

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Αριθμός 1491**

**ΜΕΛΕΤΗ ΥΠΑΙΘΡΙΟΥ ΑΝΑΨΥΚΤΗΡΙΟΥ
ΤΡΟΦΟΔΟΤΟΥΜΕΝΟΥ ΑΠΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ
ΠΑΝΕΛ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:
ΧΟΡΜΠΑΣ ΑΝΔΡΕΑΣ
ΤΣΕΛΗΣ ΘΕΟΦΑΝΗΣ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:
ΘΕΟΧΑΡΗΣ ΑΝΔΡΕΑΣ**

ΠΑΤΡΑ 2015

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Ηλεκτρολογίας Πάτρας του Ανώτατου Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και παρουσιάζει τη μελέτη ενός υπαίθριου αναψυκτηρίου τροφοδοτούμενου από αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα.

Αρχικά γίνεται μια εισαγωγή στην φωτοβολταϊκή τεχνολογία. Παρουσιάζονται οι κατηγορίες των φ/β συστημάτων και δίνεται έμφαση στον υπολογισμό των επιμέρους στοιχείων των αυτόνομων φ/β συστημάτων, τα οποία αποτελούν το αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η μελέτη του υπαίθριου αναψυκτηρίου τροφοδοτούμενο από φ/β πλαίσια. Πραγματοποιείται η οικονομική ανάλυση της κατασκευής του αυτόνομου φ/β συστήματος της τροφοδότησης του αναψυκτηρίου για την εκτίμηση του συνολικού κόστους της κατασκευής. Τέλος γίνεται μια ανασκόπηση και αξιολόγηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και προτείνεται μια εναλλακτική λύση.

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μας, Θεοχάρη Ανδρέα, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που προσέφερε για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας, καθώς και τους γονείς και αγαπημένα μας πρόσωπα, τα οποία μας στήριξαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
-----------------------	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

1.1. Οι ημιαγωγοί.....	2
1.1.1. Ενδογενείς ημιαγωγοί.....	3
1.1.2. Εξωγενείς ημιαγωγοί.....	3
1.1.3. Η επαφή p-n.....	5
1.2. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	6
1.3. Το φωτοβολταϊκό στοιχείο.....	7
1.3.1. Χαρακτηριστική καμπύλη φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	8
1.3.2. Βαθμός απόδοσης - ισχύ αιχμής φωτοβολταϊκού στοιχείου.....	9
1.3.3. Είδη φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	10
1.4. Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο.....	11
1.5. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία.....	13
1.5.1. Προβλήματα σκιασμών στις φ/β συστοιχίες.....	15
1.5.2. Σχεδιασμός φωτοβολταϊκής συστοιχίας.....	16
1.5.3. Προσδιορισμός της μέγιστης τάσης $V_{mσ}$ της φ/β συστοιχίας.....	19
1.6. Υπολογισμοί ηλεκτρικού συσσωρευτή φ/β συστήματος.....	20
1.7. Ελεγκτής φόρτισης ηλεκτρικών συσσωρευτών.....	21
1.8. Μετατροπέας τάσεως DC-AC (inverter).....	24
1.9. Ηλεκτρικές καλωδιώσεις φ/β εγκατάστασης - μέσα προστασίας και διακοπής.....	25
1.10. Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	28
1.11. Προστασία κτηριακών φωτοβολταϊκών συστημάτων από υπερτάσεις και κεραυνούς...30	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΜΕΛΕΤΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ: ΥΠΑΙΘΡΙΟ ΑΝΑΨΥΚΤΗΡΙΟ

2.1. Εισαγωγή.....	31
2.2. Μελέτη αυτόνομου φ/β συστήματος υπαίθριου αναψυκτηρίου.....	34
2.2.1. Βήμα 1: Καταγραφή ηλεκτρικών συσκευών - υπολογισμός συνολικής ημερήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.....	34
2.2.2. Βήμα 2: Γωνία κλίσης 'β' φ/β συστοιχίας - ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας.....	37
2.2.3. Βήμα 3: Ισχύς αιχμής φ/β συστοιχίας $P_{pσ}$	38
2.2.4. Βήμα 4: Μέγιστη τάση φ/β συστοιχίας $V_{mσ}$	39
2.2.5. Βήμα 5: Αριθμός πλαισίων N - αριθμός πλαισίων σε σειρά $Nσ$ - αριθμός παράλληλων κλάδων $Nπ$	39
2.2.6. Βήμα 6: Διάταξη φ/β συστοιχίας - εμβαδόν οριζόντιας επιφάνειας.....	41
2.2.7. Βήμα 7: Επιλογή βάθους εκφόρτισης $\beta_{εκ}$	42
2.2.8. Βήμα 8: Ονομαστική χωρητικότητα συσσωρευτή C	42
2.2.9. Βήμα 9: Επιλογή ελεγκτή φόρτισης.....	43
2.2.10. Βήμα 10: Επιλογή μετατροπέα τάσεως DC-AC (inverter).....	45
2.2.11. Βήμα 11: Επιλογή ηλεκτρικών αγωγών - μέσων προστασίας.....	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

3.1. Κόστος κατασκευής τεχνικών έργων.....	55
3.2. Οικονομική ανάλυση αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος τροφοδότησης αναψυκτηρίου.....	55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

4.1. Τα βασικά ερωτήματα.....	59
4.2. Διερεύνηση της λύσης του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος.....	60
4.3. Βλάβες του φ/β συστήματος.....	61
4.4. Εναλλακτική λύση - Ηλεκτροπαραγωγή Ζεύγη (H/Z).....	61

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	63
--------------------------	-----------

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά τη μελέτη ενός υπαίθριου αναψυκτηρίου τροφοδοτούμενου από αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα. Πρόκειται για ένα υπάρχον υπαίθριο αναψυκτήριο στην περιοχή του Κατάκολου Ηλείας. Το θέμα της εργασίας αναπτύσσεται σε τέσσερα κεφάλαια. Πιο αναλυτικά:

Στο **πρώτο κεφάλαιο** γίνεται μια εισαγωγή στην φωτοβολταϊκή τεχνολογία. Γίνεται αναφορά στους ημιαγωγούς, στην επαφή p-n, στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο και στο φωτοβολταϊκό στοιχείο, το οποίο αποτελεί το δομικό στοιχείο των φ/β πλαισίων. Αφού αναλυθούν τα είδη των φωτοβολταϊκών στοιχείων καθώς και ορισμένα βασικά τους χαρακτηριστικά, μεταβαίνουμε στην ανάλυση των πλαισίων και στην συνέχεια των φωτοβολταϊκών συστοιχιών. Παρουσιάζονται οι κατηγορίες των φ/β συστημάτων και δίνεται έμφαση στον υπολογισμό των επιμέρους στοιχείων των αυτόνομων φ/β συστημάτων, τα οποία αποτελούν το αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** παρουσιάζεται η μελέτη του υπαίθριου αναψυκτηρίου τροφοδοτούμενο από φ/β πλαίσια. Αρχικά, παρουσιάζεται η κάτοψη του και καταγράφονται τόσο το πλήθος όσο το είδος των ηλεκτρικών συσκευών που πρόκειται να τροφοδοτηθούν από τα πλαίσια. Στη συνέχεια, υπολογίζεται το πλήθος και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των απαιτούμενων πλαισίων καθώς και του λοιπού εξοπλισμού (ηλεκτρικών συσσωρευτών, αντιστροφών, ελεγκτών φόρτισης, καλωδιώσεων κ.α.).

Στο **τρίτο κεφάλαιο** πραγματοποιείται η οικονομική ανάλυση της κατασκευής του αυτόνομου φ/β συστήματος της τροφοδότησης του αναψυκτηρίου. Η εκτίμηση του κόστους κατασκευής είναι μια διαδικασία που αποσκοπεί στο να δώσει μια αξιόπιστη εκτίμηση του συνολικού κόστους της κατασκευής. Σκοπός της ανάλυσης αυτής είναι να προβλεφτεί με ακρίβεια το συνολικό κόστος κατασκευής της εγκατάστασης, μιας και η ακρίβεια της εκτίμησής του αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την επιτυχή πραγματοποίηση του έργου, ή την απόρριψη του ως αντιοικονομικού.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** εξάγονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας και προτείνονται μελλοντικές λύσεις που μπορούν να ληφθούν υπόψη.

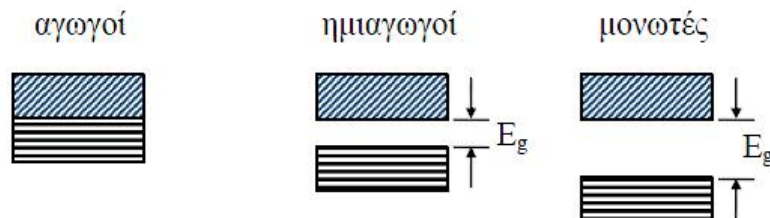
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

1.1. Οι ημιαγωγοί

Τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούν υλικά **ημιαγωγών** για να μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρισμό. Η τεχνολογία που το κάνει αυτό, σχετίζεται στενά με τις τεχνολογίες στερεάς κατάστασης που χρησιμοποιούνται για να κατασκευάζουν τα τρανζίστορ, τις διόδους και όλες τις άλλες συσκευές ημιαγωγών. Οι ημιαγωγοί αποτελούν μια κατηγορία στερεών σωμάτων που χαρακτηρίζονται από μικρό αριθμό ελεύθερων ηλεκτρονίων σε αντίθεση με τους **αγωγούς** (τα μέταλλα) που παρουσιάζουν μεγάλο πλήθος ελεύθερων ηλεκτρονίων και τους **μονωτές** που διαθέτουν ελάχιστα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Η αγωγιμότητα των ημιαγωγών βρίσκεται δηλαδή μεταξύ των δύο άκρων, των αγωγών και των μονωτών. Πιο συγκεκριμένα, οι ημιαγωγοί έχουν τιμές ειδικής αντίστασης στη περιοχή 10^{-4} - 10^{-7} Ω.m, ενώ τα μέταλλα τιμές της τάξης του 10^{-8} Ω.m και οι μονωτές μεγαλύτερες του 10^{12} Ω.m.

Μια άλλη σημαντική διαφορά που εμφανίζουν οι τρεις αυτές κατηγορίες στερεών, είναι αυτή που σχετίζεται με τις τιμές που εμφανίζει το ενεργειακό χάσμα E_g (Energy Gap) μεταξύ των ζωνών αγωγιμότητας και σθένους. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η σχετική θέση των ζωνών σθένους και αγωγιμότητας για τις τρεις κατηγορίες στερεών.



Σχ. 1-1

Στους αγωγούς (μηδενικό ενεργειακό χάσμα) είναι εύκολη η μεταπήδηση των ηλεκτρονίων από τη ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας. Στους μονωτές είναι σχεδόν αδύνατη η μεταπήδηση ενός από τα ηλεκτρόνια σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας, λόγω υψηλών τιμών του E_g ($\approx 5\text{eV}$). Στους ημιαγωγούς όμως, αν τα ηλεκτρόνια σθένους απορροφήσουν ενέργεια με κάποιο τρόπο, είναι δυνατό να ξεπεράσουν το ενεργειακό χάσμα E_g το οποίο δεν έχει πολύ μεγάλες τιμές ($\approx 1\text{eV}$), να εισέλθουν στη ζώνη αγωγιμότητας και να καταστούν ελεύθερα (e). Οι κενές θέσεις που αφήνουν στη ζώνη σθένους καλούνται οπές (h^+). Οι πιο καλοί ημιαγωγοί έχουν τέσσερα ηλεκτρόνια σθένους. Ο πλέον χρησιμοποιούμενος ημιαγωγός, στην πράξη, είναι το πυρίτιο (Si). Άλλοι ημιαγωγοί είναι το γερμάνιο (Ge) και το αρσενικούχο γάλλιο (GaAs). Το ηλεκτρικό ρεύμα στους ημιαγωγούς οφείλεται τόσο στη ροή ελεύθερων ηλεκτρονίων (αρνητικών φορτίων), όσο και στη ροή θετικών φορτίων (οπών).

1.1.1. Ενδογενείς ημιαγωγοί

Ενδογενείς ημιαγωγοί ονομάζονται οι ημιαγωγοί οι οποίοι δεν έχουν καμιά πρόσμιξη. Οι πλέον συνηθισμένοι ημιαγωγοί σε ηλεκτρονικές διατάξεις είναι το γερμάνιο (Ge) και το πυρίτιο (Si).

Το άτομο του Ge αποτελείται από τον πυρήνα με 32 πρωτόνια γύρω από τον οποίο περιστρέφονται 32 ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια σθένους που βρίσκονται στην εξωτερική στοιβάδα είναι 4. Κάθε άτομο γερμανίου συνεισφέρει κάθε ένα από τα 4 ηλεκτρόνια σε αντίστοιχο γειτονικό άτομο και έτσι δημιουργούνται ομοιοπολικοί δεσμοί που συγκρατούν τα άτομα μεταξύ τους στο κρυσταλλικό πλέγμα.

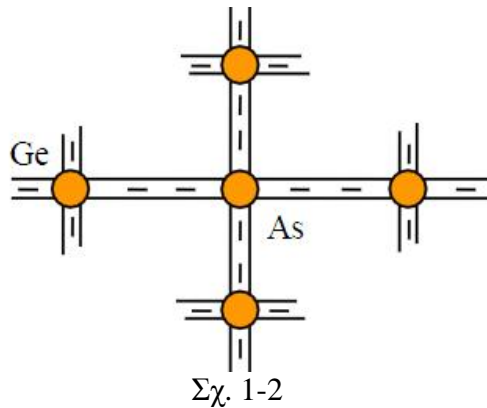
Όταν η θερμοκρασία του ημιαγωγού είναι κοντά στο απόλυτο μηδέν τα ηλεκτρόνια σθένους συγκρατούνται στους ομοιοπολικούς αυτούς δεσμούς, ενώ όταν η θερμοκρασία αυξηθεί είναι δυνατό να μεταπηδήσουν ορισμένα ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας ξεπερνώντας το ενεργειακό χάσμα. Έτσι δημιουργούνται ελεύθερα ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας και αντίστοιχες οπές στη ζώνη σθένους με φορτία (h^+) η κάθε μια. Όταν στον ημιαγωγό εφαρμοστεί ηλεκτρικό πεδίο θα συμβεί όχι μόνο μετακίνηση των ηλεκτρονίων της ζώνης αγωγιμότητας αλλά ταυτόχρονα και οπών σε αντίθετη φορά. Όταν εφαρμόσουμε στον ημιαγωγό μία συνεχή τάση, τότε έχουμε μια μετακίνηση ηλεκτρονίων προς το θετικό πόλο της πηγής και συγχρόνως μια αντίθετη μετακίνηση των θετικών οπών προς τον αρνητικό πόλο. Τέτοιες αντίθετες μετακινήσεις φορέων με αντίθετο πρόσημο δίνουν ρεύματα, τα οποία προστίθενται. Έτσι συνολικά οι δύο αντίθετες μετατοπίσεις, αντιπροσωπεύουν το ρεύμα που διαρρέει τον ημιαγωγό, με την επίδραση της εφαρμοζόμενης τάσης. Φορείς της αγωγιμότητας στους ενδογενείς ημιαγωγούς δηλαδή, είναι τα ηλεκτρόνια, αλλά και οι οπές.

1.1.2. Εξωγενείς ημιαγωγοί

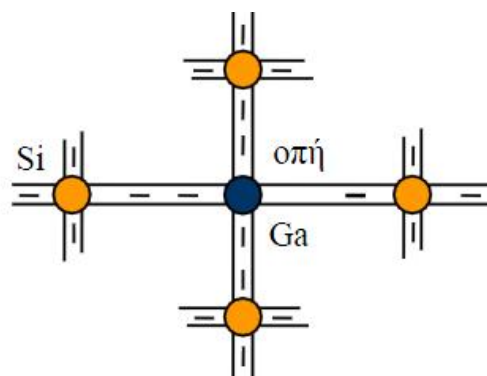
Εξωγενείς ημιαγωγοί, είναι οι ημιαγωγοί των οποίων η αγωγιμότητα οφείλεται στην ύπαρξη ξένων ατόμων στο κρυσταλλικό πλέγμα τους, που μπορεί να προέρχονται από ατέλειες του ίδιου του κρυσταλλικού πλέγματος ή από την ύπαρξη προσμίξεων, δηλαδή μικρών ποσοτήτων άλλων στοιχείων που προστίθεται στον κρύσταλλο του ημιαγωγού. Οι προσμίξεις είναι συνήθως δύο ειδών. Το ένα είδος αποτελείται από χημικά στοιχεία που τα άτομά τους έχουν πέντε ηλεκτρόνια σθένους (πεντασθενή στοιχεία), όπως το αρσενικό (As), ο φωσφόρος (P) και το αντιμόνιο (Sb). Το άλλο είδος πρόσμιξης αποτελείται από στοιχεία με τρία εξωτερικά ηλεκτρόνια (τρισθενή στοιχεία), όπως το γάλλιο (Ga), το αλουμίνιο (Al), και το βόριο (B). Τα άτομα της πρώτης κατηγορίας ονομάζονται δότες, γιατί, όπως θα φανεί παρακάτω, δίνουν στον ημιαγωγό το ένα από τα πέντε εξωτερικά τους ηλεκτρόνια. Επειδή στην περίπτωση αυτή ο ημιαγωγός εμφανίζει περίσσεια ηλεκτρονίων, λέγεται ημιαγωγός **τύπου n**. Αντίθετα, τα άτομα της δεύτερης κατηγορίας, επειδή δέχονται ένα ηλεκτρόνιο από το πλέγμα του ημιαγωγού, ονομάζονται αποδέκτες. Τότε, ο ημιαγωγός είναι **τύπου p**, γιατί έχει περίσσεια οπών.

Έστω ότι σε έναν ενδογενή ημιαγωγό όπως το Ge, προστεθεί μικρή ποσότητα πεντασθενούς στοιχείου, π.χ. αρσενίου As (σχήμα 1-2). Τα τέσσερα από τα πέντε εξωτερικά ηλεκτρόνια του αρσενίου (δότης) σχηματίζουν δεσμούς (ζεύγη ηλεκτρονίων) με τα άτομα του γερμανίου, ενώ το πέμπτο ηλεκτρόνιο του δότη συνδέεται πολύ χαλαρά με τον πυρήνα και με την προσφορά ελάχιστης ενέργειας, απομακρύνεται από αυτόν και γίνεται ηλεκτρόνιο αγωγιμότητας, κυκλοφορώντας ελεύθερα μέσα στη μάζα του κρυστάλλου. Με την απομάκρυνση του ηλεκτρονίου αυτού από τον πυρήνα του δότη, αυτός μετατρέπεται σε θετικό ιόν, το οποίο όμως, σε αντίθεση με το ηλεκτρόνιο αγωγιμότητας, είναι δέσμιο και δεν μπορεί να κινηθεί ελεύθερα. Ο κρύσταλλος του ημιαγωγού θα είναι στο σύνολό του ηλεκτρικά ουδέτερος, γιατί για κάθε ελεύθερο ηλεκτρόνιο, υπάρχει ένα θετικό ιόν του δότη.

Στο κρύσταλλο λοιπόν του γερμανίου, μετά τη νόθευσή του, έχουμε τους εξής φορείς: α) ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές που προήλθαν από την καταστροφή ορισμένων χημικών δεσμών του γερμανίου λόγω της θερμικής δόνησης (ή ακτινοβολίας), προτού το νοθεύσουμε και β) ελεύθερα ηλεκτρόνια που προήλθαν από τα άτομα του δότη. Τα θετικά ιόντα του δότη δεν αποτελούν οπές, επειδή δε μετακινούνται. Επομένως στον κρύσταλλο του γερμανίου, μετά την πρόσμιξη του αρσενίου, πλεονάζουν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και έτσι η αγωγιμότητά του αυξάνει σημαντικά. Επειδή η ενέργεια που απαιτείται για τον ιονισμό των ατόμων του δότη είναι πολύ μικρή, όλα τα άτομά του είναι ιονισμένα σε συνηθισμένες θερμοκρασίες. Επειδή στους ημιαγωγούς τύπου-n, τα ηλεκτρόνια είναι πολύ περισσότερα στον αριθμό από τις οπές, λέγονται φορείς πλειονότητας, ενώ οι οπές φορείς μειονότητας.



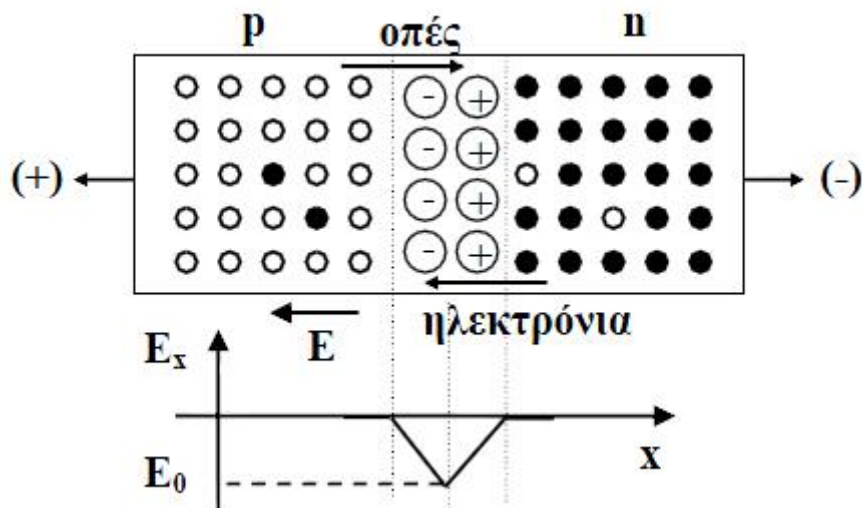
Αντίθετα, αν στο γερμάνιο προσθέσουμε ένα τρισθενές στοιχείο, π.χ. το γάλλιο (σχήμα 1-3), τα τρία ηλεκτρόνια σθένους του γαλλίου σχηματίζουν ομοιοπολικούς δεσμούς με τρία γειτονικά άτομα γερμανίου, ενώ η έλλειψη ηλεκτρονίου στον τέταρτο δεσμό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία οπής σε εκείνο το σημείο. Το άτομο του γαλλίου μπορεί να δεσμεύσει ένα ηλεκτρόνιο από γειτονικό άτομο γερμανίου και έτσι η οπή να μετατοπιστεί. Δημιουργείται έτσι μία οπή που μπορεί να μετακινείται ελεύθερα μέσα στον κρύσταλλο του ημιαγωγού. Το αρνητικό ιόν, που δημιουργείται με την αφαίρεση του ηλεκτρονίου από ένα άτομο γερμανίου, δεν αποτελεί φορέα αγωγιμότητας, γιατί είναι δέσμιο και δεν μπορεί να μετακινηθεί. Επειδή το γάλλιο δέχεται ηλεκτρόνια, λέγεται αποδέκτης. Επειδή η ενέργεια που απαιτείται ώστε ένα ηλεκτρόνιο να καταλάβει τη θέση της οπής στο άτομο του αποδέκτη, σε κανονικές θερμοκρασίες όλες οι οπές είναι ενεργοποιημένες. Επιπλέον, τα περισσότερα από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που υπήρχαν στον καθαρό κρύσταλλο εξουδετερώνονται από οπές, επομένως παρουσιάζεται πλεόνασμα οπών. Στους ημιαγωγούς τύπου-p λοιπόν, φορείς πλειονότητας είναι οι οπές και φορείς μειονότητας τα ηλεκτρόνια.



1.1.3. Η επαφή p-n

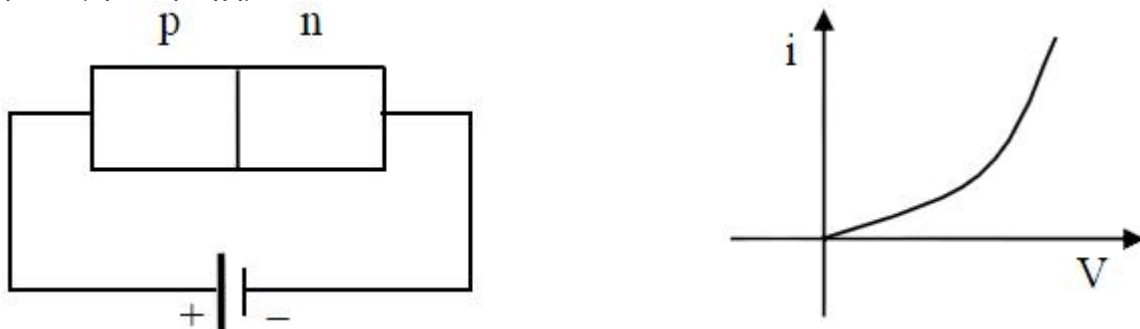
Θεωρούμε έναν ενδογενή ημιαγωγό από τον οποίο έχουν προκύψει με προσμίξεις δυο τύποι ημιαγωγών: ένας τύπου p και ένας τύπου n, όπως προαναφέραμε. Αν οι δυο αυτοί ημιαγωγοί ενωθούν, η διαχωριστική τους επιφάνεια ονομάζεται **επαφή p-n**. Αμέσως μετά την ένωση των δυο αυτών ημιαγωγών, τα ηλεκτρόνια που πλεονάζουν στη περιοχή n αρχίζουν να διαχέονται προς την περιοχή p και αντιστρόφως οι οπές να διαχέονται από την περιοχή p προς την περιοχή n. Τα εισερχόμενα ηλεκτρόνια στην περιοχή p εξουδετερώνουν ένα αριθμό οπών με αποτέλεσμα τη δημιουργία αρνητικών ιόντων. Το αντίστροφο παρατηρείται στην περιοχή n, όπου οι εισερχόμενες, λόγω διάχυσης, οπές εξουδετερώνονται από τα ηλεκτρόνια αυτού του τμήματος. Έτσι τα άτομα εδώ επειδή χάνουν ηλεκτρόνια μετατρέπονται σε θετικά ιόντα (σχήμα 1-4).

Με αυτό το τρόπο σε μια περιοχή γύρω από την επαφή p-n (τάξης 1-2 μm) δεν υπάρχουν ούτε ελεύθερα ηλεκτρόνια ούτε οπές. Υπό αυτή την έννοια η περιοχή καλείται **περιοχή απογύμνωσης**. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται στη περιοχή αυτή κατευθύνεται από τη περιοχή n προς τη περιοχή p. Όταν η ένταση αυτή αποκτήσει ορισμένη τιμή παύει το φαινόμενο της διάχυσης των ηλεκτρονίων και οπών.



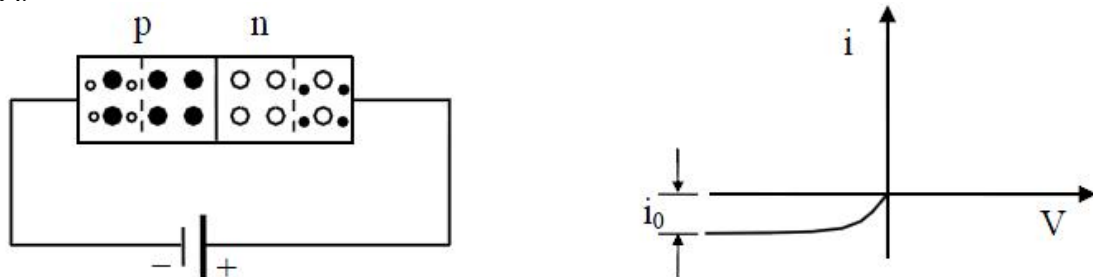
Σχ. 1-4

Αν τα άκρα της επαφής συνδεθούν με πηγή συνεχούς ρεύματος, έτσι ώστε ο θετικός πόλος της να συνδεθεί με το τμήμα p και ο αρνητικός πόλος της με το τμήμα n (όπως φαίνεται στο σχήμα 1-5), τότε θεωρούμε ότι η επαφή είναι **πολωμένη ορθά**. Με τον τρόπο αυτό τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούνται εύκολα από το n στο p και οι οπές, ε-πίσης εύκολα, από το p προς το n. Κατ' αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένα ρεύμα το οποίο αυξάνει όσο αυξάνει η εφαρμοζόμενη στην επαφή τάση (σχήμα 1-5).



Σχ. 1-5

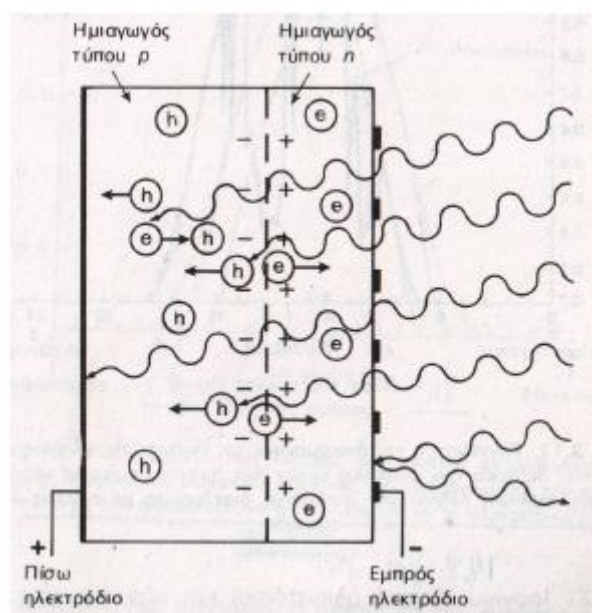
Αν τα άκρα της επαφής συνδεθούν με πηγή συνεχούς ρεύματος, έτσι ώστε ο θετικός πόλος της να συνδεθεί με το τμήμα n και ο αρνητικός πόλος της με το τμήμα p (όπως φαίνεται στο σχήμα 1-6), τότε θεωρούμε ότι η επαφή είναι **πολωμένη ανάστροφα**. Έτσι, οι οπές του τμήματος p έλκονται από τον αρνητικό πόλο της πηγής, ενώ τα ηλεκτρόνια του τμήματος n από τον θετικό πόλο συνέπεια την αύξηση του εύρους της περιοχής απογύμνωσης. Η διάχυση των οπών από το τμήμα p προς το n και η διάχυση των ηλεκτρονίων προς την αντίθετη κατεύθυνση τώρα εμποδίζεται. Ένας μικρός μόνο αριθμός φορέων μειονότητας κινείται (οπές από το n στο p και ηλεκτρόνια από το p στο n) σε αντίθετες κατευθύνσεις, γεγονός που συμβαίνει λόγω του μικρού αριθμού θερμικών διασπάσεων στο κρυσταλλικό πλέγμα. Αυτό δικαιολογεί τη μικρή τιμή του ρεύματος κόρου I_0 (σχήμα 1-6).



