



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Οικονομοτεχνική Διαστασιολόγηση Αυτόνομου**  
**Φωτοβολταϊκού Συστήματος για την Τροφοδότηση**  
**Ηλεκτρικής Ενέργειας ενός Κτιρίου**

**Γεώργιος Κωνσταντινίδης**  
**A.M. 2011030075**

**Χανιά, 2017**

## **ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

### **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Οικονομοτεχνική Διαστασιολόγηση Αυτόνομου  
Φωτοβολταϊκού Συστήματος για την Τροφοδότηση  
Ηλεκτρικής Ενέργειας ενός Κτιρίου**

#### **ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ**

Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος

Τζινευράκης Αντώνιος

Κουτρούλης Ευύχιος

Καθηγητής

Δρ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός

Αναπληρωτής Καθηγητής

Γεώργιος Κωνσταντινίδης

A.M. 2011030075

**Χανιά, 2017**

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Καλαϊτζάκη Κωνσταντίνο για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας και για τις συμβουλές που μου παρείχε για την εκπόνησή της.

Επίσης ευχαριστώ θερμά τον κ. Τζινευράκη Αντώνιο για τον χρόνο που διάθεσε και την υποστήριξη που μου παρείχε σε όλο το χρονικό διάστημα που απαιτήθηκε για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Κουτρούλη Ευύχιο που συμμετείχε στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Ολοκληρώνοντας, δεν θα μπορούσα να παραβλέψω φυσικά την ίδια μου την οικογένεια, η οποία στεκόταν πάντα δίπλα μου, διακριτικά, σε όλη τη διάρκεια και αυτής της προσπάθειάς. Ήταν οι άνθρωποι που με την αγάπη τους, την υπομονή τους και τη διαρκή υποστήριξή τους έκαναν τις δύσκολες στιγμές να μοιάζουν ευκολότερες.

## Περίληψη

**Εισαγωγή:** Η αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων αποτελεί μια αξιόπιστη, φιλική προς το περιβάλλον, εναλλακτική πρόταση για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

**Σκοπός:** Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η εφαρμογή ενός προγράμματος που υπολογίζει την οικονομοτεχνική διαστασιολόγηση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος για την τροφοδότηση με ηλεκτρική ενέργεια ενός κτίριου.

**Μεθοδολογία:** Στο πρόγραμμα που αναπτύχθηκε εισάγονται δεδομένα που αναφέρονται στο είδος της κατοικίας, την επιλογή των συσκευών που χρησιμοποιούνται, καθώς και σε άλλους παράγοντες για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας, του ταυτοχρονισμού φορτίου και της ελάχιστης χωρητικότητας των μπαταριών του συστήματος. Επίσης μέσω του προγράμματος γίνεται η επιλογή των κύριων υλικών του συστήματος, προκειμένου να υπολογιστεί το συνολικό κόστος της εγκατάστασης.

**Αποτελέσματα:** Το πρόγραμμα εξάγει ένα pdf αρχείο στο οποίο αναγράφονται αναλυτικά οι παράμετροι που αναφέρθηκαν προηγουμένως, τα επιλεγμένα υλικά και το συνολικό κόστος εγκατάστασης, χωρίς να περιλαμβάνει την εκτίμηση των καλωδίων, άλλων παρελκόμενων και κόστος εργασίας. Το πρόγραμμα δεν εξετάζει παραμέτρους που σχετίζονται με θέματα σκίασης, χωροθέτησης και ζωνών δουλείας.

**Συμπέρασμα:** Το πρόγραμμα αποτελεί ένα αξιόπιστο εργαλείο για τη διευκόλυνση του υπολογισμού του κόστους για τους εγκαταστάτες αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων, καθώς και την αναλυτική παρουσίασή τους σε πιθανούς επενδυτές. Περαιτέρω βελτίωση μπορεί να περιλαμβάνει αρκετές άλλες παραμέτρους για την πλήρη αξιοποίηση του.

