολικά συστήματα με δυνατότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας	88
4.3	Υβριδικά συστήματα με ανεμογεννήτριες μικρής κλίμακας – Κατάταξη ανεμογεννητριών μικρής ισχύος	88
4.3.1	Υβριδικά συστήματα με ανεμογεννήτριες μικρής κλίμακας	88
4.3.2	Κατάταξη ανεμογεννητριών μικρής ισχύος	88

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΜΕΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΓΑΛΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

	Εισαγωγικές Παρατηρήσεις	91
	Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα	91
	Έννοιες κλειδιά - Βασική Ορολογία	91
5.1	Ανεμογεννήτριες μέσης και μεγάλης ισχύος	92
5.2	Βασικές προϋποθέσεις για την εγκατάσταση αιολικού συστήματος με Α/Γ μέσης η μεγάλης ισχύος	92
5.3	Θεμελίωση – Τοποθέτηση – Στήριξη Α/Γ	94
5.4	Διάταξη Α/Γ αιολικού πάρκου	94
5.5	Μέτρηση θορύβου στην Α/Γ	94
5.6	Μετρήσεις θορύβου στην Α/Γ στη θέση του αποδέκτη	95
1	Εργαστηριακή εφαρμογή: Μέτρηση αιολικού δυναμικού	97
1.1	Σκοπός της εφαρμογής	97
1.2	Περιγραφή του πειράματος - Πειραματικές συσκευές	97
1.3	Πειραματική διαδικασία	99
1.4	Μεθοδολογία ανάλυσης της εφαρμογής	100

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΜΙΚΡΑ ΥΔΡΗΛΕΚΤΡΙΚΑ

	Εισαγωγικές Παρατηρήσεις	103
	Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα	103
	Έννοιες κλειδιά - Βασική Ορολογία	103
1.1	Εισαγωγή – Βασικοί ορισμοί και διεργασίες	103
1.2	Πλεονεκτήματα των μικρών υδροηλεκτρικών	104

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΥΔΡΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ

Εισαγωγικές Παρατηρήσεις	105
Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα	105
Έννοιες κλειδιά - Βασική Ορολογία	105
2.1 Ύψος πτώσης και ροή	106
2.2 Ισχύς και ενέργεια	106
2.3 Τα κύρια μέρη ενός υδροηλεκτρικού συστήματος.....	106

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Εισαγωγικές Παρατηρήσεις	107
Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα	107
Έννοιες κλειδιά - Βασική Ορολογία	107
3.1 Επισκόπηση	108
3.2 Είδη στροβίλων κατάλληλοι για ΜΥΑ	108
3.3 Κριτήρια επιλογής στροβίλου	109
3.5 Έλεγχος του υδροστροβίλου	110
1 Εργαστηριακή εφαρμογή: Ανάλυση λειτουργίας μικρής υδροηλεκτρικής εγκατάστασης	115
1 Σκοπός της εφαρμογής.....	111
1.1 Περιγραφή του πειράματος.....	111
1.2 Πειραματική εγκατάσταση	112
1.3 Πειραματική διαδικασία.....	112
1.4 Μεθοδολογία ανάλυσης της εφαρμογής	112

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	115
--------------------	-----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	117
-----------------	-----

ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ



Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα περιγραφεί ο ορισμός του φωτοβολταϊκού φαινομένου, καθώς επίσης και τα στοιχεία κατασκευής των Φ/Σ.



Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα

Να γίνει κατανοητός ο ορισμός του Φωτοβολταϊκού φαινομένου



Έννοιες κλειδιά - Βασική Ορολογία

Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Στοιχεία Φωτοβολταϊκών Συστημάτων, Ημιαγωγοί, Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

1.1 Εισαγωγή στα φωτοβολταϊκά συστήματα

Αν και οι ηλιακές κυψέλες είναι διαθέσιμες από τα μέσα της δεκαετίας του '50, η επιστημονική έρευνα για το φωτοβολταϊκό φαινόμενο άρχισε το 1839, όταν ο Γάλλος επιστήμονας, Henri Becquerel, ανακάλυψε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα θα μπορούσε να παραχθεί από τη λάμψη ενός φωτός επάνω σε ορισμένες χημικές ουσίες.

Η επίδραση παρατηρήθηκε αρχικά σε ένα στερεό υλικό (σε αυτή την περίπτωση το σελήνιο). Αυτό το υλικό χρησιμοποιήθηκε για πολλά χρόνια στα φωτόμετρα, τα οποία απαιτούσαν πολύ μικρά ποσά ενέργειας.

Μια βαθύτερη κατανόηση των φυσικών αρχών που συνδέονται με το φαινόμενο δόθηκε από τον Einstein το 1905 και τον Schottky το 1930. Αυτές οι ερμηνείες ήταν απαραίτητες για να μπορέσουν να γίνουν πιο αποδοτικές οι ηλιακές κυψέλες. Μια τέτοια κυψέλη πυριτίου που μετέτρεπε το 6% της ηλιακής ενέργειας που έπεφτε επάνω της σε ηλεκτρική ενέργεια αναπτύχθηκε από τους Chapin, Pearson και Fueller το 1954, και χρησιμοποιήθηκε σε εξειδικευμένες εφαρμογές, όπως οι διαστημικοί δορυφόροι, από το 1958.

Τα σημερινά εμπορικά διαθέσιμα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν αποδοτικότητα μετατροπής της ενέργειας του ήλιου που πέφτει πάνω τους από 5% έως 25% (ανάλογα με τον τύπο, μονοκρυσταλλικό, πολυκρυσταλλικό και άμορφου πυριτίου).

1.2 Στοιχεία φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο πλάκες ημιαγωγών (δίοδοι p-n) συνήθως πυριτίου Si που βρίσκονται σε επαφή. Η χρήση του Si, ως βασικού υλικού παραγωγής αποτελεί βασικό πλεονέκτημα της φωτοβολταϊκής μετατροπής διότι το πυρίτιο αφθονεί

(-25%) στο φλοιό του πλανήτη μας). Η άνω πλάκα (τύπου n) εμπλουτίζεται με πολύ μικρή ποσότητα (π.χ. $1 \cdot 10^6$) στοιχείου, το οποίο διαθέτει ένα επιπλέον ηλεκτρόνιο (5 ηλεκτρόνια) στην εξωτερική του στιβάδα, σε σχέση με το χρησιμοποιούμενο ημιαγωγό. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις πλάκες τύπου n είναι μόρια αρσενικού (As) ή φωσφόρου (P). Αντίστοιχα η κάτω πλάκα (τύπου p) ενισχύεται με προσμείξεις κατάλληλου στοιχείου, συνήθως Βόριο (B), που διαθέτει ένα ηλεκτρόνιο λιγότερο στην εξωτερική του στιβάδα σε σχέση με το υλικό του ημιαγωγού. Η άνω πλάκα με τα επιπλέον ηλεκτρόνια ονομάζεται ημιαγωγός τύπου n (negative - αρνητικό φορτίο), ενώ η κάτω πλάκα με τα λιγότερα ηλεκτρόνια είναι ημιαγωγός τύπου p (positive - θετικό φορτίο).

Κατά την κατασκευή του φωτοβολταϊκού στοιχείου, στην επιφάνεια επαφής των δύο πλακών συγκεντρώνονται τα περίσσια ηλεκτρόνια της πλάκας (τύπου n), τα οποία έλκονται από τις κενές θέσεις (οπές) ηλεκτρονίων της πλάκας (τύπου p). Εάν η πλάκα (τύπου n) δεχτεί ηλιακή ακτινοβολία, τότε τα φωτόνια που διαπερνούν τον ημιαγωγό ενεργοποιούν ορισμένο αριθμό ηλεκτρονίων, τα οποία συσσωρεύονται κοντά στην επιφάνεια επαφής των δύο πλακών. Λόγω των απωστικών δυνάμεων μεταξύ ομώνυμων φορτίων εκκενώνονται επιπλέον θέσεις ηλεκτρονίων της πλάκας (τύπου p) οπότε και δημιουργούνται επιπλέον κενές θέσεις (οπές). Στην περίπτωση αυτή δημιουργείται διαφορά τάσεως μεταξύ των δύο πλευρών, που ονομάζεται τάση ανοικτού κυκλώματος «UOC». Η τιμή της τάσης «UOC» είναι χαμηλή για μικρής έντασης ηλιακή ακτινοβολία, αλλά παραμένει σχεδόν σταθερή για τιμές της ηλιακής ακτινοβολίας που υπερβαίνουν ένα προκαθορισμένο όριο. Το εν λόγω όριο εξαρτάται από το υλικό κατασκευής των φωτοβολταϊκών κυψελών.

Κατά τη διάρκεια έκθεσης του φωτοβολταϊκού στοιχείου στην ηλιακή ακτινοβολία, ενώνοντας με κατάλληλο αγωγό τις δύο πλάκες του στοιχείου (p-n) δημιουργείται κλειστό κύκλωμα, που οδηγεί στην ανάπτυξη κυκλοφορίας των ηλεκτρονίων διαμέσου της επιφάνειας επαφής τους. Στο κλειστό αυτό κύκλωμα (πρακτικά χωρίς φορτίο) η ένταση του ρεύματος είναι σταθερή και ονομάζεται ένταση βραχυκυκλώσεως. Η ένταση βραχυκυκλώσεως μεταβάλλεται σχεδόν γραμμικά με την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στους δύο ακροδέκτες, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Στην πρακτική εκμετάλλευση αυτού του φαινομένου στηρίζεται η λειτουργία του συνόλου των φωτοβολταϊκών διατάξεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Σύντομες ερωτήσεις ανατροφοδότησης-αυτοαξιολόγησης

1. Από πόσες πλάκες ημιαγωγών αποτελούνται τα φωτοβολταϊκά στοιχεία;
2. Ποιο είναι το βασικό υλικό παραγωγής των ημιαγωγών;
3. Πώς ορίζεται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο;



Ανακεφαλαίωση

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις ηλιακές κυψέλες από την εμφάνισή τους μέχρι σήμερα, καθώς επίσης και στα στοιχεία των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα και στην παγκόσμια αγορά καθώς και στο κόστος για την αγορά και εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος.

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤ ΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΚΑΙ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΓΟΡΑ. ΚΟΣΤΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα περιγραφεί η ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελληνική και Παγκόσμια Αγορά, το κόστος των Φ/Β και οι πολιτικές ενίσχυσης στην Ελλάδα.



Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα

Να κατανοηθούν και να εξερευνηθούν τα οφέλη από την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελληνική και Παγκόσμια αγορά, καθώς επίσης και οι πολιτικές ενίσχυσης των φωτοβολταϊκών στην Ελληνική αγορά.



Έννοιες κλειδιά - Βασική Ορολογία

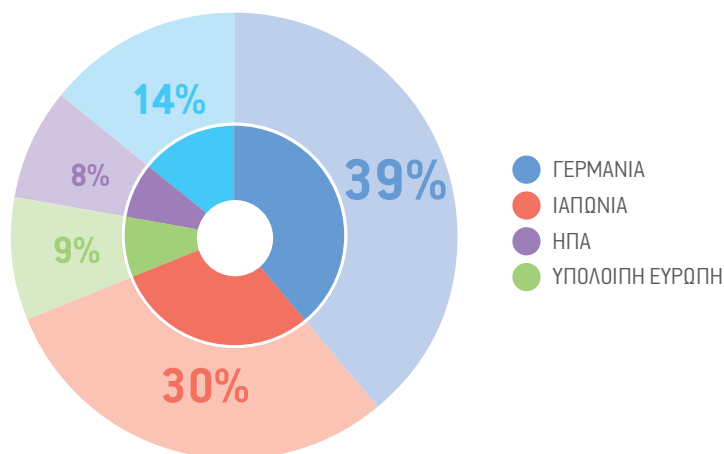
Κόστος Φωτοβολταϊκού Συστήματος, Παγκόσμια Αγορά, Ελληνική Αγορά, Κιλοβατώρες

2.1 Παγκόσμια αγορά

Η διεθνής αγορά, τα τελευταία χρόνια, άρχισε να κινείται με πολύς καλούς ρυθμούς ανάπτυξης, με αποτέλεσμα να υπάρχει ουσιαστική πρόοδος στην παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού. Αρχικά τα προγράμματα τριών χωρών (Ιαπωνία, Γερμανία, ΗΠΑ), αποτέλεσαν το βαρόμετρο για την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Τελευταία δύο νέες χώρες (Κίνα, Ισπανία) συνέβαλαν αρκετά στην ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών, με νέες παραγωγικές μονάδες και γενναία μέτρα στήριξης και ενθάρρυνσης του ηλιακού ηλεκτρισμού. Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος ενός κιλοβάτ παράγει κατά μέσο όρο 1.500 κιλοβατώρες το χρόνο (ανάλογα με την ηλιοφάνεια της περιοχής) και αποτρέπει κάθε χρόνο την έκβαση 1600 κιλών διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν δυο στρέμματα δάσους.

Μετά το 2000 και για έξι χρόνια η διεθνής βιομηχανία φωτοβολταϊκών παρουσίασε πολύ μεγάλους ρυθμούς ανάπτυξης. Το 2004 η παγκόσμια παραγωγή έφτασε τα 1256 μεγαβάτ, αύξηση 67% σε σχέση με το 2003, το 2005 τα 1818 μεγαβάτ, αύξηση 45% σε σχέση με το 2004 και το 2006 τα 2356 μεγαβάτ, αύξηση 40% σε σχέση με το 2005. Το 2006, στην κορυφή της παγκόσμιας παραγωγής φωτοβολταϊκών, υπήρχαν 4 Ιαπωνικές, 4 ευρωπαϊκές και δύο Κινεζικές εταιρείες, ενώ για το 2007 έχουμε και μία Αμερικάνικη.

Το 2004, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών παρουσίασε μια εκρηκτική αύξηση στη Γερμανία περίπου της τάξης 140%, αφού, σύμφωνα με την έκθεση Market buzz 2005, εγκαταστάθηκαν στη χώρα αυτή 366 MW.



Πίνακας 2.1 Δείχνει την παγκόσμια εγκατάσταση φωτοβολταϊκών το 2004.

Η ζήτηση φωτοβολταϊκών στη διεθνή αγορά θα αυξάνει συνεχώς μέχρι το 2010.

Στα εγκατεστημένα συστήματα, η Γερμανία κατέχει την πρώτη θέση και με διαφορά, έχοντας εγκαταστήσει συνολικά 3063 MW, από τα οποία τα 1153 MW το 2006.

2.2 Κόστος Φωτοβολταϊκών συστημάτων

Το κόστος για την αγορά και εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος δεν είναι παντού το ίδιο αλλά εξαρτάται από την ωριμότητα της αγοράς, το είδος και το μέγεθος της εφαρμογής.

Σύμφωνα με τα μέχρι τώρα στοιχεία, το κόστος των φωτοβολταϊκών πλασιών μειώνεται κατά 4-5% το χρόνο τα τελευταία 20 χρόνια.

Το σταμάτημα της πωτικής τάσης το 2004 και η αναστροφή από το 2005 οφείλονται στην έλλειψη στοκ (λόγω μεγάλης ζήτησης).

2.3 Ελληνική Αγορά

Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Νόμος 3498/2006), κάθε κιλοβατώρα που παράγεται και τροφοδοτείται στο δίκτυο της ΔΕΗ θα ενισχύεται, ανάλογα με την περιοχή, από 0,40 έως 0,50 ευρώ.

Η τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας ισχύει για δέκα (10) χρόνια και μπορεί να ανανεωθεί για (10) επιπλέον χρόνια, μονομερώς, με έγγραφη δήλωση του παραγωγού και η τιμή αυτή να αναπροσαρμόζεται κάθε χρόνο με βάση το 80% του πληθωρισμού ή με βάση τις μεσοσταθμικές αυξήσεις της ΔΕΗ.

Οι επιχειρηματίες μπορούν να διεκδικήσουν επιπλέον επιδότηση που μπορεί να φτάσει και το 50% της αξίας του συστήματος σε ορισμένες περιοχές (σύμφωνα με τον επενδυτικό νόμο), ή και επιδότηση επιτοκίου για δανεισμό με ευνοϊκούς όρους.

Οι οικιακοί καταναλωτές δικαιούνται επιπλέον φοροελάφρυνση που ισοδυναμεί με έκπτωση έως 700 ευρώ.

Σύμφωνα με τα νέα στοιχεία, πέρα από την αξιοποίηση μιας φιλικής προς το περιβάλλον τεχνολογίας, έχουμε απόσβεση του φωτοβολταϊκού συστήματος και κέρδος.

Με τη νέα νομοθεσία φαίνεται ότι απλοποιούνται οι διαδικασίες αδειοδότησης για τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Για συστήματα ισχύος μέχρι και 150 KW δεν απαιτούνται άδειες παραγωγής, εγκατάστασης και λειτουργίας.

Τα συστήματα κάτω από 20 KW, απαλλάσσονται και από την έγκριση περιβαλλοντικών όρων εφόσον δεν τοποθετούνται σε ευαίσθητες και προστατευμένες περιοχές.

Μέχρι το 2005 οι συνθήκες δεν ήταν ευόινες για τη χώρα μας. Η αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας για τα διασυνδεδεμένα συστήματα κυμαινόταν από 0,06 έως 0,08 ευρώ ανά KWh.

Σύμφωνα με τη διεθνή εμπειρία, οι ώριμες αγορές στρέφονται κυρίως στα διασυνδεδεμένα συστήματα, κάτι που έγινε και στη χώρα μας μετά τις νέες τιμές της KWh που σύμφωνα με Ν 3468/2006 διαμορφώθηκαν από 0,40 έως 0,50 ευρώ. Το 2007 είναι η πρώτη χρονιά που τα διασυνδεδεμένα συστήματα υπερτερούν σαφώς των αυτόνομων (διασυνδεδεμένα 1.69 MW που αντιστοιχεί στο 68% και αυτόνομα 0,785 MW που αντιστοιχεί στο 32%. Το 2005 τα διασυνδεδεμένα συστήματα κάλυπταν το 26% ενώ τα αυτόνομα το 74%.



Σύντομες ερωτήσεις ανατροφοδότησης / αυτοαξιολόγησης

1. Πόσες κιλοβατώρες περίπου παράγει κατά μέσο όρο ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος ενός κιλοβάτ σε ένα έτος;
2. Από τι εξαρτάται το κόστος ενός φωτοβολταϊκού συστήματος;
3. Ποια συστήματα απαλλάσσονται από την έγκριση των περιβαλλοντολογικών όρων;



Ανακεφαλαίωση

Σύμφωνα με τη νέα νομοθεσία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Νόμος 3468/ 2006), κάθε κιλοβατώρα που παράγεται και τροφοδοτείται στο δίκτυο της ΔΕΗ θα ενισχύεται, ανάλογα με την περιοχή από 0,40 έως 0,50 ευρώ. Η διεθνής αγορά τα τελευταία χρόνια, άρχισε να κινείται με πολύ καλούς ρυθμούς ανάπτυξης, με αποτέλεσμα να υπάρχει ουσιαστική πρόοδος στην παραγωγή ηλιακού ηλεκτρισμού. Το κόστος για την αγορά και εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος δεν είναι παντού το ίδιο, αλλά εξαρτάται από την ωριμότητα της αγοράς, το είδος και το μέγεθος της εφαρμογής. Στο επόμενο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα στοιχεία μετεωρολογίας και της ηλιακής ενέργειας, τα οποία είναι χρήσιμα για τους υπολογισμούς των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ - ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

**Εισαγωγικές Παρατηρήσεις**

Οι υπολογισμοί των φωτοβολταϊκών συστημάτων και η εφαρμογή στην πράξη προϋποθέτουν κάποιες βασικές γνώσεις γύρω από τη μετεωρολογία και την ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή ενέργεια έξω από τα όρια της ατμόσφαιρας έχει μέση ένταση (μέση τιμή της ηλιακής σταθεράς) $IOM=1373W/M2$.

Επειδή ο άξονας της γης δεν είναι κάθετος στην τροχιά της έχουμε το φαινόμενο των εποχών. Κατά την περιφορά της η γη άλλοτε στρέφει προς τον ήλιο το βόρειο ημισφαίριο (21/Ιουνίου) και άλλοτε το νότιο (21/Δεκεμβρίου). Στις 22 Μαρτίου και στις 22 Σεπτεμβρίου βόρειο και νότιο ημισφαίριο απέχουν το ίδιο και φωτίζονται το ίδιο από τον ήλιο. Η ηλιακή ενέργεια που δέχεται ένα οριζόντιο πλαίσιο, τοποθετημένο στην επιφάνεια της γης, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και επηρεάζεται κάθε φορά που έχουμε αλλαγή των μετεωρολογικών φαινομένων. Στην πράξη χρησιμοποιούμε τους πίνακες μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια της γης. Οι πίνακες αυτοί βασίζονται σε μετρήσεις ΜΣ για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

**Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα:**

Να κατανοηθεί ο ορισμός της ηλιακής σταθεράς, οι μετρήσεις των μετεωρολογικών σταθμών για μεγάλα χρονικά διαστήματα από τους πίνακες του παραρτήματος, η τοποθέτηση των Φ/Β συλλεκτών με προσανατολισμό το Νότο και με κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Επίσης, να κατανοηθεί πότε ένας φωτοβολταϊκός συλλέκτης δέχεται τα μεγαλύτερα ποσά της ηλιακής ενέργειας κατά τη χειμερινή και την καλοκαιρινή περίοδο, καθώς επίσης πώς προσδιορίζεται η ολική μηνιαία ακτινοβολία που δέχεται ένας φωτοβολταϊκός συλλέκτης με νότιο προσανατολισμό, τοποθετημένος με τη βέλτιστη κλίση το μήνα Ιανουάριο $\beta=60^\circ$ στην περιοχή της Θεσσαλονίκης.

**Έννοιες κλειδιά - Βασική Ορολογία**

Ηλιακή σταθερά G_{sc} , Ολική ηλιακή ακτινοβολία, Μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία, Βέλτιστη γωνία κλίσης Φωτοβολταϊκού Συλλέκτη.

3.1 Γενικά στοιχεία

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελεί μια αστείρευτη ενεργειακή πηγή του πλανήτη μας, καθώς ανά πάσα χρονική στιγμή περίπου 171.300 TW ηλιακής ισχύος διασχίζουν τα όρια της γήινης ατμόσφαιρας.

Παράλληλα, η ηλιακή ενέργεια είναι η πλέον αξιοποιημένη από τις ήπιες μορφές ενέργειας στον τομέα κάλυψης θερμικών αναγκών, ενώ η αντίστοιχη τεχνολογία εξελίσσεται συνεχώς επιδιώκοντας να καταστεί πλήρως ανταγωνιστική των συμβατικών πηγών ενέργειας.

Για τη μελέτη και αποδοτική λειτουργία ενός οποιουδήποτε ηλιακού συστήματος είναι απαραίτητη η γνώση της διαδικασίας μέτρησης και υπολογισμού της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας, μέσω του προσδιορισμού της προσπίπτουσας σε μια επιφάνεια ακτινοβολίας συνυπολογίζοντας την κλίση και τον προσανατολισμό αυτής καθώς και το χρόνο και τον τόπο της μελέτης.

3.2 Η κίνηση της γης γύρω από τον ήλιο - Ηλιακή σταθερά G_{sc} .

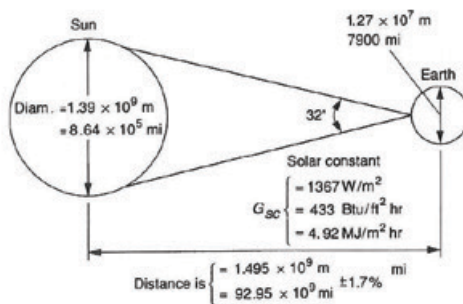
Η γη κάνει μια περιφορά γύρω από τον ήλιο σε χρονικό διάστημα ενός έτους και συγκεκριμένα σε 365,25 ημέρες. Το επίπεδο της τροχιάς της γης τέμνει την ουράνια σφαίρα κατά μέγιστο κύκλο που ονομάζεται εκλειπτική. Η εκλειπτική και ο ουράνιος ισημερινός τέμνονται κατά μια διάμετρο γγ' που ονομάζεται γραμμή των ισημερινών.

Όταν ο ήλιος βρίσκεται στα σημεία γ' και γ διαγράφει κατά την ημερήσια κίνησή του τον ουράνιο ισημερινό και έχουμε ισημερία. Κατά την περιφορά της γης στις 22 Μαρτίου ο ήλιος προβάλλεται στο σημείο γ που ονομάζεται Εαρινό Ισημερινό Σημείο και έχουμε την αρχή της άνοιξης. Στις 22 Μαρτίου, κατά την ηλιακή μεσημβρία, ο ήλιος βρίσκεται στο Ζενίθ των τόπων του Ισημερινού της γης και έχει απόκλιση $\delta=0^\circ$. Κατά την περιφορά της γης στις 22 Σεπτεμβρίου ο ήλιος προβάλλεται στο σημείο γ' που ονομάζεται Φθινοπωρινό Ισημερινό Σημείο και έχουμε αρχή του φθινοπώρου. Στις 22 Σεπτεμβρίου, κατά την ηλιακή μεσημβρία, ο ήλιος βρίσκεται στο ζενίθ των τόπων του ισημερινού και έχει απόκλιση $\delta=0^\circ$.

Ο ήλιος εκπέμπει ενέργεια ακτινοβολίας ισχύος $E_{sun}=3,72 \cdot 10^{26}$ W, από την οποία το ένα δισεκατομμυριοστό (περίπου $1,7 \cdot 10^{17}$ W) φτάνει στη γη. Η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στην επιφάνεια της γης αποτελεί μικρό μόνο ποσοστό εκείνης που υπάρχει στο ανώτατο όριο της ατμόσφαιρας.

Όταν η γη βρίσκεται στη μέση απόστασή της από τον ήλιο, 1,495-106 Km (1AU) τότε ο ήλιος φαίνεται από τη γη μέσω μιας γωνίας 32° όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.1. Η συνολική ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στη μονάδα του χρόνου σε επιφάνεια $1m^2$, προσανατολισμένη κάθετα στις ακτίνες του ηλίου, έξω από την ατμόσφαιρα της γης όταν αυτή βρίσκεται στη μέση απόσταση από τον ήλιο ονομάζεται ηλιακή σταθερά, G_{sc} , και ισούται με 1.367 W/ m^2 .

Λόγω των διαφορών αποστάσεων μεταξύ γης και ηλίου, ανάλογα με τη θέση της περιφοράς στην τροχιά, η τιμή υπόκειται σε διακυμάνσεις $\pm 3,5\%$. Το ίδιο συμβαίνει και λόγω διαταραχών, όπως από ηλιακές κηλίδες, με διακυμάνσεις $\pm 1,5\%$. Έτσι τη μέγιστη τιμή της την παίρνει τον Ιανουάριο ενώ την ελάχιστη τον Ιούλιο.



Σχήμα 3.1 - Γεωμετρία ήλιου - γης

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η διάμετρος της γης είναι 1256,270 km, και ότι ο ήλιος βλέπει τη γη σαν έναν κύκλο, μια τέτοια τιμή της ηλιακής σταθεράς σημαίνει ότι η επιφάνεια της γης θα έπρεπε να δέχεται ενέργεια ισχύος 171.300 TW. Λόγω όμως της εξασθένησης που προκαλεί η ατμόσφαιρα τελικά στην επιφάνεια της γης, στο επίπεδο της θάλασσας, φθάνει μόνο 1 KW/m² (στην καλύτερη περίπτωση, συνήθως αρκετά λιγότερο) το οποίο στη διάρκεια του 24ώρου δίνει μια μέση ετήσια ισχύς 126.000 TW. Αυτή η ενέργεια τροφοδοτεί και υποστηρίζει τη ζωή πάνω στη γη και διατηρεί το γήινο οικοσύστημα και επιπλέον τροφοδοτεί όλες τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με εξαίρεση τη γεωθερμία και την ενέργεια λόγω παλιρροϊκών κυμάτων. Η συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια είναι 10.000 φορές μεγαλύτερη από τη συνολική ζήτηση σε ενέργεια σε όλον τον πλανήτη, παρότι χαρακτηρίζεται από χαμηλή πυκνότητα και γεωγραφική και χρονική μεταβολή.

3.3 Τιμές της ηλιακής ενέργειας Η σε οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια της γης, από μετρήσεις μετεωρολογικών σταθμών

Η ηλιακή ενέργεια που δέχεται ένα οριζόντιο πλαίσιο, τοποθετημένο στην επιφάνεια της γης, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και επηρεάζεται κάθε φορά που έχουμε αλλαγή των μετεωρολογικών φαινομένων. Στην πράξη χρησιμοποιούμε τους πίνακες μέσης μηνιαίας ολικής ακτινοβολίας, που έχουμε σε οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια της γης. Οι πίνακες αυτοί βασίζονται σε μετρήσεις των μετεωρολογικών σταθμών για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Στον πίνακα 3.1 Παράρτημα 1 έχουμε την ολική μηνιαία ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, στην επιφάνεια της γης σε kWh/M2 για κάθε περιοχή, πρωτεύουσας Νομού της χώρας. Επειδή κάθε Νομός έχει περίπου τα ίδια χαρακτηριστικά στοιχείου με την πρωτεύουσά του (ανήκουν στην ίδια ζώνη), για τους υπολογισμούς μιας περιοχής του Νομού κάνουμε χρήση των ίδιων στοιχείων ολικής μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο.

3.4 Υπολογισμός της μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο (Ηκ) στην επιφάνεια της γης (Ηλιακή ενέργεια στην επιφάνεια Φ/Β συλλέκτη που είναι τοποθετημένος με κλίση Β ως προς το οριζόντιο επίπεδο, με νότιο προσανατολισμό (Γ=0) στην επιφάνεια της γης)

Στην πράξη, η τοποθέτηση των Φ/Β συλλεκτών γίνεται με προσανατολισμό το Νότο και με κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

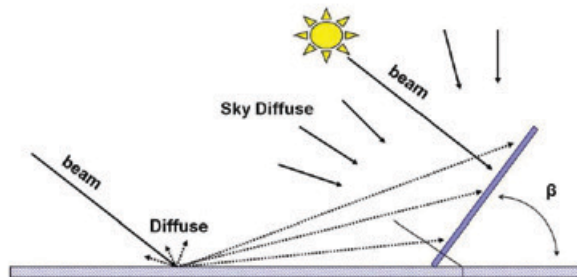
Η ηλιακή ακτινοβολία, για κάθε Νομό της χώρας και για κάθε μήνα, δίνεται από πίνακες ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

Για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο της κλίσης του συλλέκτη, γίνεται χρήση ανηγμένων συντελεστών, που προκύπτουν μετά από υπολογισμούς για κάθε περιοχή/Νομό της χώρας.

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία, που δέχεται ένας συλλέκτης τοποθετημένος με κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, αποτελείται από τρεις συνιστώσες:

1. Την άμεση ηλιακή ακτινοβολία που προέρχεται απευθείας από τον ήλιο και εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων.
2. Τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, που προέρχεται από τον ουράνιο θόλο που βλέπει ο συλλέκτης. Η διάχυτη ακτινοβολία προέρχεται από το μέρος εκείνο της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, το οποίο διαχέεται από μικρά σωματίδια και μόρια αέρα σε τυχαίες διευθύνσεις.
3. Την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία, που προέρχεται από το έδαφος της γύρω περιοχής, έχει σχέση με τη μορφή και το είδος του εδάφους της γύρω περιοχής και χαρακτηρίζεται από το συντελεστή ανάκλασης (ρ) που λαμβάνεται συνήθως στους υπολογισμούς με τιμή $\rho=0,2$.

Οι τιμές του συντελεστή ρ κυμαίνονται από 0,05 για τις περιοχές με ασφαλτο και μέχρι 0,95 για τις περιοχές που είναι σκεπασμένες με χιόνι.



Σχήμα 3.2 - Άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία.

Στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, η κλίση του συλλέκτη (β), κυμαίνεται από 0° (οριζόντιος συλλέκτης) και μέχρι 90° (κάθετος, ως προς το οριζόντιο επίπεδο, συλλέκτης). Όταν ο συλλέκτης είναι τοποθετημένος με μηδενική κλίση (οριζόντιος συλλέκτης) και έχουμε ανέφελο ουρανό, η ολική ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται προέρχεται από την άμεση ακτινοβολία και από τη διάχυτη, που στην περίπτωση αυτή γίνεται μέγιστη, επειδή βλέπει ολόκληρο τον ουράνιο θόλο. Η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία, για ανέφελο ουρανό, όταν η περιοχή είναι επίπεδη, είναι σχεδόν μηδενική.

3.5 Βέλτιστη γωνία κλίσης Φωτοβολταϊκού Συλλέκτη

Για κάθε μήνα και για κάθε περιοχή (ζώνη), υπάρχει μια γωνία κλίσης του Φ/Β συλλέκτη, ως προς το οριζόντιο επίπεδο, για την οποία η ολική ενέργεια που δέχεται γίνεται μέγιστη.

Ένας φωτοβολταϊκός συλλέκτης με νότιο προσανατολισμό δέχεται τα μεγαλύτερα ποσά της ηλιακής ενέργειας όταν είναι τοποθετημένος με μεγάλη κλίση, τη χειμερινή περίοδο. Ο

ίδιος συλλέκτης θα δεχθεί τα μεγαλύτερα ποσά της ηλιακής ενέργειας, όταν είναι τοποθετημένος οριζόντια ή με ελάχιστη κλίση, ως προς το οριζόντιο επίπεδο, τους καλοκαιρινούς μήνες. Επειδή στις μεσαίες και ιδιαίτερα στις μεγάλες εγκαταστάσεις, μια μικρή μεταβολή στην κλίση του συλλέκτη αντιστοιχεί σε ετήσια βάση σε πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας, θα πρέπει ο μελετητής ή ο εγκαταστάτης Φ/Β συστημάτων να γνωρίζει τη σωστή κλίση ανά μήνα (κλίση μέγιστης απόδοσης ή βέλτιστη κλίση) ή τη σωστή κλίση σε ετήσια βάση (ετήσια βέλτιστη κλίση).

3.6 Εφαρμογές για τον υπολογισμό της μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ο Φ/Β συλλέκτης όταν τοποθετείται με προσανατολισμό το νότο με τη βέλτιστη κλίση

Εφαρμογή 1

Να υπολογιστεί η ολική μηνιαία ακτινοβολία που δέχεται ένας Φ/Β συλλέκτης με νότιο προσανατολισμό, τοποθετημένος με τη βέλτιστη κλίση τον μήνα Ιανουάριο ($\beta = 60^\circ$), στην περιοχή της Θεσσαλονίκης, αν ο συντελεστής ανάκλασης της γύρω περιοχής είναι $\rho = 0,2$.

1. Ποια θα είναι η τιμή της ολικής μηνιαίας ηλιακής ακτινοβολίας, αν ο Φ/Β συλλέκτης τοποθετηθεί με προσανατολισμό το Νότο και κλίση;
2. Τη διαφορά ανάμεσα στο γεωγραφικό πλάτος και της απόκλισης δ ($\beta = \varphi - \delta$)
3. Το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ($\beta = \varphi = 40,65^\circ$)
4. 15° μεγαλύτερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ($\beta = \varphi + 15^\circ = 40,65^\circ + 15^\circ = 55,65^\circ$).
5. 15° μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου ($\beta = \varphi - 15^\circ = 40,65^\circ - 15^\circ = 25,65^\circ$)
6. Την ετήσια ($\beta = 28^\circ$)

Απάντηση

1. Για $\beta = 60^\circ$ (βέλτιστη κλίση) έχουμε $RM = 1,6475$, $HK = 82,378 \text{ kWh/m}^2$, $n\% = 64,756\%$
2. Για $\beta = \varphi - \delta$, $\beta = 40,650 - (-21,269) \beta = 61,919^\circ = 62^\circ$ $RM = 1,6471$, $HMK = 82,358 \text{ kWh/m}^2$ $n\% = 64,716\%$
3. Για $\beta = \varphi = 40,650^\circ = 41^\circ$ $RM = 1,574$, $HMK = 78,7278 \text{ kWh/m}^2$, $n\% = 57,454\%$
4. Για $\beta = (\varphi + 15^\circ) = 55,65^\circ = 56^\circ$ $RM = 1,6437$, $HMK = 82,185 \text{ kWh/m}^2$, $n\% = 64,370\%$
5. Για $\beta = (\varphi - 15^\circ) = 25,65^\circ = 26^\circ$ $RM = 1,4233$, $HMK = 71,167 \text{ kWh/m}^2$, $n\% = 42,334\%$
6. Για $\beta = 28^\circ$ $RM = 1,4479$, $HMK = 72,396 \text{ kWh/m}^2$, $n\% = 44,792\%$

Συμπέρασμα:

Για το μήνα Ιανουάριο τη μεγαλύτερη απόδοση έχουμε για τη βέλτιστη κλίση και τη μικρότερη για κλίση 15° μικρότερη από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.



Σύντομες ερωτήσεις ανατροφοδότησης / αυτοαξιολόγησης

1. Τι ονομάζεται ηλιακή σταθερά G_{sc} ;
2. Πώς προσδιορίζεται η ηλιακή ενέργεια που δέχεται ένα οριζόντιο πλαίσιο, τοποθετημένο στην επιφάνεια της γης;
3. Η ολική ηλιακή ακτινοβολία, που δέχεται ένας συλλέκτης τοποθετημένος με κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, αποτελείται από τρεις συνιστώσες. Ποιες είναι αυτές οι συνιστώσες;
4. Πότε ένας φωτοβολταϊκός συλλέκτης δέχεται τα μεγαλύτερα ποσά της ηλιακής ενέργειας;



Ανακεφαλαίωση

Οι υπολογισμοί των φωτοβολταϊκών συστημάτων και η εφαρμογή στην πράξη προϋποθέτουν κάποιες βασικές γνώσεις γύρω από τη μετεωρολογία και την ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή ενέργεια που δέχεται ένα οριζόντιο πλαίσιο, τοποθετημένο στην επιφάνεια της γης, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και επηρεάζεται κάθε φορά που έχουμε αλλαγή των μετεωρολογικών φαινομένων. Στην πράξη χρησιμοποιούμε τους ΠΙΝΑΚΕΣ μέσης μηνιαίας ολικής ακτινοβολίας που έχουμε σε οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια της γης. Οι ΠΙΝΑΚΕΣ αυτοί βασίζονται σε μετρήσεις των M/Σ για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στις κατηγορίες των φωτοβολταϊκών συστημάτων, στους τρόπους σύνδεσης των φωτοβολταϊκών πλασίων, στην τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, καθώς επίσης και στις βάσεις στήριξης των φωτοβολταϊκών συλλεκτών.

ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΕ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ. ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.



Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναφερθούν οι κατηγορίες των φωτοβολταϊκών συστημάτων για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, οι κατηγορίες των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων, ο φωτοβολταϊκός συλλέκτης πυριτίου, η διάκριση Φ/Β πλαίσιων, οι τρόποι σύνδεσής τους, ο υπολογισμός της ονομαστικής ισχύος ενός φωτοβολταϊκού συλλέκτη, καθώς επίσης και ο υπολογισμός της μέγιστης ισχύος του Φ/Β συλλέκτη.



Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα:

Να κατανοηθούν οι ορισμοί των παθητικών και ενεργητικών ηλιακών συστημάτων, καθώς και τα είδη (κατηγορίες) των ενεργητικών ηλιακών συστημάτων. Επίσης, ποιο είναι το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων, καθώς και τα είδη των Φ/Β στοιχείων, οι τρόποι σύνδεσης των Φ/Β πλαισίων, όπως και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των Φ/Β συλλεκτών με οκταγωνικές κυψέλες πυριτίου. Η κατανόηση του υπολογισμού της ονομαστικής ισχύος ενός φωτοβολταϊκού συλλέκτη σε συνθήκες διαφορετικές από τις στάνταρ, ο υπολογισμός της μέγιστης ισχύος που μας δίνει ένας φωτοβολταϊκός συλλέκτης σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, ο απαιτούμενος αριθμός Φ/Β πλαισίων, η τοποθέτηση αυτών σε παράλληλες σειρές, και η απαιτούμενη έκταση για την τοποθέτηση των Φ/Β πλαισίων στο έδαφος, και τα είδη των βάσεων στήριξης των φωτοβολταϊκών συλλεκτών.