Σχ. 1-6

1.2. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Όταν σε μια δίοδο επαφής προσπίπτει ηλιακή ακτινοβολία, κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια μεγαλύτερη ή ίση από το ενεργειακό χάσμα E_g του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Όσο λοιπόν προσπίπτει ακτινοβολία στην επαφή αυτή, δημιουργείται μια περίσσεια από ζεύγη ελεύθερων ηλεκτρονίων και οπών. Όταν τα ζεύγη αυτά βρεθούν στη περιοχή της επαφής των ημιαγωγών p και n, έχουμε μια εκτροπή των ηλεκτρονίων προς τον ημιαγωγό n και μια εκτροπή των οπών προς τον ημιαγωγό p (σχήμα 1-7).



Σχήμα 1-7

Δημιουργείται δηλαδή μια διαφορά δυναμικού μεταξύ των ακροδεκτών της επαφής p-n, η οποία διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας. Το φαινόμενο αυτό καλείται **φωτοβολταϊκό φαινόμενο**. Η διάταξη αυτή μπορεί να λειτουργεί σαν πηγή ρεύματος και λέγεται **φωτοβολταϊκό στοιχείο**. Το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα από ένα τέτοιο στοιχείο μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου καλείται **φωτόρρευμα**. Το φωτόρρευμα " I_{ϕ} " δίνεται από τη παρακάτω σχέση:

$$I_{\phi} = e \cdot g \cdot (L_n + L_p) \quad 1-1$$

Όπου:

e: είναι το στοιχειώδες φορτίου του ηλεκτρονίου

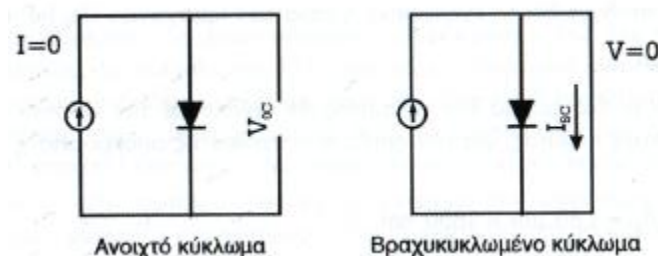
g: είναι ο ρυθμός δημιουργίας ζευγών φορέων από τα φωτόνια της ακτινοβολίας

L_n, L_p : είναι τα μέσα διάχυσης των οπών και των ηλεκτρονίων αντίστοιχα

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε ότι είναι αδύνατη η μετατροπή όλης της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο σε ηλιακή ενέργεια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ένα μέρος της ακτινοβολίας ανακλάται από την επιφάνεια του στοιχείου και διαχέεται προς την ατμόσφαιρα. Από την ακτινοβολία που διεισδύει στο φ/β στοιχείο, δεν μπορεί να απορροφηθεί το μέρος εκείνο το οποίο αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια μικρότερη από το ενεργειακό χάσμα E_g του της επαφής. Επίσης, φωτόνια με ενέργεια E, μεγαλύτερη από το ενεργειακό χάσμα E_g του ημιαγωγού παρά το γεγονός ότι δημιουργούν ζεύγη ηλεκτρονίων-οπών δεν συμβάλουν στη παραγωγή φωτορεύματος, μιας και η περίσσεια ενέργειας E- E_g συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας του ημιαγωγού. Τελικά μόνο τα φωτόνια με ενέργεια $E=h \cdot \nu$ ίση με το ενεργειακό χάσμα E_g του ημιαγωγού συμβάλλουν στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

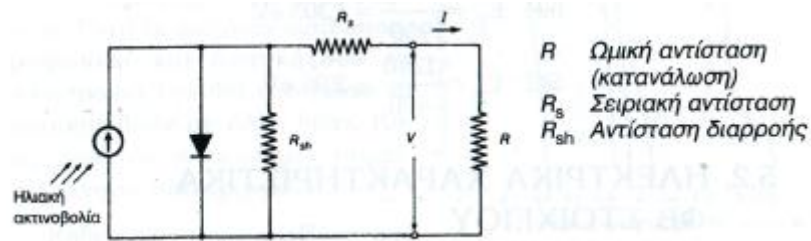
1.3. Το φωτοβολταϊκό στοιχείο

Προκειμένου να μελετήσουμε τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός φ/β στοιχείου που δέχεται σταθερή ηλιακή ακτινοβολία, θεωρούμε ότι αυτό αποτελείται από μια πηγή συνεχούς ρεύματος, ελεγχόμενη από μια δίοδο επαφής (σχήμα 1-8). Αν τα άκρα της επαφής βραχυκυκλωθούν, το ρεύμα που διαρρέει το βραχυκύκλωμα είναι ίσο με το φωτόρρευμα και ονομάζεται **ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc}** . Αν τα άκρα της επαφής δεν συνδεθούν μεταξύ τους, έχουμε δηλαδή ανοιχτό κύκλωμα, το ρεύμα θα είναι ίσο με μηδέν και η τάση της επαφής ονομάζεται **τάση ανοιχτού κύκλωματος V_{oc}** .



Σχήμα 1-8

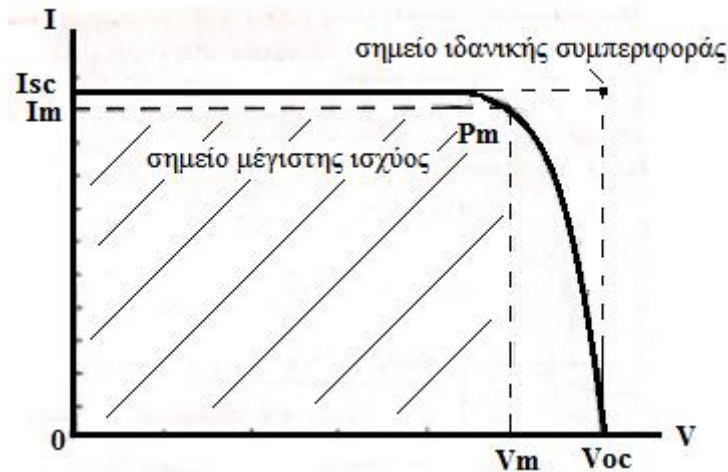
Στη πραγματικότητα, το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός φ/β στοιχείου περιλαμβάνει δυο ακόμα αντιστάσεις (σχήμα 1-9): α) τη **σειριακή αντίσταση** R_s που αφορά τις αντιστάσεις κατά το πέρασμα του ρεύματος μέσα από τη δίοδο και στις επαφές με τα ηλεκτρόδια και β) την **αντίσταση διαρροής** R_{sh} , η οποία συνδέεται παράλληλα στην δίοδο επαφής και αφορά τη διαρροή ρεύματος μεταξύ των άκρων της επαφής.



Σχήμα 1-9

1.3.1 Χαρακτηριστική καμπύλη φωτοβολταϊκού στοιχείου

Χαρακτηριστική καμπύλη φωτοβολταϊκού στοιχείου είναι η καμπύλη εκείνη που μας περιγράφει πως μεταβάλλεται η τάση του στοιχείου σε συνάρτηση με το ρεύμα που μπορεί να προσφέρει σε ένα φορτίο. Μια τέτοια τυπική καμπύλη απεικονίζεται στο σχήμα 1-10. Όταν το κύκλωμα είναι βραχυκυκλωμένο ($V=0$) η ένταση του ρεύματος μεγιστοποιείται στη τιμή I_{sc} . Αντίθετα, όταν το κύκλωμα είναι ανοιχτό, ($I=0$) τότε η τάση παίρνει τη μέγιστη τιμή της, V_{oc} .



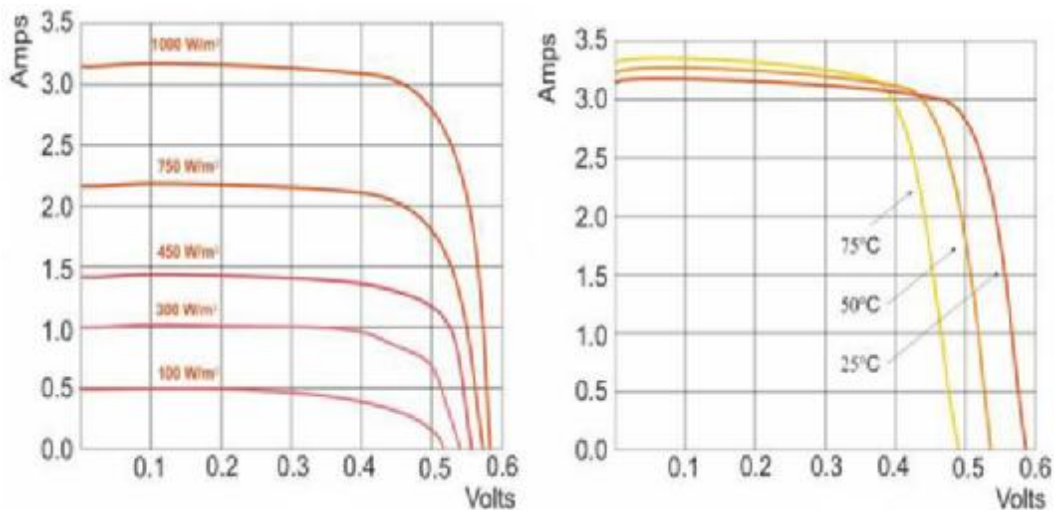
Σχήμα 1-10

Υπάρχει ένα ζεύγος τιμών τάσης και έντασης (V_m , I_m), όπου το ορθογώνιο παραλληλόγραμμο μέσα στην χαρακτηριστική καμπύλη V - I του στοιχείου, μεγιστοποιείται. Το εμβαδόν $V_m \cdot I_m$ του ορθογωνίου είναι ίσο με τη **μέγιστη ισχύ** P_{max} που μπορεί να αποδώσει το φ/β στοιχείο. Το ορθογώνιο με πλευρές V_{oc} και I_{sc} περιγράφει την ιδανική συμπεριφορά του φ/β στοιχείου. Ορίζουμε ως **συντελεστή πλήρωσης** FF του φ/β στοιχείου το πηλίκο:

$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

Η τιμή του συντελεστή πλήρωσης κυμαίνεται από 0 μέχρι 1 και χαρακτηρίζει την ενεργειακή απόδοση του φ/β στοιχείου. Όσο το σημείο μέγιστης ισχύος πλησιάζει το σημείο ιδανικής συμπεριφοράς, τόσο αποδίδεται η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς από το φ/β στοιχείο.

Η χαρακτηριστική καμπύλη του φ/β στοιχείου ισχύει σε συνθήκες σταθερής ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας, για μεταβαλλόμενη ηλεκτρική αντίσταση του φορτίου από μηδέν μέχρι θεωρητικά άπειρη τιμή (ανοιχτό κύκλωμα). Η μεταβολή της χαρακτηριστικής καμπύλης για διαφορετικές εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίες παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα.



Επίδραση της ηλ. ακτινοβολίας στις καμπύλες V-I Επίδραση της θερμοκρασίας στις καμπύλες V-I

Σχήμα 1-11

1.3.2. Βαθμός απόδοσης - ισχύ αιχμής φωτοβολταϊκού στοιχείου

Ορίζουμε ως **βαθμό απόδοσης "η"** ενός φ/β στοιχείου το πηλίκο της μέγιστης αποδιδόμενης ισχύς P_m , προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία P_{HA} σε αυτό. Δηλαδή:

$$\eta = \frac{P_m}{P_{AH}} = \frac{I_m \cdot V_m}{P_{AH}} = \frac{FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}}{P_{AH}} \quad 1-3$$

Όπου:

- P_m : μέγιστη ισχύς φ/β στοιχείου [W]
- P_{AH} : ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας [W]
- I_m : ένταση ρεύματος στο σημείο μέγιστης ισχύος [A]
- V_m : τάση φ/β στοιχείου στο σημείο μέγιστης ισχύος [V]
- FF: συντελεστής πλήρωσης
- I_{sc} : ρεύμα βραχυκύκλωσης φ/β στοιχείου [A]
- V_{oc} : τάση ανοιχτού κυκλώματος φ/β στοιχείου [V]

Ορίζουμε ως **ισχύ αιχμής "P_{mpp}"** ενός φ/β στοιχείου, τη μέγιστη ισχύ που αποδίδεται από αυτό, κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC (Standard Test Conditions). Οι συνθήκες αυτές είναι:

α) θερμοκρασία φ/β στοιχείου ίση με $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

β) ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ισχύος $P_{stc}=1\text{kW/m}^2$ και φάσματος αντίστοιχου του ηλιακού με μάζα αέρα ίση με 1,5.

γ) κάθετη πρόσπτωση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

1.3.3. Είδη φωτοβολταϊκών στοιχείων

Το πυρίτιο (Si) είναι ο ημιαγωγός που κυριάρχησε μέχρι σήμερα σαν υλικό κατασκευής των φ/β στοιχείων. Είναι από τα πιο διαδεδομένα στοιχεία στη φύση, αφού αποτελεί το 25% του γήινου φλοιού. Ανάλογα με τη δομή του βασικού υλικού και τον ιδιαίτερο τρόπο κατασκευής, τα φ/β στοιχεία πυριτίου διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

α) φ/β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (c-Si): Τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία κατασκευάζονται τεμαχίζοντας έναν ενιαίο κρύσταλλο, (πάχος κυψέλης 1/3 έως 1/2 του χιλιοστού), από ένα μεγάλο πλίνθωμα ενιαίου κρυστάλλου που έχει επεξεργαστεί σε θερμοκρασίες περίπου 1400°C , κάτι που είναι μια πολύ ακριβή διαδικασία. Το πυρίτιο πρέπει να είναι πολύ υψηλής καθαρότητας και να έχει τέλεια δομή κρυστάλλου. Αυτού του είδους τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν και την μεγαλύτερη απόδοση, δηλαδή μετατρέπουν μεγαλύτερο ποσοστό της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό. Η απόδοσή τους κυμαίνεται γύρω στο 18%-23%.

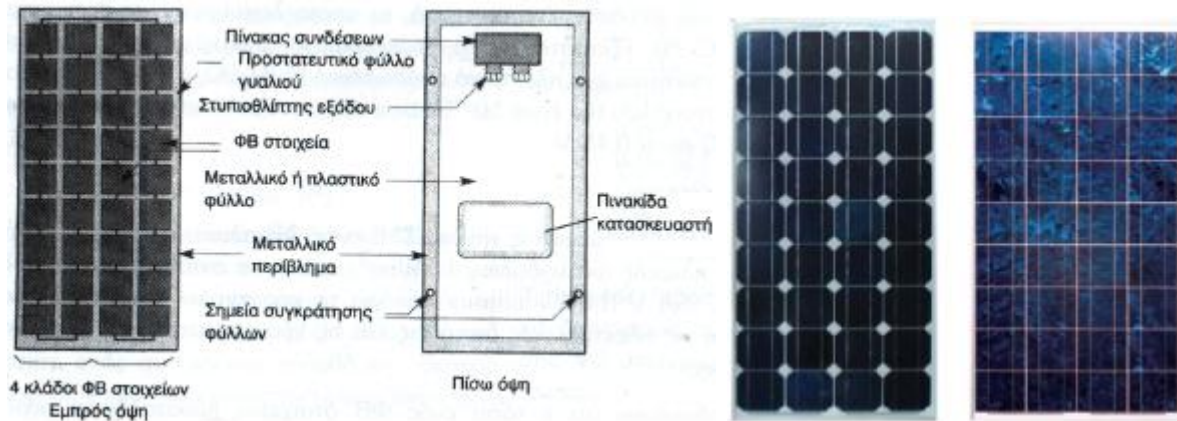
β) φ/β στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (p-Si): Τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία γίνονται με μια διαδικασία χύτευσης στην οποία το λειωμένο βιομηχανικό πυρίτιο χύνεται σε μια φόρμα όπου και μορφοποιείται. Κατόπιν τεμαχίζεται στις γκοφρέτες. Δεδομένου ότι οι πολυκρυσταλλικές κυψέλες γίνονται από χύτευση είναι σημαντικά φθηνότερη η παραγωγή τους, αλλά όχι τόσο αποδοτικές όσο και οι μονοκρυσταλλικές. Αυτή η χαμηλότερη αποδοτικότητα, που κυμαίνεται μεταξύ 13% και 15%, οφείλεται στις ατέλειες στη δομή του κρυστάλλου ως αποτέλεσμα της διαδικασίας χύτευσης.

γ) φ/β στοιχεία άμορφου πυριτίου (a-Si): Το άμορφο πυρίτιο, μια από τις τεχνολογίες λεπτής μεμβράνης (thin film technology), γίνεται με την εναπόθεση του πυριτίου επάνω σε ένα υπόστρωμα γυαλιού από ένα αντιδραστικό αέριο όπως το σιλάνιο (SiH_4). Δεν έχει κρυσταλλική δομή, και το πάχος του (2-3 μm) είναι ιδιαίτερα μικρότερο από το κρυσταλλικής μορφής πυρίτιο (200-500 μm). Από κατασκευαστική άποψη είναι το απλούστερο και επομένως το πιο φθηνό, αλλά η απόδοσή του είναι συγκριτικά μικρότερη. Παρόλα αυτά, είναι ικανοποιητική ακόμη και σε συνθήκες έλλειψης ηλιοφάνειας. Τα ηλιακά στοιχεία άμορφου πυριτίου έχουν μια κοκκινωπή-καφέ απόχρωση, σχεδόν μαύρη, και επιφάνεια αποτελούμενη από στενές, μεγάλου μήκους λωρίδες. Η αποδοτικότητα των φωτοβολταϊκών άμορφου πυριτίου κυμαίνεται μεταξύ 4% και 11%.

Εκτός από τους παραπάνω τρεις τύπους φωτοβολταϊκών στοιχείων από πυρίτιο που διατίθενται στην παγκόσμια αγορά, γίνονται έρευνες και προσπάθειες για τη χρησιμοποίηση και άλλων στοιχείων (είτε μόνα τους ή σε συνδυασμό) όπως αρσενικούχο γάλλιο (GaAs), θειούχο κάδμιο (CdS), φωσφορούχο ίνδιο (InP). Επίσης μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πολύ λεπτής μεμβράνης από χαλκό-ίνδιο-γάλλιο-diselenide, που έχουν μεγαλύτερη απόδοση (8-13%) από αυτή του άμορφου πυριτίου.

1.4. Το φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Η τάση που αναπτύσσεται σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο πυριτίου σε κανονική ηλιακή ακτινοβολία είναι έως και 0,5V και η ισχύ του δεν ξεπερνά τα 0,4W. Οι τιμές αυτές είναι πολύ μικρές για να τροφοδοτήσουν τις συνηθισμένες ηλεκτρικές καταναλώσεις, πράγμα που σημαίνει ότι επιβάλλεται τόσο η σε σειρά σύνδεση πολλών φ/β στοιχείων μαζί ώστε να επιτευχθεί μια συνηθισμένη ονομαστική DC τάση (π.χ. 12V), όσο και η παράλληλη σύνδεση πολλών τέτοιων σειρών, προκειμένου να επιτευχθεί όσο το δυνατό μέγιστο παραγόμενο ρεύμα. Ένα τέτοιο σύνολο φ/β στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά ή και παράλληλα αποτελεί το **φωτοβολταϊκό πλαίσιο** (σχήμα 1-12).



Σχ. 1-12

Κατά τη σύνδεση N όμοιων φ/β στοιχείων σε σειρά, ισχύουν οι αντίστοιχοι κανόνες συνδεσμολογίας ηλεκτρικών πηγών:

1) Η ολική τάση ανοιχτού κυκλώματος του φ/β πλαισίου $V_{ocπ}$ θα ισούται με:

$$V_{ocπ} = N \cdot V_{oc} \quad 1-4$$

Όπου:

N : το πλήθος των όμοιων φ/β στοιχείων που αποτελείται το φ/β πλαίσιο

V_{oc} : τάση ανοιχτού κυκλώματος του ενός φ/β στοιχείου [V]

2) Το ολικό ρεύμα βραχυκύκλωσης του πλαισίου $I_{scπ}$ θα ισούται με το ρεύμα βραχυκύκλωσης του ενός φ/β στοιχείου I_{sc} . Δηλαδή:

$$I_{scπ} = I_{sc} \quad 1-5$$

Η έννοια της ισχύος αιχμής, όπως ορίστηκε για το φ/β στοιχείο, ισχύει και για το φ/β πλαίσιο. Έτσι, η **ισχύς αιχμής ενός πλαισίου " $P_{ρπ}$ "** ονομάζεται η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που μπορεί να αποδώσει αυτό, κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC. Η ισχύς αιχμής πλαισίου αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό του πλαισίου και βάση αυτού αναζητούμε στο εμπόριο τα πλαίσια, προκειμένου να καλύψουμε τις ανάγκες μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

Ορίζουμε ως βαθμό *απόδοσης φωτοβολταϊκού πλαισίου "η_π"* το πηλίκο της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύς του φ/β πλαισίου P_{μπ} [W] προς την ισχύ της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας P_{HA} [W]. Δηλαδή:

$$\eta_{\pi} = \frac{P_{μπ}}{P_{AH}} \quad 1-6$$

Σε περίπτωση που η ισχύς της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας P_{HA} δίνεται ανά μονάδα επιφάνειας [W/m²], τότε η τιμή αυτή πολλαπλασιάζεται επί την επιφάνεια του πλαισίου S_π [m²].

Ο βαθμός απόδοσης ενός φ/β πλαισίου σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\eta_{STC\pi} = \frac{P_{p\pi}/P_{STC}}{S_{\pi}} \quad 1-7$$

Όπου:

P_{pπ}: είναι η ισχύς αιχμής του πλαισίου [W]

P_{STC}: είναι η ισχύς της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στις πρότυπες συνθήκες STC και ισούται με 1000W/m² = 1KW/m²

S_π: είναι η επιφάνεια του φ/β πλαισίου S_π [m²]

Ο βαθμός απόδοσης του φ/β πλαισίου επηρεάζεται από τέσσερεις παράγοντες:

α) Γήρανση. Πρόκειται για μείωση της απόδοσης του φ/β πλαισίου λόγω της αλλοίωσης των υλικών κατασκευής του. Για το λόγο αυτό λαμβάνουμε συντελεστή γήρανσης σ_γ=0,9.

β) Ρύπανση. Πρόκειται για μείωση της απόδοσης του φ/β πλαισίου λόγω ρύπανσης της επιφάνειάς του από την επικάλυψη σκόνης, φύλλων, αλατιού, αιθάλης κ.α.. Για το λόγο αυτό λαμβάνουμε συντελεστή ρύπανσης σύμφωνα με τις ακόλουθες τιμές:

- σ_ρ=0,95 για πλαίσια που καθαρίζονται συχνά
- σ_ρ=0,90 για πλαίσια ελαφρώς σκονισμένα
- σ_ρ=0,80 για πλαίσια που οριζόντια και ακαθάριστα

γ) Δίοδος αντεπιστροφής. Πρόκειται για μείωση της απόδοσης του φ/β πλαισίου λόγω της διόδου αντεπιστροφής που συνδέεται σε ένα φ/β πλαίσιο, η οποία εμποδίζει την εκφόρτιση του συσσωρευτή της εγκατάστασης (δείτε παράγραφο 1.6.), όταν το πλαίσιο δεν φωτίζεται. Για το λόγο αυτό λαμβάνουμε συντελεστή διόδου σ_δ=0,99.

δ) Θερμοκρασία. Πρόκειται για μείωση της απόδοσης του φ/β πλαισίου λόγω αύξησης της θερμοκρασίας λειτουργίας του πέραν της ονομαστικής που ορίζουν οι πρότυπες συνθήκες STC (25°C ±2°C.). Για το λόγο αυτό λαμβάνουμε συντελεστή θερμοκρασίας σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$\sigma_{\theta} = 1 - [(t_{\alpha} + 30) - 25] \cdot 0,004 \quad 1-8$$

Όπου:

t_α [°C] είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα και δίνεται από τον πίνακα 1-1 παρακάτω.

Συμπερασματικά, στους υπολογισμούς των φ/β συστημάτων, ο βαθμός απόδοσης του φ/β πλαισίου η_{π} θα ισούται με το γινόμενο του βαθμού απόδοσης ο οποίος δίνεται σε πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC ($\eta_{STC\pi}$) επί τους τέσσερις προηγούμενους συντελεστές μείωσης απόδοσης. Συνεπώς:

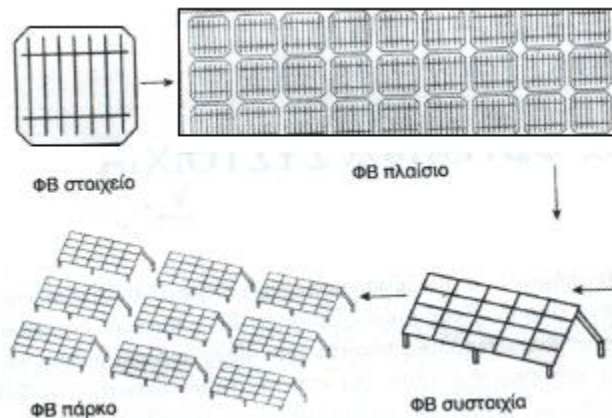
$$\eta_{\pi} = \eta_{STC\pi} \cdot \sigma_{\gamma} \cdot \sigma_{\rho} \cdot \sigma_{\delta} \cdot \sigma_{\theta}$$

1-9

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 1-1														
Μέση μηνιαία θερμοκρασία αέρα t_a και ετήσια ηλιοφάνεια h σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας														
ΠΟΛΗ	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΪΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΘΕΡΜΟΣΙΑΣ	ΕΤΗΣΙΑ ΗΛΙΟΦΑΝΕΙΑ
Αθήνα	10,5	11,6	12,9	17,1	21,9	26,6	29,3	29,2	25,3	20,0	16,3	12,5	19,4	2818
Αλιάρτος	7,1	9,7	11,4	15,8	21,3	25,8	27,3	26,3	23,2	17,9	13,3	9,3	17,4	2526
Αραξος	11,4	11,8	13,3	16,7	21,2	25,5	28,1	28,5	25,2	20,5	16,3	13,0	19,3	2686
Αργασόλι	12,4	12,6	14,1	17,0	21,0	25,2	27,8	27,8	24,9	21,1	17,3	14,1	19,6	2766
Άρτα	10,3	11,4	13,7	17,3	21,8	26,3	29,3	28,9	25,2	20,7	15,9	11,6	19,4	2658
Ηράκλειο	13,4	13,6	14,9	17,8	21,4	25,3	27,3	27,2	24,5	21,4	18,3	16,4	20,1	2816
Θεσ/νίκη	6,7	8,3	11,3	16,1	21,2	25,7	28,4	28,3	23,8	18,3	13,3	8,6	17,5	2429
Ιεράπετρα	14,0	14,3	15,7	18,3	22,1	26,9	29,5	29,3	26,2	22,8	19,4	15,8	21,2	3108
Ιωάννινα	6,5	7,6	10,4	14,5	19,1	23,9	27,2	26,9	22,5	17,0	11,8	7,9	16,3	2252
Καλαμάτα	12,8	13,2	14,6	17,5	21,3	25,6	28,4	28,5	25,7	21,8	18,1	14,4	20,1	2827
Κέρκυρα	11,2	11,6	13,2	16,5	20,9	25,2	27,9	27,9	24,4	20,1	16,2	12,4	18,9	2642
Κομοτηνή	6,4	7,3	9,5	14,6	20,0	24,5	27,5	27,3	22,8	17,2	12,4	8,5	16,5	2372
Κόνιτσα	6,5	7,7	10,3	14,4	15,6	23,1	26,4	26,4	22,3	17,1	12,5	8,3	15,9	2315
Κόρινθος	11,1	11,9	13,2	17,0	21,8	26,2	29,0	29,1	25,5	20,5	16,3	12,9	19,5	2661
Κύθηρα	12,0	12,1	12,9	15,7	19,7	24,2	27,0	27,0	24,0	20,3	17,1	13,6	18,8	2831
Λαμία	8,9	10,1	12,5	17,2	22,1	26,7	29,3	29,0	24,5	19,4	15,0	10,4	18,8	2532
Λάρισα	6,6	8,7	11,1	16,2	21,7	27,0	29,7	29,3	24,5	18,6	13,2	8,2	17,9	2463
Λήμνος	9,2	10,0	11,4	18,3	20,3	24,7	27,3	27,3	23,6	18,7	14,9	11,3	18,1	2697
Μεθώνη	12,7	13,1	14,1	17,0	20,5	24,1	26,3	27,3	25,2	21,4	17,7	14,3	19,5	2921
Μήλος	11,8	12,1	13,2	16,5	20,7	24,6	26,4	26,4	23,6	20,2	16,9	13,5	18,8	2732
Μυτιλήνη	10,4	11,2	12,6	16,8	21,5	26,0	28,3	27,8	24,2	19,8	15,6	12,1	18,8	2630
Νάξος	13,1	13,3	14,2	17,1	20,4	24,0	25,5	25,6	23,4	20,6	17,7	14,8	19,1	2841
Πάρος	12,5	13,2	14,2	17,5	21,4	25,1	26,4	26,6	24,0	20,3	17,7	14,4	19,4	2539
Πάτρα	11,2	11,8	13,5	17,0	21,1	25,0	27,6	28,0	24,9	20,6	16,3	12,7	19,1	2857
Πύργος	11,9	12,5	14,1	17,3	21,5	25,7	28,6	28,9	25,8	21,4	17,1	13,4	19,8	2694
Ρεθυμνο	13,7	14,0	15,3	18,0	21,8	25,9	27,7	27,9	25,3	21,8	18,9	15,7	20,5	3041
Ρόδος	12,6	13,1	14,5	17,7	21,9	26,3	28,6	28,9	26,2	21,8	17,6	14,2	20,3	2880
Σάμος	11,7	12,1	13,8	17,3	21,5	25,4	27,6	27,5	24,8	20,6	17,1	13,6	19,4	2396
Σέρρες	5,4	7,8	11,0	16,2	21,4	25,8	28,7	27,0	23,8	18,2	12,2	7,0	17,0	2806
Σητεία	13,8	14,1	15,1	18,2	22,0	25,5	27,2	27,4	25,1	22,0	18,9	15,6	20,4	2534
Σκύρος	10,6	11,1	12,2	15,8	20,2	24,2	26,3	26,0	22,7	19,2	15,7	12,3	18,0	2791
Σούδα Κρητ.	11,9	12,3	13,9	17,0	21,4	25,6	27,5	27,3	24,2	20,3	17,3	14,0	19,4	2895
Σύρος	12,2	12,7	13,6	16,8	20,6	25,1	27,3	27,0	24,2	20,8	17,2	13,9	19,3	3029
Τυμπάκι	13,2	13,5	15,0	17,8	21,8	26,2	28,8	28,6	25,7	21,5	18,1	14,8	20,4	2809
Χανιά	13,0	13,3	14,6	17,6	21,6	25,8	27,9	27,8	24,7	21,2	18,0	14,6	20,0	2854
Χίος	11,4	11,6	13,1	17,0	21,9	26,5	28,3	28,1	24,3	19,9	16,4	12,9	19,3	2566

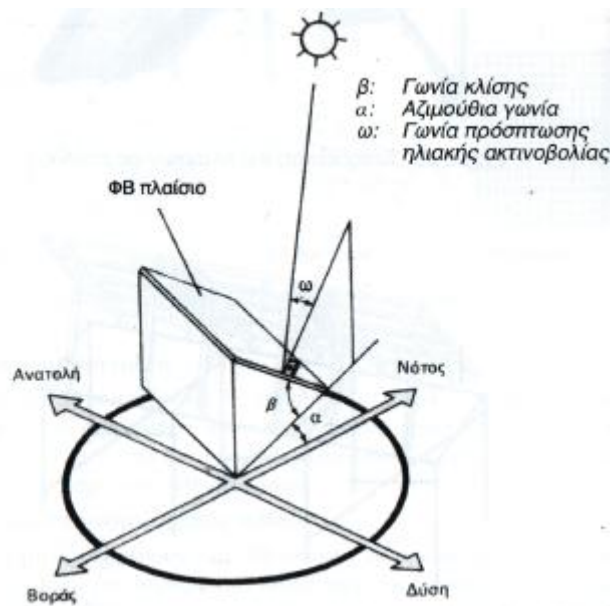
1.5. Η φωτοβολταϊκή συστοιχία

Φωτοβολταϊκή συστοιχία ορίζεται ένα σύνολο από φ/β πλαίσια συνδεδεμένα σε σειρά ή παράλληλα, για επίτευξη ενός επιδιωκόμενου στόχου. Ένα σύνολο από κατάλληλα διασυνδεδεμένες φ/β συστοιχίες καλείται **φωτοβολταϊκό πάρκο**. Από τα παραπάνω προκύπτει ότι κάθε φωτοβολταϊκή εγκατάσταση αποτελείται από μια σπονδυλωτή συγκρότηση φωτοβολταϊκών στοιχείων, πλαισίων και συστοιχιών (σχήμα 1-13).