## Abstract

**Introduction:** Solar radiation exploitation by means of photovoltaic systems consists a reliable, environmental friendly and alternative solution for the production of electricity.

**Aim:** This dissertation aimed to develop and implement the software which evaluates the techno-economic sizing of an autonomous photovoltaic system supplying electricity to a building.

**Methods:** Data related to the type of dwelling, use of devices as well as other factors are entered to the program for the calculation of the mean daily energy consumption, load concurrency and the minimum battery capacity of the system. In addition, this program provides for the selection of the main system materials in order to calculate the total installation cost.

**Results:** The software generates a pdf file where details, regarding the factors presented above, including the selected materials and the total installation cost, excluding cables, other accessories and human production cost, are presented. The software doesn't evaluate factors related to shading, placement και restriction zones.

**Conclusion:** This program is a reliable tool for the evaluation of the total photovoltaic system installation cost, which can be further used by the producers for a detailed presentation of the system to potential investors. Future improvement of the software may incorporate more factors as well, for complete exploitation.

Πίνακας Περιεχομένων	Σελ.
Ευχαριστίες.....	3
Περίληψη.....	4
Abstract.....	5
Σχήματα, πίνακες, εικόνες.....	8

## Κεφάλαιο Πρώτο

### Εισαγωγή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και τη χρήση των φωτοβολταϊκών (Φ/Β) συστημάτων

1.1	Εισαγωγή.....	9
1.2	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	9
1.3	Ηλιακή ενέργεια και αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας.....	11
1.4	Αρχή λειτουργίας Φ/Β συστημάτων.....	15
1.5	Τα βασικά μέρη ενός τυπικού Φ/Β συστήματος.....	17
1.5.1	Φ/Β πλαίσιο.....	17
1.5.2	Αντιστροφέας.....	22
1.5.3	Ρυθμιστής φόρτισης.....	25
1.5.4	Μπαταρία (συσσωρευτές).....	27
1.6	Κατάταξη Φ/Β συστημάτων.....	32
1.6.1	Σε σχέση με τη χρήση του παραγόμενου ρεύματος.....	32
1.6.2	Σε σχέση με τον τρόπο σύνδεσης των Φ/Β πάνελ.....	34
1.7	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Φ/Β συστημάτων.....	35
1.8	Το μέλλον των Φ/Β συστημάτων.....	37

## Κεφάλαιο Δεύτερο

### Σχεδιασμός εφαρμογής ενός Φ/Β συστήματος – Η αρχική μελέτη

2.1	Η εκτίμηση των παραγόντων για την εφαρμογή ενός Φ/Β συστήματος...	38
2.1.1	Επιθεώρηση χώρου εγκατάστασης.....	38
2.1.2	Οι ανάγκες του πελάτη.....	39
2.1.3	Κλιματικές συνθήκες.....	40
2.1.4	Σκίαση.....	41
2.1.5	Προσανατολισμός και κλίση της διάταξης.....	45

2.1.6	Μέθοδοι στήριξης Φ/Β πλαισίων.....	47
2.1.7	Χωροθέτηση.....	52
2.1.8	Καταγραφή φορτίου.....	52
2.1.9	Απόδοση συστήματος.....	52

### **Κεφάλαιο Τρίτο**

#### **Η παρουσίαση λειτουργίας του προγράμματος**

3.1	Απεικόνιση της λειτουργίας του προγράμματος.....	54
-----	--	----

### **Κεφάλαιο Τέταρτο**

#### **Συμπεράσματα – Προτάσεις**

4.1	Συμπεράσματα.....	83
4.2	Προτάσεις.....	84

<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>85</b>
--------------------------	-----------