Έννοιες κλειδιά - Βασική Ορολογία

Παθητικά Ηλιακά Συστήματα, Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα, Μικρό κινητό φωτοβολταϊκό σύστημα, Αυτόνομο Φωτοβολταϊκό Σύστημα, Διασυνδεδεμένο, Υβριδικό, Συλλέκτης πυριτίου, Σύνδεση, Βάσεις στήριξης.

4.1 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων

Διακρίνουμε δύο κατηγορίες συστημάτων για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας:

- Τα παθητικά Ηλιακά Συστήματα
- Τα ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι κατά κύριο λόγο δομικά στοιχεία των κτιρίων, που αξιοποιούν τους νόμους μεταφοράς θερμότητας.

Συγκεκριμένα, συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν σε μορφή θερμότητας και στη συνέχεια τη διανέμουν στο χώρο. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα, που με τη βοήθεια του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού, εγκλωβίζουν τη θερμότητα σε εσωτερικούς χώρους, μπορούν να συνδυαστούν και με τεχνικές φυσικού φωτισμού καθώς και με τεχνικές για το φυσικό δροσισμό των κτιρίων το καλοκαίρι. Μπορούν να εφαρμοστούν και σε καινούργια και σε ήδη υπάρχοντα κτίρια.

Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα και ειδικότερα τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Για να μετατραπεί η ηλιακή ακτινοβολία που φθάνει στη γη σε ηλεκτρική ενέργεια, χρησιμοποιούμε τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ή κυψέλες (PVcells). Η απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων σήμερα έχει ξεπεράσει το 15% με καλές προϋποθέσεις για ακόμη μεγαλύτερη απόδοση. Πρακτικά αυτό σημαίνει πως 1.000 Watt ηλιακής ενέργειας μετατρέπονται σε 150 Watt ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε ώρα σε κάθε τετραγωνικό μέτρο φωτοβολταϊκών στοιχείων. Η ηλιακή ενέργεια που φθάνει σε όλη τη γη σε μια ώρα καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες του πλανήτη μας για όλο το χρόνο.

4.2 Ενεργητικά ηλιακά συστήματα. Μικρό κινητό φωτοβολταϊκό σύστημα.

Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα

4.2.1 Μικρό κινητό φωτοβολταϊκό σύστημα

Είναι μικρό σε μέγεθος και μετακινείται εύκολα για να μας δίνει ηλεκτρική ενέργεια όπου τη χρειαζόμαστε (κάμπινγκ, κήπος, περιοχές εκτός δικτύου τροφοδοσίας ηλεκτρικού ρεύματος, σπίτια σε περίπτωση διακοπής ρεύματος μικρής διάρκειας). Θα πρέπει να συνδυάζεται με σύστημα αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (μπαταρίες).

Ένα μικρό κινητό φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται:

- Από φωτοβολταϊκό πλαίσιο (Φ/Β) πλαίσιο (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας).
- Από τον αυτόματο Φορτιστή Ρυθμιστή (έλεγχος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας).
- Από την μπαταρία (αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας).
- Από τον ηλεκτρονικό αντιστροφέα inverter (μετατροπή του παραγόμενου ρεύματος από συνεχές σε εναλλασσόμενο στην επιθυμητή τάση δικτύου).
- Από τη μεταλλική βάση πάνω στην οποία βρίσκονται τοποθετημένα τα παραπάνω εξαρτήματα.

4.2.2 Αυτόνομο Φωτοβολταϊκό Σύστημα

Είναι αρκετά μεγαλύτερο από το προηγούμενο και είναι συνήθως εγκατεστημένο μόνιμα. Μπορεί να καλύψει τις ανάγκες σε ηλεκτρισμό εξοχικών κατοικιών, σκαφών, αγροικιών, θερμοκηπίων, τροχόσπιτων, και απομακρυσμένων σταθμών διάφόρων μετρήσεων.

Με σωστό υπολογισμό της αναγκαίας σε αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, μπορεί να καλύψει ακόμα και μόνιμες κατοικίες για απεξάρτηση από το βασικό δίκτυο ηλεκτροδότησης.

Ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται:

- α) Από τις ομάδες φωτοβολταϊκών πλαισίων για την παραγωγή της αναγκαίας ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας.
- β) Από τη διάταξη λειτουργίας Mpp (προσαρμόζει τη λειτουργία γύρω από το σημείο μέγιστης ισχύος).
- γ) Από το μετατροπέα DC/DC (προσαρμόζει την τάση εξόδου από τις ομάδες των Φ/Β πλαισίων στην επιθυμητή τάση εισόδου του ρυθμιστή -φορτιστή).
- δ) Από τον αυτόνομο ρυθμιστή-φορτιστή των συσσωρευτών αποθήκευσης (ελέγχει και ρυθμίζει τη διαδικασία φόρτισης και αποφόρτισης των συσσωρευτών αποθήκευσης).
- ε) Από τον ηλεκτρονικό αντιστροφέα (inverter) που μετατρέπει τη συνεχή τάση εισόδου σε εναλλασσόμενη 230V/50Hz.
- ζ) Από τον επιλογέα κατανάλωσης (ελέγχει τη λειτουργία των καταναλώσεων και έχει τη δυνατότητα επιλογής των φορτίων σε περιπτώσεις περιορισμού της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας).
- η) Από τον πίνακα ελέγχου και λειτουργίας των καταναλώσεων της ηλεκτρικής εγκατάστασης (φορτία 230V/50Hz).
- θ) Από τον πίνακα ελέγχου και λειτουργίας ορισμένων καταναλώσεων που θα λειτουργούν με συνεχή τάση 24 ή 48 V.

Στο εμπόριο κυκλοφορούν COMPACT ηλεκτρονικές διατάξεις που περιλαμβάνουν τη διάταξη Mpp, το μετατροπέα DC/DC, τον αντιστροφέα DC/AC καθώς και το ρυθμιστή -φορτιστή.

4.2.3 Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα (με δυνατότητα κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας)

Κατασκευάζεται συνήθως για ισχύ από 10 kWp και πάνω, με σύνδεση στο βασικό δίκτυο. Ο ιδιοκτήτης του συστήματος που είναι αυτοπαραγωγός, μπορεί, εφόσον το επιθυμεί, να καταναλώσει όση ηλεκτρική ενέργεια χρειάζεται και να πουλάει την υπόλοιπη, έναντι προσυμφωνημένης τιμής (με κέρδος) στο βασικό δίκτυο (π.χ. τις ηλιόλουστες ημέρες ή όταν απουσιάζει). Επίσης έχει τη δυνατότητα, όταν δεν παράγει ηλεκτρική ενέργεια, να καλύπτει τις ανάγκες του από το βασικό δίκτυο, με χρέωση σε αυτόν από την εταιρεία που εκμεταλλεύεται το βασικό δίκτυο (όταν έχει συννεφιά ή κατά τη διάρκεια της νύχτας).

Ένα από τα πλεονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι ότι δεν απαιτούνται συσσωρευτές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Ένα διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται:

- α) Από τις ομάδες φωτοβολταϊκών πλαισίων για την παραγωγή μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας.
- β) Από το μετατροπέα δικτύου, χαμηλής τάσης, μονοφασικό (230V, 50Hz) ή τριφασικό (3X400V, 50Hz).
- γ) Από τον πίνακα ελέγχου και λειτουργίας, σύνδεσης με το βασικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

- δ) Από το διπλό μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας.
- ε) Από τον πίνακα ελέγχου και λειτουργίας των καταναλώσεων.

4.2.4 Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα (η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται εξοηκλήρου στο ηλεκτρικό δίκτυο)

Κατασκευάζεται συνήθως για ισχύ από 50 KWp και πάνω με σκοπό να διοχετεύει όλη την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο κεντρικό δίκτυο.

Ανάλογα με την ισχύ των φωτοβολταϊκών συλλεκτών ο μετατροπέας δικτύου μπορεί να είναι:

- α) Μικρής ισχύος χαμηλής τάσης μονοφασικός ή τριφασικός.
- β) Μέσης ισχύος χαμηλής τάσης τριφασικός (3X400V).
- γ) Μεγάλης ισχύος μέσης τάσης τριφασικός (3X20KV).

Ο μετατροπέας δικτύου συνδέεται με το πεδίο ζεύξης και φέρει ηλεκτρονική διάταξη, που σε περίπτωση διακοπής ρεύματος του κεντρικού δικτύου διανομής, θέτει την Φ/Β εγκατάσταση αυτομάτως εκτός.

Ένα τέτοιο φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται:

- Από τις ομάδες (σειρές) των φωτοβολταϊκών πάνελ για εγκατεστημένη ισχύ από 50KWp και πάνω
- Από το μετατροπέα δικτύου με το πεδίο ζεύξης και το μετρητή ηλεκτρικής ενέργειας
- Από την κεντρική παροχή σύνδεσης πεδίου ζεύξης και μετασχηματιστή κεντρικού βασικού δικτύου.

Σημείωση: Αυτής της μορφής είναι τα περισσότερα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα, που κατασκευάζονται από ιδιώτες, με αποκλειστικό σκοπό την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ.

4.2.5 Υβριδικό σύστημα αυτόνομο και διασυνδεδεμένο

4.2.5.1 Υβριδικό σύστημα αυτόνομο

Το σύστημα αυτό συνδυάζει δύο τουλάχιστον πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (συνδυασμός φωτοβολταϊκών πλασίων και ανεμογεννήτριας).

Ένα αυτόνομο υβριδικό σύστημα αποτελεί κατάλληλη και βιώσιμη λύση για περιοχές χωρίς πρόσβαση στο βασικό δίκτυο. Μπορεί να περιλαμβάνει και συσσωρευτές αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας για αδιάλειπτη λειτουργία των εγκαταστάσεων που τροφοδοτεί.

Ένα αυτόνομο υβριδικό σύστημα περιλαμβάνει:

- α) Τις ομάδες των φωτοβολταϊκών πλασίων.
- β) Την ανεμογεννήτρια.
- γ) Τον πολυμορφικό σταθμό μετατροπής ισχύος και αδιάλειπτης λειτουργίας
- δ) Τους συσσωρευτές αποθήκευσης.
- ε) Τον πίνακα τροφοδοσίας των καταναλώσεων.

Ο πολυμορφικός σταθμός μετατροπής ισχύος έχει τη δυνατότητα σύνδεσης και με τρίτη πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (ντηζελογεννήτρια).

4.2.5.2 Υβριδικό σύστημα διασυνδεδεμένο

Συνδυάζει δύο ή και περισσότερες πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (συνδυασμός φωτοβολταϊκών πλασίων, ανεμογεννήτριας, ντηζελογεννήτριας και συσσωρευτών αποθήκευσης).

Αποτελεί την καλύτερη δυνατή λύση για νησιωτικές περιοχές και μπορεί να παρέχει συνεχώς ηλεκτρική ενέργεια έχοντας ως τελευταία λύση τη λειτουργία της νηγελογεννήτριας.

Στην πράξη τα διασυνδεδεμένα υβριδικά συστήματα κατασκευάζονται για μεγάλη ισχύ και εξυπηρετούν πολλές καταναλώσεις.

Ένα διασυνδεδεμένο υβριδικό σύστημα περιλαμβάνει:

- Τις ομάδες των φωτοβολταϊκών πλαισίων που συνήθως αποτελούν το Φ/Β πάρκο.
- Την ομάδα των ανεμογεννητριών που συνήθως αποτελούν το αιολικό πάρκο.
- Την νηγελογεννήτρια.
- Τον πολυμορφικό σταθμό μετατροπής ισχύος.
- Τους συσσωρευτές αποθήκευσης που συνήθως αποτελούν τις συστοιχίες.

Όταν ένα υβριδικό σύστημα συνδέεται με το κεντρικό δίκτυο διανομής ή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, δεν είναι αναγκαία η νηγελογεννήτρια και οι συσσωρευτές αποθήκευσης.

4.2.6 Φωτοβολταϊκός συλλέκτης πυριτίου (ηλαιοίσιο). Διάκριση Φ.Β. ηλαιοίων

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για να κατασκευαστούν φωτοβολταϊκά στοιχεία στη βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Το πυρίτιο σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

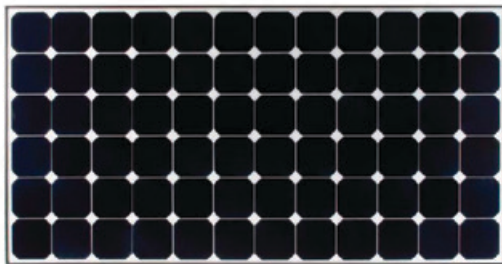
- Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στη φύση.
- Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.
- Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στη μονοκρυσταλλική του μορφή.
- Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125°C κάτι που επιτρέπει τη χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου αντεπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.
- Πολύ σημαντικό στοιχείο, που συνέβαλε στη γρήγορη ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στοιχείων τα τελευταία χρόνια ήταν η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία, στη βιομηχανία της επεξεργασίας του πυριτίου, στον τομέα της ηλεκτρονικής (υπολογιστές, τηλεοράσεις κ.λπ.). Το 2007 μάλιστα ήταν η πρώτη χρονιά που υπήρχε μεγαλύτερη ζήτηση (σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου) στην αγορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σχέση με αυτήν των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής.

4.2.6.1 Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Single Crystalline Silicon, sc-Si)

Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 mm. Η απόδοσή τους στη βιομηχανία κυμαίνεται από 15-19% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης ανά επιφάνεια ή «ενεργειακής πυκνότητας».

Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone). Αμφότερες βασίζονται στην ανά-

πυξη ράβδου πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό, φωτοβολώντας με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, είναι τα μοντέλα X-Series Solar Panels της SunPower με απόδοση πλαισίου 21,5%.

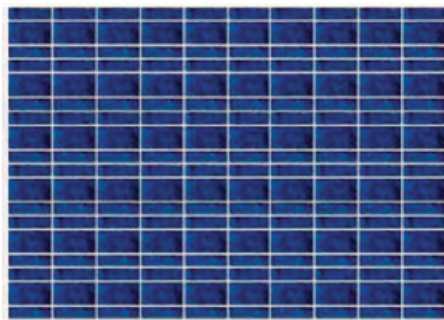


Σχήμα 4.1 - Φ/Β πλαίσιο μονοκρυσταλλικού πυριτίου (sc-Si).

4.2.6.2 Φ/Β στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Multi Crystalline Silicon, mc-Si)

Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 mm. Η μέθοδος παραγωγής του είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών, γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 11 έως και 16% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ).

Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι η μέθοδος απευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification), η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου (χύτευση) και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC.



Σχήμα 4.2 - Φ/Β πλαίσιο πολυκρυσταλλικού πυριτίου (mc-Si).

4.2.6.3 Άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)

Αυτά τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι, και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται, η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά

χαμηλότερη. Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας φωτοβολταϊκά thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6-8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσής του σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά). Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα, γεγονός που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά τη διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων, διότι δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρ' όλα αυτά, οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 mm ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 mm.



Σχήμα 4.3 - Φ/Β στοιχεί ταινίας άμορφου πυριτίου
(Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)

4.3 Τρόποι σύνδεσης Φ/Β πλαισίων

Στις περισσότερες περιπτώσεις ηλεκτροδότησης με τη χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων, η ηλεκτρική ισχύς που απαιτείται παρέχεται από περισσότερα του ενός πλαίσια κατάλληλα συνδεδεμένα μεταξύ τους.

Οι τρόποι που μπορούν να συνδεθούν είναι: σε σειρά, παράλληλα, μεικτά.

4.3.1 Σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σειρά

Η σύνδεση αυτή χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που θέλουμε να επιτύχουμε τάση μεγαλύτερη από την τάση που παρέχει κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο χωριστά. Η σύνδεση γίνεται ως εξής: Ο θετικός πόλος του ενός στοιχείου συνδέεται με τον αρνητικό πόλο του επομένου και η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να συνδεθούν όλα μεταξύ τους. Έτσι προκύπτει μια συστοιχία φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σειρά.

Τα πλαίσια που θα συνδεθούν σε σειρά πρέπει να έχουν το ίδιο ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{SK}) και το ίδιο ρεύμα μέγιστης ισχύος (I_m). Η συνολική τάση της συστοιχίας είναι το άθροισμα των τάσεων των 'ν' πλαισίων. Έτσι προκύπτει ότι έχουμε:

$$V_{OC} = V_{OC1} + V_{OC2} + \dots + V_{OCn} \quad (\text{τάση ανοιχτού κυκλώματος})$$

$$V_m = V_{mA} + V_{m2} + \dots + V_{mn} \quad (\text{τάση μέγιστης ισχύος})$$



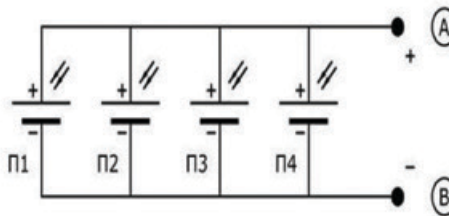
Σχήμα 4.4 - Σύνδεση τεσσάρων φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σειρά.

4.3.2 Σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων παράλληλα

Η σύνδεση αυτή χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που θέλουμε να επιτύχουμε ρεύμα μεγαλύτερο από το ρεύμα που παρέχει κάθε πλαίσιο χωριστά. Η σύνδεση γίνεται ως εξής: Ο θετικός πόλος του ενός στοιχείου συνδέεται με το θετικό πόλο του άλλου και ο αρνητικός πόλος με τον αρνητικό πόλο του άλλου. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι να συνδεθούν όλα μεταξύ τους. Έτσι προκύπτει μια συστοιχία φωτοβολταϊκών πλαισίων συνδεδεμένων παράλληλα. Τα πλαίσια που θα συνδεθούν παράλληλα πρέπει να έχουν την ίδια τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} . Το συνολικό ρεύμα της συστοιχίας είναι το άθροισμα των ρευμάτων του κάθε πλαισίου. Έτσι έχουμε:

$$I_{SC} = I_{SC1} + I_{SC2} + \dots + I_{SCn} \quad (\text{ένταση βραχυκυκλώματος})$$

$$I_m = I_{m1} + I_{m2} + \dots + I_{mn} \quad (\text{ένταση μέγιστης ισχύος})$$

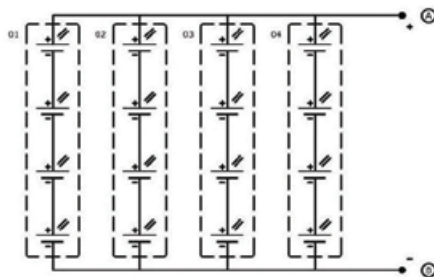


Σχήμα 4.5 – Σύνδεση τεσσάρων φωτοβολταϊκών πλαισίων παράλληλα.

Στο Σχήμα 4.5 φαίνεται η παράλληλη σύνδεση τεσσάρων φωτοβολταϊκού πλαισίων. Οι ακροδέκτες της συστοιχίας που προκύπτει είναι οι A (θετικός ακροδέκτης) και B (αρνητικός ακροδέκτης). Οι τάσεις ανοικτού κυκλώματος V_{oc} και μέγιστης ισχύος V_m της συστοιχίας είναι ίδιες με τις αντίστοιχες τάσεις των πλαισίων.

4.3.3 Μεικτή σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων

Με αυτή τη μεικτή σύνδεση πετυχαίνουμε την αύξηση του ρεύματος και της τάσης ταυτόχρονα, σε τιμές που δεν είναι διαθέσιμες από απλά πλαίσια. Από τεχνικής άποψης είναι συνδυασμός της σύνδεσης σε σειρά και της παράλληλης σύνδεσης και κατά συνέπεια ισχύει ό,τι ισχύει σε αυτές τις συνδέσεις.



Σχήμα 4.6 - Μεικτή σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων.

Η τάση καθορίζεται από τα στοιχεία που είναι σε σειρά, ενώ το συνολικό ρεύμα από τις παράλληλες ομάδες. Η συνολική ισχύς που προκύπτει από μια σύνδεση πλαισίων, ανεξάρτητα του τύπου της, είναι το άθροισμα της ισχύος κάθε πλαισίου χωριστά. Τα πλαίσια που αποτελούν μια συστοιχία πρέπει να εργάζονται όλα κάτω από τις ίδιες συνθήκες. Στο Σχήμα 4.6 φαίνεται η μεικτή σύνδεση δεκαέξι φωτοβολταϊκών πλαισίων. Οι ακροδέκτες της συστοιχίας που προκύπτει είναι οι Α (θετικός ακροδέκτης) και Β (αρνητικός ακροδέκτης).

4.3.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά Φ/Β συλλεκτών με οκταγωνικές κυψέλες πυριτίου από την εταιρεία RWF SCH OTT solar GMBH – ECO //SUN LT

Ο πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά Φ/Β συλλεκτών με οκταγωνικές κυψέλες πυριτίου παρατίθεται στο Παράρτημα.

Τεχνικά χαρακτηριστικά Φ/Β συλλεκτών με οκταγωνικές κυψέλες πυριτίου.

4.3.5 Υπολογισμός της ονομαστικής ισχύος ενός φωτοβολταϊκού συλλέκτη σε συνθήκες διαφορετικές από τις στάνταρ

Για να υπολογίσουμε την ισχύ με την οποία ένας φωτοβολταϊκός συλλέκτης πυριτίου μας δίνει ενέργεια κάτω από πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, θα πρέπει να γνωρίζουμε:

α) τα χαρακτηριστικά ηλεκτρικά μεγέθη του κατασκευαστή καθώς και τη χαρακτηριστική καμπύλη (U-I), τα οποία προσδιορίστηκαν σε συνθήκες (STC) όπου:

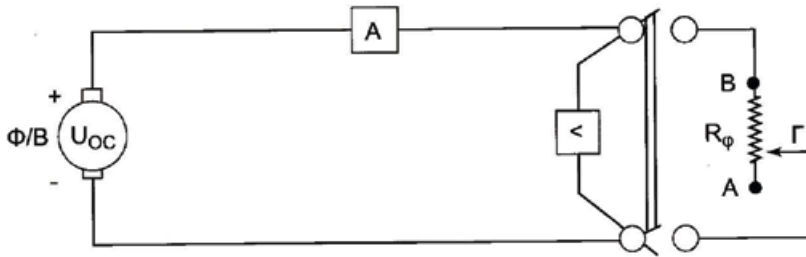
- Ένταση φωτισμού $E = 1.000 \text{ w/m}^2$
- Θερμοκρασία κυψελών συλλέκτη $T_c = 25^\circ\text{C}$
- Πυκνότητα αέρα AM 1,5.

Τα χαρακτηριστικά ηλεκτρικά μεγέθη είναι:

- Τάση ανοικτού κυκλώματος συλλέκτη U_{oc} σε βόλτ (V). Είναι η τάση που μετράμε στις άκρες των πόλων του συλλέκτη χωρίς να έχουμε συνδεδεμένο φορτίο.
- Ρεύμα βραχυκύκλωσης συλλέκτη I_{sc} σε αμπέρ (A). Είναι ρεύμα που έχουμε στο κύκλωμα του συλλέκτη με βραχυκυκλωμένους τους ακροδέκτες του.
- Μέγιστη ισχύς P_m του συλλέκτη σε βατ (w). Είναι η μεγαλύτερη ισχύς που μας δίνει ο συλλέκτης με συνδυασμένο φορτίο στους ακροδέκτες του.
- Τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος σε βολτ (V). Είναι η τάση του συλλέκτη που αντιστοιχεί στο σημείο όπου έχουμε τη μέγιστη ισχύ.

- Ένταση στο σημείο μέγιστης ισχύος I_m σε αμπέρ (A). Είναι η ένταση του ρεύματος του συλλέκτη που αντιστοιχεί στο σημείο όπου έχουμε τη μέγιστη ισχύ.

Ο προσδιορισμός των τιμών τάσης και έντασης, η αποτύπωση της χαρακτηριστικής καμπύλης (U-I) και η αποτύπωση του σημείου μέγιστης ισχύος (M_{pp}), γίνονται πειραματικά με τη σύνδεση μεταβαλλόμενου φορτίου στους ακροδέκτες του κυκλώματος του φωτοβολταϊκού συλλέκτη όπως στο Σχήμα 4.7. Ο συλλέκτης τοποθετείται έτσι ώστε να δέχεται κάθετα τις ακτίνες του ηλιακού φωτός.



Σχήμα 4.7 – Ηλεκτρικό κύκλωμα φωτοβολταϊκού συλλέκτη για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών μεγεθών και της καμπύλης (U-I)

- Διακόπτης Ανοιχτός: Το βολτόμετρο μας δείχνει την τάση ανοιχτού κυκλώματος U_{oc} .
- Διακόπτης Δ κλειστός και επαφή Γ στο σημείο Β: Το αμπερόμετρο μας δείχνει την ένταση βραχυκύκλωσης I_{sc} .
- Διακόπτης Δ κλειστός και επαφή Γ σε διάφορα σημεία της μεταβαλλόμενης αντίστασης: Το βολτόμετρο και το αμπερόμετρο μας δίνουν τιμές τάσης και έντασης (ζεύγη τιμών) για την αποτύπωση της χαρακτηριστικής καμπύλης (U-I).

β) Τις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του φωτοβολταϊκού συλλέκτη και συγκεκριμένα:

- Ένταση φωτισμού E σε W/m^2 ή kW/m^2
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος σε βαθμούς Κελσίου $^{\circ}C$
- Πυκνότητα αέρα AM 1,5
- Ταχύτητα αέρα (να είναι $>1Msec$)
- Τοποθέτηση του συλλέκτη έτσι ώστε να δέχεται κάθετα τις ακτίνες του ηλιακού φωτός

γ) Παραδοχές

1.γ Η ένταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης I_{sc} , καθώς και η ένταση που αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος, είναι ανάλογη της έντασης ακτινοβολίας E , που προσπίπτει κάθετα στο συλλέκτη. Επομένως, θεωρούμε ότι κατά προσέγγιση ισχύει:

$$I'_{sc} = I_{sc} * E \quad \eta \quad I'm = I_m * E$$

όπου :

I_{sc} = ένταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης σε (A) σε συνθήκες (STC)

I'_{sc} = ένταση ρεύματος βραχυκύκλωσης σε (A) σε πραγματικές συνθήκες

E = ένταση φωτισμού σε kW/m^2

I_m = ένταση στο σημείο μέγιστος ισχύος σε (A) συνθήκες (STC)

$I' m$ = ένταση στο σημείο μέγιστης ισχύος σε (A) σε πραγματικές συνθήκες

2.γ Η τάση ανοικτού κυκλώματος U_{oc} , καθώς και η τάση που αντιστοιχεί στο σημείο μέγιστης ισχύος U_m μεταβάλλεται γραμμικά με τη θερμοκρασία των κυψελών του συλλέκτη T_c .

Επομένως, θεωρούμε ότι κατά προσέγγιση ισχύει:

$T_c = T_a + \eta 1 E$ όπου

T_c = θερμοκρασία κυψελών του συλλέκτη σε $^{\circ}\text{C}$

T_a = θερμοκρασία περιβάλλοντος σε $^{\circ}\text{C}$

$\eta 1$ = συντελεστής που για τους συλλέκτες πυριτίου είναι περίπου

$$0.03 \frac{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

E = ένταση φωτισμού που προσπίπτει κάθετα στο συλλέκτη σε kW/m^2

$$\eta U'_{oc} = U_{oc} - \nu \sigma \cdot \eta 2 \cdot (T'_c - T_c)$$

$$U'_m = U_m - \nu \sigma \cdot \eta 2 \cdot (T'_c - T_c)$$

όπου

U' = τάση ανοικτού κυκλώματος του συλλέκτη σε (V) σε θερμοκρασία κυψελών T'_c (πραγματικές συνθήκες)

U'_m = τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος του συλλέκτη σε (V) σε θερμοκρασία κυψελών T'_c (πραγματικές συνθήκες)

U_{oc} = τάση ανοικτού κυκλώματος του συλλέκτη σε (V) σε θερμοκρασία κυψελών 25°C (συνθήκες STC).

U_m = τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος του συλλέκτη σε (V) σε θερμοκρασία κυψελών 25°C (συνθήκες STC)

$\nu \sigma$ = αριθμός των κυψελών (στοιχείων) του συλλέκτη που είναι συνδεδεμένες σε σειρά

$\eta 2$ = συντελεστής που για τους συλλέκτες πυριτίου είναι περίπου $0,0023\text{V}/^{\circ}\text{C}$ για κάθε στοιχείο

T'_c = θερμοκρασία κυψελών του συλλέκτη σε $^{\circ}\text{C}$ σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας

T_c = θερμοκρασία κυψελών του συλλέκτη σε $^{\circ}\text{C}$ σε συνθήκες (STC) που είναι 25°C

3.γ Η μέγιστη ισχύς P'_m σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας θα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P'_m = U'_m \cdot I' m$$

όπου:

P'_m = μέγιστη ισχύς σε (W) σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας

U'_m = τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος σε (V) που υπολογίστηκε από τη σχέση

$$U'_m = U_m - \nu \sigma \cdot \eta 2 \cdot (T'_c - T_c)$$

$I' m$ = ένταση στο σημείο μέγιστης ισχύος σε (A) που υπολογίστηκε από τη σχέση:

$$I'_{sc} = I_{sc} \cdot E \quad I'_m = I_m \cdot E$$

Στην πράξη μπορούμε να θεωρήσουμε ότι για κάθε βαθμό Κελσίου, αύξησης της θερμοκρασίας των κυψελών του συλλέκτη πέρα από τους 25°C, έχουμε μείωση της μέγιστης ισχύος κατά 0,4%. Πρακτικά ισχύει η σχέση:

$$P'm = P_{cm} [TC - \eta_3 * (T -)]$$

όπου:

$P'm$ = μέγιστη ισχύς του συλλέκτη σε (W) σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας

P_m = η μέγιστη ισχύς του συλλέκτη σε συνθήκες (STC)

η_3 = συντελεστής που για τους συλλέκτες πυριτίου θεωρούμε ότι είναι 0,4%

- 3.δ Ορίζουμε ως συντελεστή πλήρωσης ενός συλλέκτη (η_4) το λόγο της μέγιστης ισχύος P_m προς την ιδανική ισχύ P .

όπου:

$$\eta_4 = \frac{P_m}{P}$$

$$P = U_{oc} * I_{oc} \text{ σε (W)}$$

$$P_m = U_{oc} * I_m \text{ σε (W)}$$

- 3.ε Ορίζουμε ως θεωρητικό βαθμό απόδοσης η_θ τη μέγιστη ισχύ που μας δίνει ο συλλέκτης σε συνθήκες (STC) προς την ισχύ που δέχεται από το ηλιακό φως σε συνθήκες (STC)

όπου :

$$\eta_\theta = \frac{P_m}{P_c}$$

P_m = μέγιστη ισχύς που μας δίνει ο συλλέκτης σε (W) σε συνθήκες (STC)

P_c = η ισχύς σε (W) που δέχεται ο συλλέκτης σε συνθήκες (STC)

- 3.στ. Ορίζουμε ως πραγματικό βαθμό απόδοσης η_π , τη μέγιστη ισχύ που μας δίνει ο συλλέκτης σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, προς την ισχύ που δέχεται από το ηλιακό φως σε συνθήκες (STC) $\eta_\pi = P_m / P_c$

- 3.ζ Θεωρούμε ότι η τάση που μας δίνει ένας φωτοβολταϊκός συλλέκτης όταν λειτουργεί γύρω από το σημείο μέγιστης ισχύος (M_{pp}), είναι περίπου το 80% της τάσης ανοικτού κυκλώματος κάτω από τις συνθήκες λειτουργίας του. Επομένως θα έχουμε:

- Για συνθήκες (STC) $U_M = 0,8 * U_{oc}$
- Για πραγματικές συνθήκες $U'M = 0,8 * U'_{oc}$

4.3.6 Υπολογισμός της μέγιστης ισχύος που μας δίνει ένας φωτοβολταϊκός συλλέκτης σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας

Εφαρμογή

Ένας Φ/Β συλλέκτης πυριτίου πολικρυσταλλικού τύπου έχει τα παρακάτω ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (συνθήκες STC):

$$P_M = 50W, U_M = 17,2V, I_M = 2,9 A, I_{sc} = 3,2A, U_{oc} = 20V$$

Αριθμός στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά $N_s = 36$

Να υπολογιστεί η ισχύς με την οποία τροφοδοτεί το φορτίο ο συλλέκτης σε πραγματικές συνθήκες όπου:

$E' = 750W/M^2$, θερμοκρασία περιβάλλοντος 30°C, πυκνότητα αέρα AM 1,5, ταχύτητα αέρα > 1M/sec.

Απάντηση

- α) Μείωση ισχύος λόγω διαφορετικής θερμοκρασίας των κυψελών του συλλέκτη (μείωση της μέγιστης τάσης UM).

$$T_c = T_a + n l * E' \implies$$

$$T_c = 30 + 0,03 * 750 =$$

$$30 + 22,5 = 52,5^\circ\text{C}$$

$$U'M = UM - V\sigma * n_2 (T'_c - T_c) \implies$$

$$U'M = 17,2 * 36 * 2,3 * 10^{-3} (52,5 - 25) = 27,5 \implies$$

$$U'M = 17,2 * 36 * 2,3 * 10^{-3} * 27,5 \implies$$

$$U'M = 17,2 - 2,277 \implies$$

$$U'M = 14,923V$$

Η μείωση της μέγιστης τάσης σε ποσοστό επί τοις εκατό είναι:

$$\Delta UM = UM - U'M = 17,2 - 14,923 = 2,277V$$

$$\frac{UM - U'M}{UM} * 100 = \frac{\Delta UM}{UM} * 100 = \frac{2,277}{17,2} * 100 = 13,23\%$$

- β) Μείωση ισχύος λόγω διαφορετικής έντασης φωτισμού που προσπίπτει στο συλλέκτη (μείωση της μέγιστης έντασης IM).

$$E' = 750W/m^2 = 0,75KW/m^2$$

$$I'M = IM * E' = 2,9 * 0,75 = 2,175A$$

Η μείωση της μέγιστης έντασης σε ποσοστό επί τοις εκατό είναι:

$$\Delta IM = IM - I'M = 2,9 - 2,175 = 0,725A$$

$$\frac{IM - I'M}{IM} * 100 = \frac{\Delta IM}{IM} * 100 = \frac{0,725}{2,9} * 100 = 25\%$$

Η μείωση της μέγιστης έντασης σε ποσοστό επί τοις εκατό είναι ίση με την επί τοις εκατό μείωση της έντασης φωτισμού.

$$\Delta E = E - E' = 1000 - 750 = 250W/m^2$$

$$\frac{E - E'}{E} * 100 = \frac{\Delta E}{E} * 100 = \frac{250}{1000} * 100 = 25\%$$

Παρατήρηση: Εφόσον η ένταση του ρεύματος του συλλέκτη είναι ανάλογη της έντασης φωτισμού, και η μείωση θα είναι ανάλογη.

- γ) Η συνολική μείωση της μέγιστης ισχύος θα είναι:

$$PM = UM * IM = 17,2 * 2,9 = 49,88W$$

$$P'M = U'M * I'M = 14,923 * 2,175 = 32,45W$$

$$\Delta PM = PM - P'M = 49,88 - 32,45 = 17,43W$$

Η συνολική μείωση της μέγιστης ισχύος σε ποσοστό επί τοις εκατό είναι:

$$\frac{PM - P'M}{PM} * 100 = \frac{\Delta PM}{PM} * 100 = \frac{17,43}{49,88} * 100 = 35\%$$

4.3.7 Απαιτούμενα φωτοβολταϊκά πλαίσια

Για να υπολογίσουμε τον αριθμό των Φ/Β πλαισίων που απαιτούνται σε μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση θα πρέπει βασικά να γνωρίζουμε:

- Τις ενεργειακές ανάγκες που θα καλύψουμε.
- Τη χρονική περίοδο λειτουργίας της εγκατάστασης (χειμώνας ή καλοκαίρι ή συνδυασμός).
- Τις ημέρες αυτονομίας του συστήματος.
- Τον τύπο και τα χαρακτηριστικά των Φ.Β. πλαισίων.

4.3.8 Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων σε παράλληλες σειρές

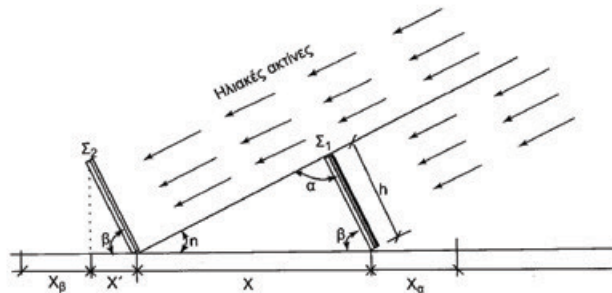
Όταν τοποθετούμε τα Φ/Β πλαίσια σε παράλληλες σειρές, θα πρέπει να γίνεται υπολογισμός των αποστάσεων μεταξύ των σειρών, για να αποφεύγεται το φαινόμενο της σκίασης των σκελετών. Η δυσμενέστερη περίπτωση για τη σκίαση είναι όταν ο ήλιος βρίσκεται στο χαμηλότερο σημείο του ορίζοντα (έχει το χαμηλότερο ύψος), στις 21 Δεκεμβρίου. Αν ο υπολογισμός για την αποφυγή σκίασης των Φ/Β πλαισίων, που είναι τοποθετημένα σε σειρές, γίνει για τις 21 Δεκεμβρίου, δεν θα έχουμε πρόβλημα σκίασης, σε όλη τη διάρκεια του έτους.

Για το ηλιακό μεσημέρι ($\omega = 0$) η γωνία η που μας δίνει το ύψος του ηλίου υπολογίζεται από τη σχέση, $\eta = 90 - \theta$ για $\theta = \varphi - \delta$, όπου

φ = γεωγραφικό πλάτος του τόπου όπου τοποθετούμε τους Φ/Β συλλέκτες

δ = απόκλιση του ήλιου στις 21 Δεκεμβρίου

Τοποθετώντας δυο σειρές Φ/Β πλαισίων σε απόσταση X μεταξύ τους και με κλίση β ως προς το οριζόντιο επίπεδο, σύμφωνα με το Σχήμα 4.8 θα έχουμε:



Σχήμα 4.8

Σύμφωνα με το νόμο των ημιτόνων και επειδή οι παραπληρωματικές γωνίες έχουν το ίδιο ημίτονο, θα $[\eta \mu \alpha = \eta \mu (\eta + \beta)]$ έχουμε:

$$\frac{\chi}{\eta \mu (\eta + \beta)} = \frac{h}{\eta \mu \eta} \quad (1)$$

$$\chi = h * \left[\frac{\eta \mu (\eta + \beta)}{\eta \mu \eta} \right] \quad h * h l \quad (2)$$

όπου:

$$h l = \frac{\eta \mu (\eta + \beta)}{\eta \mu \eta} \quad (3)$$

Για την απόσταση χ' , θα έχουμε:

$$\sigma\upsilon\nu\beta \frac{\chi'}{h} \quad (4)$$

$$\text{και } \chi' = h * \sigma\upsilon\nu\beta \quad (5)$$

$$\text{και } h2 = h * h2 \quad (6) \text{ όπου } h2 = \sigma\upsilon\nu\beta$$

όπου χ = απόσταση σε m ανάμεσα στις σειρές των Φ/Β πλαισίων Σ1 και Σ2 για να μην έχουμε σκίαση στις 21 Δεκεμβρίου.

χ' = η απόσταση που καταλαμβάνει η προβολή της Φ/Β σειράς στο έδαφος

h = το ύψος του Φ/Β πλαισίου

β = η γωνία κλίσης του συλλέκτη ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

Στις 21 Δεκεμβρίου ($\delta = -23,45^\circ$) η απόσταση χ αυξάνει όσο το άθροισμα των γωνιών η και β πλησιάζει την τιμή των 90° και γίνεται μέγιστη όταν $\eta + \beta = 90^\circ$

Για $\eta + \beta > 90^\circ$ η απόσταση χ μικραίνει.