Σχ. 1-13

Για να είναι εφικτή η μεγιστοποίηση της ενεργειακής παραγωγικότητας των φ/β πλαισίων, θα πρέπει να επιτυγχάνεται βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα, εφόσον η πορεία του ήλιου αλλάζει τόσο με την ώρα της ημέρας όσο και με τη μέρα του έτους, προκύπτει πως για να παράγει ένα πλαίσιο τη μέγιστη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να είναι σε θέση να περιστρέφεται ώστε να μπορεί να ακολουθεί την τροχιά του ήλιου και να είναι συνεχώς κάθετο στη κατεύθυνση της ακτινοβολίας. Πρακτικά, η μηχανική πολυπλοκότητα και το κόστος ενός μηχανισμού που θα επέτρεπε την κίνηση των πλαισίων σύμφωνα με το παραπάνω τρόπο, καθιστά εξαιρετικά δύσκολη και δαπανηρή την εφαρμογή του σε φ/β συστήματα. Έτσι στη πλειονότητα των φ/β συστημάτων επιλέγεται σταθερός προσανατολισμός των πλαισίων, ώστε να επιτυγχάνεται μέση ετήσια γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας όσο το δυνατό πιο κοντά στις 90° . Η επίτευξη αυτού του στόχου έγκειται στην σωστή επιλογή της **κλίσης** και της **αζιμούθιας γωνίας** του πλαισίου.



Σχ. 1-14

Ορίζουμε ως **γωνία κλίσης "β"**, τη διεδρη γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στο επίπεδο του φ/β πλαισίου και στο οριζόντιο επίπεδο και δείχνει πόσο γέρνει το πλαίσιο. Ορίζουμε ως **αζιμούθια γωνία "α"**, τη γωνία που σχηματίζεται πάνω στο οριζόντιο επίπεδο ανάμεσα στη

προβολή της κατακόρυφου του φ/β πλαισίου και στον Νότο (σχήμα 1-14). Στο Βόρειο ημισφαίριο (που ανήκει και η Ελλάδα) τα πλαίσια τοποθετούνται προς το Νότο ($\alpha=0^\circ$). Αντίθετα, στο Νότιο ημισφαίριο τα πλαίσια τοποθετούνται προς το Βορρά ($\alpha=-180^\circ$).

Η βέλτιστη γωνία κλίσης των φ/β πλαισίων στο Βόρειο ημισφαίριο είναι:

- $\beta = \varphi$ (γεωγραφικό πλάτος θέσης φ/β εγκατάστασης)
- $\beta = \varphi + 15^\circ$ για καλύτερη απόδοση το χειμώνα
- $\beta = \varphi - 15^\circ$ για καλύτερη απόδοση το καλοκαίρι

Όπου "φ" είναι το γεωγραφικό πλάτος της θέσης της φ/β εγκατάστασης (πίνακας 1-2).

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-2	
Γεωγραφικό πλάτος διάφορων Ελληνικών πόλεων	
ΠΟΛΗ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ φ [°]
Σιδηρόκαστρο, Διδυμότειχο, Ορεστιάδα	41°30'
Φλώρινα, Έδεσσα, Γιαννιτσά, Κιλκίς, Σέρρες, Δράμα, Καβάλα, Ξάνθη, Κομοτηνή, Αλεξανδρούπολη	41°
Καστοριά, Πτολεμαίδα, Κοζάνη, Νάουσα, Βέροια, Κατερίνη, Θεσσαλονίκη, Πολύγυρος, Σαμοθράκη	40°30'
Κόνιτσα, Γρεβενά, Λιτόχωρο, Κασσάνδρα, Λήμνος	40°
Κέρκυρα, Ηγουμενίτσα, Ιωάννινα, Μέτσοβο, Τρίκαλα, Καρδίτσα, Λάρισα, Βόλος	39°30'
Λευκάδα, Πρέβεζα, Άρτα, Καρπενήσι, Λαμία, Σκύρος, Μυτιλήνη	39°
Κεφαλληνία, Ιθάκη, Αγρίνιο, Μεσολόγγι, Πάτρα, Άμφισσα, Λειβαδιά, Θήβα, Χαλκίδα, Χίος	38°30'
Ζάκυνθος, Αμαλιάδα, Καλάβρυτα, Κόρινθος, Μέγαρα, Ελευσίνα, Αθήνα, Ραφήνα, Κάρυστος, Άνδρος, Ικαρία, Σάμος	38°
Πύργος, Μεγαλόπολη, Τρίπολη, Άργος, Ναύπλιο, Πόρος, Σύρος, Πάμπος	37°30'
Πύλος, Καλαμάτα, Σπάρτη, Πάρος, Νάξος, Κάλυμνος, Κως	37°
Γύθειο, Μήλος, Σαντορίνη, Ρόδος	36°30'
Κύθηρα, Καστελλόριζο	36°
Χανιά, Ρέθυμνο, Ηράκλειο, Κάσος, Κάρπαθος	35°30'
Χώρα Σφακίων, Ιεράπετρα, Αγ. Νικόλαος Κρήτης	35°

1.5.1. Προβλήματα σκιασμών στις φ/β συστοιχίες

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας ο οποίος επιδρά καθοριστικά στην ενεργειακή αποδοτικότητα ενός κτηριακού φ/β συστήματος είναι η ύπαρξη σκιασμών. Λαμβάνοντας υπόψη ότι σε ένα φ/β πλαίσιο τόσο τα φ/β στοιχεία (ή μέρος αυτών) όσο και τα φ/β πλαίσια μιας συστοιχίας συνδέονται μεταξύ τους εν σειρά, γίνεται κατανοητό ότι ακόμα κι ο σκιασμός ενός μέρους της φ/β συστοιχίας μπορεί να προκαλέσει σημαντική μείωση της παραγόμενης ισχύος συγκριτικά με την αναμενόμενη τιμή αυτής. Αναλυτικότερα, το συνολικό ρεύμα μιας σειράς φ/β πλαισίων καθορίζεται από το μειωμένο ρεύμα του σκιασμένου τμήματος της φ/β συστοιχίας. Βέβαια στην περίπτωση που ο σκιασμός περιορίσει την τάση των σκιασμένων πλαισίων αρκετά χαμηλά ώστε να εισέλθει σε αγωγή η δίοδος παράκαμψης, το πλαίσιο αυτό εξαιρείται της ηλεκτροπαραγωγής. Από μια άλλη οπτική γωνία, μόνιμοι και επαναλαμβανόμενοι τοπικοί σκιασμοί σε ώρες υψηλής ακτινοβολίας δύναται να καταπονήσουν το σκιαζόμενο φ/β πλαίσιο, προκαλώντας την πρόωρη γήρανση αυτού. Συνεπώς είναι σημαντικό να αποφεύγονται σκιασμοί, έστω και από αντικείμενα μικρού όγκου όπως κολώνες, κεραίες ή ηλεκτρικά καλώδια ή, ακόμη περισσότερο, από δένδρα, παρακείμενα κτήρια κλπ. Η επιλογή της θέσης έδρασης της φ/β συστοιχίας θα πρέπει να γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν θα υπάρξουν σκιασμοί καθ' όλο το έτος και ειδικά τις ώρες υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας. Εάν

στην τοποθεσία έδρασης του φ/β εξοπλισμού υπάρχουν μόνιμοι ή επαναλαμβανόμενοι σκιασμοί (π.χ. σκίαση από παρακείμενα κτήρια, κολώνες, στηθαίο, κλπ.) για μεγάλο χρονικό διάστημα γύρω από το ηλιακό μεσημέρι (από 09:00 έως 15:00), τότε η θέση εγκατάστασης θεωρείται ακατάλληλη. Τέλος, για τη διασφάλιση της μακροχρόνιας απρόσκοπτης λειτουργίας του φ/β συστήματος θα πρέπει να εξετάζεται το ενδεχόμενο εμφάνισης μελλοντικών σκιασμών λόγω ανοικοδόμησης παρακείμενων κτηρίων. Εν κατακλείδι μπορούμε να πούμε ότι ο γενικός κανόνας ορθής τοποθεσίας έδρασης του φ/β εξοπλισμού είναι ο ορίζοντας προς Νότο να είναι ελεύθερος και χωρίς εμπόδια.

1.5.2. Σχεδιασμός φωτοβολταϊκής συστοιχίας

Ο σχεδιασμός μιας φ/β συστοιχίας ξεκινάει με την εκτίμηση των ηλεκτρικών καταναλώσεων του συστήματος που πρόκειται να τροφοδοτήσει. Ύστερα από προσεκτική έρευνα, απαριθμούνται οι διάφορες ενδεχόμενες χρήσεις ηλεκτρικής ενέργειας και καταγράφονται οι ηλεκτρικές συσκευές, η ισχύς τους και ο πιθανός χρόνος λειτουργίας τους μέσα στη διάρκεια ενός 24ώρου. Καταρτούμε έτσι πίνακα όπως παρακάτω, από τον οποίο προκύπτει η απαιτούμενη ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια E που θέλουμε να παράγει η φ/β συστοιχία.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1-3			
Παράδειγμα υπολογισμού της απαιτούμενης ημερήσιας ηλεκτρικής ενέργειας E που θέλουμε να παράγει η φ/β συστοιχία			
Συσκευή	Ισχύς	Ώρες λειτουργίας	Ηλεκτρική κατανάλωση
Φώτα	1,0 kW	3,0 h	3,0 kWh
Ψυγείο	0,3 kW	9,0 h	2,7 kWh
Τηλεόραση	0,2 kW	4,0 h	0,8 kWh
Ηλεκτρική σκούπα	0,6 kW	0,5 h	0,3 kWh
Στεγνωτήρας μαλλιών	0,4 kW	0,5 h	0,2 kWh
Φρυγανιέρα	1,5 kW	0,2 h	0,3 kWh
Πλυντήριο ρούχων	3,5 kW	0,2 h	0,7 kWh
Σύνολο	7,5 kW		8,0 kWh

Ο βαθμός απόδοσης μιας φωτοβολταϊκής συστοιχίας η_{σ} προκύπτει από τη σχέση:

$$\eta_{\sigma} = \eta_{\pi} \cdot \sigma_{\alpha} \cdot \sigma_{\kappa} \quad 1-10$$

Όπου:

η_{π} : βαθμός απόδοσης ενός πλαισίου της συστοιχίας (δόθηκε από τη σχέση 1-9)

σ_{α} : συντελεστής ανομοιομορφίας ($\sigma_{\alpha}=0,98$). Εκφράζει την ανομοιογένεια των χαρακτηριστικών καμπύλων V-I των πλαισίων που απαρτίζουν την φ/β συστοιχία.

σ_{κ} : συντελεστής καλωδιώσεων ($\sigma_{\kappa}=0,98$). Εκφράζει τις απώλειες στα καλώδια σύνδεσης των φ/β πλαισίων.

Η επιφάνεια της φ/β συστοιχίας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$S_{\sigma} = \frac{E}{E_{HA} \cdot \eta_{\sigma}} \quad 1-11$$

Όπου:

E: η απαιτούμενη ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια που θέλουμε να παράγει η φ/β συστοιχία [KWh/ημέρα]

E_{HA}: ημερήσια ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (προκύπτει από πίνακα 1-4) [KWh/m².ημέρα]

η_σ: βαθμός απόδοσης φ/β συστοιχίας

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 1-4														
Μηνιαία ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας [KWh/m ² .μήνα] σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας για κλίση πλαισίων β=0° (οριζόντια τοποθέτηση)														
ΠΟΛΗ	ΙΑΝ.	ΦΕΒ.	ΜΑΡ.	ΑΠΡ.	ΜΑΪΟΣ	ΙΟΥΝ.	ΙΟΥΛ.	ΑΥΓ.	ΣΕΠ.	ΟΚΤ.	ΝΟΕΜ.	ΔΕΚ.	ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝ. [KWh/m ² .μήνα]	ΕΤΗΣΙΑ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝ. [KWh/m ² .έτος]
Αθήνα	58	74	110	147	190	204	219	202	149	104	70	54	132	1581
Αλιάρτος	48	64	102	139	182	197	205	210	138	91	61	47	124	1483
Άραξος	59	71	111	143	181	189	207	195	147	103	68	52	127	1527
Αργοστόλι	61	72	111	137	190	207	217	198	146	102	67	52	130	1559
Άρτα	60	68	109	130	178	193	208	192	141	100	65	52	125	1497
Ηράκλειο	59	75	110	151	196	214	226	205	157	105	75	58	136	1631
Θεσσαλονίκη	49	64	96	135	174	186	205	178	131	87	55	44	117	1403
Ιεράπετρα	72	85	127	155	195	216	227	211	164	120	87	69	144	1728
Ιωάννινα	48	59	95	124	165	177	196	177	127	91	56	42	113	1357
Καλαμάτα	66	76	116	135	192	209	217	198	149	106	75	55	133	1596
Κέρκυρα	54	65	103	137	178	201	217	193	140	97	60	48	124	1493
Κομοτηνή	50	61	92	128	165	183	194	177	130	91	55	45	114	1368
Κόνιτσα	52	61	100	118	163	174	193	176	126	89	59	49	113	1361
Κόρινθος	54	69	110	139	185	199	208	194	145	101	69	54	127	1526
Κύθηρα	67	77	114	143	190	212	218	200	153	109	74	59	135	1615
Λαμία	51	62	105	137	180	198	204	187	135	92	63	52	122	1466
Λάρισα	47	62	100	138	179	189	202	186	135	91	61	44	119	1433
Λήμνος	45	62	101	140	184	200	206	192	142	96	58	44	123	1469
Μεθώνη	59	73	113	136	186	202	213	194	147	107	73	55	130	1556
Μήλας	53	60	107	159	200	227	241	220	168	102	72	49	138	1660
Μυτιλήνη	51	65	102	138	189	207	222	200	150	101	64	49	128	1539
Νάξος	54	69	107	142	183	199	207	192	150	105	70	54	128	1531
Πάρος	58	75	114	151	198	216	223	202	155	108	72	56	136	1629
Πάτρα	53	67	113	129	177	199	203	185	141	99	62	51	123	1479
Πύργος	64	73	117	138	191	206	216	198	149	106	74	59	133	1592
Ρέθυμνο	59	76	106	145	194	206	222	203	149	95	76	56	132	1587
Ρόδος	64	77	122	155	196	214	227	211	166	117	79	61	141	1686
Σάμος	60	74	111	144	188	210	221	202	158	111	72	54	134	1606
Σέρρες	47	60	97	130	170	185	196	178	129	87	56	45	115	1380
Σητεία	60	75	115	149	195	212	224	202	156	107	77	58	136	1630
Σκύρος	45	61	95	139	187	205	215	194	142	93	59	45	123	1480
Σούδα Κρήτης	59	75	112	149	196	206	221	208	156	102	74	57	135	1616
Σύρος	56	75	109	154	198	208	226	204	155	112	70	55	135	1621
Τυμπάκι	69	83	128	152	193	213	223	213	162	118	83	66	142	1703
Χανιά	59	75	112	149	196	215	229	210	154	101	74	56	136	1630
Χίος	53	67	108	144	195	214	226	205	155	107	67	52	133	1594

Η επόμενη παράμετρος που λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό μιας φ/β συστοιχίας είναι η **ισχύς αιχμής** της P_{ρσ}. Ορίζεται ως η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που αποδίδεται από τη φ/β συστοιχία, κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου STC. Η ισχύς αιχμής για τη κάλυψη των ημερήσιων ενεργειακών απαιτήσεων υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_{ρσ} = \frac{E \cdot P_{STC} \cdot m}{E_{HA} \cdot \sigma_{ΑΣ}}$$

1-12

Όπου:

$P_{p\sigma}$: ισχύς αιχμής φ/β συστοιχίας [KW_p]

E : η απαιτούμενη ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια που θέλουμε να παράγει η φ/β συστοιχία [KWh/ημέρα]

P_{STC} : είναι η ισχύς της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στις πρότυπες συνθήκες STC και ισούται με $1000W/m^2 = 1KW/m^2$

m : συντελεστής περιθωρίου ενεργειακών καταναλώσεων, για να καλύψουμε μια πιθανή υποτίμηση των αναγκών κατανάλωσης ($m=1,2$)

E_{HA} : ημερήσια ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (προκύπτει από πίνακα 1-4) [KWh/m².ημέρα]

σ_{AS} : συντελεστής απωλειών φ/β συστοιχίας ($\sigma_{AS} = \sigma_{\gamma} \cdot \sigma_{\rho} \cdot \sigma_{\delta} \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\alpha} \cdot \sigma_{\kappa}$)

Σε περίπτωση που η φ/β συστοιχία μας πρέπει να καλύψει ενεργειακές απαιτήσεις "n" ημερών αυτονομίας μέσα σε ένα διάστημα "v" ημερών (π.χ. v=30 ημέρες = ένας μήνας), η ισχύς αιχμής δίνεται από τη σχέση:

$$P_{p\sigma} = \frac{E \cdot P_{STC} \cdot m}{E_{HA} \cdot \sigma_{AS}} \cdot \frac{v}{v-n} \quad 1-13$$

Η ισχύς αιχμής στη περίπτωση "n" ημερών αυτονομίας είναι σαφώς μεγαλύτερη από την ισχύ αιχμής για καμία ημέρα αυτονομίας. Αυτό είναι λογικό, μιας η φ/β συστοιχία πρέπει να μπορεί να καλύπτει καθημερινά την ενεργειακή κατανάλωση "E" και κατά τις "n" μη ηλιοφανεές ημέρες.

Έχοντας υπολογίσει την ισχύ αιχμής $P_{p\sigma}$ της φ/β συστοιχίας, το επόμενο βήμα είναι να υπολογίσουμε το πλήθος "N" των πλαισίων που θα αποτελείται. Το πλήθος αυτό προκύπτει από τον λόγο:

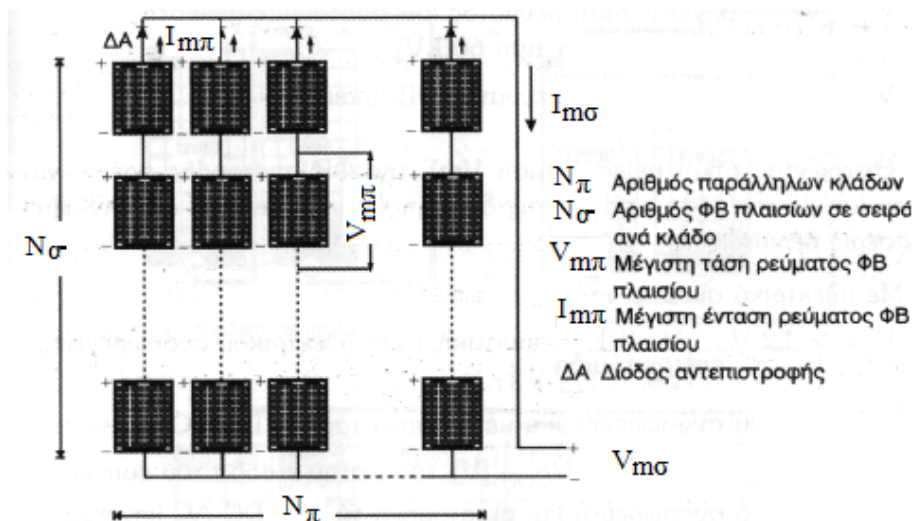
$$N = P_{p\sigma} / P_{p\pi} \quad 1-14$$

Όπου:

$P_{p\sigma}$: ισχύς αιχμής φ/β συστοιχίας [KW_p]

$P_{p\pi}$: ισχύς αιχμής ενός φ/β πλαισίου [KW_p]

Στο επόμενο σχήμα βλέπουμε μια φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελούμενη από $N_{\pi} \times N_{\sigma}$ φ/β πλαίσια.



Σχ. 1-15

Τα "N" αυτά πλαίσια κατανομούνται σε " N_{π} " κλάδους συνδεδεμένους παράλληλα, όπου κάθε ένας κλάδος αποτελείται από " N_{σ} " πλαίσια συνδεδεμένα σε σειρά. Προφανώς το γινόμενο $N_{\pi} \times N_{\sigma}$ θα ισούται με το ολικό πλήθος των πλαισίων "N".

Η σύνδεση των φ/β πλαισίων γίνεται με κατάλληλο τρόπο, ώστε η τάση εξόδου της φ/β συστοιχίας να αποκτά την επιθυμητή τιμή. Για τη σύνδεση των φ/β πλαισίων ισχύουν οι γνωστοί κανόνες συνδεσμολογίας των ηλεκτρικών πηγών:

- α) Η τάση της φ/β συστοιχίας " $V_{m\sigma}$ " είναι ίση με την τάση του ενός κλάδου του.
- β) Η τάση ενός κλάδου ισούται με το γινόμενο του αριθμού πλαισίων " N_{σ} " του επί τη τάση του ενός πλαισίου " $V_{m\pi}$ ".
- γ) Η ένταση ρεύματος ενός κλάδου ισούται με την ένταση ρεύματος ενός φ/β πλαισίου " $I_{m\pi}$ ".
- δ) Η ένταση ρεύματος της φ/β συστοιχίας " $I_{m\sigma}$ " ισούται με το γινόμενο του αριθμού των παράλληλων κλάδων " N_{π} " του επί το ρεύμα ενός κλάδου.

Ισχύουν δηλαδή ότι:

Μέγιστη τάση φ/β συστοιχίας:

$$V_{m\sigma} = V_{m\pi} \cdot N_{\sigma} \quad 1-15$$

Μέγιστη ένταση ρεύματος φ/β συστοιχίας:

$$I_{m\sigma} = I_{m\pi} \cdot N_{\pi} \quad 1-16$$

1.5.3. Προσδιορισμός της μέγιστης τάσης $V_{m\sigma}$ της φ/β συστοιχίας

Η μέγιστη τάση $V_{m\sigma}$ μιας φ/β συστοιχίας σχετίζεται με το είδος των διατάξεων που χρησιμοποιεί. Θεωρώντας ότι η μέγιστη τάση $V_{m\sigma}$ θα πρέπει να είναι ίση με τη τάση εισόδου της διάταξης που ακολουθεί, διακρίνουμε τέσσερις περιπτώσεις:

α) φ/β με ηλεκτρικό συσσωρευτή μόνο:

$$V_{m\sigma} > 1,2 \cdot V_B \quad 1-17$$

β) φ/β με ηλεκτρικό συσσωρευτή και μετατροπέα τάσεως DC-DC (converter):

$$V_{mσ} = V_{CON} < 600V \quad 1-18$$

γ) φ/β με ηλεκτρικό συσσωρευτή και μετατροπέα τάσεως DC-AC (inverter):

$$V_{mσ} > 1,2 \cdot V_B \quad 1-19$$

δ) φ/β με μετατροπέα τάσεως DC-AC (inverter) μόνο:

$$V_{mσ} = V_{IN} \quad 1-20$$

όπου: V_B η ονομαστική τάση του ηλεκτρικού συσσωρευτή, V_{CON} η τάση στην είσοδο του converter και V_{IN} η τάση στην είσοδο του inverter.

Η επιλογή της ονομαστικής τάσης V_B του ηλ. συσσωρευτή γίνεται σε συνάρτηση της ισχύος αιχμής $P_{pσ}$ της φ/β συστοιχίας. Στο παρακάτω πίνακα βλέπουμε τις προτεινόμενες ονομαστικές τάσεις συσσωρευτών φ/β συστημάτων.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 1-5	
Προτεινόμενες ονομαστικές τάσεις συσσωρευτών φ/β συστημάτων	
Ισχύς αιχμής $P_{pσ}$ φ/β συστοιχίας [KWp]	Ονομαστική τάση συσσωρευτή V_B [Volt]
0 - 0,5	12
0,5 - 3	24
3- 10	48
>10	>48

1.6. Υπολογισμοί ηλεκτρικού συσσωρευτή φ/β συστήματος

Ένα φ/β σύστημα πρέπει να παρέχει την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για την ικανοποίηση της ζήτησης και τις χρονικές περιόδους εκείνες που δεν υπάρχει η αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία. Τέτοιες περιόδους είναι οι νυχτερινές ώρες αλλά και οι συννεφιασμένες ημέρες. Σε ένα αυτόνομο φ/β σύστημα όπως αυτό του υπαίθριου αναψυκτηρίου της παρούσας εργασίας, δεν υπάρχει η δυνατότητα άντλησης της απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους αυτές από το ηλεκτρικό δίκτυο. Έτσι, γεννάται η ανάγκη αποθήκευσης της περίσσειας ηλεκτρικής ενέργειας παραγωγής και η αξιοποίησή της τις περιόδους εκείνες που δεν υπάρχει η απαιτούμενη ηλιακή ακτινοβολία. Οι διατάξεις αυτές αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας ονομάζονται **ηλεκτρικοί συσσωρευτές**.

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός συσσωρευτή είναι η **ονομαστική του τάση** ' V_B ' και η **ονομαστική του χωρητικότητα** ' C '. Η ονομαστική τάση ενός συσσωρευτή μετριέται σε Volt και εκφράζει την ηλεκτρεγερτική δύναμη στα άκρα του, όταν αυτός εργάζεται χωρίς φορτίο ('εν κενό'). Η εκλογή της ονομαστικής τάσης ' V_B ' του ηλ. συσσωρευτή γίνεται σε συνάρτηση της ισχύος αιχμής $P_{pσ}$ της φ/β συστοιχίας και δόθηκε προηγουμένως στον πίνακα 1-5. Η ονομαστική χωρητικότητα ' C ' ενός συσσωρευτή εκφράζει το ηλεκτρικό φορτίο που μπορεί να αποθηκεύσει στο εσωτερικό του υπό μορφή χημικής ενέργειας και μετριέται σε Ah. Είναι δηλαδή το γινόμενο της έντασης του ρεύματος [σε A] που μπορεί να δίνει σε πλήθος n_h ωρών μέχρι να εκφορτιστεί πλήρως. Για παράδειγμα, ένας συσσωρευτής χωρητικότητας 12Ah σημαίνει ότι μπορεί να δίνει συνεχώς ρεύμα έντασης 12A επί χρόνο μίας ώρας ή ρεύμα

έντασης 6A επί δύο ώρες κοκ. Η σχέση που μας δίνει την ονομαστική χωρητικότητα 'C' ενός συσσωρευτή είναι:

$$C = \frac{(n+b) \cdot m \cdot E}{\sigma_{\gamma B} \cdot \sigma_{EK} \cdot \beta_{EK} \cdot V_B} \quad 1-21$$

με

$$b = E_{KE} / E \quad 1-22$$

όπου:

n: είναι ο αριθμός των μη ηλιοφανών ημερών (ημέρες αυτονομίας)

b: είναι το ποσοστό φορτίων έμμεσης τροφοδότησης (λαμβάνει τιμές από 0 έως 1)

E_{KE} : ηλεκτρική ενέργεια που καλύπτεται από το συσσωρευτή [KWh/ημέρα]

E: η απαιτούμενη ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια που θέλουμε να παράγει η φ/β συστοιχία [KWh/ημέρα]

V_B : η ονομαστική τάση του ηλεκτρικού συσσωρευτή (από πίνακα 1-5) [Volt]

β_{EK} : το βάθος εκφόρτισης του συσσωρευτή. Ορίζεται ως το ποσό της αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας που προσφέρεται από το συσσωρευτή σε κάθε εκφόρτιση. Η επιλογή του βάθους εκφόρτισης σχετίζεται με τις μέρες αυτονομίας 'n' και είναι:

- $\beta_{EK} = 0,4$ για $1 \leq n \leq 3$
- $\beta_{EK} = 0,6$ για $4 \leq n \leq 6$
- $\beta_{EK} = 0,8$ για $7 \leq n \leq 10$

$\sigma_{\gamma B}$: συντελεστής γήρανσης συσσωρευτή. Λαμβάνεται υπόψη $\sigma_{\gamma B} = 0,8$

σ_{EK} : συντελεστής απωλειών μεταφοράς ενέργειας στο κύκλωμα εκφόρτισης. Ισχύει ότι:

- $\sigma_{EK} = 0,97$ για φ/β χωρίς μετατροπέα τάσης DC-AC (inverter)
- $\sigma_{EK} = 0,91$ για φ/β με μετατροπέα τάσης DC-AC (inverter)

1.7. Ελεγκτής φόρτισης ηλεκτρικών συσσωρευτών

Ο ελεγκτής φόρτισης συσσωρευτών ή αλλιώς ρυθμιστής φόρτισης (*charge controller*) αποτελεί μέρος κάθε αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος. Ακόμη και πολύ μικρής κλίμακας να είναι το φ/β σύστημα ο charge controller είναι απαραίτητος και δεν πρέπει να λείπει από καμία υλοποίηση, ακόμη και από αυτές που φαίνεται να μη είναι απαραίτητος. Οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές που χρησιμοποιούμε στα φωτοβολταϊκά θα μπορούσαν εύκολα να υποστούν ζημιές αν απουσίαζε ο ελεγκτής φόρτισης όπως για παράδειγμα όταν μια πλήρως φορτισμένη μπαταρία συνεχίσει να δέχεται υψηλό φορτίο από τα ηλιακά πάνελ. Ο charge controller αναλαμβάνει όχι μόνο να ελέγξει την φόρτιση των μπαταριών αλλά και να τις προστατέψει. Όταν λοιπόν φορτίζεται μια μπαταρία συνδεδεμένη στον ελεγκτή, θα φτάσει μέχρι μια τάση ασφαλείας και όχι παραπάνω. Παρόλο που μπορεί να συνεχίσει ο ήλιος να παρέχει ενέργεια και υψηλή τάση, ο ελεγκτής αποφασίζει πως δεν χρειάζεται περεταίρω φόρτιση και την διακόπτει. Αν δεν υπήρχε, θα συνέχιζε η φόρτιση με απρόβλεπτες συνέπειες. Ο ελεγκτής όμως φροντίζει και όταν η αποθηκευμένη ενέργεια του συσσωρευτή κοντεύει να τελειώσει. Ο ρυθμιστής φόρτισης δεν αφήνει τους συσσωρευτές εξαντλήσουν όλη την αποθηκευμένη τους ενέργεια, με σκοπό να τις προστατέψει, μιας και η πλήρη εκφόρτισή τους μπορεί να τις βλάψει. Αυτό πρέπει να το έχουμε υπόψη, αφού ένας συσσωρευτής ποτέ δεν

μπορεί να αξιοποιήσει πλήρως την ονομαστική της αξία αλλά στην ουσία περίπου το 60% και μάλλον λιγότερο.