**Πίνακες/Σχήματα/Εικόνες****Σελ.**

Σχήμα 1.1	Χάρτης του μέσου όρου της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας της Ελλάδας, των χρονολογιών 2004-2010	10
Σχήμα 1.2	Παράδειγμα παθητικού συστήματος	13
Σχήμα 1.3	Παράδειγμα ενεργητικού συστήματος.	14
Σχήμα 1.4	Επαφή ημιαγωγού τύπου p και ημιαγωγού τύπου n	16
Σχήμα 1.5	Μηχανισμός εκδήλωσης φωτοβολταϊκού φαινομένου σε Φ/Β στοιχείο	17
Πίνακας 1.1	Σύνοψη απόδοσης Φ/Β τεχνολογιών	20
Σχήμα 1.6	Παράδειγμα αντιστροφέα	22
Σχήμα 1.7	Συνδεσμολογίας αντιστροφέα.	23
Σχήμα 1.8	Συνδεσμολογίας αντιστροφέα με γεννήτρια.	23
Σχήμα 1.9	Συνδεσμολογίας αντιστροφέα/φορτιστή με γεννήτρια.	24
Σχήμα 1.10	Συνδεσμολογία ρυθμιστών φόρτισης	26
Σχήμα 1.11	Παράδειγμα αυτόνομου Φ/Β συστήματος	32
Σχήμα 1.12	Παράδειγμα διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματα συστήματος	33
Σχήμα 1.13	Παράδειγμα υβριδικού Φ/Β συστήματα συστήματος	33
Σχήμα 1.14	Διάγραμμα DC διασύνδεσης ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος	34
Σχήμα 1.15	Διάγραμμα AC διασύνδεσης ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος	35
Σχήμα 2.1	Ένωση φωτοβολταϊκών πλαισίων σε περίπτωση μερικής σκίασης.	42
Σχήμα 2.2	Κατάλληλος προσανατολισμός των Φ/Β πλαισίων	43
Σχήμα 2.3	Η τροχιά του ήλιου κατά τη διάρκεια του χρόνου	45
Πίνακας 2.1α	Αποδόσεις ανάλογα τον προσανατολισμό και την κλίση του Φ/Β πλαισίου στην Ελλάδα (α)	46
Πίνακας 2.1β	Αποδόσεις ανάλογα τον προσανατολισμό και την κλίση του Φ/Β πλαισίου στην Ελλάδα (β)	46
Εικόνα 2.1	Ενσωματωμένο Φ/Β σε οροφή κτιρίου	47
Εικόνα 2.2	Ενσωματωμένο Φ/Β σε πρόσοψη κτιρίου	47
Εικόνα 2.3	Ενσωματωμένο Φ/Β ως σκίαστρο κτιρίου	48
Εικόνα 2.4	Στήριξη Φ/Β σε ράγες	48
Εικόνα 2.5	Στήριξη Φ/Β σε βάση	49
Εικόνα 2.6	Στήριξη Φ/Β στο έδαφος	50
Εικόνα 2.7	Ιχνηλάτηση του ήλιου σε ένα άξονα	51
Εικόνα 2.8	Ιχνηλάτηση του ήλιου σε δυο άξονες	51
Πίνακας 2.3	Ενδεικτικές τιμές ενεργειακής κατανάλωσης.	53
Εικόνες 3.*	Απεικόνιση του προγράμματος	





## Κεφάλαιο Πρώτο

# Εισαγωγή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στις βασικές αρχές λειτουργίας φωτοβολταϊκών συστημάτων

### 1.1 Εισαγωγή

Η σύγχρονη εποχή χαρακτηρίζεται από τεράστια περιβαλλοντικά προβλήματα όπως η περιβαλλοντική ρύπανση, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, η κλιματική αλλαγή και από την εξ' ολοκλήρου πλέον εξάρτηση της κοινωνίας από την παραγωγή και χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας. Αίτια των φαινομένων αυτών είναι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, που προκύπτουν από την υπερεκμετάλλευση του πετρελαίου και άλλων ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, σε συνδυασμό με τη ραγδαία αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού και τη μείωση των αποθεμάτων των συμβατικών αυτών καυσίμων.<sup>[1]</sup>