Η συνολική έκταση που απαιτείται για την τοποθέτηση, χωρίς σκίαση, των σειρών των Φ/Β πλαισίων, θα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Fs = [(v - 1) * x + x'] * y \quad (7)$$

και

$$Fs = \left[(v - 1) * h \frac{\eta\mu(\eta + \beta)}{\eta\mu\eta} + h * \sigma\upsilon\nu\beta \right] * y \quad (8)$$

όπου v = ο αριθμός των σειρών των Φ/Β πλαισίων

x = απόσταση σε m ανάμεσα στις σειρές των Φ/Β πλαισίων

x' = η απόσταση της προβολής της Φ/Β σειράς στο έδαφος σε m

h = το ύψος του Φ/Β πλαισίου

y = το μήκος της σειράς των Φ/Β πλαισίων

Η συνολική έκταση που απαιτείται μαζί με την αναγκαία έκταση για άνετη κυκλοφορία περιμετρικά των σειρών των Φ/Β πλαισίων (κυκλοφορία οχήματος για έλεγχο, συντήρηση ή καθαρισμό), θα είναι:

$$Fsol = [(v - 1) * x + x' + xa + x\beta] * (y + ya + y\beta) \quad (9)$$

όπου xa = η απόσταση σε m της πρώτης σειράς από τα όρια της ιδιοκτησίας (συνήθως 2,5m)

$x\beta$ = η απόσταση σε m της τελευταίας σειράς από τα όρια της ιδιοκτησίας (συνήθως 2,5m)

ya = η απόσταση της αρχής της σειράς από τα όρια της ιδιοκτησίας (συνήθως 2,5)

$y\beta$ = η απόσταση του τέλους της σειράς από τα όρια της ιδιοκτησίας (συνήθως 2,5m).

Στην έκταση $Fsol$ θα πρέπει να προσθέσουμε την αναγκαία έκταση για την κατασκευή οικίσκου τοποθέτησης των μηχανισμών ελέγχου, παρακολούθησης, μετατροπής και ενδεχομένως αποθήκευσης του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος.

4.3.9 Εφαρμογές υπολογισμού απαιτούμενης έκτασης για την τοποθέτηση φ/β πλαισίων στο έδαφος

Εφαρμογή

Να υπολογιστεί το εμβαδόν του εδάφους που απαιτείται για την τοποθέτηση 990 συλλεκτών διαστάσεων 0,644X1,282 m στην ευρύτερη περιοχή της πόλης των Σερρών.

Οι συλλέκτες θα τοποθετηθούν ανά τρεις σε Φ/Β πλαίσια διαστάσεων 1,932 ύψος και 1,282 μήκος.

Τα πλαίσια θα τοποθετηθούν σε παράλληλες σειρές (συστοιχίες) με μόνιμο προσανατολισμό το νότο και με δυνατότητα ρύθμισης της κλίσης ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

Να υπολογιστούν:

- Η απόσταση X ανάμεσα στις σειρές Σ των Φ/Β πλαισίων για να μην έχουμε σκίαση σε οποιαδήποτε ημέρα του έτους.
- Η απαιτούμενη έκταση για την τοποθέτηση των συλλεκτών.
- Η συνολική απαιτούμενη έκταση για την εγκατάσταση του Φ/Β συστήματος.

Απάντηση

Για την απόσταση X ανάμεσα στις σειρές Σ θα έχουμε:

- Βέλτιστη κλίση ανά μήνα με τιμή για το Δεκέμβριο και την πόλη των Σερρών, με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 4.1, $\beta = 58^\circ$
- Γεωγραφικό πλάτος για την πόλη των Σερρών, με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 4.2, $\varphi = 41^\circ$. $\delta = 41,10^\circ$
- Απόκλιση δ που για τη δυσμενέστερη περίπτωση που ο ήλιος είναι στο χαμηλότερο σημείο (21 Δεκεμβρίου) $\delta = -23^\circ$. $27'$ η $\delta = -23,45^\circ$

Επομένως:

$$\alpha) \theta = \varphi - \delta = 41,10^\circ - (-23,45^\circ) = 41,10^\circ + 23,45^\circ = 64,55^\circ$$

$$\eta = 90 - \theta = 90^\circ - 64,55^\circ = 25,45^\circ$$

Απόσταση

$$X = h \left[\frac{\eta \mu(\eta + \beta)}{\eta \mu \eta} \right] = 1,932 \left[\frac{\eta \mu(25,45 + 58)}{\eta \mu 25,45} \right] \Rightarrow$$

$$X = 1,932 \left[\frac{\eta \mu(83,45)}{\eta \mu 25,45} \right] = 1,932 * 2,311 = 4,464 \text{ m}$$

$$X' = h * \sin \beta = 1,932 * 2,311 = 4,464 \text{ m}$$

Τοποθετώντας τις σειρές των Φ/Β πλαισίων σε απόσταση $X=4,50$ m δεν θα έχουμε σκίαση στις 21 Δεκεμβρίου και επομένως και σε καμία άλλη ημέρα του χρόνου για τη βέλτιστη μηνιαία κλίση.

- Η απαιτούμενη έκταση για την τοποθέτηση των συλλεκτών, θα είναι:

Για μήκος της νότιας πλευράς του οικοπεδικού χώρου, όπου θα είναι στραμμένη η σειρά των Φ/Β πλαισίων, ίσο με 50 m, και με δεδομένο το μήκος του κάθε πλαισίου $L=1,282$ m, μπορούν να τοποθετηθούν σε σειρά $K=50/L=50/1,282=39$ πλαίσια. Αφήνοντας ελεύθερο χώρο στην αρχή και το τέλος της σειράς, για άνετη μετακίνηση ενός μικρού σχετικά σχήματος θα έχουμε:

$$K = \frac{50 - 5}{L} = \frac{45}{1,282} = 35 \text{ πλαίσια}$$

Κάθε σειρά θα έχει μέχρι $35 \times 3 = 105$ συλλέκτες. Οι σειρές που απαιτούνται, με βάση τον αριθμό των συλλεκτών, είναι:

$$v = \frac{990}{105} = 9,428 \text{ και επομένως } v = 10.$$

Κάθε σειρά θα έχει $990/10=99$ συλλέκτες και $99/3 = 33$ πλαίσια

Το μήκος y της σειράς των Φ/Β πλαισίων, θα είναι $y=K*L=33*1.282=42,306m$

Η συνολική επιφάνεια που θα καταλαμβάνουν οι σειρές, θα είναι:

$$Fs = [(v - 1) * x + x'] * y = [(10 - 1) * 4,5 + 1,022] * 42,306 \text{ και}$$

$$Fs = (40,5 + 1,022) * 42,306 = 1756,629m^2$$

- γ) Η συνολική απαιτούμενη έκταση για την εγκατάσταση του Φ/Β συστήματος, θα είναι:

$$Fsol = [(v - 1) * x + x' + xa + x\beta] * (y + ya + y\beta) \implies$$

$$Fsl = (9 * 4,5 + 1,022 + 2,5 + 2,5) * (42,306 + 2,5 + 2,5) \implies$$

$$Fsol = 46,522 * 47,306 = 2200,769m^2$$

Στη συνολική απαιτούμενη έκταση θα πρέπει να προσθέσουμε την έκταση για την κατασκευή του οικίσκου τοποθέτησης των εξαρτημάτων και των συσκευών ελέγχου, παρακολούθησης και σύνδεσης με το δίκτυο της επιχείρησης διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

4.4 Βάσεις στήριξης Φ/Β συλλεκτών

Γενικά είδη βάσεων στήριξης

Για την τοποθέτηση των Φ/Β συλλεκτών χρειάζεται προσεκτική μελέτη (χωροταξική τοποθέτηση υλικών για τη βελτιστοποίηση της κάλυψης και της ασφαλούς λειτουργίας) που αφορά δύο στάδια:

- α) Την κατασκευή των βάσεων (συναρμολόγηση)
- β) Τη στήριξη των Φ/Β συλλεκτών πάνω στις βάσεις.

4.4.1 Είδη βάσεων στήριξης

Από τις εταιρείες κατασκευής των Φ/Β, κατασκευάζονται βάσεις στήριξης (σταθερές ή περιστρεφόμενες) που αφορούν τους διάφορους τύπους και τον αριθμό των συλλεκτών που τοποθετούνται πάνω σ' αυτές. Αποτελούνται από τμήματα μεταλλικών κοιλοδοκών κυκλικής, τετραγωνικής ή γωνιακής διατομής, πάχους τουλάχιστον 3 mm, γαλβανισμένα εν θερμώ, ανοξείδωτα ή αλουμινίου.

Οι βάσεις στήριξης των Φ/Β συλλεκτών μπορούν να κατασκευαστούν:

1. Σταθερές, χωρίς τη δυνατότητα αυξομείωσης της κλίσης.
2. Αρθρωτές με δυνατότητα χειροκίνητης αυξομείωσης της κλίσης ανά μία ή ανά πέντε μοίρες και από 25 μέχρι 75°.
3. Κινούμενες (περιστρεφόμενες) με αυτόματη πορεία από Ανατολικά προς Δυτικά κατά τη διάρκεια της ημέρας και προσανατολισμό Νότιο με χειροκίνητη μεταβολή ως προς τον οριζόντιο άξονα,
4. Κινούμενες (περιστρεφόμενες) με αυτόματη παρακολούθηση της κίνησης του ήλιου καθημερινά και σε ετήσια βάση, έτσι ώστε να έχουμε συνεχώς κάθετη πρόσπτωση των ηλιακών ακτίνων πάνω στους συλλέκτες.

4.4.2 Βάσεις σταθερές με προσανατολισμό το Νότο, με δυνατότητα χειροκίνητης αυξομείωσης της κλίσης

Αποτελούν την πιο συνηθισμένη λύση για την κατασκευή βάσεων στήριξης των Φ/Β συλλεκτών. Η τοποθέτησή τους γίνεται με προσανατολισμό το Νότο και η κλίση τους ρυθμίζεται χειροκίνητα συνήθως ανά πέντε ή και ανά μία μοίρα. Είναι αρθρωτές και έχουν τη δυνατότητα της ρύθμισης από 25° ελάχιστο μέχρι 75° μέγιστο, ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Η ρύθμιση πρέπει να γίνεται κάθε μήνα με βάση τη μηνιαία βέλτιστη κλίση της συγκεκριμένης περιοχής τοποθέτησης των Φ/Β συλλεκτών. Σε ορισμένες περιπτώσεις (τοποθέτηση συλλεκτών σε απομονωμένες περιοχές) η ρύθμιση μπορεί να γίνεται εποχιακά (τέσσερις φορές το χρόνο) με βάση την εποχιακή βέλτιστη κλίση της συγκεκριμένης περιοχής.



Εικόνα 4.9 Τοποθέτηση Φ/Β συλλεκτών με χειροκίνητη ρύθμιση της κλίσης πάνω σε όροφο (δώματα) κτιρίων.

Κατά την τοποθέτηση Φ/Β συλλεκτών στα δώματα των κτιρίων (οριζόντιο επίπεδο) σε σειρές, θα πρέπει να έχουν μεταξύ τους την απόσταση που προκύπτει από τους υπολογισμούς, έτσι ώστε να μην έχουμε σκίαση στη δυσμενέστερη περίπτωση (Δεκέμβριος - Ιανουάριος).

Τα πλεονεκτήματα που έχουμε από τις τοποθετήσεις Φ/Β συλλεκτών σε δώματα κτιρίων είναι:

- Κατάλληλα διαμορφωμένο οριζόντιο επίπεδο για τη στήριξη των βάσεων.
- Εύκολη πρόσβαση για μηνιαία χειροκίνητη ρύθμιση της κλίσης των συλλεκτών.
- Σχετικά μικρή δαπάνη εγκατάστασης.

Τα μειονεκτήματα είναι:

- Περιορισμένος χώρος για την ανάπτυξη πολλών Φ/Β συλλεκτών.
- Κίνδυνος σκίασης από τα κοντινά στο δώμα πιο ψηλά κτίρια.

Βασική προϋπόθεση για την εγκατάσταση Φ/Β συλλεκτών στο έδαφος αποτελεί η κατάλληλη προετοιμασία του εδάφους, πάνω στο οποίο θα πατήσουν οι βάσεις στήριξης. Πιο κατάλληλη θεωρείται μία περιοχή με ελεύθερο προσανατολισμό και μικρή κλίση προς το Νότο, για την αποφυγή σκίασης και την εύκολη απομάκρυνση όμβριων υδάτων. Η εύκολη πρόσβαση στην περιοχή, καθώς και ο άνετος έλεγχος του χώρου των Φ/Β συλλεκτών και όλης της εγκατάστασης, αποτελούν τα βασικότερα στοιχεία για την αρχική επιλογή.

Εδάφη εύκολα στη διάβρωση, με ανώμαλες επιφάνειες κοντά σε σημεία με μεγάλη διάρκεια σκίασης (λόφοι κ.λπ.) κρίνονται ως τα πλέον ακατάλληλα για την εγκατάσταση Φ/Β σταθμού.



Εικόνα 4.10 Τοποθέτηση Φ/Β συλλεκτών με χειροκίνητη ρύθμιση της κλίσης πάνω στο έδαφος.



Εικόνα 4.11 Κατάλληλη προετοιμασία του εδάφους για την εγκατάσταση Φ/Β συλλεκτών σε σχετικά εύκολο στη διάβρωση έδαφος.

Στα εδάφη με αντίσταση στη διάβρωση έχουμε άνετη εγκατάσταση και χαμηλό σχετικά κόστος. Όταν η εγκατάσταση γίνεται σε σειρές (εγκαταστάσεις μέσης και μεγάλης ισχύος) θα πρέπει να γίνεται, πριν την εγκατάσταση, προσεκτική μελέτη για τον υπολογισμό των αποστάσεων και την αποφυγή της σκίασης.

Στις εγκαταστάσεις μεγάλης ισχύος, σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους, απαιτείται μεγάλη δαπάνη για την κατασκευή των έργων υποδομής.

4.4.3 Βάσεις κινούμενες (περιστρεφόμενες) με αυτόματη πορεία από ανατολικά προς δυτικά και χειροκίνητη μεταβολή ως προς το οριζόντιο επίπεδο

Αποτελούν μία ακριβή αλλά και αρκετά αποδοτική λύση των Φ/Β εγκαταστάσεων. Οι Φ/Β συλλέκτες τοποθετούνται πάνω σε ένα ειδικά κατασκευασμένο μονοαξονικό σύστημα το οποίο παρακολουθεί την πορεία του ήλιου από την Ανατολή μέχρι τη Δύση του.

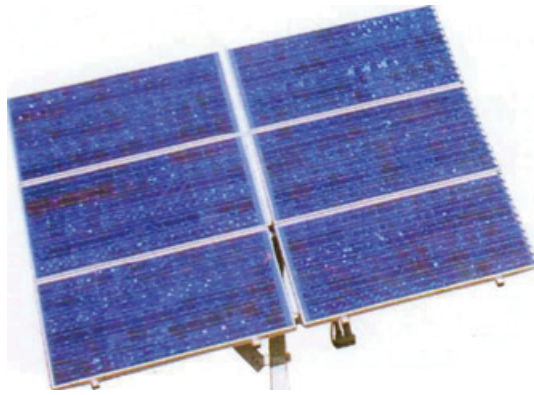
Ο προσανατολισμός της βάσης είναι Νότιος και η πορεία της κινούμενης βάσης γίνεται από Ανατολικά προς Δυτικά.

Η γωνία κλίσης των Φ/Β συλλεκτών, ως προς το οριζόντιο επίπεδο, γίνεται χειροκίνητα (συνήθως από 25° ελάχιστο μέχρι 75° μέγιστο) με βάση τη μηνιαία βέλτιστη κλίση.

Η παρακολούθηση της διαδρομής του ήλιου μπορεί να γίνει με τη βοήθεια αισθητήρα ή να χρησιμοποιεί έναν από τους συλλέκτες. Ωρα εκκίνησης της πορείας λαμβάνεται η ώρα που ο ήλιος ανατέλλει κατά την εαρινή ισημερία.

Η μετακίνηση γίνεται με τη βοήθεια σερβοκινητήρα που μπορεί να λειτουργεί με τάση 12 ή 230 V. Επειδή ο μηχανισμός μετακίνησης είναι εκτεθειμένος στις καιρικές συνθήκες, θα πρέπει να είναι στεγανός και τα κινητά μέρη να είναι ανοξειδωτά, έτσι ώστε να απαιτείται ελάχιστη συντήρηση.

Ο άξονας στήριξης της κινούμενης βάσης πρέπει να πακτώνεται προσεκτικά σε ειδική βάση από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το μέγεθος της οπλισμένης βάσης έχει σχέση με το μέγεθος των συλλεκτών (συνήθως χρειαζόμαστε μία βάση από οπλισμένο σκυρόδεμα 0,80 κ.μ. για συνολική επιφάνεια πάνελ 5 τ.μ.).



Εικόνα 4.12 Κινούμενη (περιστρεφόμενη) βάση Φ/Β πάνελ 10m².

Πλεονεκτήματα:

- Αύξηση της παραγόμενης ενέργειας από τους Φ/Β συλλέκτες από 25 μέχρι 30% κατά μέσο όρο το χρόνο και κατά 55% την καλοκαιρινή περίοδο.
- Εύκολη διαδικασία ρύθμισης της κλίσης ως προς το οριζόντιο επίπεδο.

Μειονεκτήματα:

- Μεγάλο κόστος των κινούμενων βάσεων.
- Μεγάλο κόστος εγκατάστασης.
- Μεγάλος χώρος εγκατάστασης.
- Περισσότερη συντήρηση (λίπανση άξονα κίνησης).

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στην απόσταση ανάμεσα στις κινούμενες βάσεις για την αποφυγή σκίασης κατά τη διαδικασία παρακολούθησης της τροχιάς του ήλιου.

4.4.4 Βάσεις περιστρεφόμενες με αυτόματη πορεία σύμφωνα με την πορεία του ήλιου για συνεχή κάθετη πρόπτωση

Αποτελούν την πλέον ακριβή αλλά και την αποδοτικότερη λύση των Φ/Β εγκαταστάσεων. Οι Φ/Β συλλέκτες τοποθετούνται πάνω σε ειδικά διαμορφωμένη βάση εκτελώντας ταυτόχρονα δύο κινήσεις. Μία κίνηση από Ανατολικά προς Δυτικά και μία κίνηση που μεταβάλλει συνεχώς τη γωνία ως προς το οριζόντιο επίπεδο διατηρώντας πάντα τους συλλέκτες στην

κατάλληλη θέση ώστε να δέχονται συνεχώς κάθετα την ηλιακή ακτινοβολία.

Η παρακολούθηση της τροχιάς του ήλιου γίνεται με τη βοήθεια δύο αξόνων (δύο σερβοκινητήρες και δύο αισθητήρες) έτσι ώστε να αλλάζουν συνεχώς η γωνία β (κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο) και η γωνία γ (αξιμουθιακή γωνία ή γωνία Ανατολής - Δύσης). Το όλο σύστημα είναι προγραμματισμένο έτσι ώστε να περιστρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ίση με την ωριαία γωνία του ήλιου.



Εικόνα 4.13 Βάσεις στήριξης Φ/Β πάνελ με δύο άξονες περιστροφής

Πλεονεκτήματα:

- Πλήρως αυτοματοποιημένη λειτουργία. Πολύ μεγάλη απόδοση

Μειονεκτήματα:

- Πολύ μεγάλο κόστος των κινουμένων βάσεων.
- Μεγάλο κόστος εγκατάστασης, μεγάλος χώρος εγκατάστασης.
- Περισσότερη συντήρηση (λίπανση αξόνων κίνησης κ.λπ.).

4.4.5 Υπολογισμός των αποστάσεων ανάμεσα στις σειρές των κινούμενων (περιστρεφόμενων βάσεων) για σκίαστρα Φ/Β πάνελ

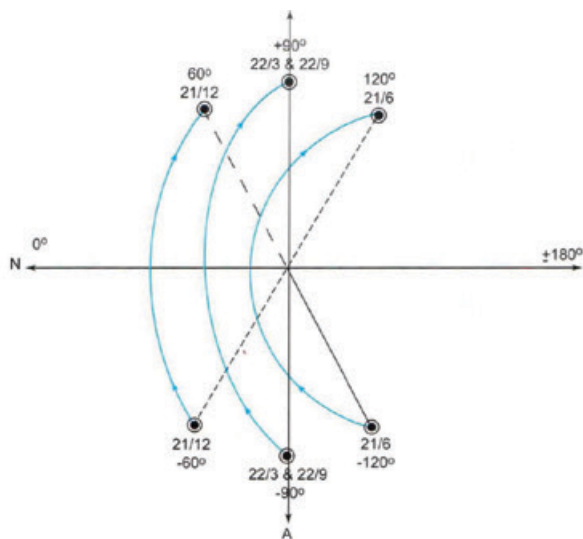
Όταν ο ήλιος ανατέλλει ή δύει σε μία ελεύθερη από φυσικά εμπόδια περιοχή, το ύψος του ήλιου ως προς το οριζόντιο επίπεδο είναι σχεδόν μηδενικό.

Στην πράξη, οι σειρές των κινουμένων βάσεων αναπτύσσονται παράλληλα στη διεύθυνση Ανατολής - Δύσης, με προσανατολισμό το Νότο.

Η αξιμουθιακή γωνία του ήλιου, κατά την Ανατολή ή τη Δύση του, αλλάζει ανάλογα με την εποχή του χρόνου, με τρεις χαρακτηριστικές για τους υπολογισμούς περιπτώσεις:

- Στις 22 Μαρτίου και 22 Σεπτεμβρίου.
- Στις 21 Δεκεμβρίου.
- Στις 21 Ιουνίου.

Προβάλλουμε τις ημερήσιες τροχιές του ήλιου στο οριζόντιο επίπεδο του τόπου με Γ.Π, 40° , βόρεια, για τις τρεις χαρακτηριστικές για τους υπολογισμούς περιπτώσεις (Σχήμα 4.15).



Σχήμα 4.14 Προβολή των ημερήσιων διαδρομών του ήλιου για τις τρεις χαρακτηριστικές περιπτώσεις (22 Μαρτίου και Σεπτεμβρίου, 21 Δεκεμβρίου και 21 Ιουνίου) σε έναν τόπο με Γ.Π. 40° , βόρεια.

Σημείωση

- α) Στις 22/3 και 22/9 ο ήλιος ανατέλλει με αζιμουθιακή γωνία $\gamma = -90^\circ$ και δύει με $\gamma_5 = 90^\circ$.
- β) 21/12 ο ήλιος ανατέλλει με αζιμουθιακή γωνία $\gamma = -60^\circ$ και δύει με $\gamma_8 = 60^\circ$.
- γ) Στις 21/6 ο ήλιος ανατέλλει με αζιμουθιακή γωνία $\gamma_5 = -120^\circ$ και δύει με $\gamma_5 = 120^\circ$.

Οι κινούμενες (περιστρεφόμενες) βάσεις, που είναι τοποθετημένες στον άξονα Ανατολής-Δύσης, θα προσανατολίζονται, ανάλογα με την εποχή, με αζιμουθιακή γωνία συλλέκτη ή βάσης, αντίστοιχη με την αζιμουθιακή γωνία Ανατολής ή Δύσης του ήλιου και θα ακολουθούν τη διαδρομή του ήλιου στον ουράνιο θόλο ή με βάση τη μηνιαία βέλτιστη κλίση (χειροκίνητη ρύθμιση της γωνίας β) ή με βάση την κάθετη πρόσπτωση (αυτόματη ρύθμιση της γωνίας β).

**Σύντομες ερωτήσεις ανατροφοδότησης / αυτοαξιολόγησης**

1. Ποιες είναι οι κατηγορίες των φωτοβολταϊκών συστημάτων;
2. Ένα μικρό κινητό φωτοβολταϊκό σύστημα περιλαμβάνει σύστημα αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας;
3. Ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα περιλαμβάνει σύστημα αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας;
4. Ένα διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα (η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται εξολοκλήρου στο ηλεκτρικό δίκτυο) περιλαμβάνει σύστημα αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας;
5. Πόσες πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνδυάζει ένα υβριδικό σύστημα αυτόνομο;
6. Ποιοι είναι οι τρόποι σύνδεσης Φ/Β πλαισίων;

**Ανακεφαλαίωση**

Διακρίνουμε δύο κατηγορίες Φ/Σ για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας:

- Τα παθητικά ηλιακά συστήματα.
- Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα.

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι κατά κύριο λόγο δομικά στοιχεία των κτιρίων, που αξιοποιούν τους νόμους μεταφοράς θερμότητας. Τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα και ειδικότερα τα Φ/Β συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Για να μετατραπεί η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη γη σε ηλεκτρική ενέργεια, χρησιμοποιούμε τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ή κυψέλες (PV cells). Για την τοποθέτηση των Φ/Β συλλεκτών χρειάζεται προσεκτική μελέτη (χωροταξική τοποθέτηση υλικών για τη βελτιστοποίηση της κάλυψης και της ασφαλούς λειτουργίας) που αφορά δύο στάδια.

- α) Την κατασκευή των βάσεων (συναρμολόγηση)
- β) Τη στήριξη των Φ/Β συλλεκτών πάνω στις βάσεις

Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στους συσσωρευτές των φωτοβολταϊκών συστημάτων, στους ελεγκτές αυτών, καθώς επίσης και στις ηλεκτρονικές διατάξεις DC - AC και DC-DC για τα συγκεκριμένα συστήματα.

ΜΠΑΤΑΡΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ. ΕΛΕΓΚΤΕΣ - ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΦΟΡΤΙΣΤΗΣ ΕΚΦΟΡΤΙΣΗΣ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ. ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ ΑΠΟ DC - AC DC- DC



Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

Θα γίνει μια ανάλυση των τύπων συσσωρευτών όσον αφορά τους συσσωρευτές μολύβδου, καθώς επίσης και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα γίνει αναφορά στη συνδεσμολογία συσσωρευτών και στην τοποθέτηση των συσσωρευτών στο χώρο του ηλεκτροστασίου. Ένα μέρος του κεφαλαίου θα αφορά παραδείγματα σύνδεσης συσσωρευτών. Επίσης θα γίνει αναφορά στους ρυθμιστές φόρτισης - εκφόρτισης μπαταριών, και στους μετατροπείς.



Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα:

Να κατανοηθούν τα είδη των βάσεων στήριξης των φωτοβολταϊκών συλλεκτών, τα είδη των συσσωρευτών, οι συνδεσμολογίες αυτών, και τα είδη των ελεγκτών - ρυθμιστών φόρτισης.



Έννοιες κλειδιά - Βασική Ορολογία

Συσσωρευτές, Συνδεσμολογία συσσωρευτών, Ρυθμιστές φόρτισης, Ελεγκτές, Μετατροπείς.

5.1 Ηλεκτρικοί συσσωρευτές γενικά. Τύποι συσσωρευτών. Συσσωρευτές μολύβδου ($Pb-H_2SO_4$). Τεχνικά χαρακτηριστικά

5.1.1 Ηλεκτρικοί συσσωρευτές γενικά

Όταν μία εγκατάσταση με φωτοβολταϊκά (Φ/Β) πλαίσια δεν είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά λειτουργεί αυτόνομα, θα πρέπει να αποθηκεύει ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας την οποία έχει ανάγκη τις νυχτερινές ώρες ή τις ημέρες με συννεφιά (μικρή ή μηδενική ηλιοφάνεια).

Το μέγεθος της ηλεκτρικής ενέργειας που πρέπει να αποθηκεύεται εξαρτάται από τις ανάγκες που έχουμε σε ημερήσια βάση και από την πρόβλεψη που κάνουμε για ημέρες με μηδενική ηλιοφάνεια και αποτελεί στοιχείο υπολογισμού, η μελέτη του οποίου γίνεται στο κεφάλαιο των εφαρμογών.

Η τοποθέτηση των συσσωρευτών γίνεται μέσα σε ιδιαίτερο χώρο (τμήμα αποθήκευσης ηλεκτροστασίου). Ο χώρος αυτός πρέπει να αερίζεται επαρκώς και η τοποθέτηση των συσσωρευτών θα πρέπει να γίνεται σε σειρές με άνετο χώρο για παρακολούθηση και συντήρηση. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στις συνδέσεις των ακροδεκτών στους πόλους των συσσωρευτών ή των διβόλτων στοιχείων μεγάλης χωρητικότητας. Οι συνδέσεις θα πρέπει να γίνονται με ειδικά περιλαίμια και κοχλίες και να τοποθετείται στη συνέχεια αντισκοριακό υλικό.

5.1.2 Τύποι συσσωρευτών

Υπάρχουν διάφοροι τύποι συσσωρευτών με την ονομασία τους να προέρχεται από τον τύπο των ηλεκτροδίων κατασκευής.

Έχουμε τους συσσωρευτές μολύβδου ($Pb - H_2SO_4$), που είναι οι περισσότερο χρησιμοποιούμενοι στα φωτοβολταϊκά συστήματα, λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που έχουν και του μικρού σχετικά κόστους.

Άλλοι τύποι συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι ο νικελίου-καδμίου (Nid), Νατρίου-θείου, Ψευδαργύρου βρωμίου, Ψευδαργύρου-χλωρίου κ.λπ.

Οι τιμές των ηλεκτρεγερτικών δυνάμεων (ΗΕΔ) ή τάσης εν κενώ των στοιχείων των παραπάνω συσσωρευτών κυμαίνονται από IV μέχρι 4V. Για να έχουμε σε έναν συσσωρευτή μεγαλύτερη τάση, συνδέουμε δύο ή και περισσότερα στοιχεία σε σειρά.

• Συσσωρευτές μολύβδου ($Pb - H_2SO_4$).

Αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια από τα οποία το θετικό (κάθοδος) είναι κατασκευασμένο από διοξείδιο του μολύβδου (PbO_2) και το αρνητικό (άνοδος) από μεταλλικό μόλυβδο (Pb). Τα δύο ηλεκτρόδια τοποθετούνται μέσα σε ειδικό ανθεκτικό κιβώτιο το οποίο γεμίζεται με ηλεκτρολύτη (διάλυμα H_2SO_4 20%) που μπορεί να είναι σε μορφή ζελέ ή σε υδαρή μορφή. Κατά τη διαδικασία της φόρτισης (σύνδεσης των πόλων του συσσωρευτή με πηγή Σ.Π. (συνεχούς ρεύματος) ελεγχόμενης τάσης, η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε χημική.

Κατά τη διαδικασία της εκφόρτισης (σύνδεση των πόλων του συσσωρευτή με ηλεκτρική κατανάλωση) η χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική.

5.1.3 Τεχνικά χαρακτηριστικά

α) Ονομαστική τάση συσσωρευτή (U_n).

Η ονομαστική τάση ενός στοιχείου συσσωρευτή μολύβδου είναι περίπου 2,25 V. Ανάλογα με τα στοιχεία που έχουμε συνδεδεμένα σε σειρά, έχουμε συσσωρευτές με ονομαστικές τάσεις 2,6, 12 και 24V.

β) Τάση φόρτισης.

Ο συσσωρευτής μολύβδου πρέπει να φορτίζεται με ειδικό φορτιστή και με τάση που ορίζεται από τον κατασκευαστή. Η τάση φόρτισης μπορεί να είναι σταθερή ή μεταβαλλόμενη με φορτιστή πολλαπλών σταδίων (συντόμευση του χρόνου φόρτισης).

Ο συσσωρευτής γενικά θεωρείται φορτισμένος όταν η τάση του κάθε στοιχείου φτάσει τα 2,4V, δηλαδή σε μία μπαταρία των έξι στοιχείων (ονομαστική τάση $U_n = 12V$), η τάση στους πόλους φθάνει τα 14,4 V.

γ) Τάση συντήρησης.

Είναι η τάση που πρέπει να εφαρμόζεται από μία πηγή Σ.Ρ. στους πόλους του συσσωρευτή έτσι ώστε αυτός να παραμένει συνεχώς φορτισμένος.

δ) Ρεύμα φόρτισης.

Το ρεύμα φόρτισης ορίζεται από τον κατασκευαστή και είναι αυτό με το οποίο πρέπει να φορτίζεται για να έχουμε μέγιστη διάρκεια ζωής. Το ρεύμα φόρτισης πρέπει να κυμαίνεται από 0,1 C μέχρι 0,2C.

Ρεύμα φόρτισης 0,1 C σημαίνει για έναν συσσωρευτή με χωρητικότητα 50Ah, τιμή $I = 0,1 \cdot 50 = 5A$. Για 0,2 C θα έχουμε $I_M = 0,2 \cdot 50 = 10A$.

Η φόρτιση αρχίζει με το μέγιστο επιτρεπτό ρεύμα, στη συνέχεια αυτό μειώνεται σταδιακά και στο τέλος της φόρτισης έχουμε ένα πολύ μικρό ρεύμα περίπου 0,05 C.

Αν η τάση του συσσωρευτή πέσει πολύ χαμηλά (κάτω από 1,75 V ανά στοιχείο), η φόρτιση πρέπει να ξεκινήσει με πολύ μικρό ρεύμα, συνήθως 0,01 C και όταν η τάση φθάσει στα 1,75 V να συνεχιστεί με τον κανονικό ρυθμό.

Αν ο φορτιστής είναι αυτόματος, η φόρτιση μετά την ολοκλήρωσή της θα διακοπεί. Η φόρτιση συνήθως διαρκεί 16 ώρες αλλά με τους φορτιστές πολλαπλών σταδίων μπορεί να περιοριστεί στο μισό.

ε) Τάση εκφόρτισης.

Ως τάση εκφόρτισης ορίζεται η μικρότερη τιμή που μπορεί να υπάρχει στους ακροδέκτες του συσσωρευτή χωρίς αυτός να κινδυνεύει να καταστραφεί. Αν για οποιοδήποτε λόγο η τάση τους ακροδέκτες κατέβει κάτω από αυτή την τιμή (ορίζεται από τον κατασκευαστή και είναι συνήθως 2,00 V ανά στοιχείο), θα πρέπει μέσω ειδικής διάταξης (κατάλληλος αυτοματισμός) να αποσυνδεθούν τα φορτία από το συσσωρευτή.

στ) Ρεύμα εκφόρτισης.

Ορίζεται ως το ρεύμα εκείνο που εξαντλεί τη χωρητικότητα του συσσωρευτή χωρίς αυτός να κινδυνεύει (τάση ανά στοιχείο από 2,4 V σε 2V). Το ρεύμα αυτό ισούται με το 1/20 της ονομαστικής χωρητικότητας του συσσωρευτή.

ζ) Χρόνος ζωής συσσωρευτή.

Οι συσσωρευτές δεν πρέπει να φορτίζονται για μεγάλο χρονικό διάστημα με πολύ υψηλή τάση γι' αυτούς (overcharging), ούτε να εκφορτίζονται κάτω από ένα κρίσιμο γι' αυτούς όριο (over discharging). Η διαδικασία αυτή καθορίζει το χρόνο ζωής τους. Η υπερφόρτιση έχει ως αποτέλεσμα την ηλεκτρόλυση και την παραγωγή υδρογόνου με ταυτόχρονη έντονη ελάττωση της στάθμης του ηλεκτρολυτικού

διαλύματος (απώλεια νερού). Ο χρόνος ζωής των συσσωρευτών εκφράζεται σε κύκλους λειτουργίας (φόρτιση-εκφόρτιση).

η) Ονομαστική και πρακτική χωρητικότητα.

Ονομαστική χωρητικότητα είναι η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο συσσωρευτή και τη μετράμε σε αμπερώρια (Ah).

Η χωρητικότητα των συσσωρευτών καθορίζεται με 0,05 C που σημαίνει ότι για χωρητικότητα 50Ah μπορεί να εκφορτίζεται με 2,5 A για χρόνο 20 ώρες.

Πρακτική χωρητικότητα είναι η ενέργεια που παίρνουμε από το συσσωρευτή με τις συγκεκριμένες συνθήκες εργασίας.

Στην πράξη οι συσσωρευτές εκφορτίζονται με πολύ μεγάλα ρεύματα, με αντίστοιχη μείωση της χωρητικότητάς τους.

Ένας συσσωρευτής με ονομαστική χωρητικότητα 50Ah, όταν εκφορτίζεται με 1C ($I_M = 50A$) μπορεί να αποδώσει μόνο το 30% της ονομαστικής του χωρητικότητας, δηλαδή 15Ah.

θ) Αυτοεκφόρτιση συσσωρευτή.

Ένας φορτισμένος συσσωρευτής εκφορτίζεται ακόμη και αν δεν είναι συνδεδεμένος σε φορτίο (αυτοεκφόρτιση). Η αυτοεκφόρτιση οφείλεται στη συνεχή δράση του θειικού οξέος (H_2SO_4) στα ηλεκτρόδια του συσσωρευτή κατά την οποία ο μόλυβδος (Pb) και το διοξείδιο του μολύβδου (PbO_2), μετατρέπονται σε θειικό μόλυβδο ($PbSO_4$) με εκλυόμενα αέρια υδρογόνο (H_2) και οξυγόνο (O_2).

Η αυτοεκφόρτιση αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του συσσωρευτή.

Σε θερμοκρασία 5 ° C, το ηλεκτρικό φορτίο ελαττώνεται κατά 2% περίπου το μήνα.

Σε θερμοκρασία 15 ° C, το ηλεκτρικό φορτίο ελαττώνεται κατά 4% περίπου το μήνα.

Σε θερμοκρασία 25 ° C το ηλεκτρικό φορτίο ελαττώνεται κατά 10% περίπου το μήνα.

ι) Ενέργεια που αποδίδει ένας συσσωρευτής, με ορισμένο βάθος εκφόρτισης κατά τη λειτουργία του.

Θεωρητικά η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σε ένα συσσωρευτή υπολογίζεται από το γινόμενο της τάσης επί τη χωρητικότητά του. Η ενέργεια που μας δίνει στην πράξη ένας συσσωρευτής υπολογίζεται από τη σχέση:

$$E_k = \beta * Q * U_{\beta} * h_{\sigma}$$

όπου:

E_k = η ενέργεια που μας δίνει στην πράξη ο συσσωρευτής σε Wh.

β = το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή.

Q = η χωρητικότητα του συσσωρευτή σε Ah.

U_{β} = η τάση εκφόρτισης του συσσωρευτή σε V.

h_{σ} = ο βαθμός απόδοσης του συσσωρευτή που συνήθως λαμβάνεται 0,85.

ια) **Αναγκαία** χωρητικότητα συσσωρευτή.

Όταν λέμε αναγκαία χωρητικότητα συσσωρευτή, εννοούμε τη χωρητικότητα εκείνη που πρέπει να έχει ο συσσωρευτής, ή η συστοιχία των συσσωρευτών, για να έχουμε ενέργεια ικανή να καλύψει τις ανάγκες μας, στην πιο δυσμενή περίπτωση συνεχούς νέφωσης.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της μέσης μηνιαίας ηλιοφάνειας (θεωρητικός και πραγματικός αριθμός ωρών ηλιοφάνειας), τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο έχουμε τη μικρότερη ηλιοφάνεια, ενώ τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο, τη μεγαλύτερη. Η δυσμενέστερη περίπτωση παρουσιάζεται τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο όπου η χωρητικότητα των συσσωρευτών πρέπει να είναι τέτοια, που να μπορεί να καλύψει τις ανάγκες των φορτίων, για διάρκεια μίας εβδομάδας.

Για παράδειγμα, για ημερήσια αναγκαία φορτία που η μέση τιμή τους είναι 50kWh για τους μήνες Δεκέμβριο ή Ιανουάριο, θα πρέπει η συστοιχία των συσσωρευτών να είναι σε θέση να μας δώσει (για μία εβδομάδα με μηδενική ηλιοφάνεια), $E_k = 50 \cdot 7 = 350 \text{ kWh}$ ή 350.000 Wh.

5.2 Συνδεσμολογία συσσωρευτών

Στις μικρές φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις, όπου οι ανάγκες για αποθηκευμένη ενέργεια δεν είναι ιδιαίτερα αυξημένες, μπορούμε και με ένα συσσωρευτή, κατάλληλης ονομαστικής τάσης και χωρητικότητας, να έχουμε κάλυψη.

Στις μεσαίες και ιδιαίτερα στις μεγάλες εγκαταστάσεις με φωτοβολταϊκά και στις περιπτώσεις αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων, οι ανάγκες για αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια είναι μεγάλες.

Για την κάλυψη των αναγκών σε αυτές τις περιπτώσεις συνδέουμε κατάλληλα περισσότερους από έναν συσσωρευτές.

Η σύνδεση γίνεται με τη βοήθεια ειδικών εξαρτημάτων (συνδετήρες) τα οποία τοποθετούμε στους πόλους των συσσωρευτών (θετικός + και αρνητικός). Οι συσσωρευτές συνδέονται μεταξύ τους με τρεις τρόπους:

α) Σύνδεση σε σειρά.