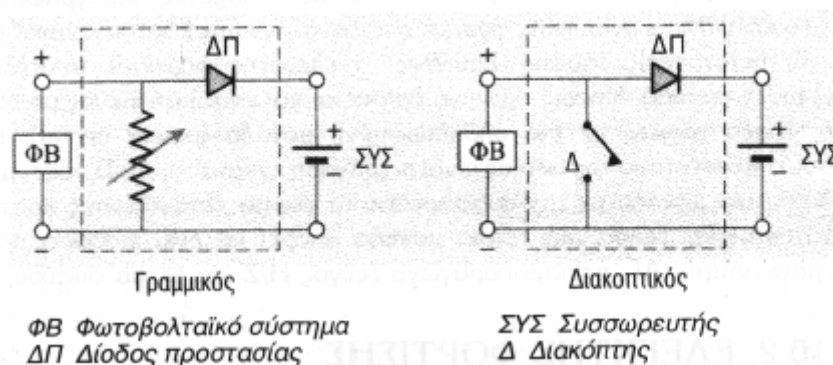
Ένας τυπικός ρυθμιστής φόρτισης, ακόμη και ο πιο απλός έχει 3 ζεύγη για υποδοχή ακροδεκτών. Το ένα δέχεται το ρεύμα από τα ηλιακά πάνελ. Το άλλο στέλνει αυτό το ρεύμα στους συσσωρευτές έτσι ώστε να μπορεί να αποφασιστεί αν πρέπει να διακοπεί η παροχή. Τέλος το τρίτο ζεύγος δίνει το ρεύμα χρήσης στις καταναλώσεις. Δηλαδή είναι το σημείο από το οποίο στην ουσία ξεκινά το μικρό ιδιωτικό δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Όσο και αν φαίνεται μεγαλεπήβολη αυτή η φράση η ουσία είναι πως αυτό συμβαίνει στην πράξη, είτε πρόκειται να ανάψουμε μια λάμπα είτε κάτι πολύ πιο σημαντικό εκμεταλλευόμαστε την δική μας ηλεκτρική ενέργεια. Υπάρχουν πολύ πιο εξελιγμένοι ελεγκτές φόρτισης από αυτό που περιγράψαμε παραπάνω. Όμως ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι να παρέχει μια μικρή εμπειρία στον αναγνώστη στα μικρά αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα. Στο επόμενο σχήμα βλέπουμε μια τυπική μορφή ενός ελεγκτή φόρτισης με τους ακροδέκτες του.



Σχ. 1-16

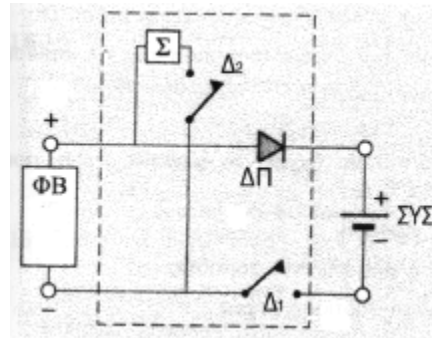
Ο ελεγκτής φόρτισης διακρίνεται σε δυο τύπους: α) *παράλληλος ελεγκτής φόρτισης* και β) *ελεγκτής φόρτισης σειράς*.

α) *Παράλληλος ελεγκτής φόρτισης*: όταν η μοναδική πηγή συνεχούς ρεύματος είναι η φ/β συστοιχία, ο ελεγκτής φόρτισης συνδέεται παράλληλα με αυτή και μπορεί να είναι *γραμμικού* ή *διακοπτικού τύπου*. Στους γραμμικού τύπου μια μεταβλητή αντίσταση μεταβάλλεται γραμμικά, ώστε η τάση φόρτισης να παραμένει σταθερή. Στη δεύτερη περίπτωση ο ελεγκτής φόρτισης συμπεριφέρεται σαν διακόπτης ON/OFF (δείτε επόμενο σχήμα).



Σχ. 1-17

β) *Ελεγκτής φόρτισης σειράς*: στους ελεγκτές αυτούς υπάρχουν δυο στοιχεία ελέγχου (σχήμα 1-18). Ένα στοιχείο Δ_1 συνδεδεμένο σε σειρά με το συσσωρευτή που διακόπτει το ρεύμα από τη φ/β συστοιχία όταν η τάση φόρτισης ξεπεράσει το προκαθορισμένο όριο και ένα διακοπτικό στοιχείο Δ_2 παράλληλα στο συσσωρευτή που ενεργοποιείται ταυτόχρονα με το στοιχείο Δ_1 και διοχετεύει την επιπλέον ενέργεια από τη φ/β συστοιχία σε ένα στοιχείο απόδοσης Σ .



Σχ. 1-18

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

1. Ο παράλληλος ελεγκτής αφορά αποκλειστικά φ/β συστήματα. Ο ελεγκτής φόρτισης σειράς κάνει για όλα τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως φ/β συστήματα, ανεμογεννήτριες και ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη.
2. Όλοι οι τύποι ελεγκτών φόρτισης έχουν και μια δίοδο προστασίας $\Delta\Pi$, η οποία αποτρέπει την εκφόρτιση του συσσωρευτή και την επιστροφή του ρεύματός του προς τη φ/β συστοιχία.

Για την επιλογή του ελεγκτή φόρτισης λαμβάνουμε υπόψη μας τρεις παραμέτρους:

α) *ονομαστική τάση του ελεγκτή*: πρέπει να είναι ίδια με την ονομαστική τάση του ηλεκτρικού συσσωρευτή.

β) *ρεύμα εισόδου ελεγκτή*: πρέπει να έχει τη δυνατότητα να δεχθεί το μέγιστο ρεύμα που παράγεται από τη φ/β συστοιχία. Ισχύουν τα εξής:

- για παράλληλο ελεγκτή φόρτισης το μέγιστο ρεύμα εισόδου είναι $1,5xI_{SC\sigma}$
- για ελεγκτή φόρτισης σειράς το μέγιστο ρεύμα εισόδου είναι $1,5xI_{m\sigma}$

όπου:

$I_{SC\sigma}$: ρεύμα βραχυκύκλωσης φ/β συστοιχίας

$I_{m\sigma}$: ένταση ρεύματος φ/β συστοιχίας στο σημείο μέγιστης ισχύος

γ) *ρεύμα εξόδου ελεγκτή*: πρέπει να έχει τη δυνατότητα να δώσει το μέγιστο ρεύμα στα φορτία κατανάλωσης. Αν η συνολική ισχύς των καταναλώσεων είναι 'P' και η τάση λειτουργίας αυτών είναι 'V_K', τότε το απαιτούμενο ρεύμα εξόδου 'I_K' των καταναλώσεων θα είναι:

$$I_K = P/V_K$$

1.8. Μετατροπείας τάσεως DC-AC (inverter)

Ο *μετατροπείας τάσεως DC-AC (inverter)* είναι το πιο σημαντικό στοιχείο ενός φωτοβολταϊκού συστήματος ύστερα από τη φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Οι μετατροπείς είναι ηλεκτρονικές συσκευές που μετατρέπουν το συνεχές DC ρεύμα 12V/24V/48V των μπαταριών ενός φωτοβολταϊκού συστήματος σε εναλλασσόμενο AC ρεύμα 230V. Μέσω λοιπόν του inverter τροφοδοτούνται όλες οι ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές (καταναλώσεις) που λειτουργούν με AC τάση 230 Volt. Καθώς το ρεύμα από τα φωτοβολταϊκά πάνελ ρέει μέσα από τον μετατροπέα, τα χαρακτηριστικά του ουσιαστικά επηρεάζουν τη συμπεριφορά και την λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Εκτός από την αποτελεσματική μετατροπή του συνεχούς σε εναλλασσόμενο ρεύμα, τα ηλεκτρονικά στοιχεία του μετατροπέα περιλαμβάνουν επίσης στοιχεία υπεύθυνα για το τύπο της καθημερινής λειτουργίας. Αυτά εξασφαλίζουν ότι η λειτουργία ξεκινάει την κατάλληλη χρονική στιγμή της ημέρας μόλις οι ηλιακές κυψέλες δώσουν αρκετή ισχύ. Αποτυχημένη προσπάθεια εκκίνησης απαιτεί ισχύ από το δίκτυο και θα πρέπει να αποφεύγεται. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το βέλτιστο σημείο λειτουργίας πάνω στη I-V χαρακτηριστική καμπύλη μετακινείται ανάλογα με τις διακυμάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας των πάνελ. Έξυπνος έλεγχος από τον μετατροπέα περιλαμβάνει παρακολούθηση του σημείου μέγιστης ισχύος και συνεχή αναπροσαρμογή στο περισσότερο επιθυμητό σημείο λειτουργίας. Συσκευές προστασίας είναι εξίσου ενσωματωμένες στον μετατροπέα ο οποίος αυτομάτως αποσυνδέεται από το σύστημα εάν προκύψουν ανωμαλίες στο δίκτυο ή στη φωτοβολταϊκή γεννήτρια.

Οι inverter διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Σε inverter τροποποιημένου ημίτονου (modified sine wave) και σε inverter καθαρού ημίτονου (pure / true sine wave). Ένας μετατροπέας inverter τροποποιημένου (διαμορφωμένου) ημίτονου, είναι σαφώς μικρότερου κόστους από ένα inverter καθαρού ημίτονου ο οποίος βέβαια είναι κατάλληλος για όλες τις ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές. Ο inverter τροποποιημένου (διαμορφωμένου) ημίτονου εμφανίζει υψηλή κατανάλωση έως και 20% σε σχέση με έναν μετατροπέα inverter καθαρού ημίτονου. Ο μετατροπέας καθαρού ημίτονου δεν παρουσιάζει κανένα από τα παραπάνω προβλήματα. Το μοναδικό μειονέκτημα που θεωρείται ότι έχουν οι inverter καθαρού ημίτονου είναι η υψηλότερη τιμή τους, αφού είναι 2 έως 3 φορές ακριβότεροι από έναν αντίστοιχο inverter τροποποιημένου ημίτονου. Για ψηφιακές ηλεκτρονικές συσκευές που διαθέτουν switching τροφοδοτικά συνιστάται η χρήση inverter με καθαρού ημίτονου. Απαραίτητη κρίνεται η χρήση μετατροπέας καθαρού ημίτονου σε ηλεκτρικές συσκευές που λειτουργούν με μοτέρ (π.χ. ψυγείο) απαιτούν στιγμιαία ρεύματα εκκίνησης ισχύος (κατά την εκκίνηση του μοτέρ) σε πολλαπλάσια Watt (π.χ. εξαπλάσια) από αυτά της κανονικής τους λειτουργίας.

Για την επιλογή ενός μετατροπέα από DC σε AC λαμβάνονται υπόψη τέσσερις παράμετροι:

- α) *Ονομαστική τάση*: η ονομαστική τάση του inverter πρέπει να είναι ίδια με την ονομαστική τάση του συσσωρευτή.
- β) *Ισχύς εξόδου*: η ισχύς εξόδου του inverter πρέπει να είναι ίση με τη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ των φορτίων κατανάλωσης που λειτουργούν ταυτόχρονα.
- γ) *Ισχύς αιχμής*: η ισχύς αιχμής του inverter θα πρέπει να είναι τριπλάσια της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύς των φορτίων κατανάλωσης που λειτουργούν ταυτόχρονα.
- δ) *Τάση εξόδου*: η AC τάση εξόδου του inverter θα πρέπει να είναι ίση με την ονομαστική τάση λειτουργίας των ηλεκτρικών καταναλώσεων (συνήθως 230V AC).

Ένα από τα ζητήματα που χρήζουν προσοχής κατά το σχεδιασμό ενός κτηριακού φ/β

συστήματος, είναι η επιλογή του χώρου έδρασης των ηλεκτρονικών μετατροπέων. Συνήθως, οι μετατροπείς των εν λόγω ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων τοποθετούνται είτε στο εσωτερικό των κτηρίων που εγκαθίστανται, είτε σε ειδικά διαμορφωμένο κλειστό χώρο ο οποίος μπορεί να βρίσκεται πλησίον του φ/β εξοπλισμού. Μάλιστα, στη δεύτερη περίπτωση μειώνεται σημαντικά το μήκος των ηλεκτρικών αγωγών D.C. με άμεσο αποτέλεσμα τον περιορισμό των ηλεκτρικών απωλειών, της πτώσης τάσης, αλλά και του κόστους καλωδίωσης. Βέβαια υπάρχουν και ηλεκτρονικοί μετατροπείς οι οποίοι σύμφωνα με τα τεχνικά φυλλάδια του κατασκευαστή μπορούν να εγκατασταθούν είτε κάτω από τα φ/β πλαίσια, είτε στο μηχανισμό στήριξης αυτών, εφόσον υπάρχει αρκετός χώρος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι ο συγκεκριμένος τύπος έδρασης έχει ως αποτέλεσμα την άμεση έκθεση του μετατροπέα σε υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, αλλά, σε ορισμένες περιοχές της Ελλάδας, και σε αρκετά χαμηλές κατά τη διάρκεια του χειμώνα, προτείνεται να εφαρμόζεται μόνο στις περιπτώσεις που το προβλέπει ο κατασκευαστής. Συγκεκριμένα, στο φυλλάδιο του κατασκευαστή θα πρέπει να αναζητηθεί ο δείκτης προστασίας (IP) του μετατροπέα από σωματίδια σκόνης και νερού, καθώς και τα όρια της θερμοκρασίας μέσα στα οποία δεν επηρεάζεται η ασφαλής και απρόσκοπτη λειτουργία του. Σε αντίθετη περίπτωση η υιοθέτηση του προαναφερθέντος τρόπου έδρασης μπορεί να επιφέρει μείωση του προσδόκιμου της διάρκειας ζωής του μετατροπέα. Επίσης, λαμβάνοντας υπόψη ότι η ψύξη του ηλεκτρονικού μετατροπέα επηρεάζεται σημαντικά από τις κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής στην οποία είναι εγκατεστημένο το φ/β σύστημα (θερμοκρασία περιβάλλοντος, συνθήκες ηλιοφάνειας, υγρασία και άνεμος), γίνεται κατανοητό ότι στις περιπτώσεις που ο μετατροπέας τοποθετείται σε κλειστό χώρο πλησίον του φ/β εξοπλισμού ίσως είναι απαραίτητη η τοποθέτηση μηχανισμού εξαναγκασμένης ψύξης (ανεμιστήρες).

1.9. Ηλεκτρικές καλωδιώσεις φ/β εγκατάστασης - μέσα προστασίας και διακοπή

Η ηλεκτρολογική εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος απαιτεί τη χρήση καλωδίων DC και AC. DC καλώδια χρησιμοποιούνται για τη διασύνδεση των πάνελ μεταξύ τους και για τη σύνδεση των κλάδων/στοιχειοσειρών (string) με τις εισόδους του inverter και του ρυθμιστή φόρτισης των συσσωρευτών, ενώ AC καλώδια ισχύος, συμβατικού τύπου, χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των inverters με τις ηλεκτρικές καταναλώσεις.

Στην DC πλευρά της Φ/Β συστοιχίας ο σχεδιασμός και η υλοποίηση της εγκατάστασης καλωδίωσης θα πρέπει να εξασφαλίζει προστασία ισοδύναμη με μόνωση Class II. Η καλωδίωση περιλαμβάνει τις συνδέσεις μεταξύ των Φ/Β πλαισίων και τις συνδέσεις από τα άκρα της Φ/Β συστοιχίας μέχρι τον αντιστροφέα. Όλα τα καλώδια τα οποία είναι εκτεθειμένα στην ηλιακή ακτινοβολία θα πρέπει να είναι ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία (αποκλείοντας έτσι τα κοινά καλώδια με μόνωση από PVC). Τα καλώδια τα οποία χρησιμοποιούνται για τις συνδέσεις των πλαισίων θα πρέπει να έχουν μόνωση ανθεκτική τουλάχιστον έως 70°C ή και περισσότερο αν δεν υπάρχει ελεύθερη κυκλοφορία του αέρα. Η επιλογή του κατάλληλου είδους καλωδίου είναι σημαντική για την ασφάλεια και τη διάρκεια της εγκατάστασης όπως και την ικανοποίηση της απαίτησης για μόνωσης ισοδύναμης με κλάση II. Για τις συνδέσεις μεταξύ των πλαισίων χρησιμοποιούνται συνήθως εύκαμπτα μονοπολικά καλώδια με ενισχυμένη μόνωση, με τις ανωτέρω τουλάχιστον απαιτήσεις. Ο συνδυασμός αυτός των απαιτήσεων είναι δύσκολο να ικανοποιηθεί από κοινά τυποποιημένα καλώδια και απαιτεί τη χρήση ειδικών μειγμάτων πλαστικών για μόνωση. Τα καλώδια μπορούν να είναι εναέρια, αλλά πρέπει να παρέχεται στήριξη, ώστε να μην καταπονούνται οι συνδέσεις. Η στήριξη γίνεται με υλικά ανθεκτικά στην υπεριώδη ακτινοβολία, την υγρασία, την υψηλή θερμοκρασία και τη διάβρωση. Τα Φ/Β πλαίσια θα πρέπει να διαθέτουν διόδους

παράκαμψης (bypass diodes), για ελάττωση των συνεπειών σκίασης. Για τις συνδέσεις των καλωδίων μεταξύ τους συνιστάται να χρησιμοποιούνται οι κατάλληλοι ειδικοί σύνδεσμοι ταχείας σύνδεσης. Τα καλώδια θα πρέπει να είναι μονοπολικά, με διπλή ή ενισχυμένη μόνωση. Σε διαφορετική περίπτωση θα πρέπει να τοποθετούνται σε διαφορετικά κανάλια. Στα κιβώτια διασύνδεσης πρέπει να χρησιμοποιούνται διαφορετικές περιοχές με μονωτικό διαχωριστικό για τη σύνδεση των αρνητικών και θετικών αγωγών. Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιούνται ξεχωριστά κουτιά σύνδεσης για τους θετικούς και τους αρνητικούς αγωγούς. Η διατομή του καλωδίου καθορίζεται από το μέγιστο αναμενόμενο ρεύμα σε ένα κλάδο όπως υπολογίζεται στη συνέχεια. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη τουλάχιστον η διόρθωση λόγω θερμοκρασίας, η οποία για τα καλώδια πλησίον των Φ/Β πλαισίων μπορεί να φθάσει τους 70°C. Σημειώνεται ότι στους 70°C ο διορθωτικός συντελεστής για καλώδια με μόνωση ανθεκτική ως τους 90°C είναι 0.58. Δηλαδή στην περίπτωση αυτή η διατομή του καλωδίου θα πρέπει να διαστασιοποιηθεί με βάση τη τιμή του μέγιστου αναμενόμενου ρεύματος πολλαπλασιασμένη επί 1.72 (=1/0.58), για να μην υπερβούν τα όρια αντοχής της μόνωσης.

Η διατομή των αγωγών/καλωδίων πρέπει να επιλέγεται έτσι ώστε η θερμοκρασία στην οποία θα φτάνουν κατά την ονομαστική τους λειτουργία, να μην υπερβαίνει τα όρια εκείνα που θα προκαλούσαν βλάβη στη μόνωσή τους. Το όριο για αγωγούς με μόνωση από ελαστικό αιθυλιοπροπυλενίου (EPR) ή από πολυαιθυλένιο διασταυρωμένου δεσμού (XLPE) είναι 90°C.

Υπολογισμοί DC καλωδίων, μέσων ζεύξης και προστασίας

Για μια φ/β συστοιχία 'Nπ' παράλληλων κλάδων με 'Nσ' πλήθος πάνελ σε σειρά τα είναι:

1) DC καλώδια σύνδεσης των πάνελ σε σειρά (string cables):

Τάση: $V_{oc} \times N\sigma \times 1,15$	1-24
Ένταση: $I_{sc} \times 1,25$	1-25

2) Κύρια DC καλώδια σύνδεσης της φ/β συστοιχίας με τον ελεγκτή φόρτισης, τον inverter και τις μπαταρίες (main dc cables):

Τάση: $V_{oc} \times N\sigma \times 1,15$	1-26
Ένταση: $I_{sc} \times N\pi \times 1,25$	1-27

3) DC ασφάλειες παράλληλων κλάδων

Οι ασφάλειες χρησιμοποιούνται σε όλες τις φ/β συστοιχίες με τρεις ή περισσότερους παράλληλους κλάδους και τοποθετούνται τόσο στο θετικό άκρο κάθε κλάδου όσο και στο αρνητικό. Τα χαρακτηριστικά τους είναι:

Τάση: $V_{oc} \times N\sigma \times 1,15$	1-28
Ένταση: $2 \times I_{sc}$	1-29

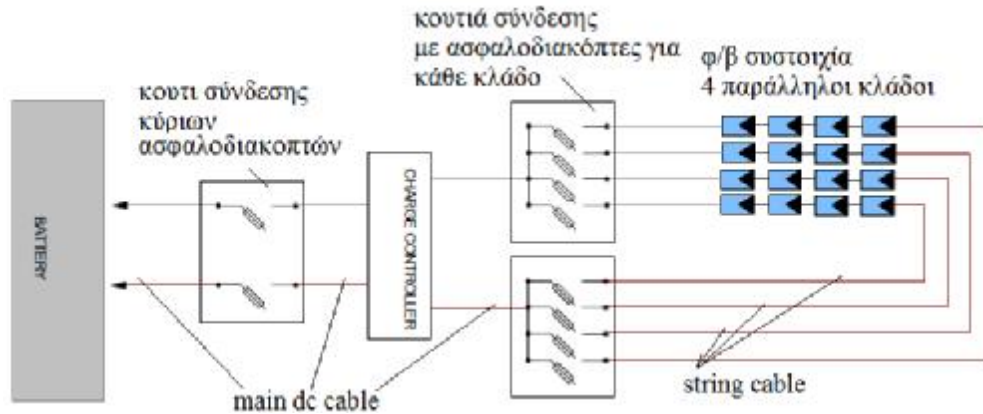
όπου:

V_{oc} : είναι η τάση ανοιχτού κυκλώματος του φ/β πάνελ (στις πρότυπες συνθήκες STC)

I_{sc} : είναι η ένταση βραχυκυκλώσεως του φ/β πάνελ (στις πρότυπες συνθήκες STC)

Η ονομαστική τιμή της ασφάλειας που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να έχει τιμή μικρότερη από το μέγιστο ρεύμα που υπολογίσαμε σε κάθε περίπτωση.

Στο επόμενο σχήμα βλέπουμε την κυκλωματική συνδεσμολογία της DC πλευράς ενός αυτόνομου φ/β συστήματος με τα επιμέρους μέσα προστασίας.



Σχ. 1-19

Στην AC πλευρά γενικά θα πρέπει να ακολουθούνται οι συνήθειες πρακτικές που απορρέουν από τον HD384. Η έξοδος του αντιστροφέα συνδέεται σε ξεχωριστό ηλεκτρικό πίνακα AC, όπου εγκαθίστανται τα μέσα προστασίας και χειρισμού. Η εγκατάσταση ρεαλί διαφυγής στην έξοδο του αντιστροφέα (πλευρά AC) πραγματοποιείται με βάση τις απαιτήσεις του προτύπου HD384.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα μέγιστα επιτρεπόμενα ρεύματα εντοιχισμένων (χωνευτών) και επιτοίχιων (ορατών) ηλεκτρικών γραμμών με μόνωση EPR ή XLPE. Αφορά τόσο DC και AC ρεύματα και προέρχεται από το πρότυπο HD384.

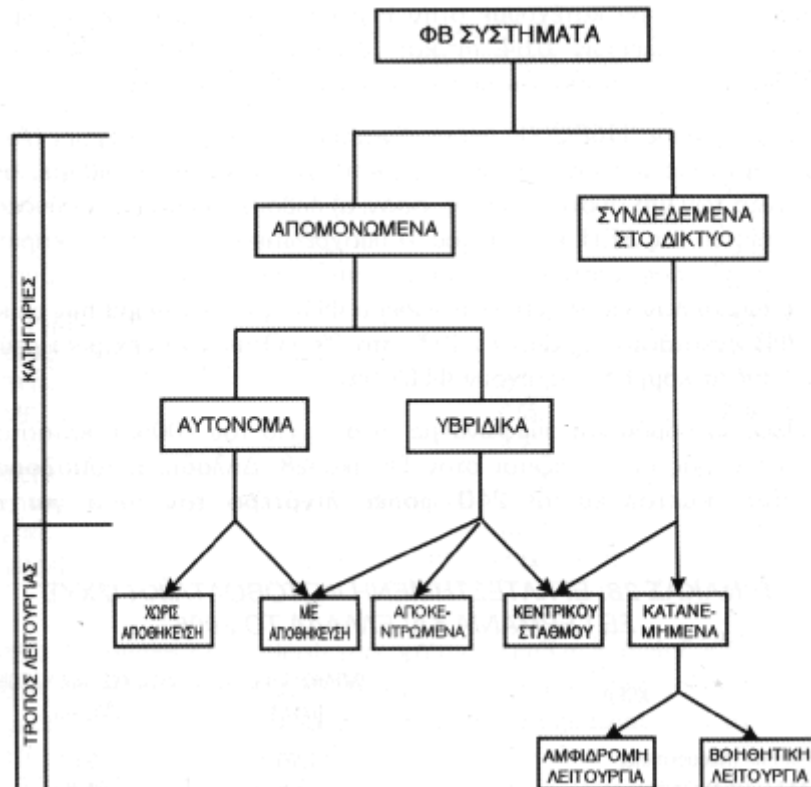
ΠΙΝΑΚΑΣ 1-6									
Μέγιστα επιτρεπόμενα ρεύματα εντοιχισμένων (χωνευτών) και επιτοίχιων (ορατών) ηλεκτρικών γραμμών με μόνωση EPR ή XLPE									
Μόνωση	Πλήθος Φορτιζομένων αγωγών	Οι αριθμοί παραπέμπουν στις στήλες που ακολουθούν							
		Μονωμένοι αγωγοί σε σωλήνα		Πολυπολικό καλώδιο					
		Εντοιχισμένο	Επιτοίχιο	Γυμνό		Σε σωλήνα			
		Εντοιχισμένο	Επιτοίχιο	Εντοιχισμένο	Επιτοίχιο	Εντοιχισμένο	Επιτοίχιο		
EPR ή XLPE	2	5	9	6	9	5	8		
	3	5	7	5	8	4	6		
Στήλες									
mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,5	13	13,5	14,5	15,5	17	19	20	22	23
2,5	17,5	18	19,5	21	23	26	28	30	31
4	23	24	26	28	31	35	37	40	42
6	29	31	34	36	40	44	48	51	54
10	39	42	46	50	54	60	66	69	75
16	52	56	61	68	73	80	88	91	100
25	68	73	80	89	95	105	117	119	133
35	83	89	99	109	117	128	144	146	164
50	99	108	118	130	141	154	175	175	198
70	125	136	149	164	179	194	222	221	253
95	150	164	179	197	216	233	269	265	306
120	172	188	206	227	249	268	312	305	354
150	196	216	240	259	285	318	-	371	441
185	223	245	273	295	324	362	-	424	506
240	261	286	321	346	380	424	-	500	599
300	298	328	367	396	435	486	-	576	693

1.10. Κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων

Τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με διάφορους τρόπους:

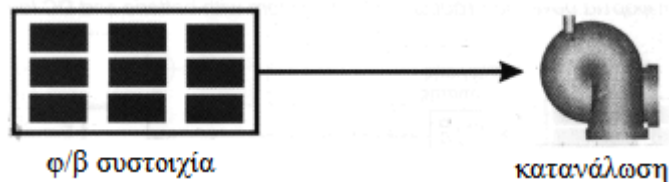
α) Ανάλογα με την αλληλεπίδρασή τους με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Ανάλογα με την αλληλεπίδρασή τους με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες: στα **απομονωμένα φ/β συστήματα** και στα **συνδεδεμένα με το δίκτυο**. Με τον όρο "δίκτυο" το εθνικό δίκτυο παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές. Στο επόμενο σχήμα βλέπουμε τις κύριες κατηγορίες και το τρόπο λειτουργίας των φ/β αυτών συστημάτων.