Η πυρηνική ενέργεια, μια νέα μορφή ενέργειας που εμφανίστηκε τον 20ο αιώνα φάνηκε ότι θα έδινε λύσεις στο ενεργειακό πρόβλημα. Δυστυχώς όμως, κάτι τέτοιο όμως δεν έγινε. Δύο από τους σημαντικότερους παράγοντες που εμπόδισαν την αποδοχή της πυρηνικής ενέργειας ήταν οι επιπτώσεις στο περιβάλλον σε περίπτωση ατυχήματος και τα απόβλητα των σταθμών τα οποία εξακολουθούν να είναι ενεργά για μεγάλο χρονικό διάστημα και να απαιτούν ειδικές συνθήκες για τη φύλαξη τους.<sup>[2]</sup>

Απόρροια των γεγονότων αυτών, τα τελευταία χρόνια ήταν η επιτακτική ανάγκη της ανθρωπότητας να στραφεί σε εναλλακτικές μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, γνωστές ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) όπως ο άνεμος, η βιομάζα, το νερό και ο ήλιος, οι οποίες είναι ανεξάντλητες και εντελώς φιλικές προς το περιβάλλον.<sup>[3]</sup>

### 1.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι κύριες μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι οι ακόλουθες:

- Αιολική ενέργεια
- Ηλιακή ενέργεια
- Υδραυλική ενέργεια
- Βιομάζα
- Γεωθερμική ενέργεια
- Κυματική ενέργεια
- Ενέργεια από τους ωκεανούς.<sup>[4]</sup>

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ είναι: [4], [5]

- Πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- Ανεξάντλητες, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- Συμβάλλουν στην ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών και αποτελούν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
- Αποτελούν ευέλικτες εφαρμογές, που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο), αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
- Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει πολύ μεγάλο χρόνο ζωής.
- Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

Όμως παρατηρούνται και μειονεκτήματα από την εφαρμογή τους που περιγράφονται παρακάτω:

- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια της γης.
- Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους, αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.
- Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω από το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Για την εκμετάλλευση των παραπάνω ήπιων μορφών ενέργειας έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμες τεχνολογίες. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζεται η ηλιακή ενέργεια, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των φωτοβολταϊκών (Φ/Β) στοιχείων.