Στην περίπτωση αυτή συνδέουμε τον αρνητικό πόλο του πρώτου συσσωρευτή με τον θετικό του δεύτερου και συνεχίζουμε έτσι με όλους τους προς σύνδεση συσσωρευτές.

Ο θετικός πόλος του πρώτου συσσωρευτή και ο αρνητικός του τελευταίου μας δίνουν τους τελικούς ακροδέκτες τροφοδοσίας της συγκεκριμένης συστοιχίας των συσσωρευτών (Σχήμα 5.1). Η συνολική ονομαστική τάση της συστοιχίας είναι ίση με το άθροισμα των ονομαστικών τάσεων όλων των συσσωρευτών που συνδέονται σε σειρά.

$$U_{ολ} = U1 + U2 + U3 + U4$$

και γενικά

$$U_{ολ} = U1 + U2 + + U_n$$

Όταν οι συσσωρευτές έχουν την ίδια τάση τότε:

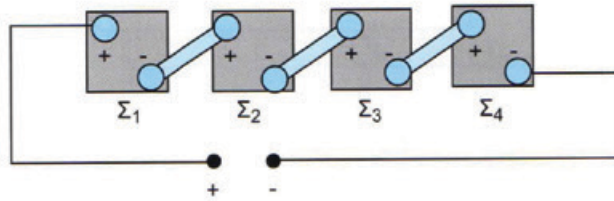
$$U_{ολ} = U1 * U_n$$

Η συνολική ονομαστική χωρητικότητα της συστοιχίας είναι ίση με τη χωρητικότητα του ενός συσσωρευτή.

$$Q_{ολ} = Q1 = Q2 = Q3 = Q4$$

και γενικά

$$Q_{ολ} = Q1 = Q2 = = Q_n$$



Σχήμα 5.1 Σύνδεση συσσωρευτών σε σειρά.

Η συνολική ονομαστική ένταση της συστοιχίας είναι παντού η ίδια και είναι ίση με την ονομαστική ένταση του ενός συσσωρευτή.

$$I_{ολ} = I1 = I2 = I3 = I4$$

και γενικά

$$I_{ολ} = I1 = I2 = = I_n$$

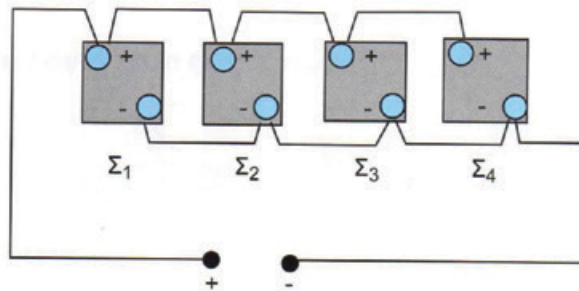
β) Παράλληλη σύνδεση.

Στην περίπτωση αυτή συνδέουμε μαζί όλους τους θετικούς πόλους των συσσωρευτών και έχουμε τον θετικό πόλο της συστοιχίας και όλους τους αρνητικούς και έχουμε τον αρνητικό πόλο της συστοιχίας (Σχήμα 5.2). Η συνολική ονομαστική χωρητικότητα της συστοιχίας είναι ίση με το άθροισμα των επιμέρους χωρητικότητων των συσσωρευτών που είναι συνδεδεμένοι παράλληλα.

$$Q_{ολ} = Q1 + Q2 = Q3 = Q4$$

και γενικά

$$Q_{ολ} = Q1 + Q2 + + Q_n$$



Σχήμα 5.2 Σύνδεση συσσωρευτών παράλληλα.

Όταν οι συσσωρευτές έχουν την ίδια χωρητικότητα, τότε:

$$Q_{ολ} = Q1 * V$$

Η συνολική ονομαστική ένταση της συστοιχίας είναι ίση με το άθροισμα των ονομαστικών εντάσεων όλων των συσσωρευτών που είναι συνδεδεμένοι παράλληλα.

Η συνολική ονομαστική τάση της συστοιχίας είναι ίση με την τάση του ενός συσσωρευτή

$$U_{ολ} = U1 = U2 = U3 = U4$$

και γενικά

$$U_{ολ} = U1 + U2 + + Uv$$

Η συνολική ονομαστική ένταση της συστοιχίας είναι ίση με το άθροισμα των επιμέρους εντάσεων των συσσωρευτών που είναι συνδεδεμένοι παράλληλα

$$I_{ολ} = I1 + I2 + I3 + I4$$

και γενικά

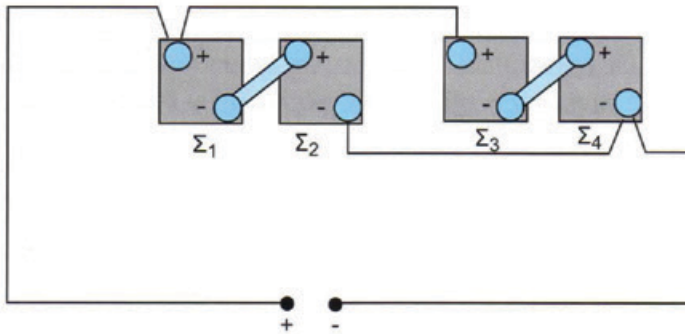
$$I_{ολ} = I1 + I2 + + Iv$$

Όταν οι συσσωρευτές έχουν την ίδια ένταση τότε

$$I_{ολ} = I1 * V$$

γ) Μεικτή σύνδεση.

Η μεικτή σύνδεση χρησιμοποιείται για να έχουμε τη δυνατότητα σε μία συστοιχία να πάρουμε τελικά και μεγάλη τάση και μεγάλη χωρητικότητα (μεγάλη ένταση). Η σύνδεση αυτή συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της σύνδεσης σε σειρά και της σύνδεσης παράλληλα (Σχήμα 5.3).



Σχήμα 5.3 Μεικτή σύνδεση συσσωρευτών

Για την περίπτωση αυτή θα έχουμε:

$$U_{1,2} = U1 + U2 \text{ και } U_{3,4} = U3 + U4$$

$$U_{ολ} = U_{1,2} = U_{3,4}$$

$$I_{1,2} = I1 = I2 \text{ και } I_{3,4} = I3 = I4$$

$$I_{ολ} = I_{1,2} + I_{3,4}$$

$$Q_{1,2} = Q1 = Q2 \text{ και } Q_{3,4} = Q3 = Q4$$

$$Q_{ολ} = Q_{1,2} + Q_{3,4}$$

Στην πράξη, στη μεικτή σύνδεση χρησιμοποιούμε τα ίδια ονομαστικά μεγέθη (τάση, ένταση, χωρητικότητα).

5.3 Τοποθέτηση συσσωρευτών στο χώρο του ηλεκτροστασίου

Οι συσσωρευτές τοποθετούνται σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο (ειδικά διαμορφωμένα ηλεκτροστάσια σε υπόγειους χώρους με πολύ καλό σύστημα αερισμού).

α) Τοποθετούνται στο δάπεδο.

Όταν τοποθετούμε τις συστοιχίες των συσσωρευτών στο δάπεδο θα πρέπει να υπάρχει άνετος χώρος για την επίβλεψη και τη συντήρησή τους.

- β) Τοποθετούνται σε ειδικά διαμορφωμένες βάσεις.

5.4 Τεχνικά χαρακτηριστικά συσσωρευτών του εμπορίου

Στο εμπόριο, για εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων έχουμε τους βιομηχανικούς συσσωρευτές οξέος μολύβδου ανοικτού τύπου - χαμηλού αντιμονίου (1,6%). Οι συσσωρευτές αυτοί κατασκευάζονται για ονομαστική τάση 12V ή 2V (δίβολτα στοιχεία βιομηχανικού τύπου).

Κυκλοφορούν σε διάφορα μεγέθη (χωρητικότητα, διαστάσεις κ.λπ.) και είναι κατάλληλοι για:

- α) Εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας σε απομακρυσμένα χωριά ή σπίτια κ.λπ.
- β) Εγκαταστάσεις επικοινωνιών σε αέρα, θάλασσα, δρόμους, τρένα κ.λπ.
- γ) Εγκαταστάσεις ραδιοτηλεοπτικών σταθμών, κεραίες κινητής τηλεφωνίας κ.λπ.

5.5 Συσσωρευτές οξέος μολύβδου ανοικτού τύπου χαμηλού αντιμονίου (1,6%) ονομαστικής τάσης 12V, 6V, 2V, από την ECO//SUN/BAE Solar

Οι συσσωρευτές αυτοί κατασκευάζονται:

- α) Με γερή σωληνωτή πλάκα ως θετικό ηλεκτρόδιο (κράμα PdSbI₆SnSe).
- β) Με πλάκα πλέγματος από κράμα χαμηλού αντιμονίου (1,6%).
- γ) Με τυποποιημένο δοχείο πλακών.
- δ) Με θειικό οξύ πυκνότητας 1,24kg/lit.
- ε) Με σύσφιξη πλακών 100%
- στ) Με δοχείο συσσωρευτή που φέρει καπάκι φτιαγμένο από πολυ-προπυλένιο.
- ζ) Με αρνητικό πόλο από ενισχυμένη επικάλυψη ορείχαλκου για εύκαμπτους και πλήρως απομονωμένους τερματικούς συνδετήρες.
- η) Με προστασία έναντι επαφής σύμφωνα με τους κανονισμούς VBG4, IP25 στα DIN EN 60529.
- θ) Για λειτουργία σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος από -20° C μέχρι και +55° C (συστήνεται από +10° C μέχρι και +30° C).
- ι) Με αυτοεκφόρτιση περίπου 3% ανά μήνα στους 20° C
Θα πρέπει να γίνεται συντήρηση και συγκεκριμένα:
- θ) Έλεγχος της τάσης των συσσωρευτών, της τάσης κάθε στοιχείου ξεχωριστά καθώς επίσης και της θερμοκρασίας κάθε έξι (6) μήνες.
- ι) Έλεγχος των μηχανικών και ηλεκτρικών συνδέσεων, καταγραφή της τάσης των συσσωρευτών και της τάσης κάθε στοιχείου ξεχωριστά καθώς επίσης και της θερμοκρασίας κάθε δώδεκα (12) μήνες. Πρόσθεση αποσταγμένου νερού κάθε 6 μήνες (ανάλογα με τη χρησιμοποίηση και τη θερμοκρασία περιβάλλοντος).

Στους συσσωρευτές αυτούς κατά τη λειτουργία τους θα πρέπει:

- α) Η αποφόρτιση του συσσωρευτή απαγορεύεται να υπερβαίνει το 80% της ονομαστικής χωρητικότητας.
- β) Ανά μία έως τέσσερις εβδομάδες ο συσσωρευτής πρέπει να φορτίζεται κατά 100%.
- γ) Το ρεύμα φόρτισης μπορεί να κυμανθεί από $0,01 \times I_{10}$ μέχρι $5 \times I_{10}$.
- δ) Η τάση φόρτισης πρέπει να περιορίζεται από 2,30 V μέχρι 2,40 V.

- ε) Για ημερήσια αποφόρτιση μέχρι και 20%, η τάση φόρτισης να είναι από 2,30 V μέχρι 2,35 V ανά στοιχείο.
- στ) Για ημερήσια αποφόρτιση πάνω από 20% και μέχρι 50%, η τάση φόρτισης να είναι από 2,35 V μέχρι 2,40 V ανά στοιχείο.
- ζ) Για ημερήσια αποφόρτιση μεγαλύτερη από 50%, θα πρέπει να γίνεται φόρτιση βρα-
σιού ημερησίως ή να χρησιμοποιηθεί σύστημα τεχνητής ανατάραξης του ηλεκτρολύτη.

5.6 Βιομηχανικοί συσσωρευτές ασβεστίου, ονομαστικής τάσης 12V,6V,2V, από την ECO//SUN, BAE SECURA PVV

Στους συσσωρευτές αυτούς κατά τη λειτουργία τους θα πρέπει:

- α) Η αποφόρτιση του συσσωρευτή να μην υπερβαίνει το 80% διότι μπορεί να προκλη-
θεί μόνιμη βλάβη μέχρι και καταστροφή του συσσωρευτή.
- β) Το ρεύμα φόρτισης να κυμαίνεται από $0,01 \times I_{10}$ μέχρι $5 \times I_{10}$.
- γ) Η τάση φόρτισης πρέπει να περιορίζεται από 2,30 μέχρι 2,40V ανά στοιχείο.
- δ) Για ημερήσια αποφόρτιση μέχρι και 40%, η τάση φόρτισης να είναι από 2,30 V μέχρι 2,35 V ανά στοιχείο.
- ε) Για ημερήσια αποφόρτιση μέχρι 60%, η τάση φόρτισης να είναι από 2,35 V μέχρι 2,40 V ανά στοιχείο.
- στ) Όταν η μηνιαία μέση θερμοκρασία είναι κάτω από 10 °C, η τάση φόρτισης να αυ-
ξάνεται κατά 0,03V ανά 10 °C.

5.7 Βιομηχανικοί συσσωρευτές με σωληνωτές θετικές πλάκες χαμηλού αντιμονίου και χαμηλής συντήρησης PZS/ECO//SUN (αδιαφανείς)

Κατασκευάζονται για μόνιμες εγκαταστάσεις σύμφωνα με τις σχετικές προδιαγραφές κατά DIN (DIN 40736, μέρος 1 και DIN 40737 μέρος 1 και 2).

Η ξεχωριστή κατασκευή τους οφείλεται στη δομή της θετικής πλάκας. Είναι χαμηλού αντιμονίου σύμφωνα με τις προδιαγραφές κατά DIN ($Sb < 3\%$). Με τη χρησιμοποίηση κρα-
μάτων με ειδική σύνθεση των θετικών πλακών επιτυγχάνονται μεγαλύτερα διαστήματα χωρίς ανάγκη συντήρησης και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των μπαταριών. Πρέπει να ση-
μειωθεί ότι οι αρνητικές πλάκες αποτελούνται από μία σκάρα από κράμα μολύβδου, στην
οποία συγκρατείται η ενεργός μάζα, με ποιότητα και ανθεκτικότητα παρόμοια με αυτή
των θετικών πλακών.

Οι μονώσεις (χωριστήρες) αποτελούνται από μικροπορώδη συνθετική ύλη δοκιμασμέ-
νης αντοχής, το δοχείο αποτελείται από υλικό μεγάλης χημικής και μηχανικής αντοχής,
ενώ το πώμα είναι κατασκευασμένο από πλαστική ύλη ανθεκτική στο θειικό οξύ και επιτρέ-
πει την έξοδο των αερίων που δημιουργούνται μέσα στο στοιχείο ενώ ταυτόχρονα εμποδί-
ζει την έξοδο της ομίχλης του θειικού οξέος. Ο ηλεκτρολύτης είναι διάλυμα θειικού οξέος
καθαρότητας σύμφωνα με τα πρότυπα κατά DIN 43530/p.2.

Οι συσσωρευτές PzS είναι κατασκευασμένοι σε αδιαφανές δοχείο και σχεδιάζονται για
αυτόνομα συστήματα κλίμακας μικρών και μεσαίων εφαρμογών.

Οι συσσωρευτές αυτοί είναι συμβατοί με τους εξής Ελληνικούς και Διεθνείς Κανονι-
σμούς:

- α) Πρότυπα Ελληνικού Οργανισμού Τυποποίησης - ΕΛΟΤ 695.1 και 695.2.

β) Γερμανικά πρότυπα DIN: 43595, 43531, 43535, 43536, 43530, 43539, VDE: 0510.

γ) Οδηγίες της ΕΟΚ Νο 663/86.

5.8 Συσσωρευτές οξέος μολύβδου ανοικτού τύπου χαμηλού αντιμονίου (1,6%) ονομαστικής τάσης 12V

Σημείωση:

Όσο αυξάνει ο αριθμός των κύκλων φόρτισης τόσο μειώνεται το ποσοστό αποφόρτισης του συσσωρευτή. Ένας συσσωρευτής με ποσοστό αποφόρτισης 10%, μας δίνει με ασφάλεια μόνο μικρό ποσοστό (10%) της ονομαστικής χωρητικότητάς του.

Υπάρχουν τρεις τρόποι φόρτισης:

- α) Με ρυθμιστή διακόπτη (με χειριστήριο δύο βημάτων), φόρτιση στην καμπύλη Β (φόρτιση με τη μέγιστη δυνατή τάση) για 2 ώρες/ημέρα και μετά συνεχής φόρτιση με τις τιμές της καμπύλης C (φόρτιση με τη μικρότερη τάση).
- β) Κανονική φόρτιση, χωρίς ρυθμιστή διακόπτη, συνεχής φόρτιση με τις τιμές της καμπύλης Α.
- γ) Ενισχυμένη φόρτιση από εξωτερική γεννήτρια ρεύματος για πέντε (5) το πολύ ώρες το μήνα με τις τιμές της καμπύλης Β και στη συνέχεια κανονική φόρτιση με τις τιμές της καμπύλης C.

5.9 Συσσωρευτές οξέος μολύβδου ανοικτού τύπου χαμηλού αντιμονίου (1,6%) ονομαστικής τάσης 2V (δίβολτα στοιχεία βιομηχανικού τύπου)

Για μικρού μεγέθους απαιτήσεις αποθήκευσης μπορεί να γίνει χρήση των συσσωρευτών ονομαστικής τάσης 12V. Για μεσαίου και μεγάλου μεγέθους απαιτήσεις αποθήκευσης μπορεί να γίνει χρήση των συσσωρευτών βιομηχανικού τύπου, ονομαστικής τάσης 2V.

Με τους συσσωρευτές βιομηχανικού τύπου, ονομαστικής τάσης 2V, έχουμε τη δυνατότητα για αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, μεγάλο ποσοστό αποφόρτισης για μεγάλο αριθμό κύκλων φόρτισης και μεγάλη διάρκεια ζωής. Στους υπολογισμούς για τον αριθμό και το μέγεθος των συσσωρευτών αποθήκευσης, θα πρέπει να παίρνουμε υπόψη το ποσοστό αποφόρτισης μετά από έναν αριθμό κύκλων φόρτισης, που αντιστοιχεί στο 80% ή και στο 70% της ονομαστικής τιμής. Επίσης, θα πρέπει να παίρνουμε υπόψη τη μέγιστη και την ελάχιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος σε ετήσια βάση και ο υπολογισμός να γίνεται για τη δυσμενέστερη.

5.10 Τύποι ελεγκτών ρυθμιστών φόρτισης - Ρυθμιστές φόρτισης μικρής ισχύος- Ρυθμιστές φόρτισης χαμηλής ισχύος

5.10.1 Τύποι ελεγκτών ρυθμιστών φόρτισης

Στο εμπόριο υπάρχουν πολλοί τύποι ελεγκτών - ρυθμιστών φόρτισης, από την πιο απλή τους μορφή, μέχρι την πιο σύνθετη.

Η επιλογή του κατάλληλου ελεγκτή - ρυθμιστή φόρτισης έχει σχέση με τις απαιτήσεις του συστήματος παραγωγής και αποθήκευσης ενέργειας, το μέγεθος και το κόστος της εγκατάστασης.

5.10.2 Ρυθμιστές φόρτισης μικρής ισχύος

Έχουν σχεδιαστεί για μικρά Φ/Β συστήματα και έχουν τη δυνατότητα αποσύνδεσης του συσσωρευτή σε περίπτωση υπερφόρτισης ή υπερεκφόρτισης ή αποσύνδεσης του φορτίου, λόγω χαμηλής τάσης του συσσωρευτή.

Παρέχουν ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενο τρόπο φόρτισης με προστασία βαθιάς αποφόρτισης και ενσωματωμένο αισθητήρα θερμοκρασίας.

Φέρουν πλήρη ηλεκτρονική προστασία από υπέρταση Φ/Β συλλέκτη, ανάστροφη πολικότητα συλλέκτη ή συσσωρευτή, υπερφόρτιση και βραχυκύκλωμα στην κατανάλωση.

Έχουν ενδείξεις: Κατάσταση φόρτισης, επίπεδο φόρτισης συσσωρευτή, αποσύνδεσης λόγω χαμηλής τάσης συσσωρευτή, υπερφόρτωση/βραχυκύκλωμα. Είναι κατάλληλοι για μικρές Φ/Β εγκαταστάσεις σε μικρές αγροικίες, τροχόσπιτα και εφαρμογές ελεύθερου χώρου.

5.10.3 Ρυθμιστές φόρτισης χαμηλής ισχύος

Έχουν σχεδιασθεί για Φ/Β συστήματα με ισχύ από 100 μέχρι 1000 W.

Παρέχουν εξαιρετικές ενδείξεις, προγραμματισμό και λειτουργίες ασφάλειας. Το επίπεδο φόρτισης του συσσωρευτή επιδεικνύεται σαφώς με ένα ιστόγραμμα, καθώς επίσης και οι ενεργειακές ροές από και προς το συσσωρευτή και η κατάσταση των καταναλώσεων (π.χ. υπερφόρτωση, βραχυκύκλωμα φορτίου κ.λπ.). Η λειτουργία προστασίας βαθιάς αποφόρτισης μπορεί να ρυθμιστεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους: ελεγχόμενη από τάση, ελεγχόμενη από το επίπεδο φόρτισης του συσσωρευτή ή προσαρμοστική ρύθμιση (πολυπλοκότητας).

5.11 Ελεγκτές ρυθμιστές ενεργειακών συστημάτων – Φορτιστές μπαταριών

5.11.1 Ελεγκτές ρυθμιστές ενεργειακών συστημάτων

Προσφέρουν πλήρη έλεγχο του κύκλου φόρτισης και τροφοδοσίας φορτίου, φέρουν ελεγκτή πολλαπλών λειτουργιών που μπορεί να ανοίξει ή να κλείσει την ισχύ σύμφωνα με τα κριτήρια που τίθενται από το χρήστη.

Παρέχουν πλήρη ασφάλεια και έχουν τη δυνατότητα για κάθε ένδειξη ή μέτρηση μεγέθους.

5.12 Φορτιστές μπαταριών

Η φόρτιση των συσσωρευτών μπορεί να γίνει από το δίκτυο διανομής 230/400 V, με μονοφασικούς ή τριφασικούς φορτιστές.

Η τροφοδοσία των φορτιστών μπορεί στην πράξη να γίνει και από ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (H/z) όταν αυτό χρησιμοποιείται ως κύρια ή ως εφεδρική πηγή.

5.13 Μετατροπείς γενικά. Μετατροπείς DC-DC, Μετατροπέας DC-AC (Inverter), Μετατροπέας DC-AC δικτύου, Μετατροπείς DC-AC Δικτύου μικρής ισχύος χαμηλής τάσης μονοφασικοί

5.13.1 Μετατροπείς γενικά

Η συσκευή αυτή είναι απαραίτητη για τη μετατροπή του συνεχούς (D.C.) ρεύματος σε εναλλασσόμενο (A.C.) για να μπορούν να λειτουργούν οι διάφορες συσκευές που κυκλοφορούν στην αγορά.

Ένας τέτοιος μετατροπέας είναι περιστρεφόμενος, στον οποίο το συνεχές ρεύμα προκαλεί περιστροφή ενός κινητήρα που με τη σειρά του μεταδίδει την κίνηση σε μια γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος. Η συσκευή αυτή δεν χρησιμοποιείται σήμερα διότι με την ανάπτυξη της τεχνολογίας έχουν κατασκευασθεί παρόμοιες συσκευές με ημιαγωγούς και χωρίς κινητά μέρη. Η απόδοση των τελευταίων είναι πολύ μεγαλύτερη, η συντήρησή τους πολύ πιο εύκολη και η ανάγκη για επιδιόρθωση πολύ σπάνια.

Ανάλογα με το είδος του Φ/β συστήματος χρησιμοποιείται και ο κατάλληλος μετατροπέας.

5.14 Μετατροπείς DC-DC

Η μετατροπή μιας συνεχούς τάσης σε συνεχή με διαφορετική τιμή (μικρότερη ή μεγαλύτερη) γίνεται ανάλογα με τις απαιτήσεις, συμβάλλοντας στη μείωση των απωλειών στη γραμμή της μεταφοράς από το χώρο παραγωγής στο χώρο κατανάλωσης.

Στο χώρο των Φ/β πλαισίων έχουμε σύνδεση των συλλεκτών σε σειρά ή παράλληλα, ώστε η ηλεκτρική ενέργεια να μεταφέρεται, με όσο επιτρέπεται, υψηλή τάση για να έχουμε χαμηλό ρεύμα στη γραμμή μεταφοράς και επομένως χαμηλές απώλειες.

Στο χώρο της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας ο μετατροπέας DC-DC, προσαρμόζει την τάση των Φ/β πλαισίων ή της Φ/β συστοιχίας στην τάση του συσσωρευτή, ώστε να υπάρχει πλήρη εκμετάλλευση της ενέργειας και επιπλέον να μην έχουμε συνθήκες υπέρτασης του συσσωρευτή. Τα συστήματα αυτά παρουσιάζουν απόδοση περίπου 90%. Στη διάταξη ενσωματώνεται μικροελεγκτής, ο οποίος, ελέγχει συνεχώς και επιβάλλει την προσαρμογή του σημείου λειτουργίας του συστήματος, που παράγει την ηλεκτρική ενέργεια, με το σημείο μέγιστης ισχύος, που καθορίζεται από τις συνθήκες φωτισμού και θερμοκρασίας περιβάλλοντος.

5.15 Μετατροπείς DC-AC (Inverter)

Η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (D.C) σε εναλλασσόμενο (A.C) γίνεται πλέον με μία καθαρά ηλεκτρονική διάταξη, τον ηλεκτρονικό μετατροπέα DC-AC. Ο Inverter είναι η ηλεκτρονική διάταξη ισχύος που μετατρέπει συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη (μονοφασική ή τριφασική).

Χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που διαθέτουμε πηγή συνεχούς ρεύματος και λόγω της επικράτησης του εναλλασσόμενου ρεύματος, σε πάρα πολλές εφαρμογές, πρέπει να γίνει μετατροπή.

Η πιο συνηθισμένη περίπτωση μετατροπής είναι η παραγόμενη από τα Φ/β συστήματα συνεχής τάση για οικιακή ή βιομηχανική χρήση.

5.16 Μετατροπείς DC-AC δικτύου

Κατασκευάζονται σε διάφορα μεγέθη και καλύπτουν μία μεγάλη κατηγορία εφαρμογών. Είναι κατάλληλοι για οικιακές ή βιομηχανικές εφαρμογές και καλύπτουν τις ανάγκες των Φ/β συστημάτων μικρής, μεσαίας ή μεγάλης ισχύος.

- α) Είναι εύκολοι στην εγκατάσταση (μειωμένες σχετικά δαπάνες εγκατάστασης).
- β) Είναι κατάλληλοι και για εσωτερική και εξωτερική εγκατάσταση.
- γ) Φέρουν ειδική αδιάβροχη διάταξη για τη σύνδεση με το συνεχές και εναλλασσόμενο ρεύμα.
- δ) Έχουν προστασία από υπέρταση και υπερένταση.
- ε) Έχουν δυνατότητα για «διάγνωση» και επικοινωνία ενσύρματα ή ασύρματα.
- στ) Καλύπτουν ένα εκτεταμένο πεδίο λειτουργίας από -25°C μέχρι 60°C .

5.17 Μετατροπείς DC-AC, μέσης ισχύος χαμηλής τάσης, τριφασικοί, Μετατροπέας DC-AC μεγάλης ισχύος μέσης τάσης

5.17.1 Μετατροπείς DC-AC, μέσης ισχύος χαμηλής τάσης, τριφασικοί

Δυνατότητα σύνδεσης των συσκευών σε δίκτυο χαμηλής τάσης. Φέρουν ηλεκτρομαγνητικό διακόπτη ζεύξης - απόζευξης πεδίο DC με ηλεκτρικό servo κινητήρα.

Έχουν προστασία υπέρτασης και κρουστικών τάσεων εντάσεων πεδίο DC και AC.

Έχουν διάταξη διόρθωσης αέργου ισχύος.

Έχουν τη δυνατότητα ελέγχου της εγκατάστασης και αξιολόγησης των στοιχείων.

Έχουν πεδίο τάσης εισαγωγής και επιλογής από 300 V DC μέχρι 600V DC.

Στην έξοδό τους μας δίνουν τριφασική τάση χαμηλής τιμής 3x400 V και συχνότητα 50Hz.

5.17.2 Μετατροπέας DC-AC μεγάλης ισχύος μέσης τάσης

- α) Έχουμε αύξηση της απόδοσης παραγωγής και μείωση κόστους λόγω άμεσης σύνδεσης σε μέση τάση.
- β) Φέρει M/I, M/T και κάλυμμα για υπαίθρια εγκατάσταση.
- γ) Φέρει ηλεκτρομαγνητική διακοπή ισχύος πεδίου DC με ηλεκτροκινητήρες servo.
- δ) Έχει προστασία υπέρτασης σε συνεχές και εναλλασσόμενο πεδίο.
- ε) Έχει διάταξη διόρθωσης αέργου ισχύος.
- στ) Έχει δυνατότητα ελέγχου των εγκαταστάσεων και αξιολόγησης στοιχείων.
- ζ) Αύξηση της αποδοτικότητας της εγκατάστασης από 1,5 μέχρι 2,0% σε σχέση με εγκαταστάσεις με μετασχηματιστή χαμηλής τάσης.
- η) Μπορεί να κατασκευασθεί και χωρίς κάλυμμα για εσωτερική εγκατάσταση.

5.18 Μετατροπέας DC-AC συσσωρευτών

Κατασκευάζονται ως αυτόνομες ηλεκτρονικές διατάξεις που μπορεί να συνδέονται με ρυθμιστές φόρτισης, Φ/Β πλαίσια, συσσωρευτές και φορτιστές.



Σύντομες ερωτήσεις ανατροφοδότησης / αυτοαξιολόγησης

1. Τι ορίζεται τάση εκφόρτισης ενός συσσωρευτή;
2. Τι ορίζεται ρεύμα εκφόρτισης ενός συσσωρευτή;
3. Σε ποιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται ο μετατροπέας DC-AC (Inverter);



Ανακεφαλαίωση

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάστηκε μια ανάλυση των τύπων συσσωρευτών όσον αφορά τους συσσωρευτές μολύβδου, καθώς επίσης και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια του κεφαλαίου έγινε αναφορά στη συνδεσμολογία συσσωρευτών, στην τοποθέτηση των συσσωρευτών στο χώρο του ηλεκτροστασίου, καθώς επίσης και των τεχνικών χαρακτηριστικών συσσωρευτών του εμπορίου. Η διαχείριση της ενέργειας που παράγουν τα Φ/Β συστήματα απαιτεί τη χρήση ηλεκτρονικών διατάξεων κατάλληλων για τη βελτιστοποίηση της αποθήκευσης, της μεταφοράς και της προστασίας του συστήματος και ειδικά των συσσωρευτών από υπερφόρτιση ή από υπερεκφόρτιση. Επίσης, έγινε αναφορά στους τύπους ελεγκτών και ρυθμιστών φόρτισης του εμπορίου από την απλή τους μορφή μέχρι την πιο σύνθετη.

ΜΕΛΕΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

❖ Η συγκεκριμένη μελέτη παρατίθεται στο Παράρτημα και αποτελεί μελέτη περίπτωσης

6.1 Εισαγωγικές παρατηρήσεις



Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει μελέτη μικρού μεγέθους φωτοβολταϊκού συστήματος ισχύος 21KW. Επίσης θα αναλυθεί εργαστηριακή εφαρμογή με τίτλο «εξοικείωση με τη λειτουργία πειραματικής φωτοβολταϊκής μονάδας».

6.2 Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα:



Να κατανοηθούν τα στάδια και οι υπολογισμοί για τη μελέτη φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων καθώς επίσης και η εξοικείωση με τη λειτουργία πειραματικής φωτοβολταϊκής μονάδας.

6.3 Έννοιες – κλειδιά / βασική ορολογία



Μελέτη, Φωτοβολταϊκή Εγκατάσταση

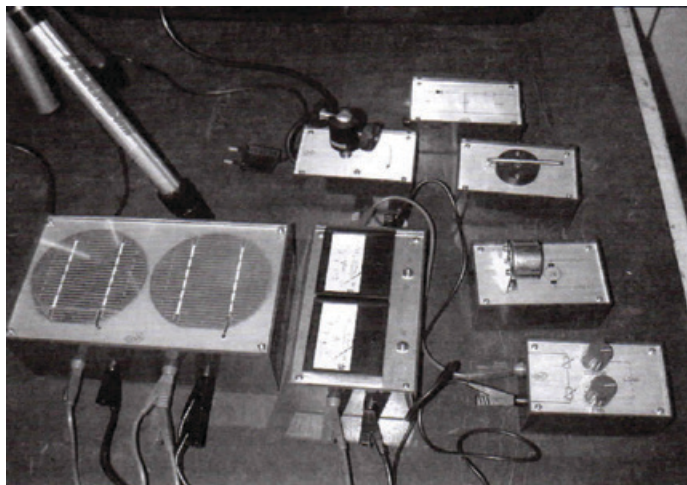
6.1 (Εργαστηριακή εφαρμογή) Φωτοβολταϊκή παραγωγή ενέργειας

6.1.1 Σκοπός Εργαστηριακής Εφαρμογής

Σκοπός της παρούσας εργαστηριακής εφαρμογής είναι η εξοικείωση με τη λειτουργία πειραματικής φ/β μονάδας. Στο πλαίσιο αυτό, επιχειρείται η μέτρηση και η επεξεργασία των χαρακτηριστικών τιμών των φ/β στοιχείων κατά τη διάρκεια λειτουργίας τους σε πειραματικό ηλεκτρικό κύκλωμα. Οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται αναλύονται με σκοπό να εκτιμηθεί η ωφέλιμη ισχύς και ο βαθμός απόδοσης των φ/β. Ακολούθως επιχειρείται σύγκριση πειραματικών και θεωρητικών τιμών των χαρακτηριστικών παραμέτρων των φ/β, για διάφορες επιλεγμένες τιμές έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Επιπλέον, η πειραματική διάταξη περιλαμβάνει την αξιολόγηση της συμπεριφοράς φ/β στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά και παράλληλα με στόχο τον προσδιορισμό της χαρακτηριστικής καμπύλης λειτουργίας κάθε συνδεσμολογίας και τη σύγκρισή της με την αντίστοιχη θεωρητική.

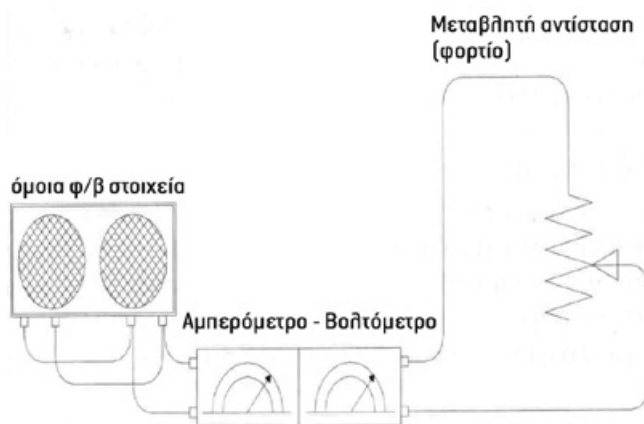
6.1.2 Πειραματικές συσκευές

Α. Φ/Β Διάταξη

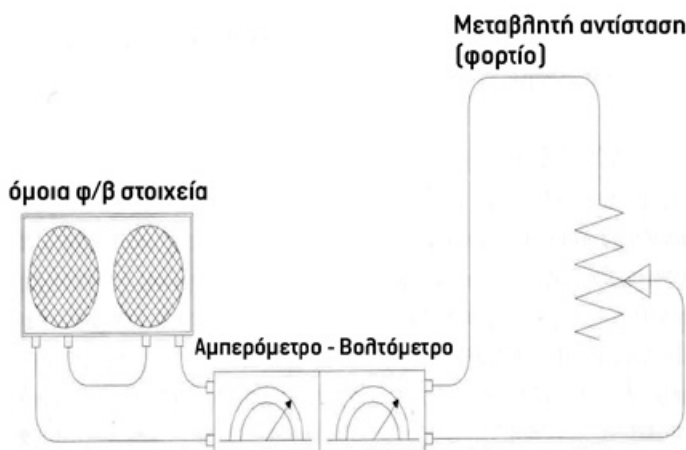


Σχήμα 1 Πειραματική διάταξη φ/β στοιχείων.

Η διαθέσιμη εργαστηριακή διάταξη αποτελείται από επιμέρους φ/β στοιχεία, τα απαραίτητα καλώδια σύνδεσης και ορισμένα στοιχειώδη φορτία κατανάλωσης. Με τη χρήση της εν λόγω διάταξης είναι δυνατή η δημιουργία ικανού αριθμού συνδεσμολογιών για την εκτέλεση των απαραίτητων πειραματικών μετρήσεων. Τα κυριότερα τμήματα της διάταξης είναι ένα απλό κυκλικό φ/β στοιχείο διαμέτρου 9 cm, καθώς και δυο μικρότερα φ/β στοιχεία με σχήμα επιφάνειας ημικυκλικό, η τεταρτημόριο και εμβασδόν ίσο με 40 cm και 20 cm αντίστοιχα. Επιπλέον, διατίθεται συσκευή που διαθέτει ενσωματωμένα δύο όμοια κυκλικά φ/β στοιχεία, ίδιας διαμέτρου 9 cm, τα οποία έχουν τη δυνατότητα σύνδεσης είτε παράλληλα είτε σε σειρά σύμφωνα με τα Σχήματα 2 και 3. Οι λειτουργικές παράμετροι I και U των υπό μελέτη συνδεσμολογιών καταγράφονται με τη βοήθεια ανεξάρτητου βολτομέτρου και αμπερομέτρου, τα οποία συνδέονται μέσω εσωτερικού κυκλώματος παράλληλα και σε σειρά των φ/β στοιχείων αντίστοιχα.



Σχήμα 2 Σύνδεση φ/β στοιχείων παράλληλα.



Σχήμα 3 Σύνδεση φ/β στοιχείων σε σειρά.

Β) Πυρανόμετρο

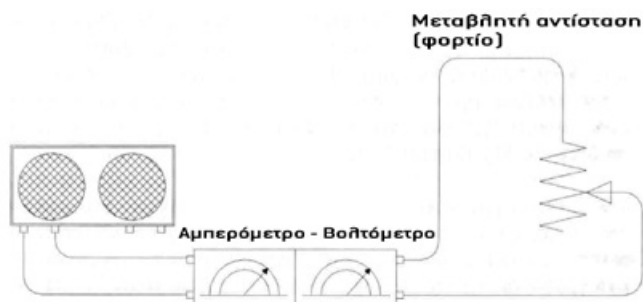
Το πυρανόμετρο, που χρησιμοποιείται για τις εργαστηριακές μετρήσεις, αποτελείται από μια θερμοστήλη με ζεύγη συγκολλήσεων χαλκού - νικελίου, με οπτικό πεδίο 180° . Η θερμότητα που αναπτύσσεται *πάνω* στον αισθητήρα του πυρανόμετρου μετατρέπεται σε ένταση ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2), μέσω ενός ψηφιακού μετρητή ισχύος. Το πυρανόμετρο είναι προσαρμοσμένο πάνω σε μια επίπεδη βάση με μεταβαλλόμενη κλίση από 0° έως 90° μοίρες, ανά 15° μοίρες. Το εν λόγω όργανο μετρά την ένταση της ολικής ακτινοβολίας, ενώ παράλληλα δίνεται η δυνατότητα μέτρησης της διάχυτης ακτινοβολίας με κατάλληλη σκίαση του αισθητήρα.

Γ) Πηγή ακτινοβολίας

Κατά την εκτέλεση του πειράματος και την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων απαιτείται ο έλεγχος της έντασης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας πάνω στην επιφάνεια του φ/β. Δεδομένου ότι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μεταβάλλεται συνεχώς, οπότε και δεν μπορεί να ελεγχθεί απόλυτα η προσπίπτουσα ακτινοβολία, επιλέγεται τεχνητή πηγή ακτινοβολίας. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιείται ειδικός ηλεκτρικός λαμπτήρας μεγάλης ισχύος (Watt), ο οποίος και τοποθετείται σε ελεγχόμενη απόσταση με τη βοήθεια ορθοστάτη πάνω από τη φ/β επιφάνεια κατά τη διάρκεια του πειράματος.