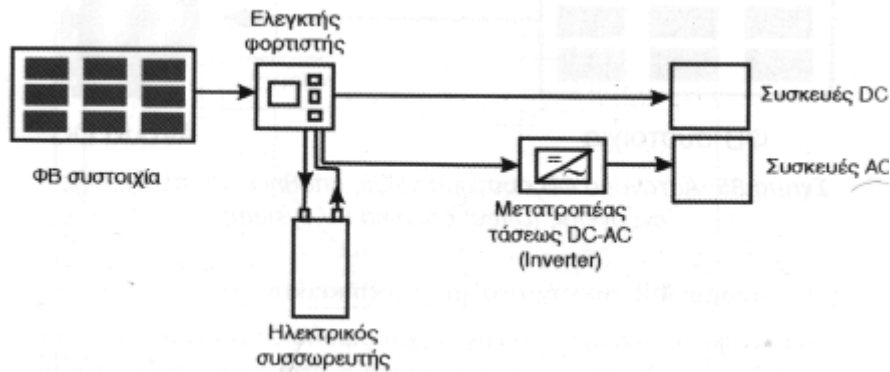


Σχ. 1-20

Απομονωμένα φ/β συστήματα είναι τα φ/β συστήματα εκείνα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να συνδεδεμένα με το ηλεκτρικό δίκτυο. Διακρίνονται σε **αυτόνομα** και σε **υβριδικά**. **Αυτόνομα φ/β συστήματα** είναι τα συστήματα εκείνα που η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται αποκλειστικά από τη φ/β συστοιχία και μπορεί να είναι συνεχούς (DC) ή εναλλασσόμενης (AC) τάσης. Τα αυτόνομα φ/β συστήματα διακρίνονται σε **συστήματα χωρίς αποθήκευση** και σε **συστήματα με αποθήκευση**. Στη πρώτη κατηγορία (σχήμα 1-21) ανήκουν τα συστήματα που όσο φωτίζεται η φ/β συστοιχία, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποδίδεται κατευθείαν στη κατανάλωση (φορτίου) χωρίς να αποθηκεύεται σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές. Στη δεύτερη κατηγορία (σχήμα 1-22) ανήκουν τα συστήματα που η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιείται για την απευθείας τροφοδοσία ηλεκτρικών συσκευών και η περίσσειά της αποθηκεύεται σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές προκειμένου να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε περιόδους χωρίς ηλιοφάνεια.



Σχ.1-21



Σχ.1-22

Υβριδικά φ/β συστήματα, είναι τα συστήματα εκείνα στα οποία η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από το συνδυασμό της φ/β συστοιχίας με άλλες βοηθητικές πηγές ηλεκτρικής ενέργειας, ανανεώσιμες (ανεμογεννήτριες) ή μη (ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη).

Τα **φ/β συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο** είναι τα συστήματα εκείνα που συνδέονται απ' ευθείας με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, προσδίδοντάς του σε αυτό την ενέργεια που παράγουν. Στη περίπτωση των συστημάτων αυτών, δεν απαιτείται αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας σε συσσωρευτές παρά ένας μετατροπέας τάσεως DC-AC. Τα **φ/β συστήματα συνδεδεμένα με το δίκτυο** διακρίνονται σε: **συνδεδεμένα φ/β συστήματα κεντρικού σταθμού**, και σε **συνδεδεμένα καταναμημένα φ/β συστήματα**. Η τελευταία κατηγορία συνδεδεμένων καταναμημένων φ/β συστημάτων χωρίζεται σε **συστήματα με βοηθητική πηγή το δίκτυο** και σε **συστήματα με αμφίδρομη λειτουργία**.

β) Ανάλογα με την εγκατάστασή τους.

Ανάλογα με την εγκατάστασή τους, τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: στα **κτηριακά συστήματα** και στα **υπαίθρια συστήματα**. Στη πρώτη κατηγορία ανήκουν τα συστήματα που εγκαθίστανται επί κτηρίων ή ενσωματώνονται σε αυτά, ενώ στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν αυτά που εγκαθίστανται στην ύπαιθρο, σε γήπεδα και χωράφια (Φωτοβολταϊκά Πάρκα).

γ) Ανάλογα με την θέση τους σε σχέση με τη τροχιά του ήλιου.

Ανάλογα με την θέση τους σε σχέση με τη τροχιά του ήλιου, τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: στα **σταθερά συστήματα** και στα **ηλιοστατικά συστήματα**. Στη πρώτη κατηγορία ανήκουν τα συστήματα στα οποία τα φ/β πλαίσια διατηρούν σταθερή θέση καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, ενώ στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα συστήματα στα οποία τα φ/β πλαίσια τοποθετούνται σε κινούμενες βάσεις (Tracker) και προσανατολίζονται διαρκώς στην ιδανικότερη θέση σε σχέση με τον ήλιο.

1.11. Προστασία κτηριακών φωτοβολταϊκών συστημάτων από υπερτάσεις και κεραυνούς

Η προστασία των κτηριακών φωτοβολταϊκών συστημάτων από υπερτάσεις και κεραυνούς είναι ένα θέμα το οποίο αποσκοπεί στην προστασία των εγκαταστάσεων παραγωγής, αλλά κυρίως την ασφάλεια των ανθρώπων και θα πρέπει να υλοποιείται μόνο σύμφωνα με τα ισχύοντα εθνικά (ΕΛΟΤ), ευρωπαϊκά (EN) και διεθνή (IEC) πρότυπα αλλά και την ισχύουσα νομοθεσία. Σύμφωνα με το ΦΕΚ470 (5 Μαρτίου 2004) Άρθρα 3 έως και 6, τα φαινόμενα εκδήλωσης υπερτάσεων, εφόσον πρόκειται για αρχικό έλεγχο (νέα ηλεκτρική εγκατάσταση ή σοβαρή τροποποίηση παλαιάς), θα πρέπει να αντιμετωπιστούν σύμφωνα με τα ισχύοντα εθνικά και ευρωπαϊκά πρότυπα, τα οποία είναι τα πρότυπα σειράς ΕΛΟΤ EN 61643. Επομένως η αναγκαιότητα εφαρμογής προστασίας από υπερτάσεις είναι πλέον απαραίτητη ανεξάρτητα με το εάν υπάρχει ή εάν προβλέπεται να υπάρξει σύστημα εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας.

Με κάθε επιφύλαξη, στηριζόμενοι στην υπάρχουσα εμπειρία εκατοντάδων χιλιάδων Φ/Β συστημάτων μικρότερων των 10 kWp που εγκαταστάθηκαν σε ευρωπαϊκές χώρες και δεν εξέχουν σημαντικά από το περίγραμμα του κτηρίου, όπως προβλέπεται στις Υπουργικές Αποφάσεις, θεωρείται ότι ο κίνδυνος από άμεσο κεραυνικό πλήγμα δεν αυξάνεται. Εντούτοις, για την ασφάλεια των ανθρώπων και την προστασία των κτηριακών ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και συσκευών συνιστάται η εκτίμηση των κινδύνων από τους κεραυνούς και τις υπερτάσεις που προκαλούν.

Τα πρότυπα αντικεραυνικής προστασίας που ισχύουν και εφαρμόζονται είναι της σειράς ΕΛΟΤ EN 62305 καθώς επίσης της σειράς ΕΛΟΤ EN 50164. Τα πρότυπα ΕΛΟΤ EN 62305 περιγράφουν τις απαιτήσεις σχεδιασμού ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας ενώ τα πρότυπα ΕΛΟΤ EN 50164, περιγράφουν τις απαιτήσεις δοκιμών των εξαρτημάτων αντικεραυνικής προστασίας. Επίσης για την προστασία από υπερτάσεις τα αντίστοιχα πρότυπα είναι της σειράς ΕΛΟΤ EN 61643 τα οποία περιγράφουν τις απαιτήσεις δοκιμών και εγκατάστασης των διατάξεων προστασίας από υπερτάσεις τόσο για τα ενεργειακά όσο και για τα τηλεπικοινωνιακά κυκλώματα. Η αναγκαιότητα εγκατάστασης ενός συστήματος εξωτερικής αντικεραυνικής προστασίας μπορεί να εξετασθεί με την εφαρμογή του προτύπου ΕΛΟΤ EN 62305-2. Το πρότυπο εξετάζει, ανεξάρτητα με το εάν υπάρχει Φ/Β εγκατάσταση, τον κίνδυνο που μπορεί να έχει το υφιστάμενο κτήριο σε ένα άμεσο ή έμμεσο κεραυνικό πλήγμα. Εάν η εγκατάσταση ενός συστήματος αντικεραυνικής προστασίας κριθεί απαραίτητη, ο σχεδιασμός του συστήματος θα πρέπει να υλοποιηθεί με βάση το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 62305-3.

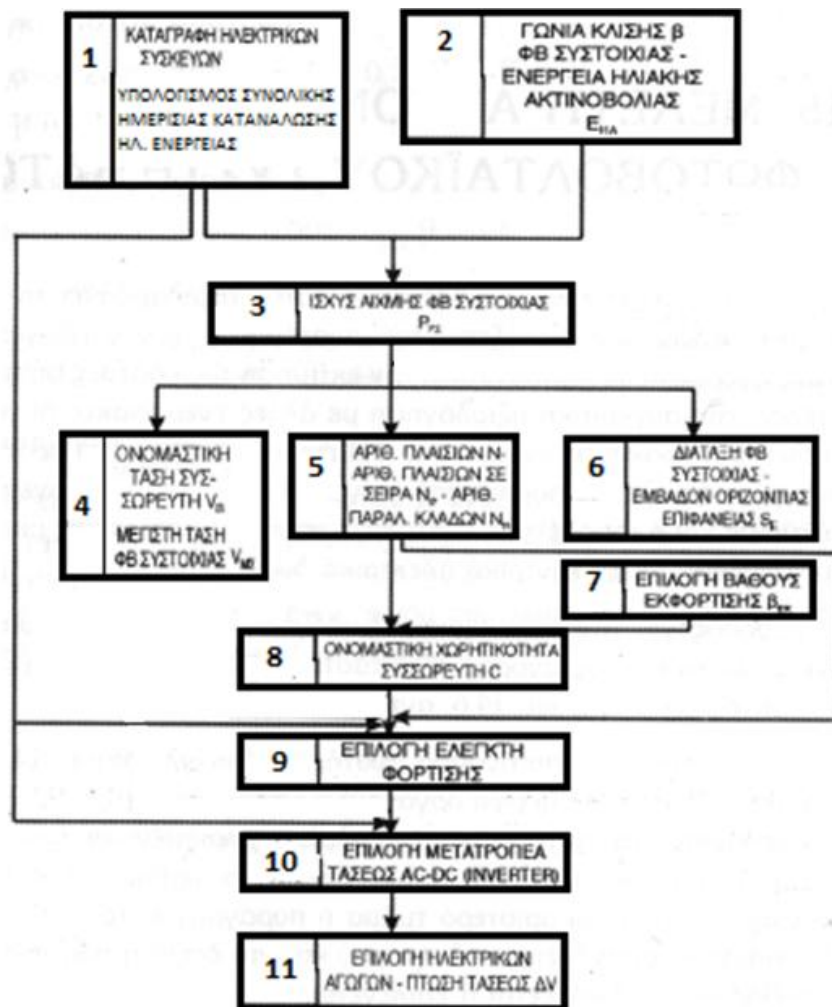
Στην παρούσα φάση δε θα επεκταθούμε στη μελέτη και το σχεδιασμό του συστήματος αντικεραυνικής προστασίας των κτηριακών φωτοβολταϊκών συστημάτων, μιας και αυτό ξεφεύγει από το σκοπό της παρούσας εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΜΕΛΕΤΗ ΑΥΤΟΝΟΜΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ: ΥΠΑΙΘΡΙΟ ΑΝΑΨΥΚΤΗΡΙΟ

2.1. Εισαγωγή

Η συνηθέστερη, αλλά και ίσως η πληρέστερη εφαρμογή της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας είναι η κατασκευή αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων. Εγκαταστάσεων δηλαδή, οι οποίες λειτουργούν αυτοδύναμα για τη τροφοδότηση καθορισμένων καταναλώσεων. Η μελέτη ενός αυτόνομου φ/β συστήματος περιλαμβάνει τη διαστασιολόγηση όλων των διατάξεων του και περιλαμβάνει 12 βήματα. Τα βήματα αυτά παρουσιάζονται στο διάγραμμα του παρακάτω σχήματος και αναλύονται ένα-ένα στις επόμενες παραγράφους.

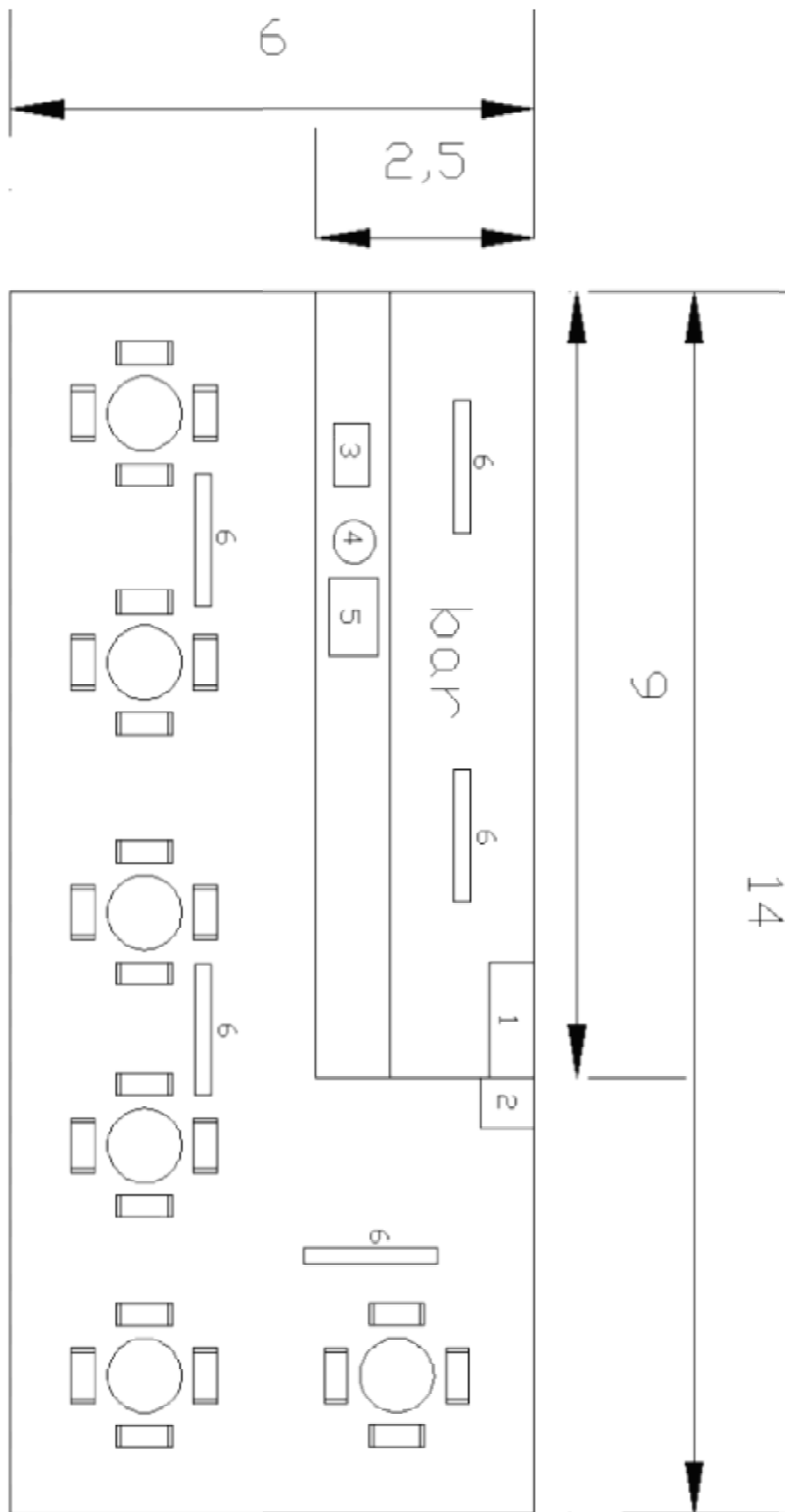


Σχ. 2-1

Στη παρούσα πτυχιακή εργασία το υπό μελέτη αυτόνομο φ/β σύστημα είναι ένα υπαίθριο αναψυκτήριο σε παραλία στη περιοχή του Κατάκολου Ηλείας. Πρόκειται για ένα αναψυκτήριο το οποίο δουλεύει εποχιακά κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Πιο συγκεκριμένα η περίοδος λειτουργίας του είναι τέσσερις μήνες, από αρχές Ιουνίου μέχρι και τέλος Σεπτεμβρίου. Το αναψυκτήριο θα δουλεύει όλη τη μέρα (24 ώρες) και για το λόγο αυτό στη μελέτη προβλέπεται αποθήκευση της ενέργειας σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές (μπαταρίες).

Ο χώρος του αναψυκτηρίου έχει διαστάσεις 6x14m με συνολικό εμβαδό επιφάνειας 84m². Στη μια του γωνία διαθέτει ένα bar διαστάσεων 2,5x9m στο οποίο γίνεται η παρασκευή των καφέδων και των φαγητών. Μέσα στο bar υπάρχει ένα ψυγείο παγωτών σε σκαφάκια, ενώ έξω ακριβώς από αυτό υπάρχει ένα ψυγείο αναψυκτικών. Διαθέτει συνολικά 6 τραπέζια και εξυπηρετεί 24 θέσεις. Το αναψυκτήριο στεγάζεται σε μια μεταλλική κατασκευή, η οροφή της οποίας σκεπάζεται με νάilon τέντα. Στο επόμενο σχήμα βλέπουμε μια κάτοψη του εν λόγω αναψυκτηρίου καθώς και την θέση των καταναλώσεων του (όλες οι διαστάσεις σε m). Οι αριθμοί στο σχέδιο σημαίνουν:

- 1: Καταψύκτης παγωτών
- 2: Ψυγείο αναψυκτικών
- 3: Τοστιέρα
- 4: Μηχανή φραπέ
- 5: Μηχανή espresso
- 6: Φωτιστικό σώμα λαμπτήρων φθορισμού



Σχ. 2-2

2.2. Μελέτη αυτόνομου φ/β συστήματος υπαίθριου αναψυκτηρίου

Στις επόμενες παραγράφους ακολουθούν όλα τα βήματα για την μελέτη του αυτόνομου φ/β συστήματος για τη τροφοδότηση του εν λόγω αναψυκτηρίου.

2.2.1. Βήμα 1: Καταγραφή ηλεκτρικών συσκευών - υπολογισμός συνολικής ημερήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας

Όπως αναφέραμε και στο πρώτο κεφάλαιο, ο σχεδιασμός ενός αυτόνομου φ/β συστήματος ξεκινάει με την εκτίμηση των ηλεκτρικών καταναλώσεών του. Γενικά, ένα αυτόνομο φ/β σύστημα μπορεί να τροφοδοτεί μια μόνο κατανάλωση (π.χ. έναν φάρο ή έναν τηλεπικοινωνιακό αναμεταδότη) ή πολλές. Ύστερα από επίσκεψη στο χώρο του αναψυκτηρίου, καταγράψαμε όλες τις καταναλώσεις που πρόκειται να καλύψει το φ/β σύστημα, την ισχύ τους και το πιθανό χρόνο λειτουργίας τους στη διάρκεια ενός 24ώρου. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 2-1			
Ημερήσιες ηλεκτρικές καταναλώσεις αναψυκτηρίου			
Συσκευή	Ισχύς (KW)	Ώρες λειτουργίας (h)	Ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση (KWh/ημέρα)
Ψυγείο αναψυκτικών	0,310	15	4,65
Καταψύκτης παγωτών	0,220	13	2,86
Τοστιέρα	1,800	5	9,00
Μηχανή φραπέ	0,075	4	0,30
Μηχανή espresso	1,450	6	8,70
Φωτισμός με λαμπτήρες φθορισμού (5τεμ x40W)	0,200	6	1,20
ΣΥΝΟΛΟ	4,055 KW		26,71 KWh/ημέρα

Συνεπώς, σύμφωνα με τα στοιχεία του πιο πάνω πίνακα, η συνολική ισχύς των καταναλώσεων που καλείται να καλύψει το φ/β σύστημα ανέρχεται στα **4,055KW**, ενώ η μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση ενέργειας ανέρχεται στις **26,71KWh/ημέρα**.

Παρακάτω ακολουθούν φωτογραφίες με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της κάθε κατανάλωσης.



Ψυγεία αναψυκτικών-ΟΡΘΙΑ ΒΙΤΡΙΝΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ 365 ΛΙΤΡΩΝ /mod. CL 365 VGC

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ : 590X620X1885 mm.
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΜΕ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ : 620X630X1950 mm.
ΦΩΤΙΖΟΜΕΝΗ ΜΕΤΩΠΗ : ΝΑΙ.
ΙΣΧΥΣ : 310 WATT.
ΨΥΚΤΙΚΟ ΥΓΡΟ : R134a.
ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ : 365 ltr.
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ : +2 0C/ +100C.
ΨΥΞΗ : ΒΕΒΙΑΣΜΕΝΗ.
ΡΑΦΙΑ : 5 ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΑ.
ΦΩΤΙΣΜΟΣ : ΚΑΘΕΤΟΣ.
ΒΑΡΟΣ : 77 ΚΙΛΑ.
ΑΝΑΣΤΡΟΦΗ ΦΟΡΑΣ ΠΟΡΤΑΣ : ΝΑΙ.
ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ ΠΟΡΤΑΣ : ΝΑΙ.
ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΟ : ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ.
ΚΛΕΙΔΑΡΙΑ : ΝΑΙ.

Σχ 2-3

Ugur UDD7SCE Επαγγελματικά ψυγεία Καταψύκτες παγωτού. Χωρητικότητα 7 λεκανάκια



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Διαστάσεις: 1327x516x1018mm
Χωρ/τα Λεκανάκια: 7
Ισχύς 230Volt: 220Watt
Βάρος: 82Kg
Ψύξη: -12/-22°C

Σχ 2-4



EGD-10

Τοστιέρα μονή 1800W

Τοστιέρα μονή 1800W
Ανοξείδωτο περίβλημα
Αυλακωτή επιφάνεια (πάνω & κάτω)
Διακόπτης λειτουργίας και ρύθμιση θερμοκρασίας.
Με αποσπώμενο δοχείο λίπους.
Περιλαμβάνεται βουρτσάκι καθαρισμού με μεταλλικές ίνες.
Διαστάσεις άνω πλάκας: 21,4 x 21,4 cm
Διαστάσεις κάτω πλάκας: 21,8 x 23 cm
Διαστάσεις 29 x 39,5 x 21 cm, 14 kgf

Σχ. 2-5



Ηλ. Φραπiera Oscar SH709

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ:

Μηχανή για φραπέ 75W

- 2 ταχύτητες λειτουργίας
- Διαθέτει ποτήρι ανάδευσης
- Κατάλληλη για όλων των ειδών τα ροφήματα (Καφέ, κοκτέιλ, μιλκσέικ, κλπ), κρέμες & σάλτσες

Σχ. 2-6



KRUPS ESPRESSO SOLO XP5620

Αντλία πίεσης ατμού 15 bar

Νέο σύστημα θέρμανσης νερού Diecast Thermoblock

Σύστημα «Krups Tamping» - αυτόματη συμπίεση του καφέ

Αποσπώμενο δοχείο νερού 1,1 lt

Πλάκα προθέρμανσης φλιτζανιών

Λειτουργία Auto – off μετά από 9 λεπτά

Κουταλάκι δοσομέτρησης

Μειωμένο επίπεδο θορύβου

1450W

Χρώμα: Μαύρο/ Ιnox

Σχ. 2-7

2.2.2. Βήμα 2: Γωνία κλίσης 'β' φ/β συστοιχίας - ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας

Σύμφωνα με τη παράγραφο 1.5, για το βόρειο ημισφαίριο που βρίσκεται η Ελλάδα ο προσανατολισμός των φ/β πλαισίων πρέπει να είναι προς το Νότο. Συνεπώς η αζιμούθια γωνία είναι ίση με μηδέν μοίρες ($\alpha=0^\circ$). Επειδή το αναψυκτήριο θα δουλεύει ως επί το πλείστον τους καλοκαιρινούς μήνες, η βέλτιστη γωνία κλίσης 'β' των πλαισίων θα είναι ίση με:

$$\beta=\varphi-15^\circ$$

όπου 'φ' είναι το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής του Κατάκολου. Σύμφωνα με τον πίνακα 1-2, η περιοχή του Πύργου με την οποία γειτονεύει το Κατάκολο έχει γεωγραφικό πλάτος $\varphi=37,3^\circ$. Συνεπώς, λαμβάνουμε ως βέλτιστη γωνία κλίσης 'β' την:

$$\beta=37,3^\circ-15^\circ=22,3^\circ\approx 22^\circ$$

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ:

Λόγω του περιορισμένου χώρου στην οροφή (στέγαστρο) του αναψυκτηρίου, αλλά και για περιορισμό του βάρους της φ/β εγκατάστασης, τα φ/β πλαίσια θα τοποθετηθούν σε αυτό οριζόντια ($\beta=0^\circ$), χωρίς τις βάσεις που θα τους έδιναν την απαιτούμενη κλίση των 22° που θεωρητικά υπολογίσαμε προηγουμένως. Για το λόγο αυτό, όλοι οι υπολογισμοί θα γίνουν για γωνία κλίσης $\beta=0^\circ$.

Από τον πίνακα 1-4 με τη μηνιαία ηλιακή ενέργεια ακτινοβολίας για διάφορες πόλεις της Ελλάδας (ο πίνακας αυτός αφορά οριζόντια τοποθέτηση των φ/β πλαισίων. Υπάρχουν αντίστοιχοι πίνακες για διάφορες γωνίες β) και για τη πόλη του Πύργου που είναι και η πλησιέστερη με το Κατάκολο Ηλείας, βλέπουμε ότι για τους μήνες λειτουργίας του αναψυκτηρίου η τιμή της ακτινοβολίας αυτής είναι:

$$\begin{aligned} E_{HA} &= 206 \text{KWh/m}^2 \cdot \text{μήνα (για τον Ιούνιο)} \\ E_{HA} &= 216 \text{KWh/m}^2 \cdot \text{μήνα (για τον Ιούλιο)} \\ E_{HA} &= 198 \text{KWh/m}^2 \cdot \text{μήνα (για τον Αύγουστο)} \\ E_{HA} &= 149 \text{KWh/m}^2 \cdot \text{μήνα (για τον Σεπτέμβριο)} \end{aligned}$$

Η τιμή της μηνιαίας ηλιακής ενέργειας ακτινοβολίας που θα μελετηθεί η φ/β εγκατάσταση πρέπει να μας καλύπτει στη δυσμενέστερη περίπτωση. Και η δυσμενέστερη περίπτωση είναι το μήνα Σεπτέμβριο, που έχουμε τη μικρότερη προσπίπτουσα ακτινοβολία. Συνεπώς, για τη φ/β εγκατάσταση επιλέγουμε:

$$\text{μηνιαία ηλιακή ενέργεια ακτινοβολίας} = 149 \text{KWh/m}^2 \cdot \text{μήνα}$$

Για να βρούμε την ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία E_{HA} διαιρούμε τη μηνιαία δια το τυπικό πλήθος των ημερών του μήνα (30 ημέρες). Συνεπώς, η ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία E_{HA} θα είναι:

$$\underline{E_{HA} = 149/30 = 4,96 \text{ KWh/m}^2 \cdot \text{ημέρα}}$$

2.2.3. Βήμα 3: Ισχύς αιχμής φ/β συστοιχίας $P_{p\sigma}$

Η επόμενη παράμετρος που λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό μιας φ/β συστοιχίας είναι η **ισχύς αιχμής** της $P_{p\sigma}$. Η παράμετρος αυτή αναλύθηκε στη παράγραφο 1.5.2. Στη παράγραφο αυτή είδαμε ότι η ισχύς αιχμής δίνεται από τη σχέση:

$$P_{p\sigma} = \frac{E \cdot P_{STC} \cdot m}{E_{HA} \cdot \sigma_{AS}} \cdot \frac{v}{v - n}$$

Οι επιμέρους ποσότητες της σχέσης αυτής αναπτύχθηκαν στη παράγραφο 1.5.2. Έτσι, έχουμε ότι:

E : η απαιτούμενη ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια που θέλουμε να παράγει η φ/β συστοιχία [KWh/ημέρα]. Από τη παράγραφο 2.2.1. έχουμε ότι: **$E=26,71$ KWh/ημέρα**

P_{STC} : είναι η ισχύς της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στις πρότυπες συνθήκες STC και ισούται με $1000W/m^2 \Rightarrow P_{STC} = 1KW/m^2$

m : συντελεστής περιθωρίου ενεργειακών καταναλώσεων, για να καλύψουμε μια πιθανή υποτίμηση των αναγκών κατανάλωσης (**$m=1,2$**)

E_{HA} : ημερήσια ενέργεια προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Από τη παράγραφο 2.2.2. έχουμε ότι: **$E_{HA} = 4,96$ KWh/ m^2 .ημέρα**

σ_{AS} : συντελεστής απωλειών φ/β συστοιχίας ($\sigma_{AS} = \sigma_{\gamma} \cdot \sigma_{\rho} \cdot \sigma_{\delta} \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\alpha} \cdot \sigma_{\kappa}$)

Πλήθος ημερών ενός μήνα **$v=31$ ημέρες**

Πλήθος ημερών αυτονομίας. Λόγω του ότι η φ/β εγκατάσταση θα λειτουργεί τους καλοκαιρινούς μήνες καθώς και το μήνα Σεπτέμβριο, περιόδους δηλαδή που επικρατεί ηλιοφάνεια και είναι σπάνιες οι παρατεταμένες νεφώσεις, θα λάβουμε υπόψη μας προληπτικά μόνο μια ημέρα αυτονομίας. Δηλαδή: **$n=1$ ημέρα**

σ_{AS} : συντελεστής απωλειών φ/β συστοιχίας ($\sigma_{AS} = \sigma_{\gamma} \cdot \sigma_{\rho} \cdot \sigma_{\delta} \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\alpha} \cdot \sigma_{\kappa}$). Οι επιμέρους συντελεστές απωλειών αναπτύχθηκαν στις παραγράφους 1.4. και 1.5.2. Σύμφωνα με τις παραγράφους αυτές έχουμε:

Γήρανση. $\sigma_{\gamma}=0,9$

Ρύπανση. $\sigma_{\rho}=0,90$ για πλαίσια ελαφρώς σκονισμένα

Δίοδος αντεπιστροφής. $\sigma_{\delta}=0,99$

Θερμοκρασία. $\sigma_{\theta}=1 - [(t_a+30)-25] \cdot 0,004$

Όπου:

t_a [°C] είναι η μέση μηνιαία θερμοκρασία του αέρα και δίνεται από τον πίνακα 1-1. Για τη πόλη του Πύργου έχουμε ότι ο μέσος όρος θερμοκρασίας για τους μήνες Ιούνιο έως Σεπτέμβριο είναι:

$$t_a = [25,7+28,6+28,9+25,8]/4 = 27,25^\circ C$$

Συνεπώς:

$$\sigma_{\theta} = 1 - [(27,25 + 30) - 25] \cdot 0,004 = 0,871$$

σ_{α} : συντελεστής ανομοιομορφίας ($\sigma_{\alpha} = 0,98$)

σ_{κ} : συντελεστής καλωδιώσεων ($\sigma_{\kappa} = 0,98$)

Άρα ο συντελεστής απωλειών θα ισούται με:

$$\sigma_{\Delta\Sigma} = \sigma_{\gamma} \cdot \sigma_{\rho} \cdot \sigma_{\delta} \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\alpha} \cdot \sigma_{\kappa} = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,99 \cdot 0,871 \cdot 0,98 \cdot 0,98 \Rightarrow \sigma_{\Delta\Sigma} = 0,67$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η ισχύς αιχμής της φ/β εγκατάστασης του αναψυκτηρίου θα είναι:

$$P_{p\sigma} = \frac{E \cdot P_{STC} \cdot m}{E_{HA} \cdot \sigma_{\Delta\Sigma}} \cdot \frac{\nu}{\nu - n} = \frac{26,71 \cdot 1 \cdot 1,2}{4,96 \cdot 0,67} \cdot \frac{31}{31 - 1} = 9,96 \text{ KWp}$$

Συνεπώς: **$P_{p\sigma} = 9,96 \text{ KWp}$**

2.2.4. Βήμα 4: Μέγιστη τάση φ/β συστοιχίας $V_{m\sigma}$

Στη παράγραφο 1.5.3. γίνεται λόγος για την επιλογή της μέγιστης τάσης μιας φ/β συστοιχίας. Για το παράδειγμα του αναψυκτηρίου της παρούσας εργασίας, το αυτόνομο φ/β σύστημα θα λειτουργεί με ηλεκτρικό συσσωρευτή και μετατροπέα DC-AC (inverter). Και αυτό γιατί η παραγόμενη DC τάση της φ/β συστοιχίας πρέπει να μετατραπεί σε AC, μιας και οι ηλεκτρικές καταναλώσεις του αναψυκτηρίου δουλεύουν με εναλλασσόμενη τάση 230V. Σύμφωνα με τον πίνακα 1-5 και για την ισχύ αιχμής του αναψυκτηρίου ίση με 9,96KWp η προτεινόμενη τάση του ηλ. συσσωρευτή είναι 48V. Για την επίτευξη της τάσης αυτής θα πρέπει να συνδεθούν σε σειρά τέσσερις συσσωρευτές των 12V έκαστος. Το πλήθος των απαιτούμενων παράλληλων κλάδων θα υπολογιστεί παρακάτω.