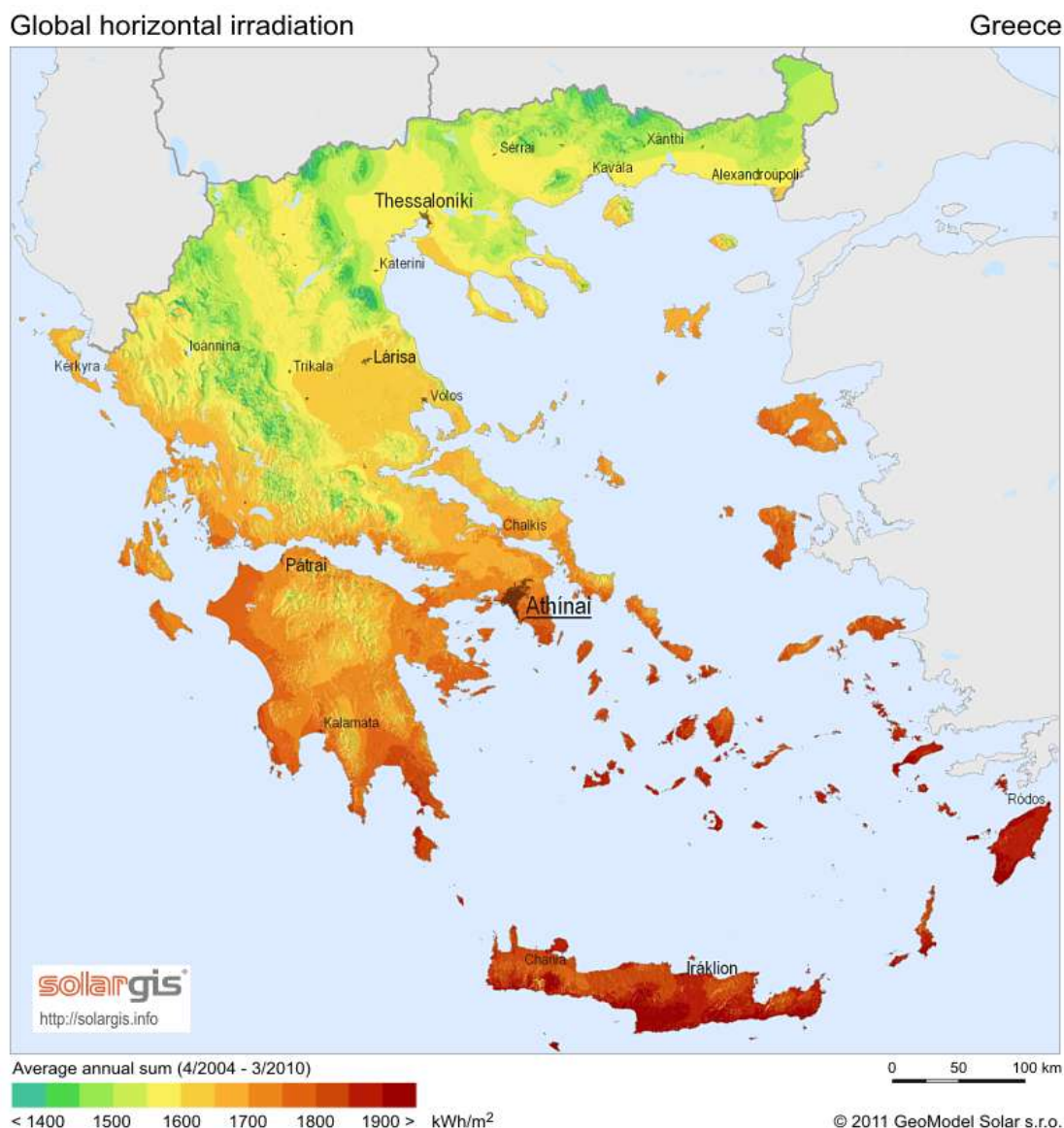
### 1.3 Ηλιακή ενέργεια και αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη μορφή ενέργειας που είναι φιλική προς το περιβάλλον και είναι πρακτικά ανεξάντλητη αφού προέρχεται από τον ήλιο. Η ενέργεια που δέχεται η γη από τον ήλιο κατά τη διάρκεια ενός έτους, υπολογίζεται σε διπλάσια από την ενέργεια που θα προσέφερε το σύνολο του ορυκτού πλούτου του πλανήτη. Από την συνολική ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της γης, συνήθως λιγότερο από το 60% είναι άμεση, ενώ η υπόλοιπη είναι διάχυτη, διότι έχει προηγουμένως σκεδαστεί και ανακλαστεί στα διάφορα σωματίδια και σταγονίδια που αιωρούνται στον αέρα, ανάλογα βέβαια με τη σύσταση της ατμόσφαιρας και το μήκος της διαδρομής της ακτινοβολίας. Το 30% περίπου της απορροφημένης από το σύστημα ατμόσφαιρα – γη ηλιακής ενέργειας καταναλώνεται για την εξάτμιση των επιφανειακών υδάτων του πλανήτη στην ατμόσφαιρα. Το 20% περίπου μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια του αέρα (άνεμος) και ένα πολύ μικρό ποσοστό της τάξης του 1% συμμετέχει στη φωτοσύνθεση. Η υπόλοιπη ενέργεια θερμαίνει τον πλανήτη και επανεκπέμπεται στο διάστημα.<sup>[6]</sup>

Η ηλιακή ακτινοβολία εξαρτάται από τη γεωγραφική θέση και το υψόμετρο της τοποθεσίας. Η τελική ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης διαφέρει σημαντικά ανάλογα με τις εκάστοτε μετεωρολογικές συνθήκες, την περιεκτικότητα της υγρασίας στην ατμόσφαιρα και κυρίως της θέσης του ήλιου στον ουρανό.