6.1.3 Πειραματική διαδικασία

- Δημιουργείται ηλεκτρικό κύκλωμα το οποίο περιλαμβάνει τα πειραματικά φωτοβολταϊκά στοιχεία, ένα αμπερόμετρο και μια μεταβλητή αντίσταση, συνδεδεμένα εν σειρά. Επίσης, για τη μέτρηση της τάσης του φ/β στοιχείου χρησιμοποιείται βολτόμετρο συνδεδεμένο παράλληλα. Το φωτοβολταϊκό στοιχείο εκτίθεται σε ακτινοβολία από «ελεγχόμενη» εξωτερική πηγή, π.χ. λαμπτήρας μεγάλης ισχύος ή ηλιακή ακτινοβολία. Η πειραματική διάταξη [Σχήμα 1] παρουσιάζεται στο Σχήμα 4 που ακολουθεί.



Σχήμα 4 Ηλεκτρικό κύκλωμα με ένα φ/β στοιχείο.

- Με τη βοήθεια πυρανομέτρου μετράται η ένταση της ολικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από τη φωτεινή πηγή (λαμπτήρας) στο οριζόντιο επίπεδο.
- Κατά την έναρξη των πειραματικών μετρήσεων το φωτοβολταϊκό στοιχείο εκτίθεται σε φυσική ηλιακή ακτινοβολία με κατάλληλη (ανά εποχή) κλίση «β» ώστε να εξασφαλίζεται η κατά το δυνατόν καθετότητα αυτής στην επιφάνειά του. Μεταβάλλοντας την αντίσταση του κυκλώματος καταγράφονται ορισμένες τιμές (π.χ. 10) τάσης και έντασης του συστήματος, Πίνακας 1.
- Στη συνέχεια τοποθετείται η φ/β εγκατάσταση σε εσωτερικό χώρο και σε οριζόντια θέση. Σε κατάλληλη απόσταση «χ» εκατοστών (π.χ. $x=10\text{cm}$) πάνω και κάθετα από το φ/β στοιχείο εγκαθίσταται η διαθέσιμη φωτεινή πηγή με στόχο την επίτευξη της ίδιας έντασης ακτινοβολίας με αυτή του ηλιακού φωτός. Μεταβάλλοντας την αντίσταση καταγράφονται στον Πίνακα 1 ορισμένες τιμές (π.χ. 10) της τάσης «U» και της έντασης «I» του συστήματος.

Πειραματική Διάταξη με Ένα Φωτοβολταϊκό Στοιχείο $G = \text{W/m}^2$									
α/α									
Ηλιακό φως									
Ένταση (A)									
Τάση(V)									
Τεχνητό φως									
Ένταση (A)									
Τάση(V)									

Πίνακας 1

- Στη συνέχεια συνδέεται εν σειρά στο κύκλωμα ένα δεύτερο όμοιο φωτοβολταϊκό στοιχείο, Σχήμα 3. Κάνοντας χρήση της πηγής τεχνητού φωτισμού επαναλαμβάνονται οι ίδιες μετρήσεις. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων μεταβάλλεται η αντίσταση φορτίου και καταγράφονται οι τιμές τάσης «U» και έντασης ρεύματος «I» της συνδεσμολογίας, Πίνακας 2.

Πειραματική Διάταξη με Δύο Φωτοβολταϊκά Στοιχεία εν Σειρά, $G = W/m^2$									
α/α									
Ένταση (A)									
Τάση (V)									

Πίνακας 2

- Ακολουθώντας, αποσυναρμολογείται η προηγούμενη διάταξη και συνδέεται στο αρχικό κύκλωμα εν παραλλήλω δεύτερο όμοιο φωτοβολταϊκό στοιχείο, Σχήμα 2. Επαναλαμβάνονται οι μετρήσεις μεταβάλλοντας την αντίσταση του φορτίου και καταγράφοντας τις τιμές τάσης «U» και έντασης ρεύματος «I» της εν παραλλήλω συνδεσμολογίας, Πίνακας 3.

Πειραματική Διάταξη με Δύο Φωτοβολταϊκά Στοιχεία εν Παραλλήλω, $G = W/m^2$									
α/α									
Ένταση (A)									
Τάση (V)									

Πίνακας 3

- Τέλος, στο αρχικό κύκλωμα τοποθετείται φωτοβολταϊκό στοιχείο ενός τεταρτημορίου ή ενός ημικύκλιου. Επαναλαμβάνονται αντίστοιχες μετρήσεις μεταβάλλοντας την αντίσταση του φορτίου και καταγράφοντας τις τιμές τάσης «U» και έντασης ρεύματος «I», Πίνακας 4.

Πειραματική Διάταξη με Φ/Β Στοιχείο Τεταρτημορίου ή Ημικύκλιου $G = W/m^2$									
α/α									
Ένταση (A)									
Τάση (V)									

Πίνακας 4

- Για την εκτέλεση της δεύτερης σειράς μετρήσεων επαναλαμβάνεται η αρχική διάταξη (ένα φ/β στοιχείο) και αυξάνεται κατά σταθερή Δx ποσότητα (π.χ. πέντε εκατοστά) η απόσταση της φωτεινής πηγής από το φωτοβολταϊκό στοιχείο. Με τη βοήθεια του πυρανομέτρου μετράται σε κάθε περίπτωση η αντίστοιχη τιμή της έντασης της ακτινοβολίας του λαμπτήρα. Μεταβάλλοντας πάλι την αντίσταση φορτίου καταγράφονται οι προκύπτουσες τιμές της τάσης U και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος I του κυκλώματος.
- Η παραπάνω διαδικασία εκτελείται πέντε (5) τουλάχιστον φορές, αυξάνοντας κάθε φορά κατά Δx την απόσταση λαμπτήρα και φ/β στοιχείου, ώστε να είναι δυνατή η αξιολόγηση της συμπεριφοράς του φ/β για διαφορετικές τιμές έντασης της προ-

σπίπτουσας ακτινοβολίας. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συγκεντρώνονται στον Πίνακα 5.

Ένα Φωτοβολταϊκό Στοιχείο και Ένταση Φωτός $G = [W/m^2]$										
α/α										
Ένταση (A)										
Τάση (V)										

Πίνακας 5

6.1.4 Μεθοδολογία ανάλυσης

Από τις μετρήσεις που γίνονται στη διάρκεια του πειράματος επιχειρείται ο σχεδιασμός των καμπυλών (I-U) (N-U) και (η-U), για κάθε χρησιμοποιούμενο συνδυασμό των φ/β στοιχείων. Συγκεκριμένα ακολουθούνται τα εξής βήματα:

- Σχεδιάζονται οι καμπύλες (I-U), (N-U) και (η-U), για το μεμονωμένο φ/β στοιχείο υπό σταθερή ένταση προσπίπτουσας ακτινοβολίας και δεδομένη θερμοκρασία πλαισίων. Από τα διαγράμματα εκτιμάται η τάση « U_{mp} » και η ένταση « I_{mp} », που αντιστοιχούν στη μέγιστη ισχύ « N_{max} » του φ/β στοιχείου. Στη συνέχεια υπολογίζεται η αντίσταση φορτίου « R_{mp} », που αντιστοιχεί στο σημείο αυτό.
- Για τη σύνδεση των φ/β στοιχείων εν σειρά και εν παραλλήλω προσδιορίζονται οι προκύπτουσες καμπύλες (I-U), (N-U) και (η-U) των συνδεσμολογιών, βάσει των πειραματικών τιμών που μετρήθηκαν. Στη συνέχεια σχεδιάζονται και οι αντίστοιχες «θεωρητικές» καμπύλες (I-U) (N-U) και (η-U).

ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ - ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ



Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει ανάλυση των ανεμογεννητριών καθώς επίσης και η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα την κατάλληλη επιλογή της θέσης εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας.



Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα:

Να κατανοήσει τα μέρη από τα οποία αποτελείται μια ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα, τον τύπο από τον οποίο υπολογίζεται η ισχύς του ανέμου ορισμένης ταχύτητας, το βασικότερο κριτήριο για την επιτυχημένη επιλογή της θέσης εγκατάστασης ανεμογεννητριών καθώς επίσης και τις χαρακτηριστικές του ανέμου για την εκτίμηση της κατάλληλης θέσης.

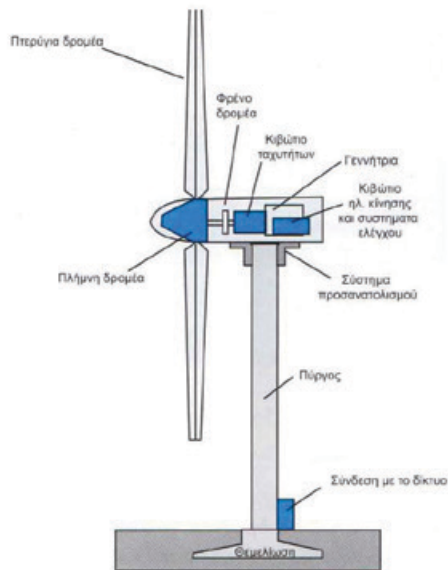


Έννοιες – κλειδιά / βασική ορολογία

Ανεμογεννήτρια, Δρομέας, Σύστημα πέδησης, Ισχύς, Αιολικού δυναμικό, Ταχύτητα του ανέμου.

1.1 Μέρη ανεμογεννητριών οριζώντιου άξονα

Τα μέρη από τα οποία αποτελείται μια ανεμογεννήτρια οριζώντιου άξονα φαίνονται στο Σχήμα 1



Σχήμα 1 Μέρη ανεμογεννήτριας οριζώντιου άξονα.

1. **Δρομέας.** Αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια (συνήθως από ενισχυμένο πολυεστέρα). Τα πτερύγια προσδένονται πάνω στην πλήμνη είτε σταθερά, είτε με τη δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από το διαμήκη άξονά της μεταβάλλοντας το βήμα.
Οι ανεμογεννήτριες με τρία πτερύγια (τρίπτερες), κατασκευάζονται και με ρότορες μικρών διαστάσεων και έχουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης ασθενούς αιολικού δυναμικού.
Οι ανεμογεννήτριες με δύο πτερύγια (δίπτερες), κατασκευάζονται με ρότορα από 10 μέτρα και πάνω και έχουν κόστος κατασκευής και συντήρησης μικρότερο από αυτό των τρίπτερων αντίστοιχου μεγέθους
2. **Σύστημα μετάδοσης της κίνησης.** Αποτελείται από τον κύριο άξονα περιστροφής, από τα έδρανα στήριξης και από το κιβώτιο προσαρμογής των στροφών
3. **Ηλεκτρική γεννήτρια.** Συνήθως είναι σύγχρονη με 2 έως και 10 ζεύγη πόλων και συνδέεται με τον άξονα του κιβωτίου προσαρμογής, μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού.
4. **Σύστημα πέδησης ή φρένο δρομέα.** Τοποθετείται στον κύριο άξονα ή στον άξονα της γεννήτριας και λειτουργεί όπως το συνηθισμένο δισκόφρενο.
5. **Σύστημα προστατολισμού.** Βρίσκεται στην κορυφή του πύργου στήριξης με την ανεμογεννήτρια να εδράζεται πάνω σ' αυτό. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας αναγκάζει τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται συνεχώς παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου.

6. **Πύργος στήριξης.** Στηρίζει όλη την αναγκαία ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Είναι μεταλλικής κατασκευής (σωληνωτός ή δικτυωτός) και σπάνια από οπλισμένο σκυρόδεμα.
7. **Ηλεκτρικός Ηλεκτρονικός πίνακας.** Τοποθετείται συνήθως στη βάση του πύργου και με τις κατάλληλες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές διατάξεις, παρακολουθεί, ελέγχει και συντονίζει με ασφάλεια όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας.
8. **Βάση στήριξης (θεμελίωση).** Η βάση κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα μέσα στο οποίο εγκιβωτίζεται ο κορμός του πύργου στήριξης.

1.2 Ισχύς ανεμογεννήτριας

Η ισχύς του ανέμου ορισμένης ταχύτητας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_{av} = \frac{1}{2} * \rho_a * A * V^3 \quad (1)$$

όπου

P_{av} = Ισχύς του ανέμου ή θεωρητική ισχύς σε KW.

ρ_a = πυκνότητα του αέρα σε Kg/m³.

A = Εμβαδόν του κύκλου που δημιουργείται από τη σάρωση των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας

σε m².

V = ταχύτητα του ανέμου σε m/sec.

Για τα επιμέρους μεγέθη θα έχουμε:

$$\rho_a = \frac{Pa}{Rg * Ta}$$

όπου

Pa = πίεση περιβάλλοντος σε Nt/m²

(1atm = 10⁵ Nt/m², 1atm = 750,058mmHg, 1 mmHg= 133,323Nt/m²)

Rg = σταθερά αερίων, που για τον αέρα λαμβάνεται ίση με 287 J/Kg·°K.

Ta = θερμοκρασία περιβάλλοντος σε °K.

($Ta = \theta_a + 273$)

$A = \pi D^2 / 4$, όπου D = διάμετρος πτερωτής ανεμογεννήτριας σε m ($D=2r$).

Στην πράξη, μια ανεμογεννήτρια δεν μπορεί να παραλάβει όλη την ισχύ που προκύπτει από τη σχέση (1), επειδή ο αέρας που θα περνούσε πίσω από τον έλικα δεν θα απομακρυνόταν και η κινητική ενέργεια στην έξοδο θα ήταν μηδενική.

Η μηχανική ισχύς που μπορεί να παραχθεί από την αιολική ενέργεια, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_{μηχ} = \frac{1}{2} * \rho_a * A * V^3 * C_p$$

όπου,

C_p = συντελεστής ισχύος, που σύμφωνα με το Νόμο του Γερμανού Albert Betz., μπορεί να πάρει τιμή μέχρι 0,593 (C_{pmax} 0,593).

Στην πράξη η τιμή του C_p λαμβάνεται συνήθως ίση με το 65% της τιμής του C_{pmax} .

Υπολογίζοντας τις μηχανικές απώλειες στους ανεμοκινητήρες στο 5% ($\eta_m = 0,95$) και τις ηλεκτρικές στο 2 μέχρι 5% ($\eta_H = 0,95$ μέχρι 0,98), η ηλεκτρική ισχύς που θα παραχθεί από τη γεννήτρια θα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_{\eta\lambda} = \frac{I}{2} * \rho\alpha * A * V^3 * C_p * \eta_H / m$$

όπου

$$\eta_H / m = \eta_H * \eta_m$$

1.3 Εκτίμηση του αιολικού δυναμικού - χαρακτηριστικές παράμετροι του ανέμου. Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα του ανέμου και τη διεύθυνσή του

1.1.1 Εκτίμηση του αιολικού δυναμικού

Η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής αποτελεί το βασικότερο κριτήριο για την επιτυχημένη επιλογή της θέσης εγκατάστασης των ανεμογεννητριών (Α/Γ). Τα ανεμολογικά στοιχεία που υπάρχουν για την υπό εξέταση περιοχή, μαζί με τυχόν μελέτες ή και εφαρμογές, υποδεικνύουν την αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού ως μία από τις πιο συμφέρουσες διαδικασίες υποκατάστασης συμβατικών ενεργειακών πηγών.

1.1.2 Χαρακτηριστικές παράμετροι του ανέμου

Η γνώση των χαρακτηριστικών του ανέμου είναι απαραίτητη στις μελέτες εκτίμησης της κατάλληλης θέσης.

α. Μέση ταχύτητα του ανέμου.

Είναι ένα ιδιαίτερα μεταβλητό μέγεθος με σημαντική εξάρτηση από τα χαρακτηριστικά του εδάφους.

β. Στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου.

Είναι το άθροισμα της μέσης ταχύτητας και της διακύμανσης γύρω από τη μέση τιμή.

γ. Μέγιστη ταχύτητα του ανέμου.

Με βάση τις μετρήσεις ανά ώρα καθορίζεται η μέγιστη ημερήσια ταχύτητα του ανέμου και στη συνέχεια η μέγιστη μηνιαία και τέλος η μέγιστη ετήσια ταχύτητα του ανέμου που θα πρέπει να μελετηθεί σε βάθος χρόνου τουλάχιστον μίας δεκαετίας.

δ. Ριπή του ανέμου.

Η ριπή συνήθως ξεπερνά τα 9 m/sec και διαφέρει από τα συνηθισμένα επίπεδα περίπου κατά 4-5 m/sec. Οι ριπές ανέμου καθορίζουν την κόπωση της μηχανής και αν διαρκέσουν περισσότερο από 30 sec, θα πρέπει ο μηχανισμός ασφαλείας να θέσει την Α/Γ εκτός λειτουργίας.

ε. Διεύθυνση του ανέμου

Ορίζεται από το σημείο του ορίζοντα από το οποίο φυσάει ο άνεμος σε σχέση με τη θέση την οποία μελετάμε. Η διεύθυνση του ανέμου εμφανίζει μικρότερες διακυμάνσεις από την ταχύτητα και εξαρτάται από τον προσανατολισμό της τοποθεσίας, τα χαρακτηριστικά του εδάφους και τη βλάστηση (βουνό, κοιλάδα, λόφος, κτίρια κ.λπ.).

στ. Τραχύτητα του εδάφους.

Η τραχύτητα εκφράζει το είδος του εδάφους. Η τραχύτητα εκφράζεται:

1. Από το μήκος τραχύτητας Z_0 .
2. Από την κλάση (κατηγορία τραχύτητας).

1.1.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα του ανέμου και τη διεύθυνσή του

Για την επιλογή της κατάλληλης θέσης εγκατάστασης της Α/Γ θα πρέπει εκτός από την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου να γνωρίζουμε:

- α) Τη μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου σε σχέση με το ύψος από το έδαφος.
- β) Τις αναταράξεις που επικρατούν στην περιοχή. Την τύρβη του ανέμου.
- γ) Το στροβιλισμό του ανέμου.

1. Επίδραση των επιφανειακών εμποδίων.

Τα εμποδία που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης (φυσικά ή τεχνητά) και εμποδίζουν την ελεύθερη κυκλοφορία του ανέμου, ονομάζονται επιφανειακά εμποδία.

2. Επίδραση της τραχύτητας του εδάφους.

Όταν σε μία περιοχή έχουμε αυξημένη τραχύτητα εδάφους η Α/Γ λειτουργεί σε έντονα μεταβαλλόμενο πεδίο ροής, λόγω της υψηλής τύρβης στην περιοχή, με αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης (περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό, λόγω της αυξημένης τραχύτητας του εδάφους, παρουσιάζουν απόδοση μέτρια).

3. Επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής.

Μεγάλη επίδραση στη συμπεριφορά του ανέμου έχει η μορφολογία του εδάφους.

Όταν σε μία περιοχή έχουμε λοφοσειρά με ύψος μέχρι 600 m, πλάτος τουλάχιστον δεκαπλάσιο του ύψους, και στρογγυλή κορυφή, θεωρούμε ότι ο άνεμος περνάει από επάνω και δεν την παρακάμπτει από τα πλάγια.

1.2 Μέτρηση και ανάλυση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής

Οι μετρήσεις αιολικού δυναμικού είναι το πλέον απαραίτητο στοιχείο για το σχεδιασμό και τον καλό προγραμματισμό λειτουργίας ενός αιολικού σταθμού.

Η εκτίμηση του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι πολύ ευαίσθητη στις διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου ενώ η επιλογή της θέσης μέτρησης απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό και εμπειρία. Συνήθως οι μετρήσεις περιλαμβάνουν την εγκατάσταση ενός μεταλλικού ιστού ύψους από 10 έως 60 m στον οποίο τοποθετούνται ένα ή περισσότερα ανεμόμετρα και ανεμοδείκτες. Οι μικρού ύψους ιστοί (έως 10 m) χρησιμοποιούνται συνήθως για τον εντοπισμό της καταλληλότερης θέσης μέτρησης. Όταν εντοπιστεί η θέση μέτρησης ο ιστός των 10 m μπορεί να αντικατασταθεί με έναν άλλο μεγαλύτερου ύψους για να πλησιάζουμε όσο το δυνατόν περισσότερο το ύψος λειτουργίας των ανεμογεννητριών που θα εγκατασταθούν. Οι μετρήσεις πρέπει να διαρκούν τουλάχιστον ένα έτος για να μπορέσουν να καλυφθούν όλες οι εποχιακές διακυμάνσεις που μπορεί να παρουσιάζονται σε μία συγκεκριμένη περιοχή.

1.3 Εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μια περιοχής από τα υπάρχοντα ανεμολογικά στοιχεία

Η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής μπορεί να γίνει όταν υπάρχουν ανεμολογικά στοιχεία (πειραματικά στοιχεία από μετρήσεις σε ετήσια βάση, και σε βάθος τουλάχιστον δεκαετίας, για τις ταχύτητες του ανέμου, τη συχνότητα εμφάνισης των ταχυτήτων, τη μέση ταχύτητα κ.λπ.), από μετρήσεις τοπικών σταθμών με ανεμογράφους, που συνήθως τοποθετούνται σε ύψος 10m από το έδαφος. Ο υπολογισμός της ηλεκτρικής ισχύος που θα παραχθεί από την ανεμογεννήτρια μπορεί να γίνει, αν λάβουμε υπόψη την καμπύλη ισχύος, που μας δίνει ο κατασκευαστής και τον πειραματικό υπολογισμό της συχνότητας εμφάνισης των ταχυτήτων. Ο προσδιορισμός της μέσης ετήσιας ισχύος γίνεται αν

πολλαπλασιάζουμε τις αντίστοιχες τιμές ισχύος για κάθε ταχύτητα, από την καμπύλη του κατασκευαστή, με τη συχνότητα εμφάνισης σε ετήσια βάση.



Σύντομες ερωτήσεις ανατροφοδότησης / αυτοαξιολόγησης

1. Ποια είναι τα μέρη ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα;
2. Ποιες είναι οι χαρακτηριστικές παράμετροι του ανέμου;
3. Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν την ταχύτητα του ανέμου και τη διεύθυνσή του;



Ανακεφαλαίωση

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας γίνεται με ειδικές μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Οι μηχανές αυτές ονομάζονται Ανεμογεννήτριες. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο έχει γίνει εκτενής ανάλυση των ανεμογεννητριών καθώς επίσης και η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα την κατάλληλη επιλογή της θέσης εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας. Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στην ονομαστική ισχύ της ανεμογεννήτριας.

ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

**Εισαγωγικές Παρατηρήσεις**

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα υπολογιστεί με μαθηματικό τρόπο η ονομαστική ισχύς της ανεμογεννήτριας, ο καθορισμός της ταχύτητας στην οποία η ΑΓ αρχίζει να λειτουργεί, καθώς και ο καθορισμός της ταχύτητας διακοπής της ανεμογεννήτριας.

**Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα:**

Να κατανοηθεί από ποιον τύπο και πώς καθορίζεται η ονομαστικής ισχύς της ανεμογεννήτριας, από ποιον τύπο και πώς καθορίζεται η ταχύτητα στην οποία η ανεμογεννήτρια αρχίζει να λειτουργεί, καθώς επίσης ο καθορισμός της ταχύτητας διακοπής λειτουργίας της ανεμογεννήτριας.

**Έννοιες κλειδιά / Βασική ορολογία**

Ονομαστική Ισχύς, Καθορισμός της ταχύτητας.

2.1 Καθορισμός της ονομαστικής ισχύος της Α/Γ

Η ονομαστική ισχύς P_{nom} της Α/Γ, υπολογίζεται από τη σχέση:

όπου:

$$P_n = \frac{1}{2} \rho_a * A * C_p * V^3 * n * \eta_m$$

ρ_a = πυκνότητα του αέρα σε Kg/m^3 .

C_p = συντελεστής ισχύος της Α/Γ (καθαρός αριθμός).

V_n = Ονομαστική ταχύτητα του ανέμου, που υπολογίζεται από τη σχέση $V_n = (1,5 \text{ έως } 1,9)$ του v_μ

και στην πράξη συνήθως λαμβάνεται $V_n = 1,8 v_\mu$.

n_m = μηχανικός βαθμός απόδοσης της Α/Γ που εξαρτάται από τις απώλειες κενού φορτίου, οι οποίες λαμβάνονται στο 10% περίπου της ονομαστικής ισχύος ($P_{κ\phi} = 10\% P_n = 0,1 P_n$).

$$\eta_m = \frac{P_n}{P_n + P_{K\phi}} \quad \text{και} \quad \eta_m = \frac{P_n}{P_n + 0,1 P_n} = 0,90$$

και P_m = ονομαστική ισχύς της Α/Γ σε W.

2.2 Καθορισμός της ταχύτητας στην οποία η Α/Μ αρχίζει να λειτουργεί

Η ταχύτητα έναρξης λειτουργίας της Α/Γ V_{mi} εξαρτάται από τις απώλειες κενού φορτίου και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_{K\phi} = \frac{1}{2} \rho_a * C_p * A * V^3 * m_i$$

οπότε

$$V_{mi} = \sqrt[3]{\frac{P_{K\phi}}{\frac{1}{2} \rho_a * C_p * A}}$$

$P_{K\phi} = 0,1 P_n$ θα έχουμε

$$V_{mi} = \sqrt[3]{\frac{0,2 P_n}{\rho_a * C_p * A}}$$

όπου,

ρ_a = πυκνότητα αέρα σε Kg/m^3 (συνήθως λαμβάνεται $\rho_a = 1,25 \text{ Kg/m}^3$).

C_p = συντελεστής ισχύος (συνήθως λαμβάνεται $C_p = 0,385$).

A = επιφάνεια σάρωσης της φτερωτής της Α/Γ σε m^2 .

P_n = Ονομαστική ισχύς της Α/Γ σε W.

V_{mj} = ταχύτητα έναρξης λειτουργίας σε m/sec .

2.3 Καθορισμός της ταχύτητας διακοπής της λειτουργίας της Α/Γ

Η ταχύτητα διακοπής της λειτουργίας της Α/Γ, V_{mo} , καθορίζεται για το ύψος αναφοράς των 10m και κυμαίνεται από 22 μέχρι 25 m/sec.

Οι κατασκευαστές στα χαρακτηριστικά στοιχεία της Α/Γ μας δίνουν την ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας, την ταχύτητα έναρξης λειτουργίας και την ταχύτητα διακοπής. Στην πράξη για Α/Γ μέσης ισχύος, συνήθως έχουμε:

- α) Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας 3-5 m/sec.
- β) Ταχύτητα διακοπής λειτουργίας 20-25 m/sec.
- γ) Ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας 12-15 m/sec.



Σύντομες ερωτήσεις ανατροφοδότησης / αυτοαξιολόγησης

1. Πώς γίνεται ο καθορισμός της ταχύτητας διακοπής της λειτουργίας της Α/Γ;
2. Ποια είναι η μαθηματική σχέση για τον υπολογισμό της ονομαστικής ισχύος της Α/Γ;



Ανακεφαλαίωση

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο έχει υπολογιστεί με μαθηματικό τρόπο η ονομαστική ισχύς της ανεμογεννήτριας, έχει υπολογιστεί η ταχύτητα στην οποία η Α/Μ αρχίζει να λειτουργεί, καθώς επίσης και ο καθορισμός της ταχύτητας διακοπής της λειτουργίας της Α/Γ. Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά για τις ανεμογεννήτριες μικρής κλίμακας ισχύος από 100 W έως 30KW.

ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΜΙΚΡΗΣ ΚΛΙΜΑΚΑΣ

**Εισαγωγικές Παρατηρήσεις**

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά για τις ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος για ισχύ από 100 W μέχρι 30KW. Συγκεκριμένα, θα γίνει αναφορά στο δρομέα, στην ηλεκτρογεννήτρια, στο δισκόφρενο, στο σύστημα προσανεμισμού, στον πυλώνα και στο σύστημα λειτουργίας και ελέγχου. Επίσης, θα γίνει αναφορά στην καμπύλη ισχύος το οποίο είναι και το βασικότερο χαρακτηριστικό λειτουργίας της ανεμογεννήτριας

**Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα:**

Να κατανοήσει τον ορισμό της ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος τις υποκατηγορίες στις οποίες χωρίζονται ανάλογα με την ισχύ, καθώς επίσης και τις βασικές προϋποθέσεις για την εγκατάσταση αιολικού συστήματος μικρής ισχύος. Τέλος, τις περιοχές ταχυτήτων λειτουργίας της ανεμογεννήτριας.

**Έννοιες κλειδιά / Βασική ορολογία**

Ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος, Αιολικά συστήματα.

3.1 Ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος - Βασικές προϋποθέσεις για την εγκατάσταση αιολικού συστήματος μικρής ισχύος

3.1.1 Ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος

Οι μικρές ανεμογεννήτριες αναφέρονται σε αιολικά συστήματα τα οποία έχουν ονομαστική ισχύ έως 10kW. Οι ανεμογεννήτριες αυτές έχουν διάμετρο δρομέα από 0,58 m έως 8 m και τοποθετούνται συνήθως σε πύργους με ύψος που κυμαίνεται από 10 m έως τα 40 m. Οι μικρές Α/Γ χωρίζονται σε τρεις υποκατηγορίες ανάλογα με την ονομαστική ισχύ εξόδου τους, οι οποίες είναι:

1. Micro wind turbines με ονομαστική ισχύ $50 \leq N \leq 1 \text{ kW}$
2. Mid-range wind turbines με ονομαστική ισχύ $1 \text{ kW} \leq N \leq 5 \text{ kW}$
3. Mini wind turbines με ονομαστική ισχύ $5 \text{ kW} \leq N \leq 10 \text{ kW}$

Τα βασικότερα μέρη μιας ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος είναι ο δρομέας, η ηλεκτρογεννήτρια, το δισκόφρενο, το σύστημα προσανεμισμού, ο πυλώνας και το σύστημα λειτουργίας και ελέγχου.

Το βασικότερο χαρακτηριστικό της λειτουργίας μίας ανεμογεννήτριας μικρού μεγέθους είναι η καμπύλη ισχύος, την οποία ο κατασκευαστής μας δίνει μαζί με τα υπόλοιπα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά, που είναι:

- α) Η ονομαστική ισχύς σε W ή KW.
- β) Η ταχύτητα εκκίνησης της ανεμογεννήτριας σε m/sec.
- γ) Η ταχύτητα στην οποία έχουμε την ονομαστική ισχύ σε m/sec.
- δ) Η μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας σε m/sec.
- ε) Η ονομαστική τάση.
- στ) Ο αριθμός των πτερυγίων.
- ζ) Η διάμετρος του ρότορα.
- η) Το ύψος του ιστού.
- θ) Το σύστημα λειτουργίας και ασφάλειας.

3.1.2 Βασικές προϋποθέσεις για την εγκατάσταση αιολικού συστήματος μικρής ισχύος

- α) Η σωστή εκτίμηση των κλιματολογικών συνθηκών της περιοχής που πρόκειται να γίνει η εγκατάσταση.
- β) Η σωστή επιλογή του τύπου και του μεγέθους της ανεμογεννήτριας, με βάση τα υπάρχοντα ή μετρούμενα ανεμολογικά στοιχεία. Θα πρέπει να γίνεται σύγκριση των στοιχείων των προδιαγραφών της Α/Γ με παραμέτρους όπως η μέση και η μέγιστη ταχύτητα του ανέμου, η ένταση του ανέμου, η τραχύτητα και τα χαρακτηριστικά του εδάφους.
- γ) Η σωστή επιλογή της θέσης τοποθέτησης της Α/Γ, με βάση τη μορφολογία του εδάφους και της γύρω περιοχής.
- δ) Ο σωστός υπολογισμός του πύργου (πυλώνα) εγκατάστασης της Α/Γ. Ο υπολογισμός θα πρέπει να γίνεται με βάση τα ακραία στατικά και κοπωτικά φορτία. Οι χαλύβδινοι πυλώνες να μελετηθούν και να κατασκευαστούν σύμφωνα με τα αναγνωρισμένα διεθνή πρότυπα. Οι χαλύβδινοι πυλώνες και τα συρματόσχοινα να προστατεύονται επαρκώς από τη διάβρωση.

- ε) Ο σωστός υπολογισμός της θεμελίωσης του πύργου (πυλών) της εγκατάστασης.
 στ) Αξιόπιστο σύστημα ελέγχου και ασφάλειας της λειτουργίας της Α/Γ. Το σύστημα αυτό θα πρέπει να καθορίζει με ακρίβεια τις συνθήκες κάτω από τις οποίες θα μπορεί να λειτουργεί ή να τίθεται εκτός λειτουργίας με ασφάλεια μία Α/Γ.

3.2 Μελέτη των χαρακτηριστικών στοιχείων των καμπυλών ισχύος και ενεργειακής παραγωγής

- α) Για την περιοχή ταχυτήτων 0-3,5 m/sec η Α/Γ δεν λειτουργεί και επομένως για το χρονικό διάστημα σε ώρες, σε ετήσια βάση, που έχουμε αυτή την περιοχή ταχυτήτων, η Α/Γ δεν μας παρέχει ηλεκτρική ενέργεια.
 β) Για ταχύτητα $V = 13,5 \text{ m/sec}$ η Α/Γ μας δίνει την ονομαστική ισχύ ($P_n = 5000 \text{ W}$) και όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό εμφάνισης, σε ετήσια βάση, της ονομαστικής ταχύτητας, τόσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής φορτίου της γεννήτριας.
 γ) Για την περιοχή ταχυτήτων 13,5-25 m/sec (25 m/sec είναι η ταχύτητα αποκοπής της Α/Γ), η Α/Γ μας δίνει ισχύ περίπου στο μέγεθος της ονομαστικής και όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό εμφάνισης, σε ετήσια βάση, αυτών των τιμών ταχύτητας του ανέμου, τόσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια που μας παρέχει η Α/Γ.
 δ) Για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες από 25 m/sec, η γεννήτρια για λόγους ασφαλείας (κίνδυνος από την αντοχή του δρομέα), δεν λειτουργεί και όσο μικρότερο είναι το ποσοστό εμφάνισης, σε ετήσια βάση, αυτών των τιμών ταχύτητας, τόσο μικρότερη είναι η καταπόνηση των μηχανικών μερών της Α/Γ.
 ε) Για ταχύτητες ανέμου, πολύ υψηλής τιμής ($V \geq 65 \text{ m/sec}$), υπάρχει κίνδυνος καταστροφής των μηχανικών μερών του ρότορα της Α/Γ.

3.3 Αιολικά συστήματα ανεμογεννητριών μικρής ισχύος

Τα συγκεκριμένα αιολικά συστήματα μπορούν να λειτουργήσουν:

- α) ως αυτόνομα.
 β) ως διασυνδεδεμένα με το δίκτυο χαμηλής τάσης.



Σύντομες ερωτήσεις ανατροφοδότησης / αυτοαξιολόγησης

1. Ποια είναι τα βασικότερα μέρη μίας ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος;
2. Ποιο είναι το βασικότερο χαρακτηριστικό της λειτουργίας μίας ανεμογεννήτριας μικρού μεγέθους;



Ανακεφαλαίωση

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο έγινε αναφορά στις ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος για ισχύ από 100 W μέχρι 30 KW. Συγκεκριμένα, έγινε αναφορά στο δρομέα, στην ηλεκτρογεννήτρια, στο δισκόφρενο, στο σύστημα προσανεμισμού, στον πυλώνα και στο σύστημα λειτουργίας και ελέγχου. Επίσης, αναφερθήκαμε στην καμπύλη ισχύος το οποίο είναι και το βασικότερο χαρακτηριστικό λειτουργίας της ανεμογεννήτριας.

ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ - ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ - ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ



Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναφερθούμε στα αυτόνομα αιολικά συστήματα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε απομονωμένες κατοικίες ή αγροικίες, σε τηλεπικοινωνιακούς σταθμούς, γεωτρήσεις, τροχόσπιτα καθώς επίσης και στα διασυνδεδεμένα αιολικά συστήματα με το δίκτυο χαμηλής τάσης. Επίσης, θα αναπτυχθούν τα υβριδικά συστήματα με ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος τα οποία τροφοδοτούν εγκαταστάσεις οι οποίες πρέπει να λειτουργούν αδιάλειπτα, αλλά βρίσκονται πολύ μακριά από το δίκτυο διανομής. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί ο συνδυασμός ΑΓ, ΦΒ συλλέκτη και ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους.



Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα:

Να κατανοήσει κάποιος πώς μπορούν να λειτουργήσουν τα αιολικά συστήματα ανεμογεννητριών μικρής ισχύος.



Έννοιες κλειδιά / Βασική ορολογία

Αυτόνομα Συστήματα, Διασυνδεδεμένα, Υβριδικά συστήματα.

4.1 Αυτόνομα αιοιικά συστήματα

Τα αυτόνομα αιοιικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε απομονωμένες κατοικίες ή αγροικίες, σε τηλεπικοινωνιακούς σταθμούς, σε γεωτρήσεις, σε κτηνοτροφικές μονάδες, τροχόσπιτα, αναμεταδότες κ.λπ.

Θα πρέπει να συνδέονται με συστοιχία συσσωρευτών, για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας που περισσεύει και να συνδέονται μέσω ειδικών μετατροπέων συσσωρευτών COMPACT με την κατανάλωση.

4.2 Διασυνδεδεμένα αιοιικά συστήματα

Τα διασυνδεδεμένα, με το δίκτυο χαμηλής τάσης, αιοιικά συστήματα, μπορούν μέσω ειδικού πίνακα ελέγχου και λειτουργίας να τροφοδοτούν με ηλεκτρική ενέργεια τις καταναλώσεις και να στέλνουν την ενέργεια που περισσεύει ή εξολοκλήρου στο δίκτυο χαμηλής τάσης, μέσω διπλού ψηφιακού μετρητή.

4.2.1 Διασυνδεδεμένα αιοιικά συστήματα με δυνατότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Η σύνδεση της ανεμογεννήτριας με το κεντρικό δίκτυο διανομής γίνεται μέσω ενός ειδικού πολυμορφικού σταθμού στον οποίο συνδέονται και οι συσσωρευτές αποθήκευσης. Το σύστημα αυτό αυξάνει το συντελεστή διαθεσιμότητας του συστήματος, έχει τη δυνατότητα να παρέχει ισχύ την περίοδο που η Α/Γ τίθεται εκτός λειτουργίας λόγω χαμηλής ή λόγω πολύ υψηλής ταχύτητας, έχει όμως πολύ αυξημένο κοστολόγιο λόγω των συσσωρευτών αποθήκευσης και της ειδικής πολυμορφικής μονάδας.

4.3 Υβριδικά συστήματα με ανεμογεννήτριες μικρής κλίμακας - Κατάταξη ανεμογεννητριών μικρής ισχύος

4.3.1 Υβριδικά συστήματα με ανεμογεννήτριες μικρής κλίμακας

Για εγκαταστάσεις που πρέπει να λειτουργούν αδιάλειπτα, αλλά βρίσκονται πολύ μακριά από το δίκτυο διανομής, έχουμε συνδυασμό ανεμογεννήτριας, Φ/Β συλλεκτών και ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους (Η/Ζ).

Σε ένα τέτοιο υβριδικό σύστημα η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τις επί μέρους μονάδες, ελέγχεται από μία κεντρική μονάδα (πολυμορφικός σταθμός μετατροπής ισχύος και αδιάλειπτης λειτουργίας) η οποία δίνει εντολή στην νηζελογεννήτρια να λειτουργήσει, όταν η παραγόμενη από τις άλλες μονάδες ή η αποθηκευμένη ενέργεια δεν επαρκεί.

4.3.2 Κατάταξη ανεμογεννητριών μικρής ισχύος

Ανάλογα με το εύρος της ισχύος οι ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες.

α) Κατηγορία 1^η με ισχύ από 0,1 μέχρι 1KW.

Βασικό χαρακτηριστικό αυτής της κατηγορίας είναι η παραγόμενη συνεχής τάση (12, 24, 48 V) και η σύνδεση με συσσωρευτές αποθήκευσης μέσω ενός μετατροπέα συσσωρευτών

β) Κατηγορία 2^η με ισχύ από 1 μέχρι 5KW.

Βασικό χαρακτηριστικό αυτής της κατηγορίας είναι η παραγόμενη μονοφασική τάση (1x230V/50Hz). Μπορούν να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια και στις καταναλώσεις αλλά και στο κεντρικό δίκτυο, όταν υπάρχει περίσσειμα ενέργειας.