Δηλαδή: **$V_B = 48V$**

Έτσι, για την φ/β εγκατάσταση του αναψυκτηρίου με ηλεκτρικό συσσωρευτή και μετατροπέα τάσεως DC-AC (inverter) η μέγιστη τάση $V_{m\sigma}$ θα είναι:

$$V_{m\sigma} > 1,2 \cdot V_B \Rightarrow V_{m\sigma} > 1,2 \cdot 48 \Rightarrow \underline{\underline{V_{m\sigma} \geq 57,6 \text{ Volt}}}$$

2.2.5. Βήμα 5: Αριθμός πλαισίων N - αριθμός πλαισίων σε σειρά N σ - αριθμός παράλληλων κλάδων N π

Έχοντας υπολογίσει την ισχύ αιχμής $P_{p\sigma}$ της φ/β συστοιχίας, το επόμενο βήμα είναι να υπολογίσουμε το πλήθος "N" των πλαισίων που θα αποτελείται. Σύμφωνα και με τη παράγραφο 1.5.2. το πλήθος αυτό προκύπτει από τον λόγο:

$$N = P_{p\sigma} / P_{p\pi}$$

Όπου:

$P_{p\sigma}$: ισχύς αιχμής φ/β συστοιχίας [KW $_p$]

P_{rp} : ισχύς αιχμής ενός φ/β πλαισίου [KW_p]

Επιλέγουμε φ/β πλαίσια τύπου c-Si M 60 255W της εταιρίας BOSCH. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε τον πίνακα με τα χαρακτηριστικά του φ/β αυτού πλαισίου.

Bosch c-Si M 60 255W



Περιγραφή	
Φωτοβολταϊκά Πάνελ Bosch Μονοκρυσταλλικά ισχύος 255W.	
Διαθέτει πλαίσιο αλουμινίου.	
Στοιχεία και τεχνικά χαρακτηριστικά:	
Μοντέλο: c-Si M 60 255W	
P_n (W): 255 Watt	
V_{mp} (V): 30.51 Volt	
I_{mp} (A): 8.36 A	
V_{oc} (V): 38 Volt	
I_{sc} (A): 8.92 A	
Διαστάσεις (mm): 1660 x 990 x 50 mm	
Βάρος (kg): 21 kg	

Σχ. 2-8

Σύμφωνα με τα παραπάνω, για $P_{ps} = 9,96KW_p = 9960W_p$ και $P_{rp} = 255W_p$ θα χρειαστούμε συνολικά:

$$N = 9960 / 255 = 39,05 \approx 39 \text{ πλαίσια. Άρα: } \underline{\underline{N=39 \text{ πλαίσια}}}$$

Στη παράγραφο 2.2.4. υπολογίσαμε ότι η μέγιστη τάση της φ/β συστοιχίας θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 57,6V. Επειδή το κάθε πλαίσιο c-Si M 60 255W έχει μέγιστη τάση λειτουργίας 30,51V, επιλέγουμε αυθαίρετα ως μέγιστη τάση λειτουργίας της φ/β συστοιχίας αυτή των $3 \times 30,51 = 91,53\text{Volt}$. Συνεπώς:

$$\underline{\underline{V_{m\sigma} = 91,53\text{Volt}}}$$

Η τιμή αυτή συμφωνεί με την παραδοχή που κάναμε στη παράγραφο 2.2.4. μιας και είναι μεγαλύτερη από 57,6V αλλά μας εξυπηρετεί στο να τη πετύχουμε συνδέοντας τρία πλαίσια c-Si M 60 255W σε σειρά. Πράγματι, για $V_{m\sigma} = 91,53\text{Volt}$ και μέγιστη τάση πλαισίου στο σημείο λειτουργίας $V_{mp} = 30,51\text{V}$ σύμφωνα με τη παράγραφο 1.5.2. έχουμε ότι:

$$N_{\sigma} = V_{m\sigma} / V_{mp} = 91,53 / 30,51 = 3 \Rightarrow \underline{\underline{N_{\sigma} = 3 \text{ πλαίσια σε σειρά}}}$$

Και ο αριθμός των παράλληλων κλάδων της φ/β συστοιχίας θα είναι:

$$N_{\pi} = N / N_{\sigma} = 39 / 3 = 13 \Rightarrow \underline{\underline{N_{\pi} = 13 \text{ παράλληλοι κλάδοι}}}$$

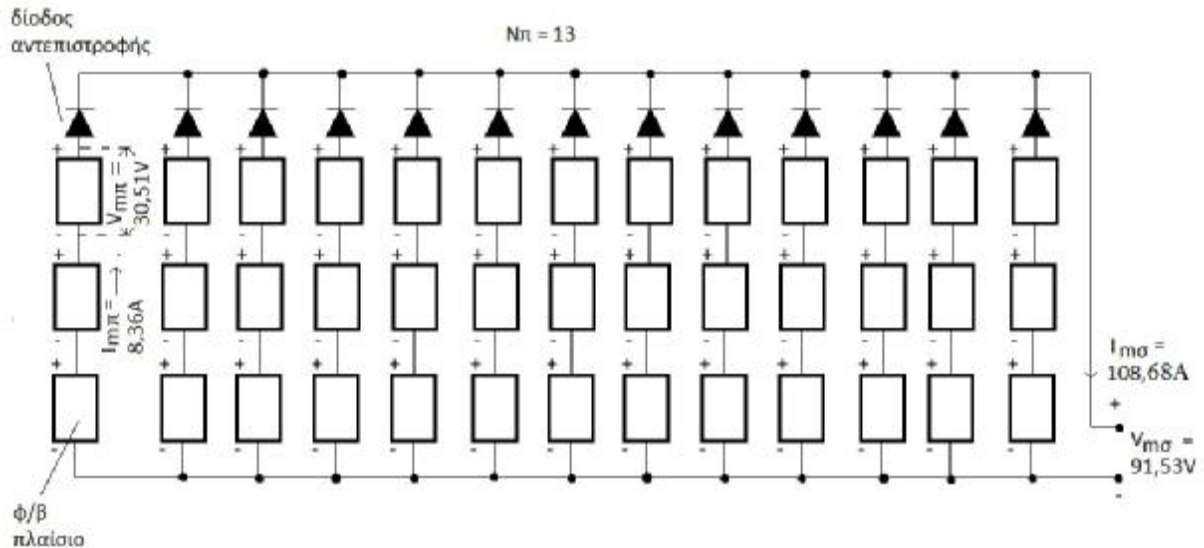
Πράγματι, $N_{\sigma} \times N_{\pi} = 3 \times 13 = 39$ φ/β πλαίσια.

Έχουμε αναφέρει σε προηγούμενη παράγραφο ότι η ένταση ρεύματος " $I_{m\sigma}$ " μιας φ/β συστοιχίας ισούται με το γινόμενο του αριθμού των παράλληλων κλάδων της " N_{π} ", επί το ρεύμα ενός κλάδου. Το ρεύμα ενός κλάδου της καθορίζεται από το μέγιστο ρεύμα του ενός πλαισίου της " I_{mp} ". Από το προηγούμενο σχήμα με τα χαρακτηριστικά του πλαισίου έχουμε

ότι το μέγιστο ρεύμα στο χαρακτηριστικό σημείο λειτουργίας του είναι 8,36A. Συνεπώς, η ένταση ρεύματος "I_{ms}" της φ/β συστοιχίας θα είναι:

$$I_{ms} = I_{m\pi} \cdot N_{\pi} = 8,36 \cdot 13 = 108,68A$$

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε τη ηλεκτρική συνδεσμολογία της φ/β συστοιχίας αποτελούμενης από N = 39 πλαίσια.



Σχ. 2-9

2.2.6. Βήμα 6: Διάταξη φ/β συστοιχίας - εμβαδόν οριζόντιας επιφάνειας

Γνωρίζοντας το πλήθος 'N' των απαιτούμενων φ/β πλαισίων καθώς και τις διαστάσεις (εμβαδό) του κάθε ενός από αυτά, σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές που παρουσιάζονται στο σχήμα 2-8 μπορούμε να βρούμε το συνολικό εμβαδό που απαιτείται για τη κάλυψη της απαιτούμενης ισχύς του αναψυκτηρίου. Έτσι έχουμε ότι:

μήκος πλαισίου 1660mm = 1,66m
πλάτος πλαισίου 990mm = 0,99m

εμβαδό 'S_π' ενός φ/β πλαισίου c-Si M 60 255W

$S_{\pi} = \text{μήκος} \times \text{πλάτος} = 1,66m \times 0,99m = 1,64m^2 \Rightarrow S_{\pi} = 1,64m^2$
Συνεπώς, το συνολικό εμβαδό 'S' που απαιτείται είναι:

$$S = 39 \times S_{\pi} = 39 \times 1,64 = 63,96 m^2 \Rightarrow \underline{\underline{S = 64m^2}}$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι το στέγαστρο του αναψυκτηρίου έχει διαστάσεις 14m x 6m, δηλαδή συνολική επιφάνεια 84m², συμπεραίνουμε ότι επαρκεί για να τοποθετηθούν επάνω του οριζόντια και τα 39 φ/β πλαίσια.

2.2.7. Βήμα 7: Επιλογή βάθους εκφόρτισης β_{EK}

Σύμφωνα με όσα αναφέραμε στη παράγραφο 1.6., ως βάθος εκφόρτισης ενός συσσωρευτή ορίσαμε το ποσό της αποθηκευμένης ηλεκτρικής ενέργειας που προσφέρεται από αυτόν σε κάθε εκφόρτιση. Η επιλογή του βάθους εκφόρτισης σχετίζεται με τις μέρες αυτονομίας 'n' και είναι:

- $\beta_{EK} = 0,4$ για $1 \leq n \leq 3$
- $\beta_{EK} = 0,6$ για $4 \leq n \leq 6$
- $\beta_{EK} = 0,8$ για $7 \leq n \leq 10$

Για τη περίπτωση του υπαίθριου αναψυκτηρίου της παρούσας εργασίας, λόγω του ότι αυτό δουλεύει καλοκαιρινούς μήνες κυρίως, επιλέξαμε μόνο μια ημέρα αυτονομίας ($n=1$ ημέρα). Συνεπώς:

$$\beta_{EK} = 0,4$$

2.2.8. Βήμα 8: Ονομαστική χωρητικότητα συσσωρευτή C

Ο υπολογισμός της ονομαστικής χωρητικότητας 'C' του συσσωρευτή προκύπτει από τη σχέση:

$$C = \frac{(n+b) \cdot m \cdot E}{\sigma_{\gamma B} \cdot \sigma_{EK} \cdot \beta_{EK} \cdot V_B}$$

η οποία περιγράφηκε στη παράγραφο 1.6.

Θεωρώντας ότι από το σύνολο της απαιτούμενης ημερήσιας ηλεκτρικής ενέργειας $E=9,96\text{KWh/ημέρα}$ το 50% καλύπτεται απευθείας από τη φ/β συστοιχία κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ το υπόλοιπο αποθηκεύεται στον συσσωρευτή για τη κάλυψη των αναγκών τις νυκτερινές ώρες όπου δεν υπάρχει ηλιοφάνεια. Συνεπώς, από τη σχέση:

$$b = E_{KE} / E$$

$$\text{για } b=50\% \Rightarrow 0,5 = E_{KE} / E \Rightarrow 0,5 = E_{KE} / 9,96 \Rightarrow E_{KE} = 0,5 \cdot 9,96 = 4,98\text{KWh/ημέρα}$$

Έτσι, για ποσοστό φορτίων έμμεσης τροφοδοσίας ίσο με 50% ($b=0,5$) η μισή ενέργεια (4,98KWh) καλύπτεται από τη φ/β συστοιχία και η υπόλοιπη μισή (4,98KWh) αποθηκεύεται στο συσσωρευτή. Οι υπόλοιπες παράμετροι είναι:

$n = 1$ ημέρα αυτονομίας

$m = 1,2$ (από παράγραφο 1.6.)

$E = 9960\text{Wh/ημέρα}$ (από παράγραφο 2.2.1.)

$\sigma_{\gamma B} = 0,8$ (από παράγραφο 1.6.)

$\sigma_{EK} = 0,91$ για φ/β με μετατροπέα τάσης DC-AC (inverter) (από παράγραφο 1.6.)

$\beta_{EK} = 0,4$ (από παράγραφο 2.2.6.)

$V_B = 48\text{V}$ (από παράγραφο 2.2.4.)

Και η ονομαστική χωρητικότητα 'C' του συσσωρευτή θα είναι:

$$C = \frac{(n + b) \cdot m \cdot E}{\sigma_{\gamma B} \cdot \sigma_{\epsilon K} \cdot \beta_{\epsilon K} \cdot V_B} = \frac{(1 + 0,5) \cdot 1,2 \cdot 9960}{0,8 \cdot 0,91 \cdot 0,4 \cdot 48} = 1283Ah$$

Δηλαδή: $C=1283Ah$

Για τη κάλυψη της παραπάνω χωρητικότητας θα χρησιμοποιήσουμε συσσωρευτές της εταιρίας SEMI TRACTION με κωδικό C20, ονομαστικής τάσης 12V και χωρητικότητας 125Ah. Θα χρειαστεί συνολικά πλήθος "p" τέτοιων συσσωρευτών που προκύπτει από τη σχέση:

$$p = 1283/125 = 10,3$$

Επιλέγουμε τελικά 12 συσσωρευτές για να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε τρεις παράλληλους κλάδους των τεσσάρων συσσωρευτών, οι οποίοι θα παράγουν την τάση των 48V (4x12=48V).

Συνεπώς => **p = 12 συσσωρευτές**

Έτσι, η συνολική ονομαστική χωρητικότητα είναι τώρα:

$$C = 125Ah \times 12 = 1500Ah (>1283Ah) \Rightarrow \mathbf{C = 1500Ah}$$

2.2.9. Βήμα 9: Επιλογή ελεγκτή φόρτισης

Σύμφωνα με όσα αναφέραμε στη παράγραφο 1.7., η επιλογή του ελεγκτή φόρτισης γίνεται σύμφωνα με τρεις παραμέτρους:

α) *ονομαστική τάση του ελεγκτή*: πρέπει να είναι ίδια με την ονομαστική τάση του ηλεκτρικού συσσωρευτή.

Επειδή η ονομαστική τάση των συσσωρευτών είναι 48V, επιλέγουμε ελεγκτή φόρτισης τάσης 48V.

β) *ρεύμα εισόδου ελεγκτή*: πρέπει να έχει τη δυνατότητα να δεχθεί το μέγιστο ρεύμα που παράγεται από τη φ/β συστοιχία.

Από τη παράγραφο 2.2.5. υπολογίσαμε ότι το ρεύμα της συστοιχίας είναι: $I_{m\sigma} = 108,68A$. Έτσι, για έναν ελεγκτή φόρτισης σειράς το μέγιστο ρεύμα εισόδου θα πρέπει να είναι ίσο με $1,5 \times I_{m\sigma}$, δηλαδή ίσο με $1,5 \times 108,68 = 163A$.

γ) *ρεύμα εξόδου ελεγκτή*: πρέπει να έχει τη δυνατότητα να δώσει το μέγιστο ρεύμα στα φορτία κατανάλωσης. Αν η συνολική ισχύς των καταναλώσεων είναι 'P' από παράγραφο και η τάση των καταναλώσεων είναι 'V_K', τότε το απαιτούμενο ρεύμα εξόδου 'I_K' των καταναλώσεων θα είναι:

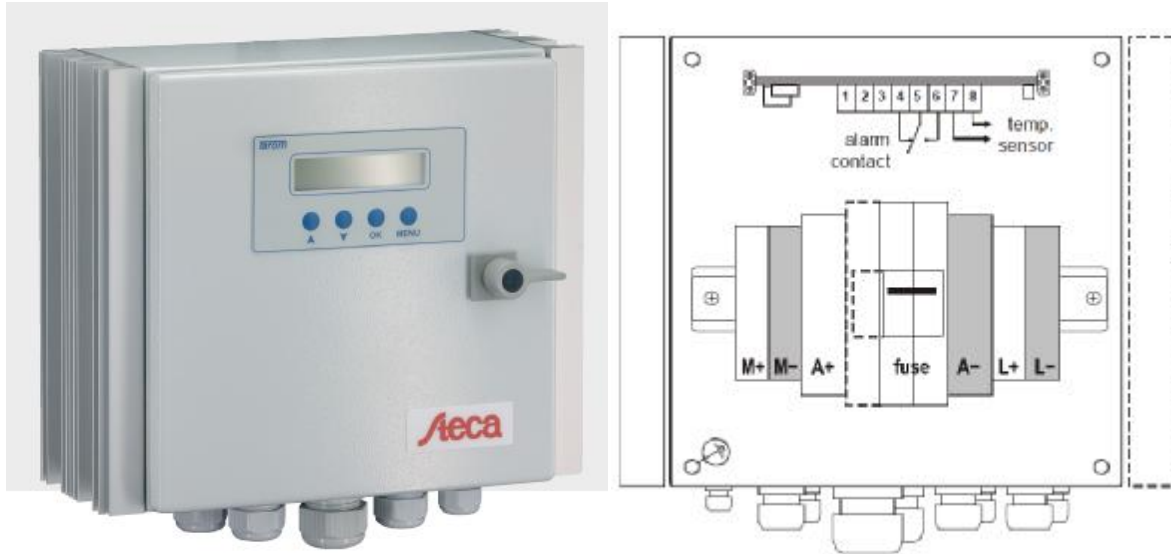
$$I_K = P/V_K$$

Για P=4055W (από παράγραφο 2.2.1) και V_K=230V έχουμε ότι:

$$I_K = P/V_K = 4055/230 = 17,6 \text{ A}$$

Συνεπώς χρειαζόμαστε έναν ελεγκτή φόρτισης σειράς, με ονομαστική τάση 48V μέγιστο ρεύμα εισόδου 163A και μέγιστο ρεύμα εξόδου 17,6A.

Για την επίτευξη των παραπάνω χαρακτηριστικών, θα χρησιμοποιήσουμε δυο ρυθμιστές φόρτισης της εταιρείας STECA με κωδικό POWER TAROM 4110, συνδεδεμένους παράλληλα στις μπαταρίες. Και αυτό, γιατί όπως θα δούμε από το παρακάτω πίνακα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ρυθμιστή, το μέγιστο ρεύμα εισόδου του είναι 110A, ενώ το ρεύμα που έχουμε υπολογίσει είναι 163A. Στο επόμενο σχήμα βλέπουμε την εξωτερική μορφή και τη διάταξη των ακροδεκτών του.

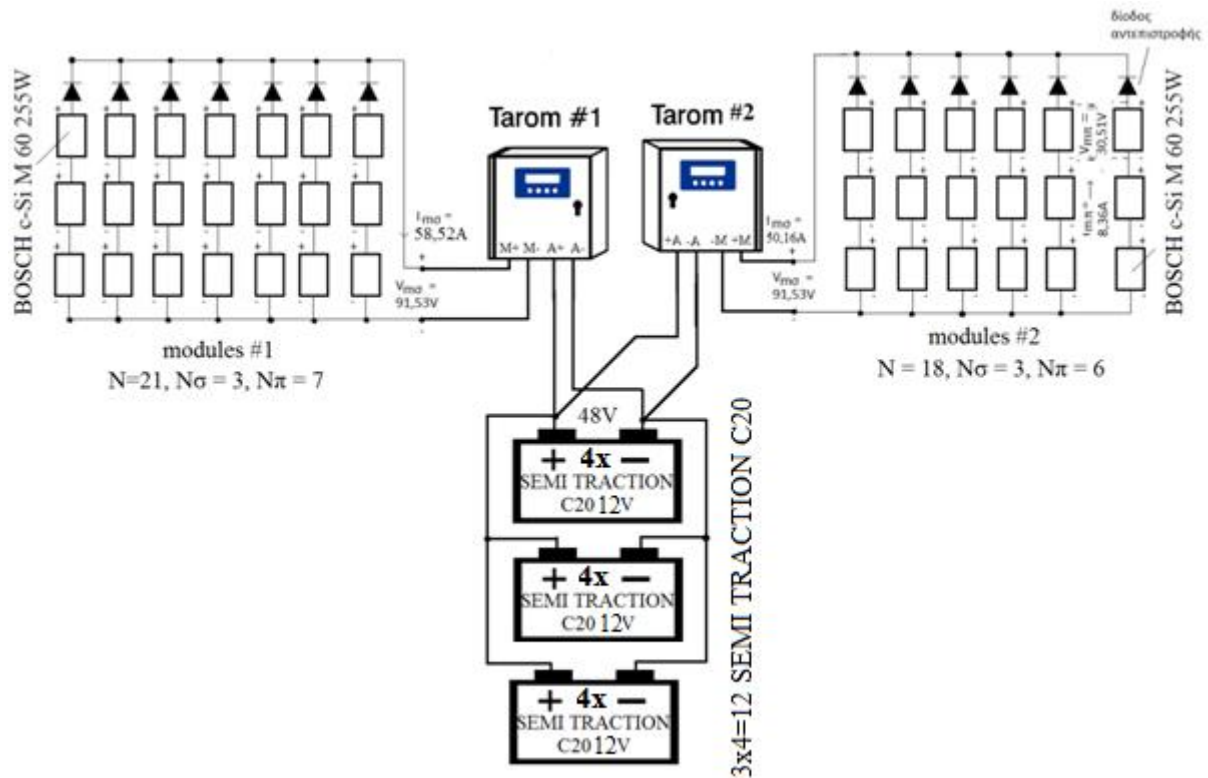


Σχ. 2-10

Στο παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ρυθμιστή φόρτισης STECA POWER TAROM 4110.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 2-2	
Τεχνικά χαρακτηριστικά ελεγκτή φόρτισης STECA POWER TAROM 4110	
Τάση Συστήματος	48V
Μέγιστη τάση εξόδου φ/β συστοιχίας	100V
Μέγιστο ρεύμα εισόδου ελεγκτή	110A
Μέγιστο ρεύμα εξόδου ελεγκτή	110A
Θερμοκρασία λειτουργίας	-15 έως 50°C

Από τους 13 παράλληλους κλάδους της φ/β συστοιχίας οι επτά θα συνδεθούν στον έναν ρυθμιστή (με ρεύμα εισόδου του ίσο με $7 \times 8,36=58,52\text{A}$) και οι υπόλοιποι έξι στο δεύτερο (με ρεύμα εισόδου του ίσο με $6 \times 8,36=50,16\text{A}$). Στο επόμενο σχήμα βλέπουμε πως θα τροποποιηθεί τελικά η κυκλωματική συνδεσμολογία της φ/φ διάταξης.



Σχ. 2-11

2.2.10. Βήμα 10: Επιλογή μετατροπέα τάσεως DC-AC (inverter)

Για την επιλογή του μετατροπέα τάσεως DC-AC αναφερθήκαμε στη παράγραφο 1.8. Αναφέρουμε πάλι ότι για την επιλογή ενός μετατροπέα (inverter) λαμβάνονται υπόψη τέσσερις παράμετροι:

α) *Ονομαστική τάση εισόδου*: η ονομαστική τάση του inverter πρέπει να είναι ίδια με την ονομαστική τάση του συσσωρευτή. Η ονομαστική τάση των συσσωρευτών του φ/β συστήματος του αναψυκτηρίου είναι 48V. Συνεπώς:

Ονομαστική τάση εισόδου inverter: 48V

β) *Ισχύς εξόδου*: η ισχύς εξόδου του inverter πρέπει να είναι ίση με τη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ των φορτίων κατανάλωσης που λειτουργούν ταυτόχρονα. Στη παράγραφο 2.2.2. η συνολική ισχύς των ηλεκτρικών καταναλώσεων ανέρχεται στα 4055W. Θεωρούμε ότι ταυτόχρονα λειτουργεί το 80% των συνολικών καταναλώσεων. Συνεπώς:

Ισχύς εξόδου inverter > 4055W.80%=3244W

γ) *Ισχύς αιχμής*: η ισχύς αιχμής του inverter θα πρέπει να είναι τριπλάσια της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύς των φορτίων κατανάλωσης που λειτουργούν ταυτόχρονα. Για ισχύ φορτίων κατανάλωσης που λειτουργούν ταυτόχρονα, ίση με 3244W έχουμε ότι:

Ισχύς αιχμής (peak power) inverter > 3 x 3244W => 9732W

δ) *Τάση εξόδου:* η AC τάση εξόδου του inverter θα πρέπει να είναι ίση με την ονομαστική τάση λειτουργίας των ηλεκτρικών καταναλώσεων. Οι καταναλώσεις λειτουργούν υπό ονομαστική AC τάση 230V συχνότητας 50Hz. Συνεπώς:

Τάση εξόδου inverter: 230V AC (50Hz)

Επιλέγουμε inverter της καθαρού ημιτόνου της εταιρείας VICTRON ENERGY, μοντέλο PHOENIX 48/5000. Ο συγκεκριμένος inverter μας καλύπτει και στην ισχύ εξόδου μιας και είναι μέχρι 5000W και στην ισχύ αιχμής μιας και είναι μέχρι 10000W.



Σχ. 2-12

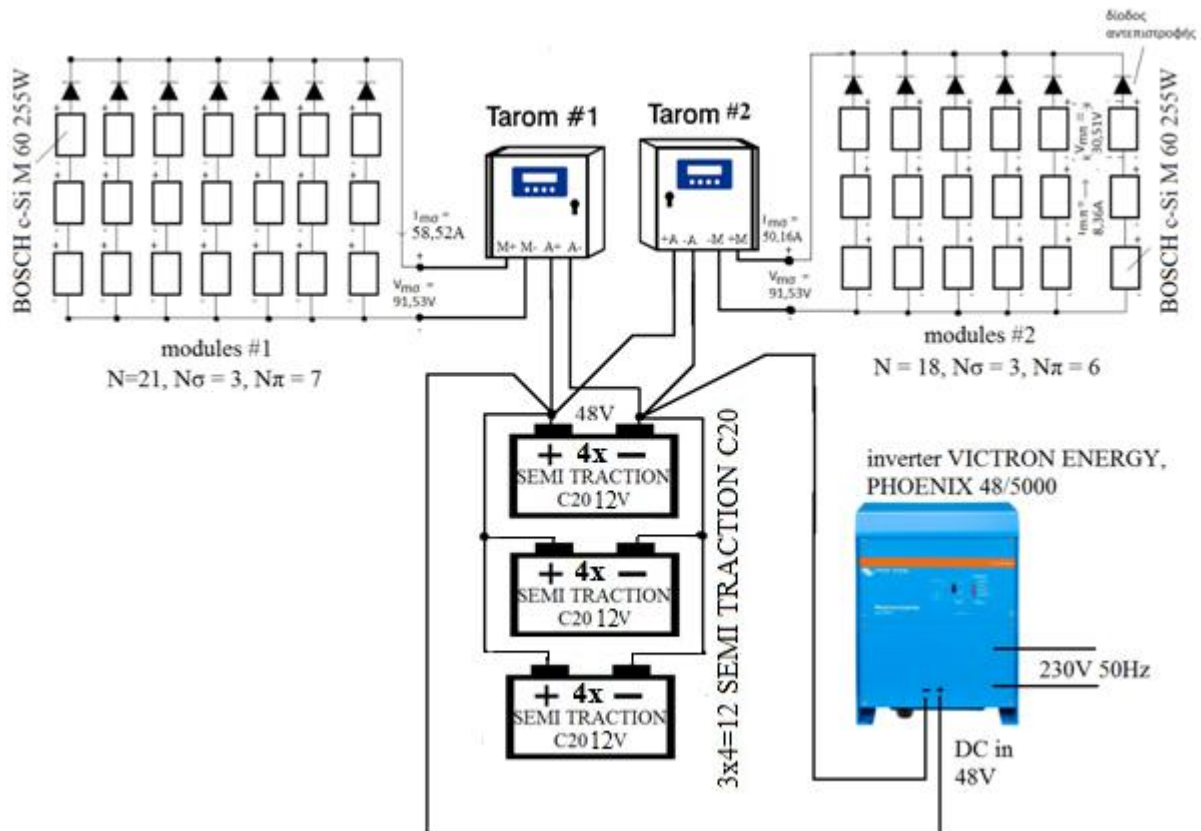
Τα χαρακτηριστικά του inverter αυτού φαίνονται στον πίνακα του επόμενου σχήματος.