Η ατμόσφαιρα της γης, μειώνει σημαντικά την ακτινοβολία με τους μηχανισμούς της ανάκλασης, απορρόφησης (από το όζον, τους υδρατμούς, το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα) και σκέδασης (από τα μόρια αέρα, σκόνης ή ρύπους). Όταν η ηλιακή ακτινοβολία αθροίζεται σε μία περιοχή στη διάρκεια ενός έτους, προκύπτει η ετήσια ηλιακή ενέργεια, συνήθως σε kWh/m<sup>2</sup> (Σχήμα 1.1).<sup>[7]</sup> Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μία αξιόπιστη φθηνή λύση για τις αναπτυσσόμενες χώρες που προσπαθούν να προσθέσουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια στα εθνικά τους δίκτυα σύμφωνα με στοιχεία του Bloomberg.<sup>[8]</sup> Η έκθεση έδειξε ότι το κόστος της ηλιακής ενέργειας σε 58 χώρες χαμηλότερου εισοδήματος, συμπεριλαμβανομένης της Κίνας, της Βραζιλίας και της Ινδίας, έχει πέσει περίπου στο ένα τρίτο των επιπέδων του 2010 και είναι τώρα λίγο φθηνότερο από την αιολική ενέργεια. Εξάλλου, η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας έχει αποδειχθεί μία απροσδόκητα καλή εξέλιξη για απομακρυσμένα νησιά στο νότιο Ειρηνικό Ωκεανό και άλλα απομονωμένα μέρη που μέχρι πρότινος βασιζόνταν στην εισαγωγή τεράστιων ποσοτήτων ορυκτών καυσίμων.

Ωστόσο, στις πλούσιες χώρες όπου η παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές πρέπει να ανταγωνίζεται τους υφιστάμενους σταθμούς παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα, το κόστος μπορεί να είναι υψηλότερο. Στις περισσότερες από αυτές τις χώρες εξακολουθούν να υπάρχουν κρατικές επιδοτήσεις για τη βιομηχανία ορυκτών καυσίμων.



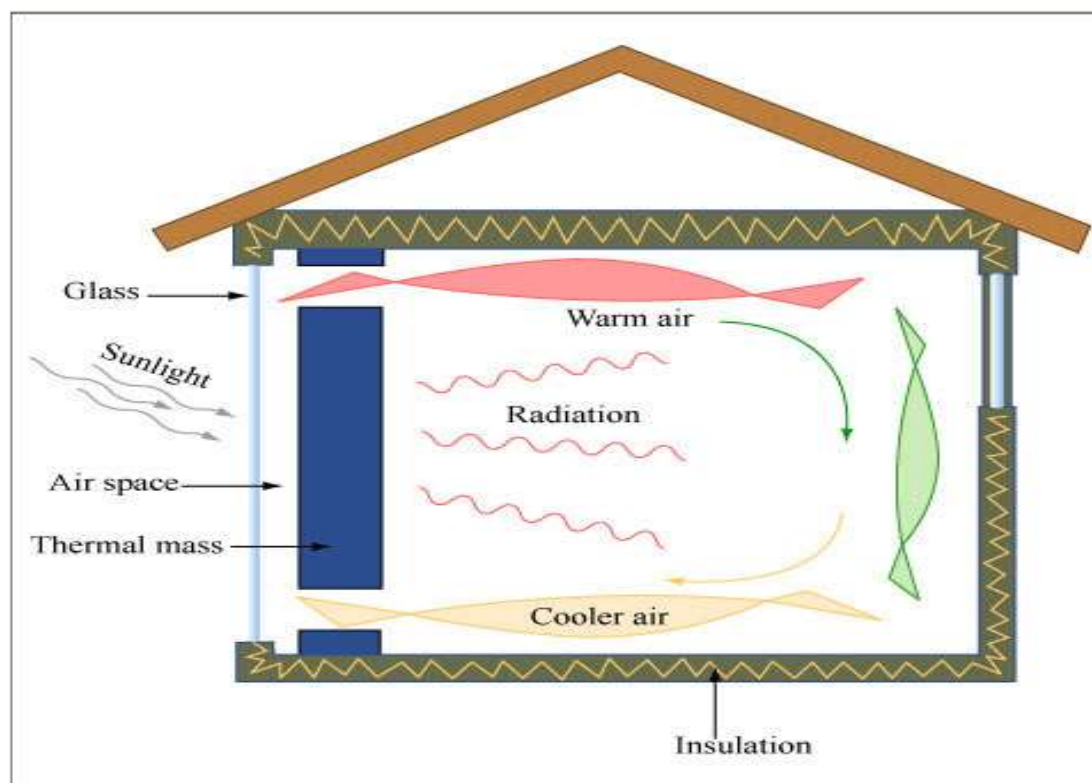
**Σχήμα 1.1:** Χάρτης του μέσου όρου της ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας της Ελλάδας, των χρονολογιών 2004-2010.