γ) Κατηγορία 3η με ισχύ από 5 μέχρι 30 KW.

Βασικό χαρακτηριστικό αυτής της κατηγορίας είναι η παραγόμενη τριφασική τάση (3x400V/50Hz). Συνδέονται κατά κύριο λόγο με το κεντρικό δίκτυο διανομής μέσω ειδικών ηλεκτρονικών διατάξεων. Στον πίνακα ελέγχου και λειτουργίας της μονάδας, υπάρχουν μικροεπεξεργαστές μεγάλων υπολογιστικών δυνατοτήτων, παρέχοντας υψηλής πιστότητας ρυθμίσεις στα βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη της Α/Γ.



Σύντομες ερωτήσεις ανατροφοδότησης / αυτοαξιολόγησης

1. Ποιο σύστημα αυξάνει το συντελεστή διαθεσιμότητας του συστήματος;
2. Ποιος είναι ο συνδυασμός ενός υβριδικού συστήματος με ανεμογεννήτρια μικρής κλίμακας;



Ανακεφαλαίωση

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν τα αυτόνομα αιολικά συστήματα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε απομονωμένες κατοικίες ή αγροικίες, σε τηλεπικοινωνιακούς σταθμούς, γεωτρήσεις, τροχόσπιτα καθώς επίσης και στα διασυνδεδεμένα αιολικά συστήματα με το δίκτυο χαμηλής τάσης. Επίσης, έγινε αναφορά στα υβριδικά συστήματα με ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος τα οποία τροφοδοτούν εγκαταστάσεις οι οποίες πρέπει να λειτουργούν αδιάλειπτα, αλλά βρίσκονται πολύ μακριά από το δίκτυο διανομής. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ο συνδυασμός ανεμογεννήτριας, Φ/Β συλλέκτη και ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους. Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στις ανεμογεννήτριες μέσης και μεγάλης ισχύος

ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΜΕΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΓΑΛΗΣ ΙΣΧΥΟΣ**Εισαγωγικές Παρατηρήσεις**

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στις ανεμογεννήτριες μέσης ισχύος και συγκεκριμένα για ισχύ από 30 μέχρι 200 KW, καθώς επίσης και στις ανεμογεννήτριες μεγάλης ισχύος μέχρι 200 KW. Θα αναπτυχθούν οι προϋποθέσεις για την εγκατάσταση αιολικού συστήματος με ΑΓ μέσης και μεγάλης ισχύος καθώς επίσης η θεμελίωση της ανεμογεννήτριας, η τοποθέτησή της και η στήριξή της. Θα γίνει αναφορά στη διάταξη Α/Γ αιολικού πάρκου, όπως επίσης και στις μετρήσεις θορύβου. Τέλος, θα γίνει αναφορά και σε εργαστηριακή εφαρμογή η οποία αφορά τη μέτρηση αιολικού δυναμικού.

**Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα:**

Να κατανοήσετε, ανάλογα με το εύρος της ισχύος, σε πόσες κατηγορίες κατατάσσονται ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος, τότε μια ανεμογεννήτρια χαρακτηρίζεται μέσης και τότε μεγάλης ισχύος, τις βασικές προϋποθέσεις για την εγκατάσταση αιολικού συστήματος με Α/Γ μέσης η μεγάλης ισχύος, για ποιο λόγο γίνονται οι μετρήσεις στην πηγή του θορύβου της ανεμογεννήτριας. Επίσης, σκοπός της παρούσας εργαστηριακής εφαρμογής είναι η εξοικείωση με όργανα και τον τρόπο μέτρησης του αιολικού δυναμικού μιας τοποθεσίας, με σκοπό την αξιολόγηση της περιοχής ως προς τη δυνατότητα εγκατάστασης αιολικών μηχανών παραγωγής ενέργειας από άνεμο.

**Έννοιες κλειδιά / Βασική ορολογία**

Ανεμογεννήτριες μέσης, Μεγάλης ισχύος, Αιολικό Σύστημα.

5.1 Ανεμογεννήτριες μέσης και μεγάλης ισχύος

Οι ανεμογεννήτριες χαρακτηρίζονται μέσης ισχύος όταν κατασκευάζονται για ισχύ από 30 μέχρι 200 KW και μεγάλης όταν κατασκευάζονται πάνω από τα 200 KW.

Είναι συνήθως σύγχρονες, οριζοντίου άξονα και ανάλογα με τον αριθμό των πτερυγίων του ρότορα διακρίνονται σε: Μονόπτερες, Δίπτερες, Τρίπτερες.

Οι ανεμογεννήτριες μεγάλης ισχύος τοποθετούνται κατά κύριο λόγο σε αιολικά πάρκα, τα οποία αποτελούν την πιο οικονομική εφαρμογή αιολικής ενέργειας, λόγω σημαντικής μείωσης του κόστους κατασκευής και συντήρησης.

Επειδή η αιολική ενέργεια σε μία Α/Γ είναι ανάλογη του μήκους των πτερυγίων που θα χρησιμοποιηθούν, η τοποθέτηση μεγάλων Α/Γ βελτιώνει την εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού μίας περιοχής. Το κύριο κατασκευαστικό στοιχείο που καθορίζει το μέγεθος μιας Α/Γ είναι το εμβαδόν της φτερωτής ή διαφορετικά η επιφάνεια σάρωσης, καθώς απ' αυτό εξαρτάται η διαθέσιμη αιολική ενέργεια την οποία πρέπει να αξιοποιήσει η Α/Γ.

Η Α/Γ μεγάλης ισχύος τοποθετείται σε μεγάλο ύψος από το έδαφος στο οποίο η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη και επομένως και η ισχύς που παράγεται είναι αρκετά μεγαλύτερη.

5.2 Βασικές προϋποθέσεις για την εγκατάσταση αιολικού συστήματος με Α/Γ μέσης ή μεγάλης ισχύος

α) Επιλογή της θέσης εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας

Οι παράμετροι που καθορίζουν την επιλογή της θέσης εγκατάστασης των Α/Γ, είναι:

1. Το αιολικό δυναμικό.

Η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού γίνεται από στοιχεία που έχουμε:

- Από τυχόν αιολικούς χάρτες της περιοχής
- Από τους υφιστάμενους ανεμογράφους της περιοχής
- Από πιθανούς δείκτες εκτίμησης του αιολικού δυναμικού της περιοχής.

2. Η δυνατότητα πρόσβασης και τα απαιτούμενα έργα υποδομής.

3. Τα υφιστάμενα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή που εξετάζουμε.

Για τη μελέτη των υφιστάμενων δικτύων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να ζητηθούν στοιχεία από τη Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), όπως χάρτες και άλλα τεχνικά δεδομένα και αφού μελετηθούν προσεκτικά, θα πρέπει να γίνει:

- Προεκτίμηση της θέσης σύνδεσης της αιολικής εγκατάστασης (αιολικό πάρκο), με το υφιστάμενο δίκτυο μεταφοράς.
- Προεκτίμηση του τρόπου σύνδεσης, με το υφιστάμενο δίκτυο μεταφοράς.

4. Οι πιθανές εμπλοκές στη διαδικασία που απαιτείται για την αδειοδότηση της εγκατάστασης. Πρέπει να μελετηθούν προσεκτικά χάρτες της περιοχής που έχουν στοιχεία για αρχαιολογικούς χώρους, στρατιωτικές εγκαταστάσεις, τουριστικές εγκαταστάσεις κ.λπ.

5. Η ιδιοκτησία των εδαφικών εκτάσεων που απαιτούνται για την εγκατάσταση και η δυνατότητα χρήσης γης.

β) Ονομαστική ισχύς της ανεμογεννήτριας

Για τη σωστή επιλογή του τύπου και του μεγέθους των Α/Γ, θα πρέπει να γίνει σύγκριση των χαρακτηριστικών στοιχείων και της καμπύλης ισχύος με τα υπάρχοντα ή μετρούμενα

ανεμολογικά στοιχεία (μέση και μέγιστη ταχύτητα ανέμου, ένταση ανέμου, τραχύτητα και χαρακτηριστικά εδάφους).

γ) Πλήθος ανεμογεννητριών - Χωροθέτηση

Ο αριθμός των Α/Γ που θα τοποθετηθούν έχει σχέση με τη διαθέσιμη έκταση, στην οποία υπάρχουν ευνοϊκά σημεία εγκατάστασης, με τους περιορισμούς για την αποφυγή της σκιάς.

Η διαθέσιμη έκταση θα πρέπει να ανήκει μέσα σε περιοχή που πληροί τις ακόλουθες ιδιότητες:

1. Έχει επαρκές αιολικό δυναμικό, ώστε να έχουμε οικονομική βιωσιμότητα.
2. Έχει σταθερούς ανέμους σε θέσεις χωρίς εμπόδια (φυσικά ή τεχνητά).
3. Έχει ομογενή τοπογραφικά χαρακτηριστικά.

Για να προσδιορισθούν τα σημεία τοποθέτησης των Α/Γ, μέσα στη διαθέσιμη έκταση της ευρύτερης περιοχής, θα πρέπει:

- Να εξετάσουμε προσεκτικά τη διαθέσιμη έκταση, παίρνοντας υπόψη όλα τα στοιχεία που έχουμε.
- Να προσδιορίσουμε τις τοποθεσίες με τα υψηλότερα αιολικά δυναμικά μέσα στη διαθέσιμη έκταση.
- Να επιλέξουμε τα σημεία εγκατάστασης για κάθε τοποθεσία. Για κάθε σημείο τοποθέτησης θα πρέπει να καθορισθούν:
 1. Οι συντεταγμένες χ και ψ .
 2. Το υψόμετρο.
 3. Το ύψος του πύργου (πυλώνα) της Α/Γ.
 4. Η ταχύτητα του ανέμου για το ύψος του πύργου.

δ) Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

ε) Επιλογή του βασικού εξοπλισμού

Η επιλογή του βασικού εξοπλισμού γίνεται με βάση:

- Τη συνολική ονομαστική ισχύ των Α/Γ (ισχύς αιολικού πάρκου).
- Το μέγεθος των Α/Γ και τη δυνατότητα μεταφοράς και εγκατάστασης στα σημεία που έχουν καθορισθεί.
- Τις τεχνικές προδιαγραφές των Α/Γ και τη δυνατότητα εναρμόνισης με το δίκτυο.
- Τις οικονομικές προσφορές των εταιρειών για τις Α/Γ και τις πρόσθετες παροχές.

στ) Έργα υποδομής

Τα έργα υποδομής που απαιτούνται για την εγκατάσταση και λειτουργία των Α/Γ είναι:

- Οδοποιία.
- Πλατείες ανέγερσης Α/Γ.
- Θεμελίωση Α/Γ (βάσεις από οπλισμένο σκυρόδεμα).
- Κτίριο ελέγχου (κύριοι, βοηθητικοί και αποθηκευτικοί χώροι).

ζ) Ηλεκτρολογικά έργα

Τα ηλεκτρολογικά έργα που απαιτούνται για την εγκατάσταση και λειτουργία των Α/Γ είναι:

- Υποσταθμός χαμηλής τάσης /μέσης τάσης (Χ.Τ./Μ.Τ) για κάθε Α/Γ, που τοποθετείται δίπλα ή εσωτερικά στη βάση του πυλώνα.
- Υπόγειες γραμμές, μέσης τάσης (20 KV), από κάθε υποσταθμό της Α/Γ προς το κεντρικό υποσταθμό στο χώρο του κτιρίου ελέγχου.
- Κεντρικός υποσταθμός μέσης τάσης (20 KV) στο κτίριο ελέγχου.
- Τηλεπικοινωνίες και συστήματα τηλεπαρακολούθησης.
- Εναέρια γραμμή διασύνδεσης μέσης τάσης 20 KV (αφορά τη ΔΕΗ).

η) Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Οι βασικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις στις οποίες πρέπει να γίνει αναφορά είναι:

- Εκπομπές θορύβου.
- Επιδράσεις σε πουλιά.
- Ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

θ) Οικονομική ανάλυση

5.3 Θεμελίωση – Τοποθέτηση – Στήριξη Α/Γ

Για την τοποθέτηση των Α/Γ απαιτείται προσεκτική στατική μελέτη τόσο για την κατασκευή της θεμελίωσης όσο και για τη συνολική στήριξη.

Ακολουθούμε τα παρακάτω στάδια:

- α) Κατασκευή της θεμελίωσης.
- β) Ανύψωση του πύργου της Α/Γ.
Ο πύργος ανυψώνεται και τοποθετείται τμηματικά πάνω στα θεμέλια.
- γ) Τοποθέτηση ατράκτου.
Η άτρακτος ανυψώνεται και τοποθετείται στην κορυφή του πύργου.
- δ) Τοποθέτηση ρότορα.
Ο ρότορας (συνήθως δίπτερος ή τρίπτερος) συναρμολογείται στη βάση του πύργου και στη συνέχεια ανυψώνεται και συνδέεται με την άτρακτο.

5.4 Διάταξη Α/Γ αιολικού πάρκου

Η διάταξη των Α/Γ στο έδαφος (θέσεις και αποστάσεις) είναι συνάρτηση των χαρακτηριστικών σημείων με τα ευνοϊκότερα ανεμολογικά στοιχεία και του διαθέσιμου για την τοποθέτηση χώρου.

Στην πράξη, όταν υπάρχει διαθέσιμος χώρος και η περιοχή χαρακτηρίζεται από τα ίδια ανεμολογικά στοιχεία, τοποθετούμε τις Α/Γ σε απόσταση μεταξύ τους τουλάχιστον ίση με το δεκαπλάσιο της διαμέτρου του ρότορα ($l > 10D$).

Η απόσταση από τα άκρα του αιολικού πάρκου (όρια αιολικού πάρκου), για λόγους ασφαλείας και σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία για περιοχές εκτός της οικιστικής ζώνης, θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με τη διάμετρο του ρότορα ($l > D$).

5.5 Μέτρηση θορύβου στην Α/Γ

Οι μετρήσεις στην πηγή του θορύβου (ανεμογεννήτρια) γίνονται για να διαπιστωθούν τα επίπεδα του θορύβου που παράγονται από μία ανεμογεννήτρια νέου τύπου προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία πιστοποίησής της ή να επιβεβαιωθεί η εγγύηση ακουστικών εκπομπών τις οποίες δίνει ο κατασκευαστής και οι τιμές της οποίας χρησιμο-

ποιούνται για την πρόβλεψη των αναμενόμενων επιπέδων θορύβου στη γύρω περιοχή. Η διαδικασία αυτών των μετρήσεων περιλαμβάνει εκτός των ακουστικών, τη μέτρηση μετεωρολογικών μεγεθών (ταχύτητα, διεύθυνση ανέμου, θερμοκρασία, βαρομετρική πίεση) και μεγεθών της ανεμογεννήτριας (παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς, ταχύτητα περιστροφής ρότορα).

Η μέτρηση γίνεται σύμφωνα με τα πρότυπα:

- MEASNET: Acoustic Noise Measurement Procedure, Version 2, January 2005.
- IEC 61400-11: “Wind turbine generator systems - Part 11: Acoustic noise measurement techniques” (2nd edition, 12/2002).
- IEC 61400-11, 2002: Amendment 1(05/2006).

5.6 Μετρήσεις θορύβου στην Α/Γ στη θέση του αποδέκτη

Η μέτρηση του θορύβου της ανεμογεννήτριας στη θέση του αποδέκτη είναι μία διαδικασία η οποία επιτρέπει την καταγραφή των επιπέδων του θορύβου, που εκπέμπεται από μία ή περισσότερες ανεμογεννήτριες και γίνεται αντιληπτός σε μία συγκεκριμένη θέση στο περιβάλλοντα χώρο. Η διαδικασία αυτή γίνεται κυρίως για να ελεγχθεί αν ο θόρυβος που παράγεται από την ανεμογεννήτρια ή το πάρκο είναι εντός των αποδεκτών επιπέδων θορύβου, που ορίζονται από τη σχετική νομοθεσία.

Η μέτρηση της ηχοστάθμης του θορύβου, που εκπέμπεται από τη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας ή αιολικού πάρκου στη θέση του αποδέκτη, σχετίζεται με τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά του πνέοντος ανέμου στην περιοχή. Η μέτρηση γίνεται σύμφωνα με τα πρότυπα:

- ISO 1996-1: 2003, Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 1: Basic quantities and assessment procedures.
- ISO 1996-2: 2007, Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2: Determination of environmental noise levels.
- IEA Recommendations, part 10(1997), Recommended practices for wind turbine testing. Part 10: Measurement of noise immission from wind turbines at noise receptor locations.



Σύντομες ερωτήσεις ανατροφοδότησης / αυτοαξιολόγησης

1. Ποιες ανεμογεννήτριες χαρακτηρίζονται μέσης και ποιες μεγάλης ισχύος;
2. Για ποιο λόγο γίνονται οι μετρήσεις θορύβου στην ανεμογεννήτρια;



Ανακεφαλαίωση

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο έγινε αναφορά στις ανεμογεννήτριες μέσης ισχύος και συγκεκριμένα για ισχύ από 30 μέχρι 200 KW, καθώς επίσης και στις ανεμογεννήτριες μεγάλης ισχύος πάνω από 200 KW. Επίσης, έγινε αναφορά στην εγκατάσταση αιολικού συστήματος με Α/Γ μέσης και μεγάλης ισχύος, καθώς επίσης στη θεμελίωση της Α/Γ, στην τοποθέτησή της και στη στήριξή της. Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στην υδροηλεκτρική ενέργεια, και κυρίως στα μικρά υδροηλεκτρικά.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ: ΜΕΤΡΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

1.1 Σκοπός της εφαρμογής

Σκοπός της παρούσας εργαστηριακής εφαρμογής είναι η εξοικείωση με όργανα και τον τρόπο μέτρησης του αιολικού δυναμικού μιας τοποθεσίας, με σκοπό την αξιολόγηση της περιοχής ως προς τη δυνατότητα εγκατάστασης αιολικών μηχανών παραγωγής ενέργειας από άνεμο.

1.2 Περιγραφή του πειράματος - Πειραματικές συσκευές

A. Κυπελλοφόρο Ανεμόμετρο OSK 7106

Το εν λόγω κυπελλοφόρο ανεμόμετρο απεικονίζεται στο Σχήμα 1 και αποτελείται από τρία μεταλλικά κύπελλα τοποθετημένα με κατάλληλους βραχίονες στον κατακόρυφο άξονα του οργάνου. Ο διερχόμενος άνεμος εξασκεί δύναμη επί των κυπέλλων, η οποία μετατρέπεται σε στρεπτική ροπή και θέτει σε κίνηση τον κατακόρυφο άξονα του οργάνου. Ο άξονας αυτός καταλήγει σε μικρή ηλεκτρική γεννήτρια, με τελικό αποτέλεσμα να δημιουργείται ηλεκτρική τάση αντίστοιχη της ταχύτητας του ανέμου, η οποία και παρουσιάζεται στην οθόνη του οργάνου.

Παράλληλα, το όργανο έχει ενσωματωμένο ανεμοδείκτη, ο οποίος καταγράφει τη διεύθυνση του ανέμου μέσω μιας μεταβλητής αντίστασης. Η βάση του οργάνου διαθέτει κατάλληλες οπές για τη στερέωσή του μέσω τεσσάρων (4) κοχλιών στην επιθυμητή θέση.



Σχήμα 1

Οι ηλεκτρικές καταγραφές μεταφέρονται μέσω ειδικά προστατευμένου καλωδίου (20m, αδιάβροχο, εξαπολικό) στο καταγραφικό του συστήματος.

Τέλος, στη βάση του οργάνου υπάρχουν οι ενδείξεις «N» και «S» για το σωστό προσανατολισμό του οργάνου.

Το καταγραφικό του συστήματος είναι αναλογικού τύπου και το κάλυμμά του αποτελείται από κράμα αλουμινίου. Στην αριστερή οθόνη του καταγραφικού παρουσιάζεται η ταχύτητα του ανέμου σε m/sec ενώ διατίθενται δύο κλίμακες, χαμηλή (ταχύτητα ανέμου από 0-30 m/sec και διαβάθμιση κλίμακας 0,5 m/sec) και υψηλή (ταχύτητα ανέμου από 25-60 m/sec και διαβάθμιση κλίμακας 1,0 m/sec). Η δεξιά οθόνη καταγράφει τη διεύθυνση του ανέμου και παρουσιάζει 16 υποδιαίρεσεις.

B. Ψηφιακό Ανεμόμετρο DA-40/100

Η μετρητική κεφαλή του οργάνου στο Σχήμα 2 έχει διάμετρο 25 mm και έχει δυνατότητα μέτρησης της έντασης του ανέμου στην περιοχή « 35 m/sec.

Η ακρίβεια των μετρήσεων, σύμφωνα με τα στοιχεία του κατασκευαστή, εκτιμάται στα επίπεδα του 1%, ενώ η διακριτότητα του οργάνου είναι 0,001 m/sec. Η θερμοκρασία λειτουργίας του καταγραφικού κυμαίνεται μεταξύ των 0°C και 50°C, ενώ η μετρητική κεφαλή λειτουργεί σε περιοχή θερμοκρασίας μεταξύ -30°C και 100°C.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων απεικονίζονται με χρήση 4 ψηφίων σε οθόνη υγρών κρυστάλλων (LCD) 13 mm. Η παροχή βοηθητικής ηλεκτρικής ισχύος στο καταγραφικό γίνεται με τη χρήση 2x1.5 V αλκαλικών συσσωρευτών (AA). Κατά την έναρξη λειτουργίας αξιολογείται η εναπομείνουσα ζωή των συσσωρευτών, ενώ υπάρχει προειδοποιητική ένδειξη σε περίπτωση σοβαρής εκφόρτισης αυτών.

Η μετρητική κεφαλή προσαρμόζεται σε ειδικό ιστό (3-τεμάχια) που καταλήγει σε πρόσθετη ειδική εύκαμπτη βάση, με τελικό συνολικό ύψος 1 m.

Το υπό παρουσίαση (Σχήμα 2) ελικοφόρο ανεμόμετρο, πέραν των δυνατοτήτων ελέγχου ομαλής λειτουργίας του, παρέχει σημαντικό αριθμό μετρητικών δυνατοτήτων, όπως για παράδειγμα:

- Την παρουσίαση της μέγιστης (H) και ελάχιστης (L) τιμής της ταχύτητας του ανέμου για χρόνο μέτρησης 2 sec (H2,L2) και 16sec (H16,L16) από την έναρξη λειτουργίας του οργάνου.
- Την παρουσίαση της μετρημένης ταχύτητας του ανέμου ανά 2 sec ή ανά 16 sec. Στην τελευταία αυτή περίπτωση εμφανίζεται η ένδειξη «16s» και η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου αναπροσαρμόζεται κάθε 2 sec. Με την πίεση της επαφής «16sec» ο χρόνος προσδιορισμού της μέσης τιμής μηδενίζεται, ενώ οι προηγούμενες τιμές διαγράφονται.
- Τη δυνατότητα «παγώματος» των ενδείξεων του καταγραφικού με την επαφή της ένδειξης «HOLD/RESET». Για την επαναδραστικοποίηση του οργάνου απαιτείται εκ νέου η επαφή της ένδειξης «HOLD/RESET».

Τέλος, στην περίπτωση ένδειξης εκφόρτισης των συσσωρευτών (μέγιστη διάρκεια 300 περίπου ώρες λειτουργίας) απαιτείται η αντικατάσταση των μπαταριών καθώς οι παρεχόμενες ενδείξεις δεν είναι αξιόπιστες.

Ολοκληρώνοντας την παρουσίαση του ψηφιακού ελικοφόρου ανεμομέτρου DA-40/100, πρέπει να αναφερθεί ότι σύμφωνα με την κατασκευάστρια εταιρεία, η διεύθυνση του ανέμου δεν επηρεάζει την ακρίβεια του οργάνου, ωστόσο βάσει της εργαστηριακής

βαθμονόμησης του οργάνου συνιστάται ο προσανατολισμός του ειδικού βέλους, στην κορυφή της κεφαλής του μετρητικού στοιχείου, να κατευθύνεται προς τη διεύθυνση από την οποία έρχεται ο άνεμος.



Σχήμα 2

1.3 Πειραματική διαδικασία

- Ελέγχονται οι εξωτερικές καιρικές συνθήκες και καταγράφεται η θερμοκρασία, η πίεση και η υγρασία του περιβάλλοντος.
- Επιλέγεται η περιοχή μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου, έτσι ώστε να μην επηρεάζεται από τα τυχόν παρακείμενα εμπόδια. Κατά κανόνα οι μετρήσεις γίνονται σε ύψος 10 m από το έδαφος και 2 m από το ψηλότερο κτίριο της περιοχής.
- Ελέγχεται εάν η ένδειξη του οργάνου (κυπελλοφόρο ανεμόμετρο) που καταγράφει το μέτρο της ταχύτητας δείχνει μηδέν όταν αυτό είναι εκτός λειτουργίας (κατάσταση «OFF»). Σε αντίθετη περίπτωση, ρυθμίζεται το όργανο να δείχνει μηδέν με τον κατάλληλο κοχλία οδηγό.
- Καθορίζεται ο αληθής βορράς στην τοποθεσία μέτρησης με τη βοήθεια μαγνητικής πυξίδας (καθορίζει το μαγνητικό βορρά), της τοπικής απόκλισης βορρά και μαγνητικού βορρά (περίπου 10° για τη _ας) και των χαραγών «N» και «S», που βρίσκονται στη βάση οργάνου. Το όργανο προσανατολίζεται έτσι ώστε η διεύθυνση να συμπίπτει με τον αληθή βορρά, ενώ η αριστερή οθόνη του οργάνου θα πρέπει να δείχνει την ένδειξη «N».
- Για την έναρξη λειτουργίας του ελικοφόρου ανεμομέτρου απαιτείται η σύνδεση της μετρητικής κεφαλής με την καταγραφική συσκευή.
- Ακολούθως πιέζεται η επαφή «ON/OFF» οπότε και το όργανο εκτελεί έλεγχο καλής λειτουργίας, με έμφαση στο βαθμό φόρτισης των συσσωρευτών (χχ%) και τη σωστή ή όχι σύνδεση της μετρητικής κεφαλής στο καταγραφικό.
- Πιέζεται η επαφή «MPS/FPM» για την παρουσίαση των μετρήσεων σε m/s ή ft/min.
- Στη συνέχεια, πιέζοντας την επαφή «2 sec», καταγράφεται το μέτρο της ταχύτητας του ανέμου ανά 2 sec και εμφανίζεται στην ψηφιακή οθόνη του καταγραφικού.

- Αρχίζει η καταγραφή της έντασης του ανέμου με τη βοήθεια του κυπελλοφόρου ανεμόμετρου ανά τακτά χρονικά διαστήματα (π.χ. ανά 15 sec) και οι ενδείξεις γράφονται στον Πίνακα 1.
- Την ίδια χρονική στιγμή καταγράφεται και η διεύθυνση του ανέμου με τη βοήθεια του υπάρχοντος ανεμοδείκτη. Τα αποτελέσματα μεταφέρονται στην τέταρτη στήλη του Πίνακα 1.
- Παράλληλα χρησιμοποιείται το ελικοφόρο ανεμόμετρο, το οποίο κάθε φορά προσανεμίζεται με τη βοήθεια του ανεμοδείκτη, και με ελάχιστη χρονική καθυστέρηση (ώστε να προλάβει να προσανεμισθεί) καταγράφει και αυτό την ένταση του ανέμου περίπου στην ίδια περιοχή, που βρίσκεται και το κυπελλοφόρο ανεμόμετρο. Τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται στην τρίτη στήλη του Πίνακα 1.
- Μετά το τέλος της πειραματικής διαδικασίας, τα όργανα τίθενται σε θέση «OFF» και αποσυνδέεται η ηλεκτρική παροχή των μετρητικών συσκευών.

Αριθμός Μέτρησης	Κυπελλοφόρο	Ελικοφόρο	Διεύθυνση Ανέμου
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			

Πίνακας 1

1.4 Μεθοδολογία ανάπτυξης της εφαρμογής

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία τα βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν είναι:

- Αξιολόγηση και επικύρωση των χρονοσειρών των μετρήσεων και των δύο οργάνων.
- Υπολογισμός της μέσης τιμής και της τυπικής διασποράς της ταχύτητας του ανέμου στην επιλεγθείσα περιοχή και για το υπό μελέτη χρονικό διάστημα τόσο με τη χρήση του κυπελλοφόρου όσο και με τη χρήση του ελικοφόρου ανεμομέτρου. Παράλληλα επιχειρείται και σύγκριση της μετρητικής ικανότητας των δύο οργάνων.
- Κατάταξη των στοιχείων διεύθυνσης του ανέμου κατά ομάδες, ανάλογα της κατεύθυνσης από την οποία προέρχεται ο άνεμος και στη συνέχεια δημιουργία υποκατηγοριών ανάλογα με το μέτρο της ταχύτητας του ανέμου. Για την περίπτωση αυτή συνιστάται η χρήση πίνακα διπλής εισόδου.
- Κατασκευή του πολικού διαγράμματος της περιοχής με βάση τις ενδείξεις των ανεμομέτρων και του ανεμοδείκτη.
- Για επιλεγμένες περιοχές της χώρας μας με αξιόλογο αιολικό δυναμικό, χρήση των μακροχρόνιων ανεμολογικών στοιχείων της ΔΕΗ για την εκτίμηση της πυκνότητας

πιθανότητας « $f(V)$ » και της αθροιστικής πυκνότητας « $F(V)$ » της ταχύτητας του ανέμου στην υπό μελέτη περιοχή για ύψος μετρήσεων 10 m.

- Αναγωγή της συνάρτησης « $f(V)$ » από το ύψος όπου έχουν ληφθεί οι μετρήσεις, σε προτεινόμενο ύψος « h », στο οποίο μας ενδιαφέρει η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού. Δημιουργία (βάσει των διαθέσιμων μετρήσεων) ιστογράμματος πυκνότητας πιθανότητας σαν συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου.



Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στους βασικούς ορισμούς και στις διεργασίες των υδροηλεκτρικών, καθώς επίσης και στα πλεονεκτήματα των μικρών υδροηλεκτρικών. Θα γίνει εκτενής αναφορά στην εγκατεστημένη ισχύ σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς επίσης και στην ισχύ που αφορά τα συγκεκριμένα υδροηλεκτρικά συστήματα.



Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα:

Να κατανοήσετε τον ορισμό της υδροηλεκτρικής ενέργειας, και τα πλεονεκτήματα των μικρών υδροηλεκτρικών.



Έννοιες κλειδιά / Βασική ορολογία

Υδροηλεκτρικά, Πλεονεκτήματα.

1.1 Εισαγωγή – Βασικοί ορισμοί και διεργασίες

Η υδροηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από το νερό που βρίσκεται σε κίνηση. Μπορεί να θεωρηθεί ως μία μορφή ηλιακής ενέργειας, καθώς ο ήλιος αποτελεί την κινητήρια δύναμη του υδρολογικού κύκλου, ο οποίος δίνει το νερό στη γη. Στον υδρολογικό κύκλο, το νερό της ατμόσφαιρας φθάνει στην επιφάνεια της γης ως βροχόπτωση. Ένα μέρος από αυτό το νερό εξατμίζεται, αλλά το μεγαλύτερο μέρος του είτε διηθείται στο έδαφος είτε γίνεται επιφανειακή απορροή. Το νερό από τη βροχή και το χιόνι που λιώνει φτάνει τελικά σε λίμνες, σε ταμειυτήρες ή στη θάλασσα, όπου η εξάτμισή του είναι συνεχής.

Τα **υδροηλεκτρικά** έχουν τη μεγαλύτερη συμμετοχή στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Σε παγκόσμιο επίπεδο, εκτιμάται ότι υπάρχει εγκατεστημένη ισχύς 47.000 MW, με το δυναμικό –τεχνικό και οικονομικό– να ανέρχεται σχεδόν σε 180.000 MW.

Ο ορισμός που χρησιμοποιείται εδώ για τα ΜΥΗ αφορά τα υδροηλεκτρικά συστήματα με ισχύ 10 MW ή μικρότερη. Τα ΜΥΗ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν περαιτέρω σε «μίνι υδροηλεκτρικά», όπως συνήθως ορίζονται τα συστήματα με ισχύ κάτω των 500 kW, και «μικρο- υδροηλεκτρικά» για συστήματα με ισχύ μικρότερη από 100 kW.

1.2 Πλεονεκτήματα των μικρών υδροηλεκτρικών

Τα μικρά υδροηλεκτρικά αποτελούν μια από τις πιο αποδοτικές και αξιόπιστες ενεργειακές τεχνολογίες που μπορούν να εξετάζονται για την παραγωγή καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα, τα βασικά πλεονεκτήματα των μικρών υδροηλεκτρικών σε σχέση με τις τεχνολογίες αιολικής, κυματικής και ηλιακής ενέργειας είναι τα εξής:

- Υψηλή απόδοση (70-90%), με μεγάλη διαφορά η καλύτερη από όλες τις ενεργειακές τεχνολογίες.
- Υψηλός συντελεστής δυναμικού (συνήθως > 50%), σε σύγκριση με 10% για τα ηλιακά και 30% για την αιολική ενέργεια.
- Υψηλό επίπεδο προβλεψιμότητας, το οποίο ποικίλλει ανάλογα με τους ετήσιους ρυθμούς βροχόπτωσης.
- Χαμηλός ρυθμός μεταβλητότητας, καθώς η παραγόμενη ισχύς μεταβάλλεται μόνο σταδιακά από μέρα σε μέρα (όχι από λεπτό σε λεπτό).
- Καλή συσχέτιση με τη ζήτηση, δεδομένου ότι η παραγωγή είναι μέγιστη το χειμώνα.
- Πρόκειται για μία μακράς διάρκειας και ώριμη τεχνολογία, καθώς τα συστήματα μπορούν εύκολα να κατασκευάζονται ώστε να διαρκέσουν για 50 χρόνια ή και περισσότερο.



Σύντομες ερωτήσεις ανατροφοδότησης / αυτοαξιολόγησης

1. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα των μικρών υδροηλεκτρικών.



Ανακεφαλαίωση

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο έγινε μια εισαγωγή στην υδροηλεκτρική ενέργεια, στα μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα, καθώς επίσης και στα πλεονεκτήματα των μικρών υδροηλεκτρικών συστημάτων. Στο επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα κύρια μέρη ενός υδροηλεκτρικού συστήματος καθώς επίσης ο γενικός τύπος που δίνει την ισχύ κάθε υδροηλεκτρικού συστήματος.

ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ

**Εισαγωγικές Παρατηρήσεις**

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναλυθούν δύο φυσικά μεγέθη και συγκεκριμένα:

- α) μία παροχή νερού Q
- β) ένα ύψος πτώσης H

Επίσης θα αναπτυχθούν η ισχύς και η ενέργεια ενός υδροηλεκτρικού συστήματος, καθώς επίσης και τα κύρια μέρη ενός μικρού υδροηλεκτρικού σχήματος

**Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα:**

Να κατανοήσετε τον ορισμό του ύψους πτώσης και της ροής, το γενικό τύπο που δίνει την ισχύ κάθε υδροηλεκτρικού συστήματος, καθώς επίσης τα βασικά τμήματα μιας μικρής υδροηλεκτρικής μονάδας με μέσο ή υψηλό ύψος πτώσης.

**Έννοιες κλειδιά / Βασική ορολογία**

Ροή, Ισχύς, Κύρια μέρη Υ/Σ.

2.1 Ύψος πτώσης και ροή

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μία διαδικασία ενεργειακής μετατροπής στην οποία το νερό αποτελεί ένα αποτελεσματικό μέσο μεταβίβασης και μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Με τον τρόπο αυτό, μετατρέπεται μέσω των βασικών τμημάτων του υδροηλεκτρικού συστήματος το διαθέσιμο ενεργειακό δυναμικό ή η συνολική ροή των υδάτων.

Η κάθετη πτώση του νερού, που είναι γνωστή ως το «ύψος πτώσης», είναι απαραίτητη για την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Το κινούμενο νερό δεν περιέχει από μόνο του επαρκή ενέργεια για την παραγωγή ωφέλιμης ισχύος, εκτός εάν υφίσταται σε πολύ μεγάλη κλίμακα, όπως στα υπεράκτια θαλάσσια ρεύματα. Ως εκ τούτου είναι αναγκαία δύο φυσικά μεγέθη: μία παροχή του νερού Q , και ένα ύψος πτώσης H .

Είναι γενικά επιθυμητό το μεγαλύτερο ύψος πτώσης παρά η μεγαλύτερη ροή, γιατί έτσι απαιτείται μικρότερος εξοπλισμός.

2.2 Ισχύς και ενέργεια

Οι υδροστροβίλοι μετατρέπουν την πίεση του νερού σε μηχανική ισχύ στον άξονα, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κινήσει μια γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος, ή κάποια άλλη μηχανή. Η διαθέσιμη ισχύς είναι ανάλογη με το γινόμενο του **ύψους πτώσης** και της **παροχής**. Ο γενικός τύπος που δίνει την ισχύ κάθε υδροηλεκτρικού συστήματος είναι:

$$P_n = \eta \rho \cdot gGH$$

όπου:

P είναι η μηχανική ισχύς που παράγεται στον άξονα του στροβίλου (Watt),

η είναι η υδραυλική αποδοτικότητα του στροβίλου,

ρ είναι πυκνότητα του νερού (1.000 kg/m³),

g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας (9,81 m/s²),

Q είναι η παροχή όγκου του νερού που διέρχεται από τον στρόβιλο (m³/s),

H είναι το αξιοποιήσιμο ύψος πτώσης του νερού στο στρόβιλο (m).

Οι καλύτεροι στροβίλοι μπορούν να έχουν υδραυλικές αποδόσεις της τάξης του 80 έως και πάνω από 90% (υψηλότερες από όλους τους άλλους κινητήρες), αν και η απόδοση μειώνεται με το μέγεθος. Τα μικρο-υδροηλεκτρικά συστήματα (<100kW) τείνουν να έχουν αποδόσεις μεταξύ 60 και 80%.

2.3 Τα κύρια μέρη ενός υδροηλεκτρικού συστήματος

Τα βασικά τμήματα μιας μικρής υδροηλεκτρικής μονάδας με μέσο ή υψηλό ύψος πτώσης είναι τα εξής:

- Υδροταμιευτήρας: αποτελεί τη δεξαμενή αποθήκευσης του διαθέσιμου ενεργειακού δυναμικού.
- Σύστημα μεταφοράς, που περιλαμβάνει την υδροληψία (εξοπλισμένη με σχάρα) και το κύκλωμα μεταφοράς (κανάλι, αγωγός πτώσης, σήραγγες και αγωγός απαγωγής ή έξοδος), όπου μέρος της διαθέσιμης ενέργειας μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια.
- Υδραυλικός στρόβιλος (υδροσρόβιλος): είναι το τμήμα της εγκατάστασης όπου η ενέργεια του νερού μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια.
- Στροφέας της γεννήτριας: η μηχανική ενέργεια που μεταβιβάζεται στον άξονα προκαλεί την περιστροφή του στροφέα και έτσι παράγεται ηλεκτρική ενέργεια, σύμφωνα με τους νόμους του ηλεκτρομαγνητισμού.
- Γραμμή σύνδεσης με το δίκτυο: η ηλεκτρική ενέργεια οδηγείται και μετασχηματίζεται για σύνδεση με το δίκτυο.



Σύντομες ερωτήσεις ανατροφοδότησης / αυτοαξιολόγησης

1. Ποιος είναι ο γενικός τύπος που δίνει την ισχύ κάθε υδροηλεκτρικού συστήματος;
2. Ποια είναι τα κύρια μέρη ενός υδροηλεκτρικού συστήματος;



Ανακεφαλαίωση

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν τα κύρια μέρη ενός υδροηλεκτρικού συστήματος, καθώς επίσης και ο γενικός τύπος που δίνει την ισχύ κάθε υδροηλεκτρικού συστήματος. Στο επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα είδη στροβίλων για μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα.



Εισαγωγικές Παρατηρήσεις

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα αναπτυχθούν τα είδη στροβίλων κατάλληλοι για μικρά υδροηλεκτρικά, τα κριτήρια επιλογής στροβίλου η αποδοτικότητα του υδροστροβίλου, καθώς και η εργαστηριακή εφαρμογή «ανάλυση λειτουργίας μικρής υδροηλεκτρικής εγκατάστασης».