Phoenix Inverter	48/5000
Input voltage range (V DC)	38 – 66V
Output	230 VAC \pm 2%
Cont. output power at 25 °C (VA)	5000
Cont. output power at 25 °C (W)	4500
Cont. output power at 40 °C (W)	4000
Peak power (W)	10000
Frequency	50 Hz \pm 0,1%

Σχ. 2-13

Ο inverter αυτός συνδέεται παράλληλα στους συσσωρευτές. Το επόμενο σχήμα απεικονίζει την μέχρι τώρα κυκλωματική συνδεσμολογία της αυτόνομης φ/β διάταξης του υπαιθρίου αναψυκτηρίου. Στη συνδεσμολογία αυτή παρουσιάζονται όλες οι βασικές μονάδες

που απαρτίζουν την αυτόνομη φ/δ διάταξη, όπως η συνδεσμολογία των φ/β πλαισίων, των ηλεκτρικών συσσωρευτών, των ρυθμιστών φόρτισης και του inverter.



Σχ. 2-14

2.2.11. Βήμα 11: Επιλογή ηλεκτρικών αγωγών - μέσω προστασίας

1) DC καλώδια σύνδεσης των πάνελ σε σειρά (string cables):

Για το module 1:

$$\begin{aligned} \text{Τάση: } V_{oc} \times N\sigma_1 \times 1,15 &= 38 \times 3 \times 1,15 = 131,1\text{V} \\ \text{Ένταση: } I_{sc} \times 1,25 \times 1,72 &= 8,92 \times 1,25 \times 1,72 = 19,3 \text{ A} \end{aligned}$$

Για να καλύψουμε την απαίτηση των 70°C κατά τους καλοκαιρινούς κυρίως μήνες, οι τιμές των εντάσεων που υπολογίζουμε έχουν αναχθεί στη θερμοκρασία αυτή, το οποίο όπως έχουμε αναφέρει πραγματοποιείται με τον πολλαπλασιασμό του ρεύματος με το συντελεστή 1,72.

Επιλέγουμε καλώδιο ορατής ηλεκτρικής γραμμής εκτός σωλήνα. Αναφερόμαστε δηλαδή στην στήλη 9 του πίνακα 1-6 και επιλέγουμε το καλώδιο 1x2,5mm², το οποίο αντέχει μέχρι και 31A (19,3A < 31A).

Για το module 2:

$$\begin{aligned} \text{Τάση: } V_{oc} \times N\sigma_2 \times 1,15 &= 38 \times 3 \times 1,15 = 131,1\text{V} \\ \text{Ένταση: } I_{sc} \times 1,25 \times 1,72 &= 8,92 \times 1,25 \times 1,72 = 19,3 \text{ A} \end{aligned}$$

Επιλέγουμε καλώδιο ορατής ηλεκτρικής γραμμής εκτός σωλήνα. Αναφερόμαστε δηλαδή στην στήλη 9 του πίνακα 1-6 και επιλέγουμε το καλώδιο $1 \times 2,5 \text{mm}^2$, το οποίο αντέχει μέχρι και 31A ($19,3 \text{A} < 31 \text{A}$).

Συνεπώς, η σύνδεση των φ/β πλαισίων μεταξύ τους θα πραγματοποιηθεί με καλώδιο H05VV-U $1 \times 2,5 \text{mm}^2$.

2) DC ασφάλειες παράλληλων κλάδων

Για το module 1:

$$\begin{aligned} \text{Τάση: } V_{oc} \times N_{\sigma 1} \times 1,15 &= 38 \times 3 \times 1,15 = 131,1 \text{V} \\ \text{Ένταση: } 2 \times I_{sc} &= 8,92 \times 2 = 17,8 \text{ A} \end{aligned}$$

Για το module 2:

$$\begin{aligned} \text{Τάση: } V_{oc} \times N_{\sigma 2} \times 1,15 &= 38 \times 3 \times 1,15 = 131,1 \text{V} \\ \text{Ένταση: } 2 \times I_{sc} &= 8,92 \times 2 = 17,8 \text{ A} \end{aligned}$$

Για την προστασία των παράλληλων κλάδων θα χρησιμοποιηθούν ασφάλειες DC ονομαστικής έντασης μικρότερης της τιμής των 17,8A που υπολογίσαμε προηγουμένως. Επιλέγουμε ασφάλειες των 15A τάσης 1000V DC της εταιρείας SIBA. Θα χρησιμοποιήσουμε συνολικά $6+7=13$ ασφάλειες 15A, 1000V DC, όσοι δηλαδή και οι παράλληλοι κλάδοι της φ/β εγκατάστασης καθώς και 13 βάσεις ασφαλειών αντίστοιχα. Στην επόμενη εικόνα βλέπουμε τα χαρακτηριστικά των DC ασφαλειών της εταιρείας SIBA καθώς και των αντίστοιχων βασών.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΕΝΤΑΣΗ (A)	ΤΑΣΗ (V)	ΚΩΔΙΚΟΣ
Ασφάλεια 10 x 38	5A	1000V	273.50.010
Ασφάλεια 10 x 38	6A	1000V	273.50.020
Ασφάλεια 10 x 38	8A	1000V	273.50.030
Ασφάλεια 10 x 38	10A	1000V	273.50.040
Ασφάλεια 10 x 38	12A	1000V	273.50.050
Ασφάλεια 10 x 38	15A	1000V	273.50.060
Ασφάλεια 10 x 38	20A	1000V	273.50.070
Ασφάλεια 14 x 51	25A	1000V	273.50.081
Ασφάλεια 14 x 51	32A	1000V	273.50.091



ΒΑΣΗ NGT 1000V DC

ΒΑΣΕΙΣ ΑΣΦΑΛΕΙΩΝ 1000V DC	ΚΩΔΙΚΟΣ
NGT 10 x 38 1P 1000V DC	273.52.010
SIBA 10 x 38 1P 1000V DC	273.52.020
SIBA 10 x 38 2P 1000V DC	273.52.022
SIBA 14 x 51 1P 1000V DC	273.52.023
SIBA 14 x 51 1P 1000V DC με LED	273.52.024

Σχ. 2-15

3) Κύρια DC καλώδια σύνδεσης της φ/β συστοιχίας με τον ελεγκτή φόρτισης, τον inverter και τις μπαταρίες (main dc cables):

Για το module 1:

$$\begin{aligned} \text{Τάση: } V_{oc} \times N\sigma 1 \times 1,15 &= 38 \times 3 \times 1,15 = 131,1\text{V} \\ \text{Ένταση: } I_{sc} \times N\pi 1 \times 1,25 \times 1,72 &= 8,92 \times 7 \times 1,25 \times 1,72 = 134,16 \text{ A} \end{aligned}$$

Επιλέγουμε καλώδιο ορατής ηλεκτρικής γραμμής εκτός σωλήνα. Αναφερόμαστε δηλαδή στην στήλη 9 του πίνακα 1-6 και επιλέγουμε το καλώδιο $1 \times 35\text{mm}^2$, το οποίο αντέχει μέχρι και 164A ($131,1\text{A} < 164\text{A}$).

Για την προστασία της γραμμής αυτής θα χρησιμοποιηθεί μαχαιρωτή ασφάλεια με ονομαστικό ρεύμα μικρότερο του μέγιστου ρεύματος καλωδίου που θα πρέπει να προστατέψει. Για τη διατομή των 35mm^2 με μέγιστο ρεύμα λειτουργίας ίσο με 164A η αμέσως μικρότερη μαχαιρωτή ασφάλεια είναι 125A.

Συνεπώς θα χρησιμοποιηθούν 2 μαχαιρωτά φυσίγγια NHI 125A 1000VDC 30KA και δυο βάσει 250A 100V DC για φωτοβολταϊκά συστήματα.

Για το module 2:

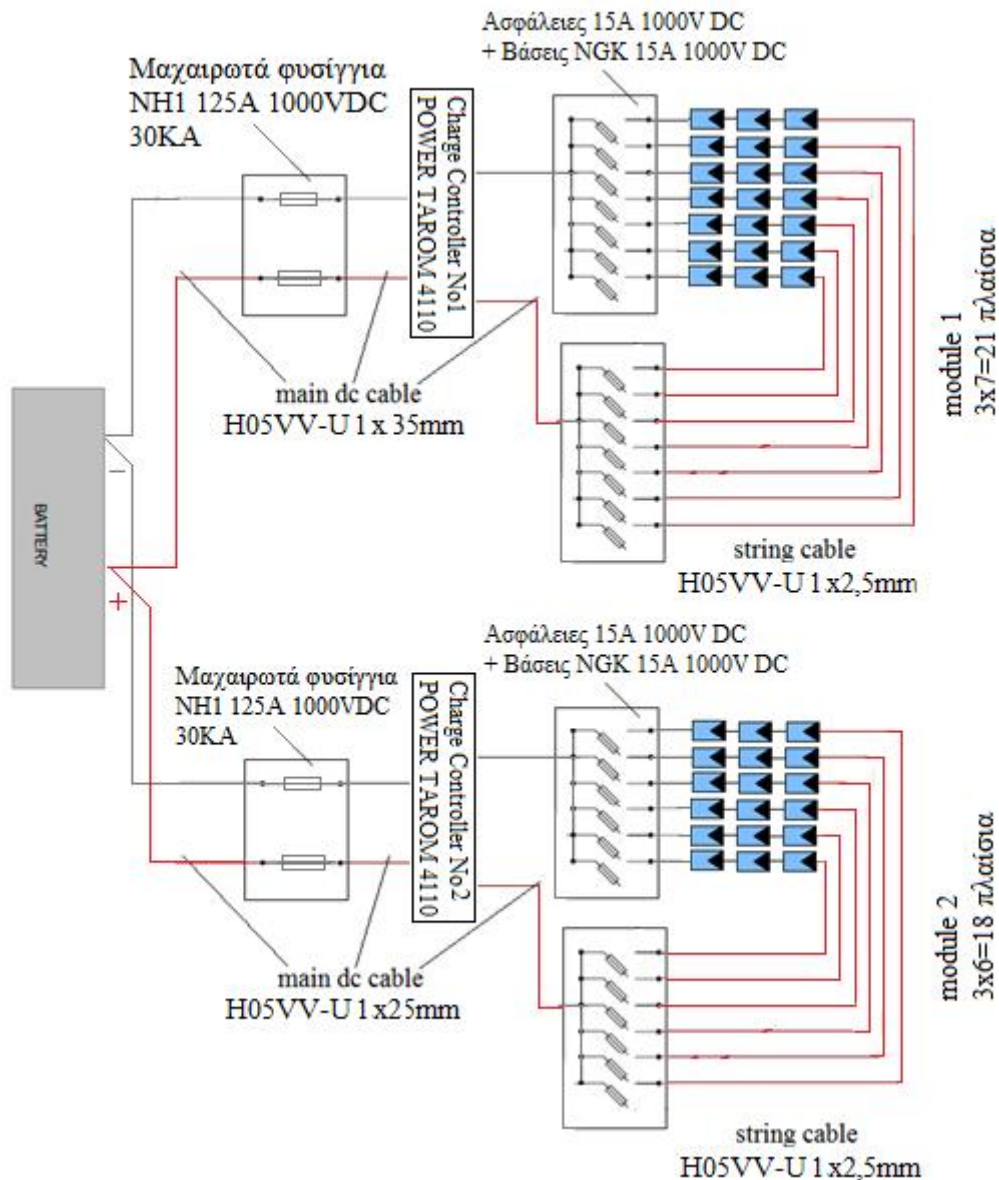
$$\begin{aligned} \text{Τάση: } V_{oc} \times N\sigma 2 \times 1,15 &= 38 \times 3 \times 1,15 = 131,1\text{V} \\ \text{Ένταση: } I_{sc} \times N\pi 2 \times 1,25 \times 1,72 &= 8,92 \times 6 \times 1,25 \times 1,72 = 115,24 \text{ A} \end{aligned}$$

Επιλέγουμε καλώδιο ορατής ηλεκτρικής γραμμής εκτός σωλήνα. Αναφερόμαστε δηλαδή στην στήλη 9 του πίνακα 1-6 και επιλέγουμε το καλώδιο $1 \times 25\text{mm}^2$, το οποίο αντέχει μέχρι και 133A ($115,24\text{A} < 133\text{A}$).

Για την προστασία της γραμμής αυτής θα χρησιμοποιηθεί μικροαυτόματος με ονομαστικό ρεύμα μικρότερο του μέγιστου ρεύματος καλωδίου που θα πρέπει να προστατέψει. Για τη διατομή των 25mm^2 με μέγιστο ρεύμα λειτουργίας ίσο με 133A η αμέσως μικρότερη μαχαιρωτή ασφάλεια είναι 125A.

Συνεπώς θα χρησιμοποιηθούν 2 μαχαιρωτά φυσίγγια NHI 125A 1000VDC 30KA και δυο βάσει 250A 100V DC για φωτοβολταϊκά συστήματα.

Στο επόμενο σχήμα ακολουθεί διάγραμμα ηλεκτρικής συνδεσμολογίας της DC πλευράς της φ/β εγκατάστασης.



Σχ. 2-16

Υπολογισμοί AC καλωδίων, μέσω προστασίας και ζεύξης

Η τροφοδότηση των AC φορτίων θα γίνει μέσω ενός γενικού πίνακα AC, από τον οποίο θα αναχωρούν τέσσερις γραμμές (μια γραμμή φωτισμού και τρεις γραμμές κίνησης). Οι γραμμές θα είναι αναγκαστικά όλες επιτοίχιες, επάνω στον σκελετό της καντίνας, μέσα σε σωλήνες και κατασκευασμένες με πολυπολικό καλώδιο. Οι επιμέρους γραμμές είναι οι εξής:

1) Γραμμή φωτισμού λαμπτήρων φθορισμού

Οι λαμπτήρες φθορισμού θα τοποθετηθούν όλοι σε μια γραμμή, και θα ενεργοποιούνται ταυτόχρονα μέσω ενός διακόπτη στον πίνακα.

Ονομαστική τάση λειτουργίας: $U_n = 230V$

Ονομαστική ισχύς κυκλώματος: $P_n = 5\text{τεμ} \times 40W = 200W$

Ονομαστικό ρεύμα γραμμής: $I_n = P_n/U_n = 200/230 = 0,87A$

Από πίνακα 1-6, για χρήση πολυπολικού καλωδίου, επιτοίχιου, σε σωλήνα, από τη στήλη 4 βλέπουμε ότι η διατομή των $1,5\text{mm}^2$ με μέγιστο ρεύμα λειτουργίας ίσο με $15,5\text{A}$ επαρκεί.

Συνεπώς, η γραμμή φωτισμού θα πραγματοποιηθεί με καλώδιο $\text{H05VV-U } 3 \times 1,5\text{mm}^2$.

Για την προστασία της γραμμής αυτής θα χρησιμοποιηθεί μικροαυτόματος με ονομαστικό ρεύμα μικρότερο του μέγιστου ρεύματος καλωδίου που θα πρέπει να προστατέψει. Για τη διατομή των $1,5\text{mm}^2$ με μέγιστο ρεύμα λειτουργίας ίσο με $15,5\text{A}$ ο αμέσως μικρότερος μικροαυτόματος είναι αυτός των 10A .

Συνεπώς, η γραμμή φωτισμού θα ασφαλιστεί με μικροαυτόματο 10A .

Για το άνοιγμα και το σβήσιμο των φώτων, θα χρησιμοποιηθεί στον πίνακα ένας μονοπολικός διακόπτης με ονομαστικό ρεύμα λειτουργίας 25A , το οποίο καλύπτει τις απαιτήσεις του μέγιστου ρεύματος λειτουργίας του καλωδίου $3 \times 1,5\text{mm}^2$.

2) Γραμμή ψυγείου αναψυκτικών - καταψύκτη παγωτών

Ονομαστική τάση λειτουργίας: $U_n = 230\text{V}$

Ονομαστική ισχύς κυκλώματος: $P_n = 310 + 220 = 530\text{W}$

Ονομαστικό ρεύμα γραμμής: $I_n = P_n / U_n = 530 / 230 = 2,30\text{A}$

Από πίνακα 1-6, για χρήση πολυπολικού καλωδίου, επιτοίχιου, σε σωλήνα, από τη στήλη 4 βλέπουμε ότι η διατομή των $1,5\text{mm}^2$ με μέγιστο ρεύμα λειτουργίας ίσο με $15,5\text{A}$ επαρκεί. Επειδή όμως πρόκειται για γραμμή κίνησης και όχι φωτισμού, οι κανονισμοί επιβάλλουν ελάχιστη διατομή τα $2,5\text{mm}^2$.

Συνεπώς, η γραμμή ψυγείου αναψυκτικών - καταψύκτη παγωτών θα πραγματοποιηθεί με καλώδιο $\text{H05VV-U } 3 \times 2,5\text{mm}^2$.

Για την προστασία της γραμμής αυτής θα χρησιμοποιηθεί μικροαυτόματος με ονομαστικό ρεύμα μικρότερο του μέγιστου ρεύματος καλωδίου που θα πρέπει να προστατέψει. Για τη διατομή των $2,5\text{mm}^2$ με μέγιστο ρεύμα λειτουργίας ίσο με 21A ο αμέσως μικρότερος μικροαυτόματος είναι αυτός των 20A . Παρά το γεγονός ότι υπάρχει ο μικροαυτόματος των 20A προτιμάμε για λόγους ασφαλείας να χρησιμοποιήσουμε τον αμέσως μικρότερο των 16A .

Συνεπώς, η γραμμή ψυγείου αναψυκτικών - καταψύκτη παγωτών θα ασφαλιστεί με μικροαυτόματο 16A .

Επειδή τόσο το ψυγείο όσο και ο καταψύκτης είναι μόνιμες σταθερές συσκευές οι οποίες δεν χρειάζεται να ανοιγοκλείνουν συνέχεια, δεν θα τοποθετήσουμε διακόπτη που θα τις θέτει εντός-εκτός. Σε περίπτωση που θέλουμε για κάποιο λόγο να θέσουμε τη γραμμή εκτός, θα κατεβάζουμε το μικροαυτόματο.

3) Γραμμή τοστιέρας

Ονομαστική τάση λειτουργίας: $U_n = 230\text{V}$

Ονομαστική ισχύς κυκλώματος: $P_n = 1800\text{W}$

Ονομαστικό ρεύμα γραμμής: $I_n = P_n / U_n = 1800 / 230 = 7,82\text{A}$

Από πίνακα 1-6, για χρήση πολυπολικού καλωδίου, επιτοίχιου, σε σωλήνα, από τη στήλη 4 βλέπουμε ότι η διατομή των $1,5\text{mm}^2$ με μέγιστο ρεύμα λειτουργίας ίσο με 15,5A επαρκεί. Επειδή όμως πρόκειται για γραμμή κίνησης και όχι φωτισμού, οι κανονισμοί επιβάλλουν ελάχιστη διατομή τα $2,5\text{mm}^2$.

Συνεπώς, η γραμμή τοστιέρας θα πραγματοποιηθεί με καλώδιο H05VV-U $3 \times 2,5\text{mm}^2$.

Για την προστασία της γραμμής αυτής θα χρησιμοποιηθεί μικροαυτόματος με ονομαστικό ρεύμα μικρότερο του μέγιστου ρεύματος καλωδίου που θα πρέπει να προστατέψει. Για τη διατομή των $2,5\text{mm}^2$ με μέγιστο ρεύμα λειτουργίας ίσο με 21A ο αμέσως μικρότερος μικροαυτόματος είναι αυτός των 16A.

Και η γραμμή αυτή θα τίθεται εντός-εκτός μέσω ενός μονοπολικού διακόπτη 25A που καλύπτει το μέγιστο ρεύμα 21A του καλωδίου $3 \times 2,5\text{mm}^2$.

4) Γραμμή μηχανών φραπέ - εσπρέσο.

Ονομαστική τάση λειτουργίας: $U_n = 230\text{V}$

Ονομαστική ισχύς κυκλώματος: $P_n = 75 + 1450 = 1525\text{W}$

Ονομαστικό ρεύμα γραμμής: $I_n = P_n / U_n = 1525 / 230 = 6,63\text{A}$

Από πίνακα 1-6, για χρήση πολυπολικού καλωδίου, επιτοίχιου, σε σωλήνα, από τη στήλη 4 βλέπουμε ότι η διατομή των $1,5\text{mm}^2$ με μέγιστο ρεύμα λειτουργίας ίσο με 15,5A επαρκεί. Επειδή όμως πρόκειται για γραμμή κίνησης και όχι φωτισμού, οι κανονισμοί επιβάλλουν ελάχιστη διατομή τα $2,5\text{mm}^2$.

Συνεπώς, η γραμμή μηχανών φραπέ - εσπρέσο θα πραγματοποιηθεί με καλώδιο H05VV-U $3 \times 2,5\text{mm}^2$.

Για την προστασία της γραμμής αυτής θα χρησιμοποιηθεί μικροαυτόματος με ονομαστικό ρεύμα μικρότερο του μέγιστου ρεύματος καλωδίου που θα πρέπει να προστατέψει. Για τη διατομή των $2,5\text{mm}^2$ με μέγιστο ρεύμα λειτουργίας ίσο με 21A ο αμέσως μικρότερος μικροαυτόματος είναι αυτός των 16A.

Και η γραμμή αυτή θα τίθεται εντός-εκτός μέσω ενός μονοπολικού διακόπτη 25A που καλύπτει το μέγιστο ρεύμα 21A του καλωδίου $3 \times 2,5\text{mm}^2$.

Διατομή γραμμής inverter - πίνακα AC

Ονομαστική τάση λειτουργίας: $U_n = 230\text{V}$

Ονομαστική ισχύς κυκλώματος: $P_n = 200 + 310 + 220 + 1800 + 1525 = 4055\text{W}$

Ονομαστικό ρεύμα γραμμής: $I_n = P_n / U_n = 4055 / 230 = 17,63\text{A}$

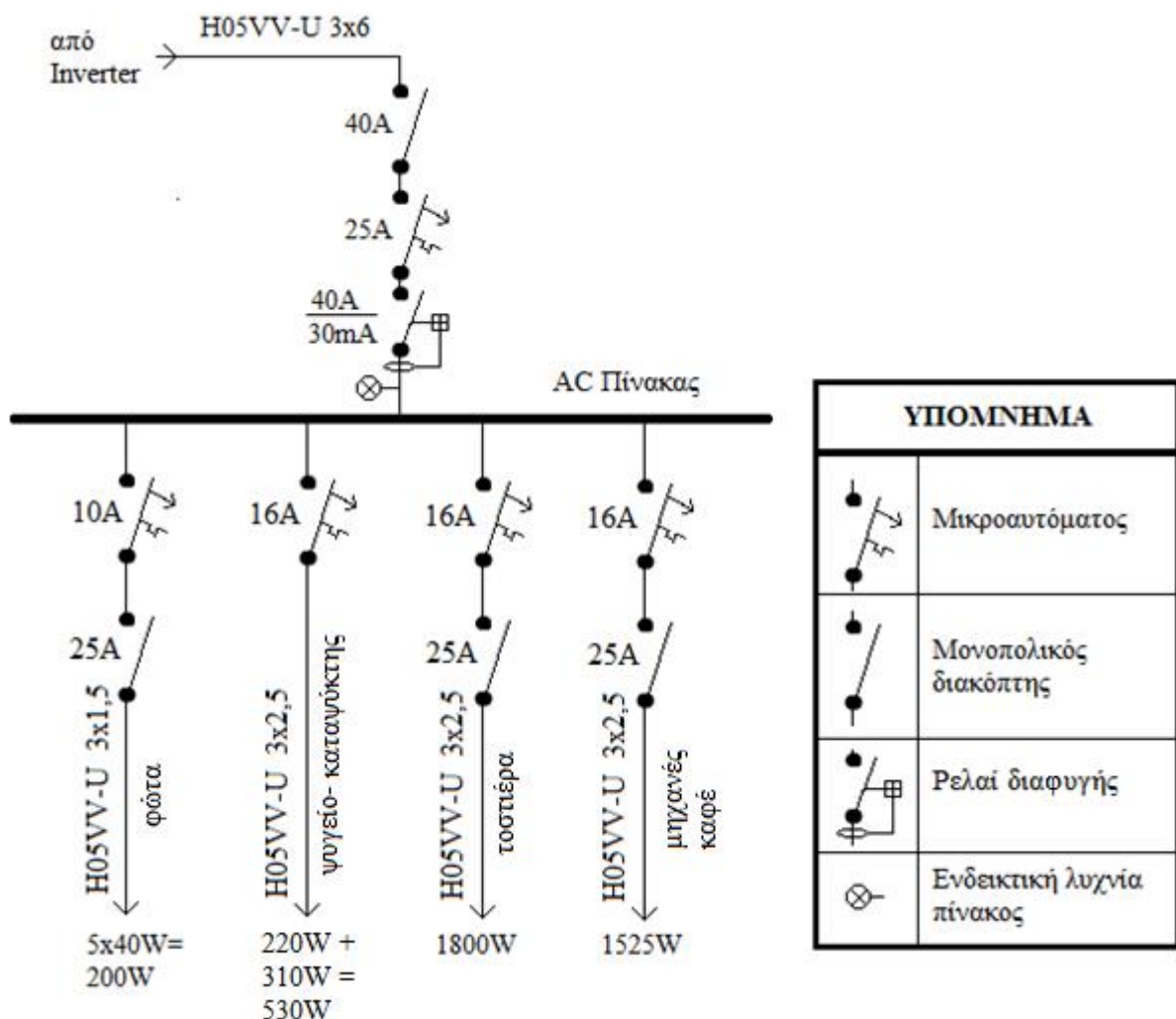
Από πίνακα 1-6, για χρήση πολυπολικού καλωδίου, επιτοίχιου, σε σωλήνα, από τη στήλη 4 βλέπουμε ότι η διατομή των $2,5\text{mm}^2$ με μέγιστο ρεύμα λειτουργίας ίσο με 21A επαρκεί. Επειδή όμως πρόκειται για κεντρική γραμμή τροφοδότησης πίνακα, οι κανονισμοί επιβάλλουν ελάχιστη διατομή τα 6mm^2 .

Συνεπώς, η κεντρική γραμμή inverter - πίνακα AC θα πραγματοποιηθεί με καλώδιο H05VV-U $3 \times 6\text{mm}^2$.

Για την προστασία της γραμμής αυτής θα χρησιμοποιηθεί μικροαυτόματος με ονομαστικό ρεύμα μικρότερο του μέγιστου ρεύματος καλωδίου που θα πρέπει να προστατεύει. Για τη διατομή των 6mm^2 με μέγιστο ρεύμα λειτουργίας ίσο με 36A ο αμέσως μικρότερος μικροαυτόματος είναι αυτός των 25A .

Και η γραμμή αυτή θα τίθεται εντός-εκτός μέσω ενός μονοπολικού διακόπτη 25A που καλύπτει το μέγιστο ρεύμα 21A του καλωδίου $3 \times 2,5\text{mm}^2$.

Ο γενικός πίνακας AC θα τίθεται εντός-εκτός μέσω ενός μονοπολικού διακόπτη με ονομαστικό ρεύμα 40A , το οποίο είναι μεγαλύτερο από το μέγιστο ρεύμα των 36A του καλωδίου $3 \times 6\text{mm}^2$. Στον πίνακα θα τοποθετηθεί και μια ενδεικτική λυχνία. Για εναρμόνιση με το πρότυπο HD 384, επιβάλλεται η χρήση αντιηλεκτροπληξιακού ρελέ (διαφυγής). Το μονογραμμικό διάγραμμα του AC πίνακα παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα.



Σχ. 2-17

Στη συνέχεια ακολουθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υλικών της AC πλευράς.

α) Μικροαυτόματοι

General Electric αυτόματη ασφάλεια 10A, 16A, 25A 3kA

Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Όνομαστική ένταση (A): 10A,16A,25A
Αριθμός πόλων : Μονοπολική
Πλάτος: Ενός Στοιχείου
Αντοχή σε βραχυκύκλωμα (kA) : 3 kA
Καμπύλη : C
Κατασκευαστής: General Electric

β) Μονοπολικοί διακόπτες

General Electric Διακόπτης ράγας μονοφασικός 25, 40A

Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Όνομαστική ένταση (A): 25A,40A
Αριθμός πόλων : Μονοπολική
Πλάτος: Ενός Στοιχείου
Αντοχή σε βραχυκύκλωμα (kA) : 3 kA
Καμπύλη : C
Κατασκευαστής:General Electric

γ) Ενδεικτική λυχνία πίνακα

General Electric ενδεικτική λυχνία κόκκινη μονοφασική

δ) Ρελέ Διαφυγής Μονοφασικό

General Electric 2P 40A 30mA Ρελέ Διαφυγής Μονοφασικό

ε) Πίνακας AC

Ηλεκτρολογικός μεταλλικός πίνακας (AC) 2 σειρών, 24 θέσεων επιτοίχιος λευκός "FAR ELECTRIC"

στ) Καλώδια AC

Καλώδια H05VV-U 3x1,5mm² , 3x2,5mm² , 3x6mm²

ζ) Σύστημα σωληνώσεων προστασίας AC καλωδίων

Συστήματα σωλήνων μεσαίου τύπου MEDISOL – MEDIFLEX της εταιρείας "ΚΟΥΒΙΔΙΣ". Το Σύστημα Πλαστικών Σωλήνων MEDISOL - MEDIFLEX παράγεται και ελέγχεται σύμφωνα με τις απαιτήσεις των ευρωπαϊκών προτύπων EN 61386.01 και EN 60670-1 σε χρώμα λευκό (RAL 9010), στις διαμέτρους Ø16 έως Ø63, και αποτελείται από τον άκαμπτο ευθύγραμμο σωλήνα MEDISOL, το διαμορφώσιμο σωλήνα (σπирάλ) MEDIFLEX, τις καμπύλες, τα κολάρα, τις μούφες, τα ρακόρ και τα στεγανά κουτιά διακλαδώσεως MEDISOL.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

3.1. Κόστος κατασκευής τεχνικών έργων

Το κόστος κατασκευής, αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία που θα πρέπει να παρακολουθούνται σε διάφορες φάσεις της διαδικασίας κατασκευής τεχνικών έργων. Η εκτίμηση του κόστους κατασκευής είναι μια διαδικασία που αποσκοπεί να δώσει μια αξιόπιστη εκτίμηση του οικονομικού κόστους της κατασκευής. Είναι μια θεμελιώδης δραστηριότητα, που συνδυάζει την υποκειμενική εμπειρία, και εφαρμόζεται για την αξιολόγηση και την πρόβλεψη του συνολικού κόστους εκτέλεσης των κατασκευαστικών εργασιών. Ο σκοπός της εκτίμησης του κόστους κατασκευής είναι η παροχή πληροφοριών για την λήψη αποφάσεων στην κατασκευή, συμπεριλαμβανομένων των πεδίων των προμηθειών και την τιμολόγηση των κατασκευών, για τη θέσπιση του προβλεπόμενου ποσού των πληρωμών, και τον έλεγχο των πραγματικών ποσοτήτων. Η ακρίβεια της εκτίμησης του κόστους κατασκευής ενός έργου κατασκευής αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την επιτυχία του έργου. Παρά τη μεγάλη σημασία που έχει το έργο της εκτίμησης του κόστους, δεν είναι ούτε απλό ούτε εύκολο, λόγω της έλλειψης πληροφοριών στα πρώτα στάδια του έργου.