Όσον αφορά στην **εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας**, αυτή μπορεί να χωριστεί σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα *παθητικά ηλιακά συστήματα*, τα *ενεργητικά ηλιακά συστήματα* ή *ηλιοθερμικά συστήματα*, και τα *Φ/Β συστήματα*. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα Φ/Β συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω του Φ/Β φαινομένου.<sup>[9]</sup>

## Α. Παθητικά ηλιακά συστήματα

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούνται από δομικά στοιχεία, κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα μεταξύ τους, ώστε να υποβοηθούν την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τον φυσικό φωτισμό των κτιρίων ή για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας μέσα σε αυτά (Σχήμα 1.2). Προϋπόθεση για την εφαρμογή παθητικών ηλιακών συστημάτων σε ένα κτίριο είναι η θερμομόνωσή του, έτσι ώστε να περιοριστούν οι θερμικές απώλειες.

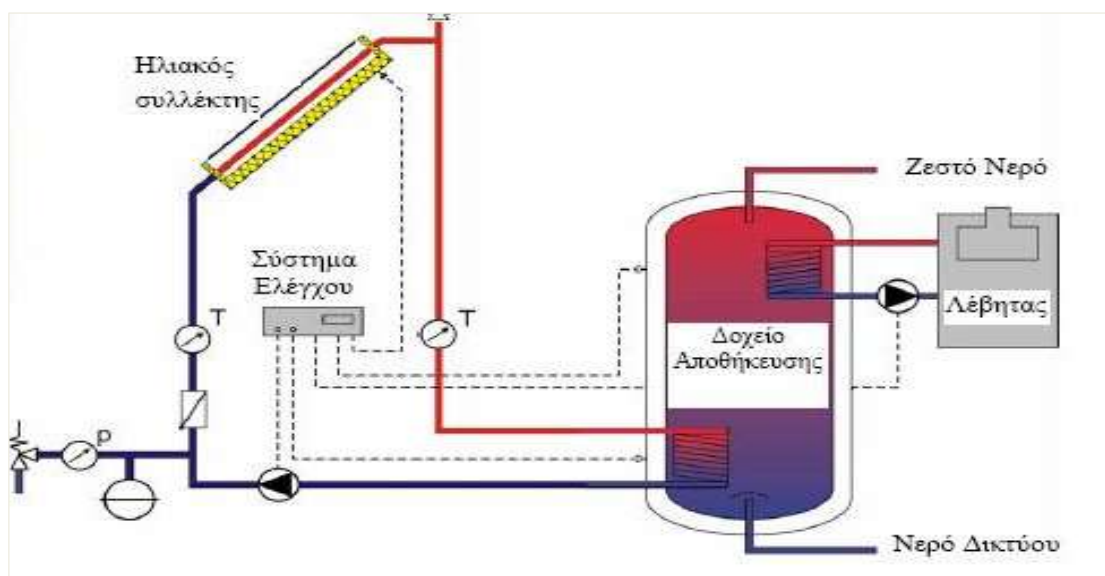
Η αρχή λειτουργίας των παθητικών συστημάτων θέρμανσης βασίζεται στο "φαινόμενο του θερμοκηπίου", ενώ τα παθητικά συστήματα δροσισμού βασίζονται στην προστασία του κτιρίου από τον ήλιο, δηλαδή στην παρεμπόδιση της εισόδου των ανεπιθύμητων, κατά τη θερινή περίοδο, ακτινών του ήλιου στο κτίριο. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση μόνιμων ή κινητών σκιάστρων καθώς και με τη διευκόλυνση της φυσικής κυκλοφορίας του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων. Ένα κτίριο που περιλαμβάνει παθητικά συστήματα θέρμανσης, δροσισμού ή ακόμη και φυσικού φωτισμού, κατασκευασμένο εξ αρχής ή τροποποιημένο, ονομάζεται "βιοκλιματικό κτήριο" και είναι δυνατό να καλύψει μεγάλο μέρος των ενεργειακών του αναγκών από την άμεση ή έμμεση αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας.