Σκοπός - Αναμενόμενα αποτελέσματα:

Να κατανοήσετε ποιες είναι οι κατηγορίες υδροστρόβιλων για ΜΥΑ, ποια είναι τα κριτήρια επιλογής του στροβίλου, τον ορισμό της αποδοτικότητας του υδροστροβίλου, καθώς επίσης και τις κύριες λειτουργίες του πίνακα ελέγχου. Επίσης, σκοπός της παρούσας εργαστηριακής εφαρμογής είναι αρχικά η παρουσίαση της μεθοδολογίας επιλογής του κατάλληλου τύπου και μεγέθους υδροστροβίλου για τη δημιουργία μιας μικρής υδροηλεκτρικής μονάδας, η οποία θα αξιοποιεί τη διαθέσιμη παροχή ενός φυσικού ρεύματος.

Σε αυτό το πλαίσιο, επιχειρείται αρχικά η διαστασιολόγηση του υδροστροβίλου της εγκατάστασης και στη συνέχεια ο προσδιορισμός των απαραίτητων μεγεθών λειτουργίας της μηχανής, με βάση τα πειραματικά στοιχεία λειτουργικής συμπεριφοράς υφιστάμενου εργαστηριακού Υ/Σ



Έννοιες κλειδιά / Βασική ορολογία

Τεχνολογίες, Στρόβιλοι, Επιλογή, Αποδοτικότητα.

3.1 Επισκόπηση

Η κύρια συνιστώσα ενός μικρού υδροηλεκτρικού σταθμού είναι ο υδροστρόβιλος. Όλοι αυτοί οι στρόβιλοι μετατρέπουν την ενέργεια από την πτώση του νερού σε περιστροφική ισχύ στον άξονά τους, αλλά συχνά υπάρχει σύγχυση ως προς το είδος των στροβίλου που θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε διαφορετικές περιστάσεις. Η επιλογή του στροβίλου εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας, κυρίως το ύψος πτώσης και τη διαθέσιμη ροή, καθώς και από την επιθυμητή ταχύτητα λειτουργίας της γεννήτριας και το κατά πόσον ο στρόβιλος αναμένεται να λειτουργήσει σε συνθήκες μειωμένης ροής.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι στροβίλων, γνωστοί ως στρόβιλοι «ώσης» και «αντίδρασης». Ο «στρόβιλος ώσης» μετατρέπει τη δυναμική ενέργεια του νερού σε κινητική ενέργεια μιας δέσμης νερού η οποία εκρέει από ένα ακροφύσιο και προσπίπτει επάνω στους κάδους ή τα πτερύγια του δρομέα. Ο «στρόβιλος αντίδρασης» χρησιμοποιεί την πίεση μαζί με την ταχύτητα του νερού για να αναπτύξει μηχανική ισχύ. Ο δρομέας κατακλύζεται πλήρως και τόσο η πίεση όσο και η ταχύτητα μειώνονται από την είσοδο προς την έξοδο.

Υπάρχουν 3 βασικοί τύποι στροβίλων ώσης σε χρήση: οι στρόβιλοι Pelton, Turgo και Crossflow (ή Banki). Οι δύο βασικοί τύποι στροβίλων αντίδρασης είναι οι τύπου έλικας (με τον Kaplan να αποτελεί μία εκδοχή) και οι στρόβιλοι Francis.

3.2 Είδη στροβίλων κατάλληλοι για ΜΥΑ

Οι περισσότεροι υφιστάμενοι υδροστρόβιλοι μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες ως εξής:

- Τύπου Kaplan και έλικας (propeller).
- Τύπου Francis.
- Τύπου Pelton και άλλοι υδροστρόβιλοι ώσης.

Οι στρόβιλοι τύπου Kaplan και τύπου έλικας είναι στρόβιλοι αντίδρασης αξονικής ροής που γενικά χρησιμοποιούνται για μικρά ύψη πτώσης (συνήθως κάτω από 16 m). Ο **στρόβιλος Kaplan** έχει ρυθμιζόμενα πτερύγια δρομέα και μπορεί να διαθέτει ή όχι ρυθμιζόμενα οδηγιά πτερύγια. Εάν είναι ρυθμιζόμενα και τα πτερύγια του δρομέα και τα οδηγιά πτερύγια ο στρόβιλος αναφέρεται ως «διπλής ρύθμισης», ενώ εάν είναι σταθερά τα οδηγιά πτερύγια τότε λέγεται «μονής ρύθμισης».

Στη συμβατική του έκδοση ο στρόβιλος Kaplan έχει ένα σπειροειδές περίβλημα (είτε από χάλυβα είτε από σιδηροπαγές σκυρόδεμα). Η ροή εισάγεται ακτινικά προς το εσωτερικό και εκτελεί μια στροφή ορθής γωνίας προτού εισέλθει στον δρομέα με αξονική κατεύθυνση. Όταν ο δρομέας έχει σταθερά πτερύγια, ο στρόβιλος είναι γνωστός ως τύπου έλικας. Οι **στρόβιλοι τύπου έλικας** μπορούν να έχουν κινητά ή σταθερά οδηγιά πτερύγια. Οι μη ρυθμιζόμενοι στρόβιλοι τύπου έλικας χρησιμοποιούνται μόνο όταν τόσο η ροή όσο και το ύψος πτώσης παραμένουν πρακτικώς σταθερά.

Οι **στρόβιλοι Francis** είναι στρόβιλοι αντίδρασης ακτινικής ροής, με σταθερά πτερύγια δρομέα και ρυθμιζόμενα οδηγιά πτερύγια, που χρησιμοποιούνται για μεσαία ύψη πτώσης. Ο δρομέας αποτελείται από κάδους που διαμορφώνονται από σύνθετες καμπύλες. Ένας στρόβιλος Francis περιλαμβάνει συνήθως ένα χυτοσιδηρό ή χαλύβδινο σπειροειδές περίβλημα για τη διανομή του νερού γύρω από ολόκληρη την περίμετρο του δρομέα, και αρκετές σειρές πτερυγίων που καθοδηγούν και ρυθμίζουν τη ροή του νερού προς το δρομέα.

Οι **στρόβιλοι Pelton** είναι στρόβιλοι ώσης με μία ή πολλαπλές δέσμες, καθεμία από τις οποίες εκρέει μέσα από ένα ακροφύσιο με μια βελονοβαλβίδα για τον έλεγχο της ροής. Αυτοί χρησιμοποιούνται για μεσαία και μεγάλα ύψη πτώσης

Ο **στρόβιλος εγκάρσιας ροής**, συχνά καλούμενος ως στρόβιλος Ossberger, από την ομώνυμη εταιρία που τον κατασκευάζει για παραπάνω από 50 χρόνια, ή και στρόβιλος Michell, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ευρύ φάσμα υψών πτώσης, επικαλύπτοντας αυτά των στροβίλων Kaplan, Francis και Pelton. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για ένα ρεύμα με μεγάλη παροχή και μικρό ύψος πτώσης.

Ο **στρόβιλος Turgo** μπορεί να λειτουργεί σε ύψη πτώσης από 30 έως 300 m. Είναι στρόβιλος ώσης, όπως και ο Pelton, αλλά οι κάδοι του διαμορφώνονται διαφορετικά και η δέσμη του νερού προσπίπτει στο επίπεδο του δρομέα υπό γωνία 20° . Το νερό εισέρχεται στο δρομέα από τη μια πλευρά του δίσκου του και εξέρχεται από την άλλη. Η μεγαλύτερη ταχύτητα του δρομέα του Turgo, λόγω της μικρότερης διαμέτρου του σε σύγκριση με τους άλλους τύπους, καθιστά πιο πιθανή την άμεση σύζευξη του στροβίλου και της γεννήτριας. Ένας στρόβιλος Turgo μπορεί να είναι κατάλληλος σε μεσαία ύψη πτώσης, όπου διαφορετικά θα χρησιμοποιούνταν στρόβιλος Francis.

3.3 Κριτήρια επιλογής στροβίλου

Ο τύπος, η γεωμετρία και οι διαστάσεις του στροβίλου καθορίζονται κατά κύριο λόγο από τα ακόλουθα κριτήρια:

- το καθαρό ύψος πτώσης,
- το εύρος των παροχών του νερού που διέρχεται από τον στρόβιλο,
- την ταχύτητα περιστροφής,
- το κόστος.

3.4 Αποδοτικότητα του υδροστροβίλου

Ως αποδοτικότητα ενός υδροστροβίλου ορίζεται ο λόγος της ισχύος που παρέχει ο στρόβιλος (μηχανική ισχύς μεταδιδόμενη από τον άξονα του στροβίλου) προς την απορροφούμενη ισχύ (υδραυλική ισχύς η οποία ισοδυναμεί με τη μετρούμενη παροχή υδάτων βάσει του καθαρού ύψους πτώσης). Για τον υπολογισμό της συνολικής αποδοτικότητας του συστήματος, η αποδοτικότητα του στροβίλου πολλαπλασιάζεται με αυτές του πολλαπλασιαστή στροφών (εάν χρησιμοποιείται) και της ηλεκτρογεννήτριας. Ο υδροστρόβιλος προορίζεται από κατασκευής του να λειτουργεί στο (ή κοντά στο) σημείο της καλύτερης απόδοσής του, συνήθως στο 80% της μέγιστης παροχής. Καθώς η ροή αποκλίνει από αυτήν τη συγκεκριμένη τιμή, αποκλίνει και η υδραυλική αποδοτικότητα του στροβίλου.

Το εύρος των παροχών που θα πρέπει να χρησιμοποιούνται, και συνακόλουθα η παραγόμενη ενέργεια, διαφέρει εάν:

- η μονάδα θα πρέπει να παρέχει ηλεκτρισμό σε ένα μικρό δίκτυο, ή
- η μονάδα προορίζεται για σύνδεση με ένα μεγάλο δίκτυο διανομής.

Στην πρώτη περίπτωση, θα πρέπει να επιλεγεί μια παροχή που να επιτρέπει την παραγωγή ηλεκτρισμού καθ' όλο το έτος. Στη δεύτερη περίπτωση, η ονομαστική παροχή θα πρέπει να επιλεγεί έτσι ώστε να μεγιστοποιούνται τα καθαρά έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας.

3.5 Έλεγχος του υδροστροβίλου

Ο πίνακας ελέγχου είναι το «κουτί» που παρακολουθεί τη λειτουργία μιας μικρής υδροηλεκτρικής μονάδας. Οι κύριες λειτουργίες του πίνακα ελέγχου είναι:

- η εκκίνηση και η διακοπή λειτουργίας του υδροστροβίλου,
- ο συγχρονισμός της γεννήτριας με το τοπικό δίκτυο,
- η παρακολούθηση της ανάντη στάθμης του νερού και η διασφάλιση ότι διατηρείται επάνω από την ελάχιστη τιμή,
- η λειτουργία της βαλβίδας ελέγχου της ροής προς τον υδροστρόβilo ώστε να ταιριάζει με τη διαθεσιμότητα του νερού,
- ο εντοπισμός σφαλμάτων και η ενεργοποίηση του συναγερμού ή η έναρξη της διακοπής λειτουργίας.

Για διασυνδεδεμένα συστήματα, ο πίνακας ελέγχου πρέπει να ανταποκρίνεται στις τοπικές απαιτήσεις για τη σύνδεση μονάδων ηλεκτροπαραγωγής στο δίκτυο. Για μονάδες που δεν είναι συνδεδεμένες στο τοπικό δίκτυο αλλά λειτουργούν αυτόνομα, το σύστημα ελέγχου πρέπει να εξασφαλίζει ότι τόσο η τάση όσο και η συχνότητα της γεννήτριας παραμένουν εντός των επιτρεπόμενων ορίων, ανεξάρτητα από το φορτίο που εφαρμόζεται.



Σύντομες ερωτήσεις ανατροφοδότησης / αυτοαξιολόγησης

1. Ποια είναι τα είδη στροβίλων κατάλληλοι για ΜΥΑ;
2. Ποια είναι τα κριτήρια επιλογής στροβίλου;
3. Τι ορίζεται ως αποδοτικότητα ενός υδροστροβίλου;



Ανακεφαλαίωση

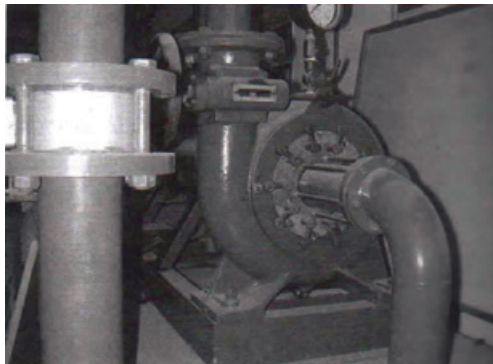
Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο έγινε αναφορά στα είδη στροβίλων που είναι κατάλληλοι για μικρά υδροηλεκτρικά, στα κριτήρια επιλογής στροβίλου, καθώς και στην αποδοτικότητα του υδροστροβίλου.

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ: ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΙΚΡΗΣ ΥΔΡΟΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

1. Σκοπός της εφαρμογής

Σκοπός της παρούσας εργαστηριακής εφαρμογής είναι αρχικά η παρουσίαση της μεθοδολογίας επιλογής του κατάλληλου τύπου και μεγέθους υδροστροβίλου για τη δημιουργία μιας μικρής υδροηλεκτρικής μονάδας, η οποία θα αξιοποιεί τη διαθέσιμη παροχή ενός φυσικού ρεύματος.

Στο πλαίσιο αυτό επιχειρείται αρχικά η διαστασιολόγηση του υδροστροβίλου της εγκατάστασης και στη συνέχεια ο προσδιορισμός των απαραίτητων μεγεθών λειτουργίας της μηχανής, με βάση τα πειραματικά στοιχεία λειτουργικής συμπεριφοράς υφιστάμενου εργαστηριακού Υ/Σ, Σχήμα 1.



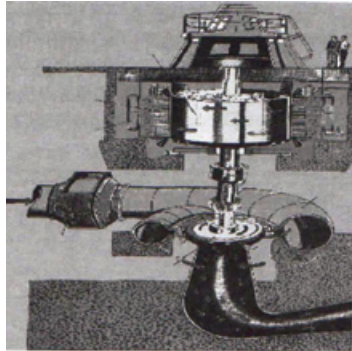
Σχήμα 1

1.1 Περιγραφή του πειράματος

Ο επιλεγθείς τύπος υδροστροβίλου στο Σχήμα 2 είναι (για τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά παροχής και διαθέσιμου ύψους υδατόπτωσης) γεωμετρικά όμοιος με εργαστηριακό στρόβιλο τύπου «Francis», του οποίου τα χαρακτηριστικά προσδιορίζονται με κατάλληλες μετρήσεις σε εγκαταστάσεις εργαστηρίου.

1.2 Πειραματική εγκατάσταση

Η πειραματική εγκατάσταση αποτελείται από εργαστηριακό υδροστρόβιλο τύπου Francis, Σχήμα 2. Από τα στοιχεία του κατασκευαστή του εργαστηριακού υδροστροβίλου είναι γνωστό ότι η ονομαστική ισχύς του υδροστροβίλου ισούται με 3 kW και οι αντίστοιχες στροφές της περρωτής ισούνται με 3.000 rpm. Παράλληλα, ο κανονικός βαθμός απόδοσης του εργαστηριακού υδροστροβίλου ισούται με «η*».



Σχήμα 2 Σχηματική παράσταση στροβίλου Francis.

1.3 Πειραματική διαδικασία

Η πειραματική διαδικασία της εν λόγω άσκησης αποτελείται από τη μέτρηση των λειτουργικών παραμέτρων του εργαστηριακού Υ/Σ και τη χάραξη των απαραίτητων καμπυλών λειτουργίας αυτού «N(V)» και «η (V)».

Ακολουθως, επιλέγεται κατάλληλου μεγέθους υδροστρόβιλος (για τη συγκεκριμένη παροχή μελέτης και διαθέσιμου ύψους υδατόπτωσης), γεωμετρικά όμοιος με εργαστηριακό στρόβιλο τύπου Francis. Με τη χρήση των εξισώσεων ομοιότητας καθορίζονται οι αναμενόμενες χαρακτηριστικές λειτουργίας του υπό μελέτη υδροστροβίλου.

1.4 Μεθοδολογία ανάλυσης της εφαρμογής

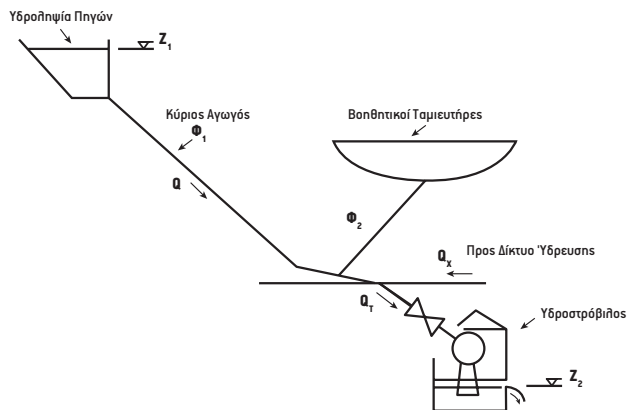
Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται η προτεινόμενη διάταξη του υδροηλεκτρικού έργου, όπου με Z1 συμβολίζεται η στάθμη υδροληψίας, ενώ η στάθμη του νερού στην έξοδο του υδροστροβίλου βρίσκεται σε ύψος Z2. Από τα διαθέσιμα στοιχεία, είναι γνωστό ότι έχει ήδη κατασκευαστεί χαλύβδινος καταθλιπτικός αγωγός, ονομαστικής διαμέτρου «Φ1», στα πλαίσια υφιστάμενου αρδευτικού έργου. Το μήκος του αγωγού από την υδροληψία μέχρι την προτεινόμενη προς εγκατάσταση θέση του σταθμού είναι «L», Πίνακας 1.

ΕΠΩΝΥΜΟ	Αποθηκευμένη Ποσότητα Νερού προς Άρδευση	ΟΝΟΜΑ	I Χρονική Περίοδος Μελέτης
A - Καιο		A-Γ	
Καπ-Ο		Γ-Ι	
Π-Ω		Κ-Ν	
-		Ξ-Ω	

Πίνακας 1

V									
H									
N									

Πίνακας 2 Δεδομένα λειτουργίας πειραματικού Υ/Σ



Σχήμα 3

- Βάσει των διαθέσιμων πειραματικών μετρήσεων Πίνακας 2, επαληθεύονται οι χαρακτηριστικές λειτουργίες του εργαστηριακού υδροστροβίλου.
- Στη συνέχεια, με βάση το προτεινόμενο σχέδιο διαχείρισης της διαθέσιμης παροχής της υδατόπτωσης, επιλέγεται το μέγεθος (διαστασιολόγηση) του κατάλληλου υδροστροβίλου [Σχήμα 2] που θα κινεί σύγχρονη ηλεκτρική γεννήτρια.
- Ακολούθως, προσδιορίζονται, βάσει ομοιότητας, τα χαρακτηριστικά μεγέθη λειτουργίας του επιλεχθέντος Υ/Σ.
- Για τις επικρατέστερες τεχνικά λύσεις διενεργείται οικονομοτεχνική αξιολόγηση, για την επιλογή της πλέον κατάλληλης για τη συγκεκριμένη εφαρμογή μονάδας υδροστροβίλου.

- Λόγω της πολλαπλής χρησιμότητας των μικρών υδροηλεκτρικών έργων, ο αγωγός προσαγωγής χρησιμοποιείται και για τις ανάγκες άρδευσης. Είναι λοιπόν απαραίτητη η πλήρωση μέχρι το τέλος Μαΐου των δύο βοηθητικών ταμιευτήρων του συστήματος άρδευσης (μέσω κατάλληλου αγωγού βαρύτητας). Η απαραίτητη αυτή ποσότητα απομαστεύεται (με κατάλληλο ρυθμό ώστε να μεγιστοποιείται η παραγωγή ενέργειας και να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες παροχής) από τη διαθέσιμη παροχή των μηνών Δεκεμβρίου έως και Μαΐου.



1. Karaisas, P. (2014) *Software applications for wind turbine vibrations analysis* Springer, *Advances in condition monitoring of machinery in Non Stationary Operations Part VI*, pp. 689-699 (Ανακτήθηκε 14-1-14 από http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-39348-8_59).
2. Karaisas, P. (2011) *Design and simulation of a small wind- hydro power plant*, (Ανακτήθηκε 14-1-14 από http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6036304&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D6036304).
3. Μπιτζιώτης Β., & Μπιτζιώτης Δ. (2011), *Εναλλακτικές μορφές ενέργειας*, Θεσσαλονίκη: Τζιόλα.
4. Καλδέλλης Ι., & Καββαδίας Κ. (2001), *Εργαστηριακές μορφές ήπιων μορφών ενέργειας*, Αθήνα: Σταμούλη.
5. Πέρδιος, Δ. Σ. (2007), *Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις*, Αθήνα ΤεκΔΟΤΙΚΗ.
6. Φραγκιαδάκης, Ι. (2006) *Φωτοβολταϊκά συστήματα*, Θεσσαλονίκη: ΖΗΤΗ.
7. Κάπος, Μ. Μ., *Φωτοβολταϊκά, αιολικά υδροηλεκτρικά*, Αθήνα: Κάπος.



Απαντήσεις στις ερωτήσεις

1. Φωτοβολταϊκά Συστήματα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°

1. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο πλάκες ημιαγωγών (δίοδοι p-n) συνήθως πυριτίου Si που βρίσκονται σε επαφή.
2. Η χρήση του Si, ως βασικό υλικό παραγωγής αποτελεί βασικό πλεονέκτημα της φωτοβολταϊκής μετατροπής διότι το πυρίτιο αφθονεί (-25%) στο φλοιό του πλανήτη μας.
3. Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στους δύο ακροδέκτες η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

1. Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα ισχύος ενός κιλοβάτ παράγει κατά μέσο όρο 1.500 κιλοβατώρες το χρόνο (ανάλογα με την ηλιοφάνεια της περιοχής).
2. Το κόστος για την αγορά και εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος δεν είναι παντού το ίδιο αλλά εξαρτάται από την ωριμότητα της αγοράς, το είδος και το μέγεθος της εφαρμογής.
3. Τα συστήματα κάτω από 20 KW απαλλάσσονται και από την έγκριση περιβαλλοντικών όρων εφόσον δεν τοποθετούνται σε ευαίσθητες και προστατευμένες περιοχές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°

1. Η συνολική ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στη μονάδα του χρόνου σε επιφάνεια 1 m^2 , προσανατολισμένη κάθετα στις ακτίνες του ηλίου, έξω από την ατμόσφαιρα της γης όταν αυτή βρίσκεται στη μέση απόσταση από τον ήλιο ονομάζεται ηλιακή σταθερά, G_{sc} , και ισούται με 1367 W/m^2 .
2. Στην πράξη χρησιμοποιούμε τους πίνακες μέσης μηνιαίας ολικής ακτινοβολίας, που έχουμε σε οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια της γης. Οι πίνακες αυτοί βασίζονται σε μετρήσεις των μετεωρολογικών σταθμών για μεγάλα χρονικά διαστήματα.
3. Την άμεση ηλιακή ακτινοβολία που προέρχεται απευθείας από τον ήλιο και εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτίνων.

Τη διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία, που προέρχεται από τον ουράνιο θόλο που βλέπει ο συλλέκτης.

Την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία, που προέρχεται από το έδαφος της γύρω περιοχής.

4. Ένας φωτοβολταϊκός συλλέκτης με νότιο προσανατολισμό δέχεται τα μεγαλύτερα ποσά της ηλιακής ενέργειας όταν είναι τοποθετημένος με μεγάλη κλίση, τη χειμερινή περίοδο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°

1. Διακρίνουμε δύο κατηγορίες συστημάτων για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας:
 - Τα παθητικά Ηλιακά Συστήματα.
 - Τα ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα.
2. Ναι, περιλαμβάνει σύστημα αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.
3. Ναι, περιλαμβάνει σύστημα αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.
4. Όχι, δεν περιλαμβάνει σύστημα αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.
5. Το σύστημα αυτό συνδυάζει δύο τουλάχιστον πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (συνδυασμός φωτοβολταϊκών πλαισίων και ανεμογεννήτριας).
6. Οι τρόποι που μπορούν να συνδεθούν είναι: σε σειρά, παράλληλα, μεικτά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°

1. Ως τάση εκφόρτισης ορίζεται η μικρότερη τιμή που μπορεί να υπάρχει στους ακροδέκτες του συσσωρευτή χωρίς αυτός να κινδυνεύει να καταστραφεί.
2. Ορίζεται ως το ρεύμα εκείνο που εξαντλεί τη χωρητικότητα του συσσωρευτή χωρίς αυτός να κινδυνεύει (τάση ανά στοιχείο από 2,4 V σε 2V). Το ρεύμα αυτό ισούται με το $1/20$ της ονομαστικής χωρητικότητας του συσσωρευτή.
3. Χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις που διαθέτουμε πηγή συνεχούς ρεύματος και λόγω της επικράτησης του εναλλασσόμενου ρεύματος, σε πάρα πολλές εφαρμογές, πρέπει να γίνει μετατροπή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°

Το κεφάλαιο 6 αφορά μελέτη περίπτωσης.

2. Αιολική Ενέργεια

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°

1. Δρομέας, Σύστημα μετάδοσης της κίνησης, Ηλεκτρική γεννήτρια, Σύστημα πέδησης ή φρένο δρομέα, Σύστημα προσανατολισμού, Πύργος στήριξης, Πύργος στήριξης, Ηλεκτρικός Ηλεκτρονικός πίνακας, Βάση στήριξης (θεμελίωση).
2. Μέση ταχύτητα του ανέμου, Στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου, Μέγιστη ταχύτητα του ανέμου, Ριπή του ανέμου, Διεύθυνση του ανέμου, Τραχύτητα του εδάφους.
3. Επίδραση των επιφανειακών εμποδίων, Επίδραση της τραχύτητας του εδάφους, Επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°

1. Η ταχύτητα διακοπής της λειτουργίας της Α/Γ, V_{mo} , καθορίζεται για το ύψος αναφοράς των 10 m και κυμαίνεται από 22 μέχρι 25 m/sec.
2. Η ονομαστική ισχύς P_{nom} της Α/Γ, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_n = \frac{I}{2} \rho_a * A * C_p * V^3 * n * \eta_m$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

1. Τα βασικότερα μέρη μιας ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος είναι ο δρομέας, η ηλεκτρογεννήτρια, το δισκόφρενο, το σύστημα προσανεμισμού, ο πυλώνας και το σύστημα λειτουργίας και ελέγχου.
2. Το βασικότερο χαρακτηριστικό της λειτουργίας μίας ανεμογεννήτριας μικρού μεγέθους είναι η καμπύλη ισχύος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°

1. Το Διασυνδεδεμένο αιολικό σύστημα με δυνατότητα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνει το συντελεστή διαθεσιμότητας του συστήματος.
2. Έχουμε συνδυασμό ανεμογεννήτριας, Φ/Β συλλεκτών και ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους (Η/Ζ).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°

1. Οι ανεμογεννήτριες χαρακτηρίζονται μέσης ισχύος όταν κατασκευάζονται για ισχύ από 30 μέχρι 200 KW και μεγάλης όταν κατασκευάζονται πάνω από τα 200 KW.
2. Οι μετρήσεις στην πηγή του θορύβου (ανεμογεννήτρια) γίνονται για να διαπιστωθούν τα επίπεδα του θορύβου που παράγονται από μία ανεμογεννήτρια νέου τύπου προκειμένου να χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία πιστοποίησής της.

3. Υδροηλεκτρική Ενέργεια

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°

- Υψηλή απόδοση (70-90%), με μεγάλη διαφορά η καλύτερη από όλες τις ενεργειακές τεχνολογίες.
- Υψηλό συντελεστή δυναμικού (συνήθως > 50%), σε σύγκριση με 10% για τα ηλιακά και 30% για την αιολική ενέργεια.
- Υψηλό επίπεδο προβλεψιμότητας, το οποίο ποικίλλει ανάλογα με τους ετήσιους ρυθμούς βροχόπτωσης.
- Χαμηλός ρυθμός μεταβλητότητας, καθώς η παραγόμενη ισχύς μεταβάλλεται μόνο σταδιακά από μέρα σε μέρα (όχι από λεπτό σε λεπτό).
- Καλή συσχέτιση με τη ζήτηση, δεδομένου ότι η παραγωγή είναι μέγιστη το χειμώνα.
- Πρόκειται για μία μακράς διάρκειας και ώριμη τεχνολογία, καθώς τα συστήματα μπορούν εύκολα να κατασκευάζονται ώστε να διαρκέσουν για 50 χρόνια ή και περισσότερο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

1. $P = \eta P - g_{GH}$
2. Υδροταμειωτήρας, Σύστημα μεταφοράς, Υδραυλικός στρόβιλος (υδροστρόβιλος, Στροφέας της γεννήτριας, Γραμμή σύνδεσης με το δίκτυο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°

1. Τύπου Kaplan και έλικας (propeller), Τύπου Francis, Τύπου Pelton και άλλοι υδροστρόβιλοι ώσης.
2. Ως αποδοτικότητα ενός υδροστροβίλου ορίζεται ο λόγος της ισχύος που παρέχει ο στρόβιλος (μηχανική ισχύς μεταδιδόμενη από τον άξονα του στροβίλου) προς την απορροφούμενη ισχύ (υδραυλική ισχύς η οποία ισοδυναμεί με τη μετρούμενη παροχή υδάτων βάσει του καθαρού ύψους πτώσης).



Προτάσεις με υλικό για περαιτέρω μελέτη

1.1 Υπολογισμοί Φ/Β εγκατάστασης

Για να προχωρήσουμε στους υπολογισμούς (μελέτη) μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, θα πρέπει να γνωρίζουμε:

- α. Το μέγεθος της Φ/Β εγκατάστασης (μικρή, μεσαία, μεγάλη).
- β. Τον προορισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (οικιακή χρήση, βιομηχανική χρήση, παραγωγή για τροφοδότηση οικισμού, παραγωγή για διοχέτευση στο κεντρικό δίκτυο διανομής κ.λπ.).
- γ. Πότε θα λειτουργεί η Φ/Β εγκατάσταση (χειμερινή περίοδο ή καλοκαιρινή περίοδο ή όλο το χρόνο).
- δ. Αν θα χρησιμοποιηθεί ή όχι βοηθητική πηγή ενέργειας (Ντηζελογεννήτρια).
- ε. Αν θα έχουμε υβριδικό σύστημα παραγωγής. (Φ/Β πλαίσια και ανεμογεννήτρια κ.λπ.).
- στ. Αν θα γίνεται αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας (χρήση συσσωρευτών).
- ζ. Ποια θα είναι η μέγιστη ισχύς ζήτησης.
- η. Ποιο θα είναι το είδος του φορτίου (φωτισμός ή κίνηση).
- θ. Το χρόνο λειτουργίας του φορτίου (ημέρα ή νύχτα ή όλο το 24ωρο).
- ι. Αν η Φ/Β εγκατάσταση θα είναι ή όχι συνδεδεμένη με το κεντρικό δίκτυο διανομής.
- ια. Πού θα τοποθετηθεί η Φ/Β εγκατάσταση και ποιο θα είναι το κόστος γης.
- ιβ. Τι είδους βάσεις θα χρησιμοποιηθούν (σταθερές με ετήσια βέλτιστη κλίση, σταθερές με μηνιαία βέλτιστη κλίση, περιστρεφόμενες με χειροκίνητη κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, περιστρεφόμενες με αυτόματη παρακολούθηση της πορείας του ήλιου για συνεχή κάθετη πρόσπτωση),
- ιγ. Το είδος των Φ/Β συλλεκτών που θα χρησιμοποιήσουμε (μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά, λεπτού υμένα).
- ιδ. Το είδος των ηλεκτρονικών διατάξεων.
- ιε. Τα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής



Μελέτες περίπτωσης

1. Μελέτη φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων. Υπολογισμός φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων

1.1 Γενικά

Η πόλη των Σερρών βρίσκεται στο Ανατολικό τμήμα της Μακεδονίας και σύμφωνα με τα στοιχεία του Παραρτήματος (Παράρτημα Ι, πίνακας Ι) έχει γεωγραφικό πλάτος 41° και 6' Βόρεια και γεωγραφικό μήκος 23° και 33' Ανατολικά.

Η οικοπεδική έκταση στην οποία θα τοποθετηθούν οι συλλέκτες έχει μικρή κλίση προς τα Ανατολικά. Η απόσταση των Φ/Β συλλεκτών από τον κύριο χώρο της αγροικίας είναι (30) τριάντα μέτρα.

1.2 Ενεργειακές ανάγκες κατοικίας

Οι ενεργειακές ανάγκες της κατοικίας φαίνονται στον Πίνακα 1, σε μηνιαία βάση και στους υπολογισμούς που ακολουθούν.

α/α	Ονομασία Ηλεκτρικής συσκευής	Ισχύς (W)	Χρόνος λεπ./ μήνα	Κατανομή/ μήνα	Παρατηρήσεις
1	Ψυγεία	300	300	90	
2	Καταψύκτες	300	300	90000	
3	Ανεμιστήρες	150	150	22500	Ιούνιο - Ιούλιο - Αύγουστο
4	Λαμπτήρες υψηλής απόδοσης	150	300	45000	
5	Πλυντήριο ρούχων	2500	10	25000	
6	Πλυντήριο ρούχων (προσωρινά)	2500	10	25000	
7	Πλυντήριο πιάτων	1000	20	20000	
8	Μικροσυσκευές	2500	10	25000	
9	Τηλεοράσεις	200	200	40000	
10	Φούρνος μικροκυμάτων	1500	5	7500	
11	Τοστιέρα	1000	5	5000	
12	Υπολογιστής	100	50	5000	
13	Κλιματισμός	4000	100	400000	Ιούνιο-Ιούλιο -Αύγουστο
ΣΥΝΟΛΟ		16200		800000	

Πίνακας 1 Ενεργειακές ανάγκες κατοικίας

- Φωτισμός εισόδου, κήπου και βοηθητικών εγκαταστάσεων.

- Θα τοποθετηθούν παντού λαμπτήρες υψηλής απόδοσης συνολικής ισχύος 250 W με μηνιαία κατανάλωση 25000 Wh.
- Αντλιοστάσιο

Θα λειτουργεί αντλητικό συγκρότημα συνολικής ισχύος 5000W. Το αντλιοστάσιο από τους μήνες Οκτώβριο μέχρι και το Μάρτιο θα λειτουργεί μία ώρα ημερησίως με μηνιαία κατανάλωση 150000 Wh. Από το μήνα Απρίλιο και μέχρι και το μήνα Μάιο θα λειτουργεί για τρεις ώρες ημερησίως με μηνιαία κατανάλωση 450000 Wh.

Άρα, βάσει στοιχείων, θα έχουμε:

- Τους μήνες Οκτώβριο μέχρι και Μάρτιο.
 $490000 + 25000 + 150000 = 665000 \text{ Wh}$.
- Τους μήνες Απρίλιο και Μάιο.
 $490000 + 25000 + 450000 = 965000 \text{ Wh}$
- Τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο.
 $800000 + 25000 + 750000 = 1575000 \text{ Wh}$
- Το μήνα Σεπτέμβριο.
 $490000 + 25000 + 600000 = 1115000 \text{ Wh}$.

1.3 Υπολογισμός της μέγιστης απαιτούμενης ισχύος

$$P_m = 16200 + 250 + 5000 = 21450 \text{ W.}$$

Για την κατοικία, λόγω αντλητικού συγκροτήματος έχουμε σερ = 0,50

$$P_{ma} = P_m \cdot \sigma_{\tau} = 21450 \cdot 0,50 = 10725 \text{ W.}$$

Η μέγιστη απαιτούμενη ισχύς θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ισχύ της κάθε συσκευής

$$P_{ma} > P_{ml} \text{ και } 10725 > 5000 \text{ W.}$$

1.4 Υπολογισμός του συνολικού βαθμού απόδοσης της Φ/Β εγκατάστασης

α. Βαθμός απόδοσης των Φ/Β συλλεκτών

Θα τοποθετηθούν Φ/Β συλλέκτες με τα χαρακτηριστικά του πίνακα 4.1 του παραρτήματος

Τύπος	ASE-160-GT-FT
EFG κυψέλες (πολυκρυσταλλικές) πλήρως τετραγωνισμένες 10x10cm	
Ονομαστική ισχύς (P_{nom})	160 Wp.
Τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος (U_{mpp})	56,90 V.
Ένταση στο σημείο μέγιστης ισχύος (I_{mpp})	2,81 A.
Ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{sc})	3,13 A.
Τάση ανοιχτού κυκλώματος (U_a)	70,40 V

Διαστάσεις (μήκος, πλάτος, πάχος) σε mm	1282x1070x50mm
Βάρος	19,20 Kg
Αριθμός κυψελών ανά συλλέκτη	120
Τα ηλεκτρικά μεγέθη ισχύουν για στάνταρ συνθήκες (STC), ακτινοβολίας 1000 W/m ² , πυκνότητα αέρα AM 1,5 θερμοκρασία κυψελών 25° C.	

Πίνακας 2 Χαρακτηριστικά στοιχεία Φ/Β συλλέκτη

Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά στοιχεία του Πίνακα 2, ο βαθμός του συλλέκτη είναι:

$$\eta_{\sigma} = \frac{P_m}{E \cdot F_{\pi\lambda}} = \frac{160}{1000 \cdot 1,282 \cdot 1,070} = 0,1166 \text{ ή } 11,66\%$$

$$\sigma\theta = 0,90 \text{ (μήνας Δεκέμβριος)}$$

$$\sigma\rho = 0,90 \text{ (μέτρια ρύπανση)}$$

- β. Βαθμός απόδοσης ηλεκτρονικών διατάξεων, εγκαταστάσεων και συσκευών ελέγχου.

- Βαθμός απόδοσης μετατροπέα (COMPACT (400-48) $\eta_1 = 95\%$.
- Επιλογέας κατανάλωσης $\eta_2 = 97\%$.
- Συσσωρευτές $\eta_3 = 85\%$.
- Καλωδιώσεις εγκατάστασης $\eta_4 = 97\%$.
- Πίνακας λειτουργίας και ελέγχου $\eta_5 = 98\%$.

Επομένως: $\eta_{\delta} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5 = 0,95 \cdot 0,97 \cdot 0,85 \cdot 0,97 \cdot 0,98 \Rightarrow \eta_{\delta} = 0,74458$.

- γ. Συνολικός βαθμός απόδοσης

$$\eta_{\sigma\lambda} = \eta_{\sigma} \cdot \eta_{\delta} = 0,1166 \cdot 0,74458 = 0,08681.$$

Για το μήνα Δεκέμβριο και για μέτρια ρύπανση, θα έχουμε:

$$\eta'_{\sigma\lambda} = \eta_{\sigma\lambda} \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\rho} = 0,08681 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 0,07031$$

1.4 Υπολογισμός της αναγκαίας επιφάνειας των Φ/Β συλλεκτών

- α. Οι ενεργειακές ανάγκες για το μήνα Δεκέμβριο (δυσμενέστερη περίπτωση) είναι:
 $E_a = 665000\text{Wh}$ ή 665KWh .
- β. Με βάση τα στοιχεία του Παραρτήματος (Παράρτημα, πίνακας 4.1) για τη βέλτιστη μηνιαία κλίση για το μήνα Δεκέμβριο έχουμε:
 $H_{mk} = 54,177\text{KWh/m}^2$ και $\beta = 58^\circ$.
Με βάση τα στοιχεία του παραρτήματος
Επομένως

$$F_{\sigma\omega\lambda} = \frac{Ea}{Hmk * \eta_{\sigma\omega\lambda}} = \frac{665}{54,177 * 0,07032} = 175m^2$$

Επειδή ο συλλέκτης που επιλέχθηκε έχει επιφάνεια

$$F_{\sigma I} = 1,282 * 1,070 = 1,37174m^2$$

Θα χρειαστούμε συνολικά

$$v = \frac{F_{\sigma\omega\lambda}}{F_{\sigma I}} = \frac{175}{1,37174} \Rightarrow V = 128 \text{ συλλέκτες}$$

1.5 Υπολογισμός της μέγιστης ισχύος που δίνουν τα φωτοβολταϊκά πλαισία

Με βάση τα χαρακτηριστικά του Πίνακα 2 θα έχουμε:

$$P_m = vP_{m1} = 128 \cdot 160 = 20480W \text{ ή } 20,480 \text{ KW.}$$

1.6 Υπολογισμός της χωρητικότητας των συσσωρευτών

Επειδή η κατοικία θα είναι συνδεδεμένη με το κεντρικό δίκτυο διανομής, για λόγους ασφαλείας θα υπάρχει αποθηκευμένη ηλεκτρική ενέργεια που θα καλύπτει τις ανάγκες για διακοπή του δικτύου για μία ημέρα (24 ώρες). Η μέση ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια το μήνα Δεκέμβριο, είναι:

$$E_{am} = Ea / 30 = 665000 / 30 = 22167Wh \text{ ή } 22,167 \text{ KWh.}$$

Θα τοποθετηθούν συσσωρευτές PzS/ECO/SUN. Τύπος 9 PzS 720, τάσης 2V, χωρητικότητα 720Ah.