3.2. Οικονομική ανάλυση αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος τροφοδότησης αναψυκτηρίου

Η οικονομική ανάλυση του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδότηση του υπαίθριου αναψυκτηρίου περιλαμβάνει τον λεπτομερή υπολογισμό όλων των πιθανών κοστών που απαιτούνται για την υλοποίηση του έργου. Τα επιμέρους κόστη είναι:

α) Κόστος ηλεκτρολογικού εξοπλισμού

Από την ανάλυση της μελέτης που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, συντάσσουμε πίνακα με τον απαιτούμενο ηλεκτρολογικό εξοπλισμό για την τροφοδότηση του αναψυκτηρίου με το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα. Οι τιμές στο παρακάτω πίνακα είναι χωρίς ΦΠΑ και προέκυψαν από έρευνα αγοράς κατά τους μήνες Ιανουάριο - Φεβρουάριο του έτους 2015.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3-1			
Απαιτούμενη ποσότητα και κόστος ηλεκτρολογικού εξοπλισμού			
Είδος	Ποσότητα	Τιμή μονάδας	Μερικό σύνολο (ευρώ)
Υλικά φωτοβολταϊκής εγκατάστασης			
Φωτοβολταϊκό πλαίσιο τύπου c-Si M 60 255W της εταιρίας BOSCH	39 τεμ.	215 ευρώ	8385
Ελεγκτής φόρτισης STECA POWER TAROM 4110	2 τεμ.	1360 ευρώ	2720
Συσσωρευτής SEMI TRACTION C20 inverter της εταιρείας VICTRON ENERGY, μοντέλο PHOENIX 48/5000	12 τεμ.	129 ευρώ	1548
	1 τεμ.	1885 ευρώ	1885
Υλικά ηλεκτρολογικής εγκατάστασης			
Πίνακας IP55 300X250X150 DC τάσης	1 τεμ	22,11 ευρώ	22,11
Ασφάλεια 15A, 1000V DC SIBA	26 τεμ.	3,99	103,74
Βάση Ασφάλειας 15A, 1000V DC NGT	26 τεμ.	2,95	76,70
Μαχαιρωτά φυσίγγια NH1 125A 1000VDC 30KA	4 τεμ.	75,55 ευρώ	302,2
Βάσεις μαχαιρωτών ασφαλειών NH1 250A 1000VDC	4 τεμ.	22,11 ευρώ	88,44
Ηλεκτρολογικός μεταλλικός πίνακας (AC) 2 σειρών, 24 θέσεων επιτοίχιος λευκός "FAR ELECTRIC"	1 τεμ.	16,95 ευρώ	16,95
Μικροαντόματος General Electric 10A	1 τεμ.	2,07 ευρώ	2,07
Μικροαντόματος General Electric 16A	3 τεμ.	2,07 ευρώ	6,21
Μικροαντόματος General Electric 25A	1 τεμ.	2,07 ευρώ	2,07
Ενδεικτική λυχνία κόκκινη μονοφασική General Electric	1 τεμ.	1,99 ευρώ	1,99
General Electric Διακόπτης ράγας μονοφασικός 25A	3 τεμ.	3,99 ευρώ	11,97
General Electric Διακόπτης ράγας μονοφασικός 40A	1 τεμ.	3,99 ευρώ	3,99
General Electric 2P 40A 30mA Ρελέ Διαφυγής Μονοφασικό	1 τεμ.	22,69 ευρώ	22,69
Καλώδιο H05VV-U 3x1,5mm ²	20m	0,60 ευρώ/m	12,0
Καλώδιο H05VV-U 3x2,5mm ²	60m	0,90 ευρώ/m	54,0
Καλώδιο H05VV-U 3x6mm ²	15m	1,5 ευρώ/m	22,5
Καλώδιο H05VV-U 1x2,5mm ²	200m	0,60 ευρώ/m	120
Καλώδιο H05VV-U 1x25mm ²	25m	1,7 ευρώ/m	42,5
Καλώδιο H05VV-U 1x35mm ²	25m	1,9 ευρώ/m	47,5
Συστήματα σωλήνων μεσαίου τύπου MEDISOL – MEDIFLEX της εταιρείας "ΚΟΥΒΙΔΙΣ"	1 τεμ.	100 ευρώ	100
Γενικό σύνολο:			15597,63 ευρώ

β) Κόστος εγκατάστασης ηλεκτρολογικού εξοπλισμού

Το κόστος αυτό περιλαμβάνει τόσο το κόστος εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού εξοπλισμού (πάνελ, ελεγκτές φόρτισης, συσσωρευτές, inverters), όσο και το κόστος της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης (πίνακες DC - AC, καλωδιώσεις, λοιπές διασυνδέσεις κ.α.). Το κόστος αυτό προέκυψε από την λήψη οικονομικών προσφορών μεταξύ διαφόρων ηλεκτρολόγων εγκαταστατών τόσο από την περιοχή του Πύργου όσο και από την περιοχή της Πάτρας. Απαραίτητη προϋπόθεση ήταν για την αξιολόγηση των οικονομικών προσφορών ήταν η αποδεδειγμένη εμπειρία σε παρόμοια έργα αυτόνομων φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων, η αξιοπιστία, η γραπτή εγγύησης καλής λειτουργίας και σαφώς η οικονομικότερη προσφορά. Η προσφορά που συνδύαζε όλες τις παραπάνω απαιτήσεις πραγματοποιήθηκε από ηλεκτρολόγο εγκαταστάτη της περιοχής του Πύργου και ανέρχεται στο ποσό των 2000 ευρώ (άνευ ΦΠΑ) εκδίδοντας αντίστοιχο τιμολόγιο παροχής υπηρεσιών. Συνεπώς:

Κόστος εγκατάστασης ηλεκτρολογικού εξοπλισμού: 2000 ευρώ.

γ) Κόστος μεταφοράς εξοπλισμού

Το κόστος αυτό περιλαμβάνει το κόστος της μεταφοράς όλου του απαιτούμενου εξοπλισμού στη θέση του αναψυκτηρίου στο Κατάκολο Ηλείας. Σε συνεννόηση με τους εκάστοτε προμηθευτές, μόνο αυτοί των φ/β πλαισίων και των συσσωρευτών, λόγω του μεγάλου όγκου τους, απαιτούν το κόστος αυτό να επιβαρύνει τον πελάτη. Τα επιμέρους αυτά κόστη, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3-2	
Κόστος μεταφοράς ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	
Είδος	Μερικό κόστος
Κόστος μεταφοράς φ/β πλαισίων	400 ευρώ
Κόστος μεταφοράς συσσωρευτών	50 ευρώ
Κόστος μεταφοράς λοιπού ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	
Γενικό σύνολο:	450 ευρώ

Όσον αφορά το υλικό της ηλεκτρολογικής εγκατάστασης, ο ηλεκτρολόγος εγκαταστάτης ανάλαβε ο ίδιος να προμηθευτεί και να μεταφέρει στον τόπο του έργου τα υλικά χωρίς κάποια επιπλέον οικονομική επιβάρυνση.

δ) Κόστος μηχανολογικών επεμβάσεων στο σκελετό του αναψυκτηρίου

Όπως αναφέραμε στην αρχή του δεύτερου κεφαλαίου, το αναψυκτήριο που μελετάμε στην παρούσα εργασία στεγάζεται σε έναν μεταλλικό σκελετό. Ο μεταλλικός αυτός οικίσκος δεν είχε προβλεφθεί από την αρχή στο να υποστηρίξει μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση, για το λόγω αυτό κρίθηκε σκόπιμο να πραγματοποιηθούν κάποιες παρεμβάσεις στην κατασκευή του. Οι παρεμβάσεις αυτές αφορούν τόσο τη μορφοποίηση της οροφής προκειμένου να στηριχθούν τα φ/β πλαίσια, όσο και την ενίσχυση των δοκών στήριξης για να παραλάβουν το επιπλέον φορτίο.

Κατόπιν επισκέψεων στο χώρο του έργου πεπειραμένων σιδεράδων και εξηγώντας τους τις απαιτήσεις του έργου, το κόστος των αναγκαίων παρεμβάσεων που προτάθηκε από αυτούς ανέρχεται στο ποσό των 1200 ευρώ (άνευ ΦΠΑ). Το κόστος αυτό περιλαμβάνει το

κόστος προμήθειας, μεταφοράς και εγκατάστασης των υλικών για την ενίσχυση του υπάρχοντος μεταλλικού σκελετού.

Συνεπώς:

Κόστος μηχανολογικών επεμβάσεων στο σκελετό του αναψυκτηρίου: 1200 ευρώ.

ε) Γενικά κόστη, απρόοπτα

Τα γενικά κόστη περιλαμβάνουν τυχών απρόοπτα και παραλείψεις που μπορεί να προκύψουν κατά την διάρκεια υλοποίησης του έργου. Επειδή είναι σχεδόν αδύνατο να προβλεφθεί με ακρίβεια 100% το κόστος ενός τέτοιου έργου, λαμβάνουμε ένα ποσό γενικού κόστους της τάξης του 10% στο συνολικό υπολογισθέν υλικοτεχνικό κόστος.

Συνεπώς:

Γενικά κόστη, απρόοπτα: $10\% \times (15597,63+2000+450+1200) = 1924,76$ ευρώ.

στ) Κόστος ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους για εφεδρεία

Όπως αναφέραμε και στην αρχή του δεύτερου κεφαλαίου, το εν λόγω αναψυκτήριο θα δουλεύει εποχιακά, τους καλοκαιρινούς μήνες, σε εικοσιτετράωρη βάση. Επειδή η διακοπή της λειτουργίας του για οποιοδήποτε λόγο θα είναι ζημιογόνα για την επιχείρηση, προβλέπεται η αγορά μιας ηλεκτρογεννήτριας η οποία θα καλύπτει τη συνολική απαίτηση σε ηλεκτρική ισχύ του αναψυκτηρίου. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των συσκευών υπολογίστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο και ανέρχεται στα 4,055KW. Συνεπώς επιλέγουμε ηλεκτρογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 5,5KW της εταιρείας Loncin (μοντέλο LC6500DDC, diesel). Περισσότερα σχετικά με τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη αναφέρονται στην παράγραφο 4.4. του επόμενου κεφαλαίου.

Συνεπώς:

Κόστος ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους για εφεδρεία: 500 ευρώ

Από την προηγούμενη ανάλυση, προκύπτει ότι το συνολικό κόστος για την πραγματοποίηση του έργου της τροφοδότησης του υπαίθριου αναψυκτηρίου με το αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία είναι:

Π Ι Ν Α Κ Α Σ 3-3	
Συνολικό κόστος αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδότηση του υπαίθριου αναψυκτηρίου	
Είδος επιμέρους κόστους	Μερικό κόστος (ευρώ)
Κόστος ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	15597,63
Κόστος εγκατάστασης ηλεκτρολογικού εξοπλισμού	2000
Κόστος μεταφοράς εξοπλισμού	450
Κόστος μηχανολογικών επεμβάσεων στο σκελετό του αναψυκτηρίου	1200
Γενικά κόστη, απρόοπτα	1924,76
Κόστος ηλεκτροπαραγωγού ζεύγους για εφεδρεία	500
Γενικό σύνολο:	21672,39 ευρώ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

4.1. Τα βασικά ερωτήματα

Για τη λήψη των αποφάσεων που θα οδηγήσουν και θα εξασφαλίσουν την ορθολογική πραγματοποίηση οποιουδήποτε σημαντικού τεχνικού έργου, επομένως και ενός αυτόνομου φ/β συστήματος, αναζητούμε τις θεμελιωμένες απαντήσεις σε ορισμένα βασικά ερωτήματα. Στη γενικότερη περίπτωση, θα πρέπει να πεισθούμε γιατί θα κάνουμε το έργο, πώς και με τί μέσα. Ειδικότερα, στην περίπτωση του αυτόνομου φ/β συστήματος, τα παραπάνω ερωτήματα και απαντήσεις τους παίρνουν την εξής μορφή:

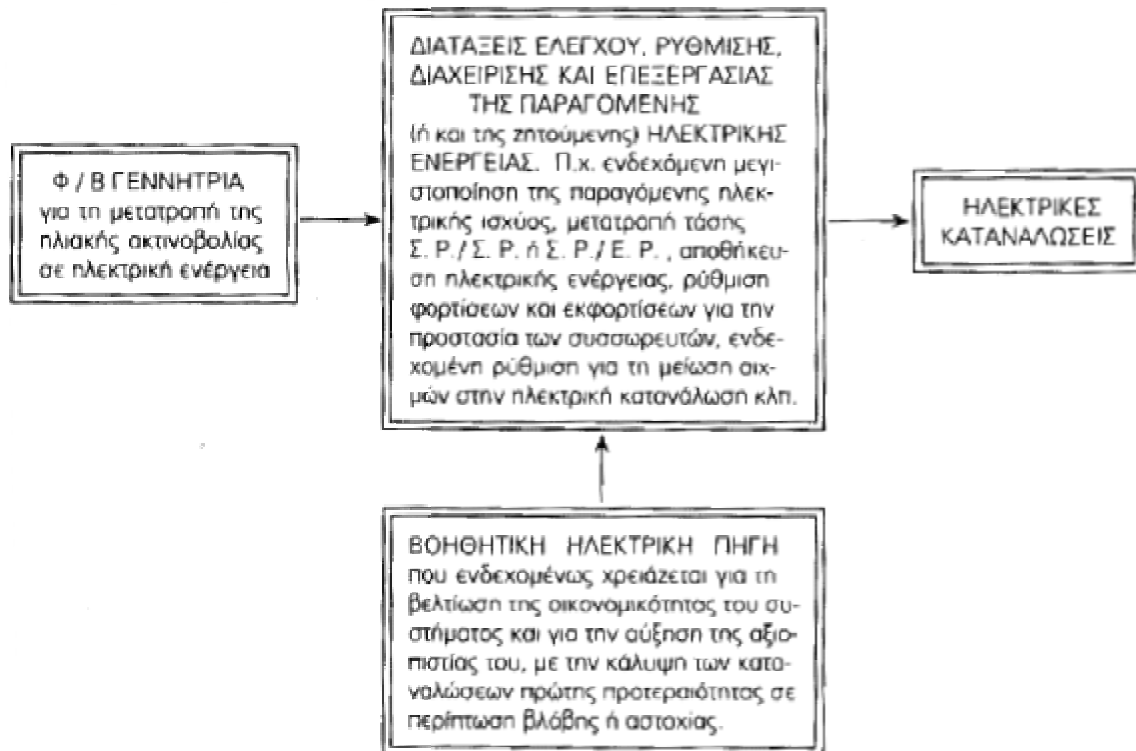
α) Ποιός είναι ο στόχος του συστήματος; Ξεκινάμε με τη διατύπωση του προβλήματος. Δηλαδή καταγράφουμε τις ηλεκτρικές ανάγκες που ζητάμε να ικανοποιήσει το σύστημα, την απαιτούμενη αξιοπιστία και αυτοδυναμία σε σχέση με τις τοπικές συνθήκες και τα κλιματολογικά δεδομένα. Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας, ο στόχος του φ/β συστήματος ήταν η κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών ενός υπαίθριου αναψυκτηρίου στην περιοχή του Κατάκολου Ηλείας.

β) Πώς θα πραγματοποιηθεί ο στόχος του συστήματος; Αναζητούμε τη βέλτιστη τεχνικά και οικονομικά λύση του προβλήματος, καθορίζουμε τα βασικά μεγέθη του συστήματος και συγκρίνουμε εναλλακτικές λύσεις. Για την πραγματοποίηση του στόχου της παρούσας εργασίας, χρησιμοποιήσαμε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα, το οποίο θέλουμε να καλύψει τις ενεργειακές απαιτήσεις του αναψυκτηρίου. Η καταγραφή των ηλεκτρικών αναγκών του αναψυκτηρίου μας οδήγησε στη συνολική ισχύ των 4055W με ημερήσια απαίτηση ενέργειας τις 27,61 KWh. Για την κάλυψη των ηλεκτρικών αυτών αναγκών, υπολογίσαμε ότι απαιτούνται 39 φωτοβολταϊκά πλαίσια των 255W, 12 συσσωρευτές των 125Ah, ένας inverter 5000KW/48V και 2 ελεγκτές φόρτισης. Λόγω των καλοκαιρινών μηνών λειτουργίας του αναψυκτηρίου, για την αξιόπιστη λειτουργία του θεωρήσαμε μόνο μια ημέρα αυτονομίας.

γ) Ποιά θα είναι τα κατασκευαστικά μέρη του συστήματος; Ύστερα από έρευνα στην αγορά και έλεγχο των προσφορών, συντάσσουμε τις ποσοτικές και ποιοτικές προδιαγραφές του εξοπλισμού και ετοιμάζουμε λεπτομερειακά σχέδια της εγκατάστασης. Επίσης, διατυπώνονται οι όροι για την προμήθεια του εξοπλισμού και την εκτέλεση των κατασκευών. Επίσης υπό μορφή εγγυήσεων, θα πρέπει να προβλεφθούν οι όροι για τη περίπτωση που δεν ανταποκριθεί ο εξοπλισμός στις προδιαγραφές ή δεν τηρηθούν οι συμφωνίες.

4.2. Διερεύνηση της λύσης του αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

Στην παράγραφο αυτή θα επαναλάβουμε με περισσότερες λεπτομέρειες και πρακτικές υποδείξεις και θα επιδιώξουμε να δώσουμε αφορμές για πρόσθετους δημιουργικούς προβληματισμούς σε ένα αυτόνομο φ/β σύστημα. Συχνά, ένα αυτόνομο φ/β σύστημα συμπληρώνεται με μια βοηθητική ηλεκτρική πηγή ενέργειας για την αύξηση της αξιοπιστίας και την αντιμετώπιση ακραίων καταστάσεων όπως μια ασυνήθιστη διαρκής χαμηλή ηλιακή ακτινοβολία, παρατεταμένη συννεφιά ή περιστασιακά υψηλότερη ηλεκτρική κατανάλωση. Επομένως, το γενικό διάγραμμα ενός αυτόνομου φ/β συστήματος μπορεί να πάρει τη μορφή του παρακάτω σχήματος.



Σχ. 4-1

Προτού ξεκινήσουμε τους αρχικούς υπολογισμούς της μελέτης, θα πρέπει προηγουμένως να έχουμε εξαντλήσει το περιθώριο δυνατότητας εξοικονόμησης ενέργειας στις ηλεκτρικές καταναλώσεις που θα χρησιμοποιήσουμε. Τα ζητούμενα μεγέθη στην προκαταρκτική μελέτη είναι κυρίως το πλήθος και ο τύπος των φ/β πλαισίων, η χωρητικότητα των συσσωρευτών, το μέγεθος των διατάξεων ελέγχου, και η εκτίμηση του κόστους της εγκατάστασης. Τα αναγκαία ελάχιστα στοιχεία και δεδομένα για τον προκαταρκτικό σχεδιασμό του συστήματος αφορούν τους εξής τομείς:

- Στις ηλεκτρικές καταναλώσεις του συστήματος και στο βαθμό αξιοπιστίας για την κάλυψή τους.
- Στην ηλιακή ακτινοβολία και στις γενικές κλιματικές συνθήκες της τοποθεσίας εγκατάστασης.
- Στο κόστος προμήθειας και λειτουργίας των επιμέρους τμημάτων του συστήματος.

Έτσι, θα πρέπει να αναζητηθούν και να αξιολογηθούν με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια πληροφορίες και εκτιμήσεις που απαντούν σε ερωτήματα σχετικά με την εξεταζόμενη

ηλεκτροδότηση ή γενικότερα σχετικά με την περιοχή εγκατάστασης του συστήματος. Ειδικότερα, για τα στοιχεία των τριών τομέων που αναφέραμε προηγουμένως, τα ερωτήματα που διατυπώνονται στοχεύουν σε πληροφορίες όπως:

- Η μέση ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση στις διάφορες εποχές του έτους
- Οι αιχμές ισχύος στη ζήτηση
- Οι μελλοντικές ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύος
- Η απαιτούμενη αξιοπιστία στη λειτουργία του συστήματος
- Η μέση ενέργεια τις ηλιακής ακτινοβολίας (για διάφορες κλίσεις του συλλέκτη) και η μέση θερμοκρασία στις φωτεινές ώρες της ημέρας, για τις διάφορες εποχές του έτους.
- Οι τοπικές κλιματικές συνθήκες και κυρίως το πιθανό διάστημα των περιόδων με συνεχείς ημέρες νέφωσης, προκειμένου να καθοριστεί η αναγκαία αυτοδυναμία.
- Η θέση, η διαμόρφωση και οι ιδιομορφίες του χώρου της φ/β εγκατάστασης και τις ευρύτερης περιοχής
- Η διαθεσιμότητα στην αγορά και το κόστος τόσο του εξοπλισμού του φ/β συστήματος, όσο και των κτιριακών επεμβάσεων.
- Η διάρκεια ζωής και οι ετήσιες δαπάνες συντήρησης του εξοπλισμού του συστήματος, λαμβάνοντας υπόψη και την ανάγκη μετάβασης τεχνικών σε περίπτωση βλάβης.

4.3. Βλάβες του φ/β συστήματος

Οι βλάβες και οι αστοχίες στη λειτουργία ενός αυτόνομου φ/β συστήματος έχουν συνήθως προέλευση της εξής μορφής:

α) Φυσικά αίτια: π.χ. ασυνήθιστα μεγάλη διάρκεια ημερών με συννεφιά, βλάβες από πτώση κεραυνών, βλάβες στους συσσωρευτές υπό την επίδραση πολύ χαμηλών θερμοκρασιών κ.α..

β) Κακός σχεδιασμός του συστήματος: π.χ. μικρότερη μέση ισχύς ηλιακής ακτινοβολίας από όση αρχικά είχε προβλεφθεί, μεγαλύτερη ηλεκτρική κατανάλωση από όση είχε προβλεφθεί, μεγαλύτερες περίοδοι διακοπής λειτουργίας κ.α.. Ο σχεδιασμός της φ/β εγκατάστασης μπορεί παρόλα αυτά να βελτιωθεί εκ των υστέρων, προσθέτοντας ανάλογα πλαίσια, συσσωρευτές κλπ.

γ) Βλάβες εξοπλισμού: π.χ. διακοπή κυκλώματος στα φ/β πλαίσια, βλάβες στις ηλεκτρονικές διατάξεις, φθορά συσσωρευτών. Η πιθανότητα εκδήλωσης βλαβών μπορεί να μειωθεί σημαντικά με την προσεκτική προληπτική συντήρηση του εξοπλισμού.

4.4. Εναλλακτική λύση - Ηλεκτροπαραγωγή Ζεύγη (H/Z)

Ανεξάρτητα από τα περιβαλλοντικά και άλλα πλεονεκτήματα, η απόφαση για την επιλογή της φ/β ενέργειας για την αντιμετώπιση μιας ηλεκτροδότησης προφανώς δεν θα πρέπει καθόλου να αγνοεί την οικονομική αξιολόγηση της πρότασης και τη σύγκριση με άλλες εφικτές λύσεις. Ειδικότερα, η ηλεκτροδότηση καταναλώσεων μικρής ή σχετικά μέτριας ισχύος, όπως η περίπτωση του υπαίθριου αναψυκτηρίου της παρούσας εργασίας, πέρα από την σύνδεσή της απευθείας με το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο, μπορεί να πραγματοποιηθεί και ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη (H/Z).

Τα ηλεκτροπαραγωγή ζεύγη ή ηλεκτρογεννήτριες χρησιμοποιούνται ως εφεδρική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε περίπτωση διακοπής ηλεκτροδότησης του δικτύου ΔΕΗ

ή ακόμα και ως κύρια πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε περίπτωση μη ύπαρξης δικτύου ΔΕΗ ή ανεπάρκειας αυτού.

Η χρήση τους είναι αναγκαία όταν θέλουμε να εξασφαλίσουμε την απρόσκοπτη και συνεχή λειτουργία κρίσιμων εγκαταστάσεων σε 24ωρη βάση (π.χ. ψυκτικών θαλάμων, χειρουργείων, παραγωγικών διαδικασιών, αντλιοστασίων κλπ) έναντι διακοπών ηλεκτροδότησης από την κύρια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΕΗ). Η ισχύς τους ξεκινάει από τα 900 VA και φτάνει έως και τα 3000 KVA. Λειτουργούν με καύσιμο πετρέλαιο, ενώ για μικρές ισχύς (μέχρι 100KW) χρησιμοποιούν βενζινοκινητήρες. Στην περίπτωση του υπαίθριου αναψυκτηρίου, το H/Z θα μπορούσε να υποκαταστήσει ολοκληρωτικά τα φ/β ή να χρησιμοποιηθεί ως συμπληρωματική παροχή ενέργειας σε ειδικές περιπτώσεις όπως βλάβη της φ/β εγκατάστασης ή παρατεταμένη συννεφιά. Ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος αποτελείται από:

- κινητήρα
- γεννήτρια
- σύστημα ψύξης
- σύστημα εκκίνησης (μίζα) με συσσωρευτή (μπαταρία) και διάταξη φόρτισης
- πίνακα αυτοματισμού και ελέγχου
- δεξαμενή καυσίμου
- βάση έδρασης

Τα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη (H/Z) διακρίνονται ανάλογα:

- με την τάση εξόδου: σε μονοφασικά και τριφασικά.
- με το σύστημα ψύξης: σε αερόψυκτα και υδρόψυκτα.
- με το είδος κινητήρα: σε πετρελαιοκίνητα και βενζινοκίνητα.
- με το κέλυφος σε: ανοιχτού τύπου (τοποθετούνται μόνο σε εσωτερικό χώρο) και με ηχομονωτικό κάλυμμα (τοποθετούνται σε εσωτερικό χώρο ή και στην ύπαιθρο).
- με τον αυτοματισμό εκκίνησης: σε χειροκίνητης λειτουργίας και αυτόματης λειτουργίας.
- με την βάση έδρασης σε: σταθερά και τροχήλατα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1] "Φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις" - Σταμάτης Πέρδιος - Β' Έκδοση
- 2] "Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία" - Κ. Καγκαράκη - Αθήνα 1992
- 3] "Οδηγός μελέτης και υλοποίησης φωτοβολταϊκών έργων", ΤΕΕ Τμήμα Κεντρικής Μακεδονίας, Θεσσαλονίκη 2011
- 4] <http://www.koubarakis.gr/el/articles/196>
- 5] <http://www.erdgas.gr>
- 6] <http://physics.teiath.gr/physics/pdf/H2.pdf>
- 7] <http://www.livopedia.gr/index.php/%CE%97%CE%BC%CE%B9%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%BF%CE%AF>
- 8] "Οδηγίες για την εγκατάσταση Φ/Β Συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις" - Ελληνική Δημοκρατία - Υπουργείο Ανάπτυξης Γεν. Γραμματείας & Τεχνολογίας - Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ) - Αυγ. 2009
- 9] <http://siokos.com.gr/365-mod-cl-365-vgc.html>
- 10] <http://www.frigohellas.gr/ugur-udd7sce-epaggelmatika-psugeia-katapsuktes-pagwtou-xwritikotitas-7-lekanakia-1327x516x1018mm#.U-3lKU3Rq70>
- 11] <http://www.ready.gr/gr/product/egd-10>
- 12] <http://www.prasopouloshomeart.gr/product.php?id=1577>
- 13] <http://www.prasopouloshomeart.gr/product.php?id=1284>
- 14] <http://www.cocoon.gr/solar-panels-bosch.html>
- 15] <http://www.eshops.gr/125ah-c20-semi-traction.html>
- 16] <http://www.karaferis.gr>
- 17] http://www.e-max.gr/photovoltaic-systems-batteries/charge-controllers/steca-power-tarom-_14404.php
- 18] <http://drivetechgr.blogspot.gr/2010/02/inverters.html>
- 19] <http://www.victronenergy.gr/upload/documents/Datasheet-Phoenix-Inverter-1200VA-5000VA-EN.pdf>
- 20] "Εγχειρίδιο εφαρμογής του προτύπου ΕΛΟΤ HD 384", ΕΛΟΤ , Αθήνα 2004
- 21] "Photovoltaics in buildings. Guide to the installation", DTI 206

22] http://www.nexans.gr/Greece/2011/ENERGYFLEX%20BROCH%20GR_2011_1.pdf

23] <http://www.e-shop.com.gr/125ah-c20-semi-traction.html>

24] <http://www.fotovoltaika.gr/solar-energy-shop/index.php/victron-multiplus-48-5000-70-50.html>

25] "Μέθοδοι και προβλήματα προκοστολόγησης και παρακολούθησης του πραγματικού κόστους τεχνικών έργων. Εφαρμογή στα ελληνικά τεχνικά έργα", Διπλωματική εργασία, Αλέξανδρος Γίτσης, Ε.Μ.Π., Αθήνα 2011

26] <http://e-damianakis.gr/category-3.html>

27] <http://www.kouvidis.gr>

28] <http://www.tmltd.gr/electrical/generators.htm>

29] http://www.noratex.gr/newpdfgr/SIBA_ONLY.pdf

30] <http://www.ergo-tel.gr>

31] http://www.pump.co.uk/downloads/data_sheets/EN6500.pdf