Η ονομαστική τάση της συστοιχίας θα πρέπει να είναι 48V.

Θα συνδεθούν σε σειρά (24) εικοσιτέσσερις συσσωρευτές

$$U = v \sigma \cdot U1 = 24 \cdot 2 = 48V.$$

$$\beta = 0,8 \text{ και } \eta_o = 0,85$$

$$E_k = \frac{v * Ea}{30} = \frac{1,655000}{30} = 2216Wh$$

$$Q_{\omega\lambda} = \frac{E_k}{\beta * U_{n\sigma}} = \frac{22167}{0,8 * 48 * 0,85} = 680Ah$$

Η συστοιχία μας δίνει τάση $U = 24 \cdot 2 = 48V$ και χωρητικότητα $Q = Q1 = \dots\dots\dots Q24 = 720Ah$

1.7 Επιλογή μετατροπέα (inverter DC-AC)

Θα τοποθετηθούν μετατροπείς COMPACT (με ενσωματωμένο φορτιστή και ρυθμιστή φόρτισης), τύπος C4000-48, με ονομαστική τάση εισόδου 48V/DC, ονομαστική ισχύ 3500 W και τάση εξόδου 230 V/AC

1.8 Τοποθέτηση Φ/Β συλλεκτών

Η τοποθέτηση των Φ/Β συλλεκτών θα γίνει σε παράλληλες σειρές με προσανατολισμό το Νότο. Θα τοποθετηθούν σε έξι πλήρεις σειρές ($v = 6$) και κάθε σειρά θα έχει από 22 συλλέκτες. Αριθμός συλλεκτών $6 \cdot 22 = 132$

Κάθε σειρά θα έχει 22 συλλέκτες που θα συνδέονται παράλληλα και θα τροφοδοτούν το μετατροπέα. Κάθε σειρά θα μας δίνει τάση:

$$U_{mpp} = 56,90V \text{ και ισχύ } P_m = 22 \cdot 160 = 3520 \text{ W.}$$

Η συνολική επιφάνεια εγκατεστημένων Φ/Β συλλεκτών

$$F_{εκ} = 132 \cdot 1,37174 = 181,07 m^2.$$

Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά στοιχεία του μετατροπέα, η τάση εισόδου κυμαίνεται από 38 έως 64V.

Για τη βέλτιστη μηνιαία κλίση (Δεκέμβριος) και με βάση τα στοιχεία του παραρτήματος (Παράρτημα Πίνακας 4.4), έχουμε:

$$\beta = 58^\circ, h_1 = 2,312, h_2 = 0,530.$$

Επειδή οι συλλέκτες έχουν ύψος 1,282 m και πλάτος 1,070 m, θα έχουμε:

Απόσταση ανάμεσα στις σειρές:

$$x = h \cdot h_1 = 1,282 \cdot 2,312 = 2,97 m \sim 3,00 m.$$

Απόσταση που καταλαμβάνει η κάθε σειρά στο έδαφος $x' = h - h_2 = 1,282 - 0,530 = 0,680 m$

Τοποθετώντας τις σειρές με αυτές τις αποστάσεις δεν έχουμε σκίαση σε καμία ημέρα του έτους.

Το μήκος y της κάθε σειράς θα είναι:

$$y = K \cdot L = 22 \cdot 1,070 = 23,54 m.$$

Το πλάτος y' που καταλαμβάνουν στο έδαφος οι έξι σειρές είναι:

$$y' = [(v-1) \cdot x + x'] = [(6-1) \cdot 3 + 0,680] = 15,680 m.$$

Η συνολική έκταση που απαιτείται για την τοποθέτηση των 132 συλλεκτών χωρίς να έχουμε σκίαση είναι:

$$F_s = y \cdot y' = 23,54 \cdot 15,680 = 369,11 \text{ τ.μ.}$$

Επειδή για λόγους ασφαλείας θα πρέπει να γίνει περίφραξη περιμετρικά του χώρου τοποθέτησης των συλλεκτών, ανάμεσα στα όρια της περίφραξης και των συλλεκτών πρέπει να υπάρχει ελεύθερος χώρος (συνήθως 2,5 m) για την άνετη κυκλοφορία ενός οχήματος για έλεγχο, συντήρηση κ.λπ.

Η συνολική έκταση του χώρου που πρέπει να γίνει η περίφραξη, είναι:

$$\Phi_{sol} = (y' + x_a + x_b)(y + y_a + y_b) = (15,680 + 2,5 + 2,5) \cdot (23,54 + 2,50 + 2,50) = 20,68 \cdot 28,64 = 590,21 \text{ τ.μ.}$$

Η τοποθέτηση των μεταλλικών βάσεων πρέπει να γίνεται πάνω σε βάση από σκυρόδεμα που θα φέρει ελαφρύ μεταλλικό οπλισμό (πλέγμα).

1.9 Υπολογισμός διατομής καλωδίων

α. Διαδρομή από ομάδα Φ/Β συλλεκτών μέχρι μετατροπέα.

1. Έλεγχος με βάση την πυκνότητα του ρεύματος.

Το μέγιστο ρεύμα ενός Φ/Β συλλέκτη με βάση τα στοιχεία του κατασκευαστή είναι $I_{mpp} = 2,81 \text{ A}$.

Επειδή έχουμε συνδεδεμένους 22 συλλέκτες παράλληλα, το συνολικό ρεύμα της γραμμής θα είναι:

$$I_{\gamma 1} = 22 \cdot I_{mpp} = 22 \cdot 2,81 = 61,82 \text{ A}$$

Το καλώδιο που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι H07RN-F και η διατομή του για ένταση ρεύματος 61,82A με βάση τον πίνακα 52-K₃ του προτύπου ΕΛΟΤ HD 384, είναι 10mm² με μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα 73A. Επειδή τα καλώδια αυτά θα τοποθετηθούν στο έδαφος, μέσα σε σωλήνα PVC και θα είναι συνολικά οκτώ, με βάση τον πίνακα 52-E₃ του προτύπου ΕΛΟΤ HD384, ο συντελεστής είναι $f_4 = 0,60$.

Επειδή η θερμοκρασία εδάφους, κατά την καλοκαιρινή περίοδο, είναι περίπου 25°C με βάση τα στοιχεία του πίνακα 52Δ₂ του προτύπου ΕΛΟΤ HD384, θα έχουμε συντελεστή διόρθωσης $f_2 = 0,95$.

Επομένως:

$$I'_{\gamma 1} = I_{\gamma 1} / f_4 \cdot f_2 = 61,82 / 0,60 \cdot 0,95$$

και

$$I'_{\gamma 1} = 61,82 / 0,570 = 108,46\text{A}$$

Από τον πίνακα 52- κ₃ του προτύπου για ένταση ρεύματος 108,46 A έχουμε διατομή $S = 25\text{mm}^2$.

Διατομή καλωδίου $2 \times 25 \text{ mm}^2$.

2. Έλεγχος με βάση την επιτρεπόμενη πτώση τάσης ($U_{\text{πτ}} < 5\% \cdot U_{\text{ον}}$)

Απόσταση χώρου τοποθέτησης μετατροπέων από τις σειρές των Φ/Β συλλεκτών $l = 30\text{m}$ και συνολικό μήκος αγωγών καλωδίου $l = 2l = 60 \text{ m}$

Η αντίσταση του καλωδίου, θα είναι:

$$R = \rho \cdot l / S = 0,018 \cdot 60 / 25 = 0,0432 \Omega .$$

Η πτώση τάσης στη διαδρομή αυτή, θα είναι:

$$U_{\text{πτ}} = I_{\gamma 1} \cdot R = 61,82 \cdot 0,0432 = 2,67\text{V}.$$

Η επιτρεπόμενη πτώση τάσης, με βάση τους διεθνείς κανονισμούς είναι:

$$U_{\text{επ}} < U_{\text{ον}} \cdot 5\% < 48 \cdot 0,05 < 2,4\text{V}$$

Με βάση τους υπολογισμούς που κάναμε

$$U_{\text{πτ}} > U_{\text{επ}} \text{ ή } 2,67 \text{ V} > 2,4 \text{ V}$$

Επειδή με διατομή καλωδίου $S = 25\text{mm}^2$, η πτώση τάσης είναι μεγαλύτερη από την επιτρεπόμενη, θα γίνει έλεγχος με την αμέσως μεγαλύτερη τιμή, με βάση τις τυποποιημένες τιμές του εμπορίου, που είναι 35mm^2 και θα έχουμε:

$$R = \rho l / S = 0,018 \cdot 60 / 35 = 0,0308 \Omega \text{M}.$$

Η πτώση τάσης με αυτή τη διατομή, θα είναι:

$$U_{\text{m}} = I_{\gamma 1} \cdot R = 61,82 \cdot 0,0308 = 1,904\text{V}.$$

Επομένως: $U_{\text{πτ}} < U_{\text{επ}} \text{ ή } 1,904 \text{ V} < 2,4\text{V}.$

Τελικά επιλέγουμε διατομή καλωδίου $S = 35\text{mm}^2$ (καλώδιο H07RN - F $2 \times 35\text{mm}^2$).

β. Διαδρομή από μετατροπέα σε συστοιχία συσσωρευτών. Η συνολική χωρητικότητα της συστοιχίας είναι:

$$Q_{\text{ολ}} = 688 \text{ Ah}.$$

Κάθε μετατροπέας θα αναλαμβάνει να καλύψει φορτίο φόρτισης για $Q' = Q_{\text{ολ}} / 8 = 85 \text{ Ah}.$

Για ταχεία φόρτιση (0,2c), θα έχουμε:

$$I_0 = 0,2 \cdot Q' = 0,2 \cdot 85 = 17\text{A}$$

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα 52-K1 του προτύπου, HD384 για ένταση ρεύματος 14A έχουμε διατομή καλωδίου $S' = 2,5\text{mm}^2$.

Τα καλώδια θα βρίσκονται σε χώρο όπου η θερμοκρασία του περιβάλλοντος δεν θα ξεπερνά τους 30°C .

Τα καλώδια θα είναι τοποθετημένα πάνω σε διάτρητη μεταλλική σχάρα και η απόσταση μεταξύ τους θα είναι τουλάχιστον διπλάσια της διαμέτρου.

Η απόσταση ανάμεσα στους μετατροπείς και τη συστοιχία των συσσωρευτών θα είναι μικρή (περίπου πέντε μέτρα).

γ. Διαδρομή από μετατροπέα σε πεδίο ζεύξης.

Η μέγιστη ισχύς φορτίου του μετατροπέα για χρόνο $t = 30 \text{ min}$, είναι $P_{\max} = 4000 \text{ W}$.

Το ρεύμα στην περίπτωση αυτή, θα είναι:

$$I_{\max} = P_{\max} / U = 4000 / 230 = 17,391 \text{ A}.$$

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα 52-K1 του προτύπου, για ένταση ρεύματος 17A έχουμε διατομή καλωδίου $S' = 2,5 \text{ mm}^2$.

Τα καλώδια θα βρίσκονται σε χώρο όπου η θερμοκρασία του περιβάλλοντος δεν θα ξεπερνά τους 30° C .

Τα καλώδια θα είναι τοποθετημένα πάνω σε διάτρητη μεταλλική σχάρα και η απόσταση μεταξύ τους θα είναι τουλάχιστον διπλάσια της διαμέτρου.

1.10 Χώρος τοποθέτησης διατάξεων και συσσωρευτών

Για λόγους ασφαλούς λειτουργίας απαιτείται ιδιαίτερος χώρος (ηλεκτροστάσιο) για την τοποθέτηση των ηλεκτρονικών διατάξεων και του πεδίου ζεύξης.

1.11 Κόστος Φ/Β εγκατάστασης

Το κόστος της Φ/Β εγκατάστασης σε τιμές εμπορίου 2008 ανέρχεται περίπου σε (5.000) πέντε χιλιάδες ευρώ ανά KW εγκατεστημένης ισχύος, χωρίς να περιλαμβάνεται σ' αυτό η αξία των συσσωρευτών αποθήκευσης.

Η εγκατεστημένη ισχύς της Φ/Β εγκατάστασης είναι:

$$P_m = 6 \cdot 22 \cdot 160 = 132 \cdot 160 = 21120 \text{ W ή } 21,120 \text{ KW}.$$

Κόστος εγκατάστασης:

$$K = 21,120 \cdot 5000 = 105.600 \text{ ευρώ}$$

1.12 Οικονομικό αποτέλεσμα

1. Κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (με τιμές 2008): 0,10 ευρώ η KWh.
2. Συνολικές ετήσιες ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια: $A_1 = 11760 \text{ KWh}$.
3. Συνολικό κόστος σε ετήσια βάση: $K_1 = A_1 \cdot 0,1 = 1.176 \text{ ευρώ}$.
4. Διάρκεια ζωής της Φ/Β εγκατάστασης: 30 έτη.
5. Δαπάνη για κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για 30 έτη: $K_2 = 30 \cdot K_1 = 35.208 \text{ ευρώ}$.
6. Τιμή πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που πλεονάζει (με βάση την καθορισθείσα τιμή από το Ν3468/ 2006) 0,45 ευρώ η KWh.
7. Συνολική ετήσια ενέργεια που πλεονάζει: $A_2 = 6770,45 \text{ KWh}$.
8. Συνολικό όφελος σε ετήσια βάση: $E_1 = A_2 \cdot 0,45 = 3046,70 \text{ KWh}$.
9. Συνολικό όφελος από πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας για διάρκεια 30 έτη: $E_2 = 20 \cdot E_1 + 10 \cdot E_1 \cdot 0,8 = 88.307,6 \text{ ευρώ}$.
10. Συνολικό όφελος από τη λειτουργία της Φ/Β εγκατάστασης για διάρκεια 30 έτη: $E_3 = K_2 + E_2 = 35208 + 85307 = 120.515 \text{ ευρώ}$.
11. Κόστος εγκατάστασης: $K = 105.600 \text{ ευρώ}$.
12. Τελικό κέρδος: $E_T = E_3 - K = 14.915 \text{ ευρώ}$.

Αν είχαμε επιδότηση του κόστους της Φ/Β εγκατάστασης σε ποσοστό 50% το τελικό κέρδος θα ήταν:

$$E'T = E_3 - 0,5K = 67.715 \text{ ευρώ}.$$

3. Πίνακες - διαγράμματα, φωτογραφικό υλικό

4.8. Τεχνικά χαρακτηριστικά Φ/Β συλλεκτών με οκταγωνικές κυψέλες πυριτίου από την εταιρεία RWF SCH OTT solar GMBH – ECO //SUN LT

Πίνακας 4.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά Φ/Β συλλεκτών με οκταγωνικές κυψέλες πυριτίου.

α/α	Τύπος	ASE-50-ETF/17	ASE-100-GT- FT/K	ASE-160-GT-FT
A Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά				
1	Ονομαστική ισχύς (P _{nom})	50 Wp	100Wp	160Wp
2	Τάση στο σημείο μέγιστης ισχύος (U _{mp})	17,2V	34.5V	56.9V
3	Ένταση στο σημείο μέγιστης ισχύος (I _{mp})	2.9A	2.9A	2.81 A
4	Ρεύμα βραχυκύκλωσης (I _{sc})	3,2A	3,2 A	3,13A
5	Τάση ανοιχτού κυκλώματος (U _{oc})	20,0V	42,5V	70,4V
B Διαστάσεις -Βάρος				
1	Διαστάσεις (απόκλιση ±2 mm)	975x452mm	644x1282mm	1282x1070mm
2	Πάχος συλλέκτη	34,5mm (περίπου)	35,0 πιπι (περίπου)	50,0 mm
3	Βάρος	6,1 kg (περίπου)	8,5kg (περίπου)	19,2kg
Γ Χαρακτηριστικά δεδομένα				
1	Αριθμός κυψελών ανά συλλέκτη	36	72	120
2	Τύπος κυψελών	EFG κυψέλες (πλήρως τετραγωνισμένες 10x10 cm)	EFG κυψέλες (πλήρως τετραγωνισμένες 10x10 cm)	EFG κυψέλες (πολυκρυσταλλικές πλήρως τετραγωνισμένες 10x10cm)

α/α	Τύπος	ASE-50-ETF/17	ASE-100-GT- FT/K	ASE-160-GT-FT
3	Είσοδοι καλωδίων (Συνδέσεις)	Στιπιοθλίπτρας M12	MC-Multi Contact Βύσματα (IP69) με έτοιμη καλωδίωση (4mm2 Suhner RADOX x 125A μήκος καλωδίων 100cm)	Κουτιά σύνδεσης, 5διόδους, 4mm2 καλώδιο, συνδετήρες τύπου TYCO, μήκος πόλου: 1m έκαστος.

A Θερμοκρασιακή απόκλιση κυψελών.

1	Απόκλιση Ι ισχύος $T_k(P_n)$	-0,47%/C	-0,47%/C	-0,47%/C
2	Απόκλιση τάσης ανοιχτού κυκλώματος $T_k(U_{oc})$	-0,38%/C	-0,38%/C	-0,38%/C
3	Απόκλιση ρεύματος Βραχυκύκλωσης $T_k(I_{sc})$	+0,10%/C	+0,10%/C	+0,10%/C

E Όρια ασφαλούς λειτουργίας

1	Μέγιστη τάση συστήματος	600V DC	800VDC	750VDC
2	Μέγιστη θερμοκρασία συλλέκτη	-40...+90° C	-40...+90° C	-40...+90° C
3	Αντοχή σε συνθήκες	Ταχύτητα ανέμου 192Km/h, 800Pa, συν. ασφάλεια 3	Ταχύτητα ανέμου 192Km/h, 800Pa, συν. ασφάλεια 3	Ταχύτητα ανέμου 130 Km/h, 800Pa, συν. ασφάλεια 3

ΣΤ Επιλογή

1	Εφαρμογές	Εφαρμόζεται τόσο σε αυτόνομα συστήματα με συσσωρευτές 12-24-48 VDC όσο και σε δια-συνδεδεμένα	Εφαρμόζεται τόσο σε αυτόνομα συστήματα με συσσωρευτές 24-48 VDC όσο και σε δια-συνδεδεμένα	Κατάλληλα για εγκαταστάσεις δικτύου
---	-----------	---	--	-------------------------------------

1. Τα ηλεκτρικά μεγέθη του ASE-50 ισχύουν για στάνταρ συνθήκες (STC), ακτινοβολίας, 1000W/M2, πυκνότητας αέρα AM 1,5 θερμοκρασία κυψελών 25°C.
2. Τα ηλεκτρικά μεγέθη του ASE-100 ισχύουν για στάνταρ συνθήκες (STC), ακτινοβολίας 1000W/M2, πυκνότητας αέρα AM 1,5, θερμοκρασία κυψελών 25°C. Η ονομαστική ισχύς μπορεί να παρουσιάζει απόκλιση $\pm 3\%$, ενώ τα υπόλοιπα μεγέθη $\pm 10\%$ NOCT τιμές (800 W/M2, 20°C, 1m/sec): 45 °C.
3. Για τον τύπο ASE - 160, η ονομαστική ισχύς μπορεί να παρουσιάζει απόκλιση $\pm 5\%$, ενώ τα υπόλοιπα μεγέθη $\pm 10\%$.

Πιστοποιήσεις:

4. Ο συλλέκτης ASE-50-ETF/17 καλύπτει τις προδιαγραφές των κανονισμών IEC 61215, ηλεκτρικής προστασίας class II και της Ευρωπαϊκής κοινότητας CE 89/392, DIN EN.
5. Ο συλλέκτης ASE-100- GT - FT/K καλύπτει τις προδιαγραφές των κανονισμών IEC 1215,61215, ηλεκτρικής προστασίας class III και της ευρωπαϊκής κοινότητας CE 89/392, DIN EN.
6. Ο συλλέκτης ASE-100-GT-FT καλύπτει τις προδιαγραφές των κανονισμών IEC 1215, Fire class A, ηλεκτρικής προστασίας class II και της ευρωπαϊκής κοινότητας EWG και 89/392.

Πίνακας 3.1 Ολική μηνιαία ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο, στην επιφάνεια της γης σε kWh/M2 για κάθε περιοχή (πρωτεύουσα Νομού) της χώρας

α/α	Πόλη	Γ.Π	Γ.Μ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α:	Σ	Ο	N	Λ :	Ανοιξη	Καλο- καίρι	Φθινό- πоро	Χε- μώνας	ΕΤΟΣ
1	ΑΓ.ΝΙΚΟΛΑΟΣ	35.12'	25.43'	69.00	88.00	132.00	169.00	204.00	217.00	218.00	197,00	160,00	117,00	73.00	59,00	505,00	632,00	350,00	216,00	1703,00
2	ΑΘΗΝΑ	37.56'	23.47'	64.00	73.00	120.00	158.00	196.00	215.00	219.00	197,00	156,00	106,00	65.00	55,00	474,00	631,00	327,00	192,00	1624,00
3	ΛΑΛΕΣ/ΛΙΟΛΗ	40.51'	25.52'	49.00	61.00	103.00	139.00	172.00	183.00	188.00	169,00	128,00	91,00	53.00	38,00	414,00	540,00	272,00	148,00	1374,00
4	ΑΝΦΙΣΣΑ	38.32'	22.23'	54.00	65.00	108.00	148.00	185.00	201.00	203.00	179,00	137,00	94,00	57.00	44,00	441,00	583,00	288,00	163,00	1475,00
5	ΑΡΓΟΣ	37.38'	22.44'	58.00	70.00	114.00	151.00	188.00	205.00	206.00	186,00	146,00	100,00	62.00	50,00	453,00	597,00	308,00	178,00	1536,00
6	ΑΡΓΟΣΤΟΛΙ	38.10'	20.30'	50.00	62.00	107.00	147.00	186.00	205.00	206.00	185,00	133,00	94,00	54.00	42,00	440,00	596,00	281,00	154,00	1471,00
7	ΑΡΤΑ	39.09'	20.59'	49.00	59.00	100.00	140.00	179.00	205.00	199.00	177,00	128,00	92,00	52.00	38,00	419,00	581,00	272,00	146,00	1418,00
8	ΒΕΡΟΙΑ	40.31'	22.12'	52.00	65.00	102.00	147.00	179.00	203.00	207.00	184,00	134,00	99,00	59.00	38,00	428,00	594,00	292,00	155,00	1469,00
9	ΒΟΛΟΣ	39.23'	22.57'	52.00	65.00	106.00	148.00	184.00	201.00	204.00	178,00	132,00	98,00	59.00	42,00	438,00	583,00	289,00	159,00	1469,00
10	ΓΡΕΒΕΝΑ	40.05'	21.26'	53.00	67.00	109.00	149.00	183.00	202.00	208.00	183,00	137,00	100,00	60.00	39,00	441,00	593,00	297,00	159,00	1490,00
11	ΔΡΑΜΑ	41.09'	24.09'	46.00	61.00	98.00	137.00	166.00	183.00	190.00	165,00	123,00	90,00	52.00	37,00	401,00	538,00	285,00	144,00	1348,00
12	ΕΛΕΥΣΙΑ	40.48'	22.03'	50.00	65.00	103.00	143.00	177.00	199.00	203.00	181,00	134,00	97,00	58.00	36,00	423,00	583,00	289,00	151,00	1446,00
13	ΕΡΜΟΥΠΟΛΗ	37.27'	24.56'	65.00	77.00	122.00	160.00	193.00	212.00	214.00	194,00	156,00	111,00	67.00	56,00	475,00	620,00	334,00	198,00	1627,00
14	ΖΑΚΥΝΘΟΣ	37.47'	20.54'	52.00	65.00	109.00	149.00	188.00	207.00	206.00	184,00	135,00	95,00	56.00	43,00	446,00	597,00	286,00	160,00	1489,00
15	ΗΓΟΥΜΕΝΙΤΣΑ	39.30'	20.16'	51.00	61.00	105.00	140.00	180.00	196.00	200.00	180,00	132,00	96,00	54.00	40,00	425,00	576,00	282,00	152,00	1435,00
16	ΗΡΑΚΛΕΙΟ	35.19'	25.08'	65.00	83.00	123.00	162.00	195.00	210.00	210.00	192,00	155,00	112,00	69.00	55,00	480,00	612,00	336,00	203,00	1631,00
17	ΘΕΣ/ΝΙΚΗ	40.39'	22.56'	50.00	63.00	101.00	141.00	173.00	199.00	200.00	175,00	131,00	96,00	59.00	36,00	415,00	574,00	286,00	149,00	1424,00
18	ΙΩΑΝΝΙΝΑ	39.40'	20.51'	51.00	65.00	107.00	145.00	181.00	199.00	206.00	181,00	131,00	96,00	56.00	39,00	433,00	586,00	283,00	155,00	1457,00
19	ΚΑΒΑΛΑ	40.56'	24.24'	47.00	61.00	100.00	139.00	170.00	186.00	192.00	168,00	125,00	92,00	54.00	37,00	409,00	546,00	271,00	145,00	1371,00
20	ΚΑΛΑΜΑΤΑ	37.03'	22.06'	57.00	71.00	113.00	151.00	187.00	206.00	205.00	186,00	145,00	100,00	61.00	50,00	451,00	597,00	306,00	178,00	1532,00
21	ΚΑΛΥΜΝΟΣ	36.57'	26.59'	68.00	85.00	130.00	165.00	199.00	217.00	214.00	195,00	161,00	121,00	75.00	59,00	494,00	626,00	357,00	212,00	1689,00
22	ΚΑΡΔΙΤΣΑ	39.22'	21.55'	50.00	63.00	104.00	143.00	179.00	199.00	203.00	176,00	129,00	95,00	56.00	39,00	426,00	578,00	280,00	152,00	1436,00
23	ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ	38.55'	21.48'	56.00	71.00	116.00	153.00	188.00	202.00	209.00	184,00	139,00	100,00	61.00	45,00	457,00	595,00	300,00	172,00	1524,00

Πίνακας 4.1 Βέλτιστη κλίση ανά μήνα, συντελεστής διόρθωσης R και ολική ηλιακή ακτινοβολία Hk σε kWh/m2 επίπεδο με τη βέλτιστη κλίση, ανά μήνα, εποχή και έτος, χαρακτηριστικών πόλεων.

α/α	Μήνας εποχή έτος		I	Φ	M	A	M	I	I	A	Σ	Ο	N	Δ	Άνοξη	Κολο-καίρι	Οθινό-πορο	Χει-μώ-νας	Έτος
	Πόλη, Βέλτιστη κλίση, R & Hk																		
1	ΡΟΔΟΣ	B°κ	60,00	51,00	38,00	20,00	4,00	0,00	0,00	13,00	32,00	49,00	59,00	61,00					
		R	16,758	14,271	12,019	10,442	10,017	10,000	10,000	10,189	11,333	13,841	16,608	17,229					
		Hk	118,984	128,443	168,272	174,386	203,345	217,000	216,000	198,695	183,602	174,405	134,525	106,823	546,003	631,695	492,532	354,250	2,024,480
2	ΣΑΜΟΣ	B°κ	60,00	51,00	38,00	20,00	5,00	0,00	0,00	14,00	32,00	49,00	59,00	62,00					
		R	16,904	14,018	11,874	10,459	10,025	10,000	10,000	10,218	11,347	13,831	16,357	17,276					
		Hk	109,880	110,742	144,874	162,120	188,479	205,000	207,000	191,082	167,936	157,680	116,139	96,748	495,473	603,082	441,755	317,370	1,857,680
3	ΣΠΑΡΤΗ	B°κ	57,00	48,00	36,00	19,00	5,00	0,00	0,00	14,00	32,00	46,00	55,00	58,00					
		R	15,252	13,123	11,584	10,418	10,019	10,000	10,000	10,198	11,248	13,067	14,734	15,408					
		Hk	88,463	93,177	132,057	159,400	189,376	207,000	205,000	191,740	164,227	131,980	91,351	77,041	480,833	603,740	387,558	258,681	1,730,812
4	ΣΕΡΡΕΣ	B°κ	60,00	51,00	38,00	22,00	8,00	0,00	3,00	17,00	34,00	50,00	59,00	58,00					
		R	16,156	13,672	11,788	10,535	10,052	10,000	10,006	10,291	11,406	13,878	16,122	15,049					
		Hk	75,934	83,399	116,703	145,390	169,888	188,000	194,117	173,921	141,436	127,679	87,061	54,177	431,981	556,038	356,176	213,510	1,557,705
5	ΤΡΙΚΑΛΑ	B°κ	58,00	49,00	37,00	21,00	7,00	0,00	1,00	16,00	32,00	49,00	57,00	57,00					
		R	15,540	13,368	11,721	10,492	10,040	10,000	10,001	10,255	11,289	13,624	15,349	14,922					
		Hk	77,704	85,559	123,071	151,092	179,716	201,000	203,031	180,489	144,510	132,158	85,958	59,689	453,879	584,520	362,626	222,95	1,623,977

Πίνακας 4.2 Ηλιοφάνεια σε ώρες, ανά μήνα, εποχή και έτος για διάφορες πόλεις

α/α	Πόλη	Γ.Π	Γ.Μ	Υψό- μετρο σε(μ)	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	N	A	Ανοιξη	Καλο- καίρι	Φθινό- πώρο	Χει- μώ- νας	ΕΤΟΣ
1	ΛΗΜΝΟΣ	39.53'	25.04'	13	82.00	111.00	162.00	222.00	294.00	327.00	345.00	338.00	285.00	198.00	128.00	95.00	678.00	1010.00	591.00	288.00	2567.00
2	ΜΕΘΩΝΗ	36.50'	21.42'	33	121.00	129.00	184.00	200.00	291.00	326.00	354.00	332.00	265.00	211.00	165.00	120.00	675.00	1012.00	641.00	370.00	2698.00
3	ΜΗΛΟΣ	36.43'	24.27'	182	94.00	88.00	167.00	206.00	327.00	389.00	424.00	399.00	321.00	195.00	162.00	96.00	700.00	1212.00	678.00	278.00	2868.00
4	ΜΥΤΙΛΗΝΗ	39.06	26.33'	2	93.00	113.00	173.00	221.00	285.00	346.00	373.00	345.00	292.00	221.00	137.00	102.00	679.00	1064.00	650.00	308.00	2701.00
5	ΝΑΞΟΣ	37.06'	25.23'	9	113.00	106.00	167.00	224.00	288.00	342.00	355.00	336.00	273.00	208.00	139.00	115.00	679.00	1033.00	620.00	334.00	2666.00
6	ΠΑΡΟΣ	37.05'	25.09'	1	111.00	135.00	183.00	237.00	320.00	360.00	378.00	350.00	282.00	212.00	154.00	120.00	740.00	1088.00	648.00	366.00	2842.00
7	ΠΑΤΡΑ	38.15	21.44'	1	105.00	117.00	191.00	186.00	272.00	323.00	334.00	313.00	254.00	194.00	132.00	117.00	649.00	970.00	580.00	339.00	2538.00
8	ΠΥΡΓΟΣ	37.40'	21.27	12	153.00	133.00	187.00	211.00	312.00	338.00	364.00	348.00	285.00	206.00	175.00	146.00	710.00	1050.00	666.00	432.00	2858.00
9	ΡΕΘΥΜΝΟ	35.21'	24.31'	7	111.00	132.00	157.00	218.00	309.00	335.00	373.00	350.00	264.00	166.00	166.00	113.00	684.00	1058.00	596.00	356.00	2694.00
10	ΡΟΔΟΣ	36.23'	28.07'	35	136.00	142.00	206.00	247.00	315.00	356.00	387.00	373.00	314.00	240.00	184.00	142.00	765.00	1116.00	739.00	423.00	3043.00
11	ΣΑΜΟΣ	37.42'	26.55'	48	129.00	139.00	188.00	225.00	299.00	349.00	378.00	356.00	301.00	231.00	168.00	122.00	712.00	1083.00	700.00	390.00	2885.00
12	ΣΑΝΤΟΡΙΝΗ	36.25'	25.26'	213	127.00	141.00	172.06	253.00	311.00	371.00	429.00	401.00	311.00	213.00	171.00	136.00	736.00	1201.00	695.00	404.00	3036.00
13	ΣΕΡΡΕΣ	41.04'	23.34'	32	102.00	108.00	158.00	199.00	260.00	293.00	321.00	308.00	236.00	173.00	128.00	111.00	617.00	922.00	537.00	321.00	2397.00
14	ΣΗΤΕΙΑ	35.12	26.06'	116	113.00	129.00	183.00	229.00	309.00	349.00	378.00	348.00	283.00	200.00	166.00	119.00	721.00	1075.00	649.00	361.00	2806.00
15	ΣΚΥΡΟΣ	38.54'	24.33'	4	77.00	101.00	141.00	214.00	300.00	338.00	364.00	342.00	261.00	181.00	124.00	93.00	655.00	1044.00	566.00	271.00	2536.00
16	ΣΥΡΟΣ	37.27'	24.57'	10	111.00	142.00	175.00	249.00	322.00	342.00	387.00	361.00	290.00	231.00	157.00	128.00	746.00	1090.00	678.00	381.00	2895.00
17	ΤΡΙΠΟΛΗ	37.31'	22.24'	661	121.00	114.00	165.00	206.00	260.00	310.00	329.00	311.00	256.00	189.00	138.00	125.00	631.00	950.00	583.00	360.00	2524.00
18	ΤΥΜΠΑΚΙ	35.00'	24.45'	6	134.00	144.00	198.00	232.00	290.00	351.00	381.00	358.00	299.00	240.00	162.00	136.00	720.00	1090.00	701.00	414.00	2925.00
19	ΧΑΝΙΑ	35.30'	24.02'	62	112.00	129.00	174.00	229.00	314.00	358.00	392.00	368.00	276.00	184.00	158.00	115.00	717.00	1118.00	618.00	356.00	2809.00
20	ΧΙΟΣ	38.24'	26.08'	3	108.00	120.00	176.00	225.00	319.00	359.00	391.00	367.00	294.00	223.00	154.00	119.00	720.00	1117.00	671.00	347.00	2855.00

Πίνακας 4.3 Μόνιμη κλίση και ολική ηλιακή ακτινοβολία Ηκ σε kWh/m² στο επίπεδο με την επήρεια βέλτιστη κλίση, ανά μήνα, εποχή και έτος.

α/α	Πόλη	Μόνιμη κλίση	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Α	Ανοίξη	Καλο- καίρι	Φθινό- πωρο	Χειμώ- νας	Έτος
46	ΡΟΔΟΣ	28,00	104,540	120,072	166,164	173,057	192,070	196,160	198,871	193,994	183,306	165,320	118,948	92,706	531,291	589,025	467,574	317,318	1,905,208
		29,00	105,415	120,766	166,554	172,717	191,104	194,859	197,680	193,339	183,447	166,177	119,926	93,521	530,375	585,878	469,550	319,702	1,905,505
		30,00	106,265	121,431	166,904	172,340	190,101	193,523	196,451	192,642	183,543	166,992	120,874	94,314	529,345	582,616	471,409	322,010	1,905,383
47	ΣΑΜΟΣ	28,00	96,096	103,933	143,285	161,085	179,133	186,986	192,098	187,218	167,590	149,282	103,004	83,736	483,483	566,302	419,876	283,765	1,753,426
		29,00	96,914	104,505	143,574	160,798	178,296	185,824	191,016	186,637	167,736	150,058	103,829	84,477	482,668	563,477	421,623	285,896	1,753,664
		30,00	97,709	105,053	143,850	160,477	177,424	184,628	189,898	186,016	167,842	150,797	104,629	85,197	481,751	560,542	423,268	287,959	1,753,520
48	ΣΠΑΡΤΗ	24	77,696	87,454	130,027	159,057	182,566	192,527	193,614	189,527	163,230	124,549	81,544	67,222	471,650	575,668	369,323	232,372	1,649,013
		25,00	78,324	87,920	130,354	158,885	181,844	191,467	192,669	189,080	163,488	125,198	82,154	67,776	471,083	573,216	370,840	234,020	1,649,159
		26,00	78,934	88,368	130,653	158,680	181,086	190,372	191,686	188,592	163,708	125,819	82,746	68,316	470,419	570,650	372,273	235,618	1,648,960
49	ΣΕΡΡΕΣ	27	66,599	78,213	115,120	145,048	164,048	175,550	183,998	171,996	140,748	119,691	76,636	48,635	424,216	531,544	337,075	193,447	1,486,282
		28	67,141	78,633	115,388	144,889	163,427	174,641	183,138	171,605	140,942	120,359	77,257	48,977	423,704	529,384	338,558	194,751	1,486,397
		29,00	67,669	79,037	115,632	144,699	162,774	173,700	182,244	171,178	141,104	120,998	77,861	49,309	423,105	527,122	339,963	196,015	1,486,205
50	ΤΡΙΚΑΛΑ	25,00	68,127	80,063	121,019	150,869	174,012	188,083	192,900	178,792	143,648	123,381	75,924	53,047	445,900	559,775	342,953	201,237	1,549,865
		26,00	68,679	80,499	121,336	150,733	173,372	187,110	192,013	178,414	143,869	124,092	76,524	53,441	445,441	557,537	344,485	202,619	1,550,082
		27,00	69,216	80,918	121,626	150,565	172,699	186,104	191,089	177,998	144,057	124,774	77,107	53,824	444,890	555,191	345,938	203,958	1,549,977

Πίνακας 4.4 Τιμές του συντελεστή h 1 και h_2 για τον υπολογισμό της απόστασης ανάμεσα στις παράλληλες σειρές των Φ/Β πλασιών με μόνιμο προσανατολισμό το νότο και για μόνιμη κλίση ίση με τη βέλτιστη μηνιαία κλίση (Δεκέμβρης) για σκίαστρα πλάσια, χαρακτηριστικών πόλεων.

α/α	Κλίση σε μοίρες		Μηνιαία βέλτιστη κλίση	+ 1°	+ 2°	+ 3°	+ 4°	+ 5°
	Πόλη	Μηνιαία κλίση Συντελεστής h_1 Συντελεστής h_2						
46	ΡΟΔΟΣ	Β*κ	61,00	62,00	63,00	64,00	65,00	66,00
		hi	1,993	1,992	1,990	1,988	1,985	1,982
		h2	0,500	0,485	0,454	0,438	0,423	0,407
47	ΣΑΜΟΣ	Β*κ	61,00	63,00	64,00	65,00	66,00	67,00
		111	2,077	2,076	2,074	2,072	2,070	2,066
		h2	0,485	0,454	0,438	0,423	0,407	0,391
48	ΣΠΑΡΤΗ	Β*κ	56,00	58,00	59,00	60,00	61,00	62,00
		hi	2,009	2,030	2,031	2,032	2,032	2,031
		h2	0,559	0,530	0,515	0,500	0,485	0,469
49	ΣΕΡΡΕΣ	Β*κ	58,00	59,00	60,00	61,00	62,00	63,00
		hi	2,307	2,316	2,320	2,323	2,325	2,326
		h2	0,545	0,515	0,500	0,485	0,469	0,454
50	ΤΡΙΚΑΛΑ	Β*κ	56,00	58,00	59,00	60,00	61,00	62,00
		hi	2,186	2,194	2,197	2,200	2,201	2,202
		h2	0,559	0,530	0,515	0,500	0,485	0,469

φωτοβολταϊκά

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ & ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ
ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Ηλιακή ενέργεια
- Αιολική ενέργεια
- Υδροηλεκτρική Ενέργεια



Ινστιτούτο Μικρών Επιχειρήσεων
Γενική Συνομοσπονδία Επαγγελματιών Βιοτεχνών Εμπόρων Ελλάδας
Αριστοτέλους 46, 104 33 Αθήνα, Τηλ. 210 8846852, Fax. 210 8846853
www.imegsee.gr • info@imegsee.gr



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
"ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ"
Προσανατολισμός στον Άνθρωπο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