Σχήμα 1.2: Παράδειγμα παθητικού συστήματος

## Β. Ενεργητικά ηλιακά συστήματα

Η απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας γίνεται μέσω ηλιακών συλλεκτών. Οι συλλέκτες περιλαμβάνουν μια μαύρη, συνήθως επίπεδη μεταλλική επιφάνεια, η οποία απορροφά την ακτινοβολία και θερμαίνεται. Πάνω από την απορροφητική επιφάνεια βρίσκεται ένα διαφανές κάλυμμα (συνήθως από γυαλί ή πλαστικό) που παγιδεύει τη θερμότητα (φαινόμενο θερμοκηπίου). Σε επαφή με την απορροφητική επιφάνεια τοποθετούνται λεπτοί σωλήνες μέσα στους οποίους διοχετεύεται κάποιο υγρό, που απάγει την θερμότητα και τη μεταφέρει, με τη βοήθεια μικρών αντλιών, σε μια μεμονωμένη δεξαμενή αποθήκευσης (Σχήμα 1.3). Το πιο απλό και διαδεδομένο σήμερα ενεργητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού είναι ο ηλιακός θερμοσίφωνας.



Σχήμα 1.3: Παράδειγμα ενεργητικού συστήματος

## Γ. Φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα

Η λειτουργία των Φ/Β ηλιακών συστημάτων στηρίζεται στο Φ/Β φαινόμενο, δηλαδή την άμεση μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα. Μερικά υλικά, όπως το πυρίτιο με πρόσμιξη άλλων στοιχείων, γίνονται ημιαγωγοί (άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα προς μια μόνο διεύθυνση), έχουν δηλαδή τη δυνατότητα να δημιουργούν διαφορά δυναμικού όταν φωτίζονται και κατά συνέπεια να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα. Συνδέοντας μεταξύ τους πολλά μικρά κομμάτια τέτοιων υλικών (φωτοβολταϊκές κυψέλες ή στοιχεία), τοποθετώντας τα σε μία επίπεδη επιφάνεια (Φ/Β σύστημα) και στρέφοντάς τα προς τον ήλιο, γίνεται δυνατή η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο μπορεί να καλύψει ανάγκες όπως: λειτουργία επιστημονικών συσκευών (δορυφόρων), κίνηση ελαφρών αυτοκινήτων (ηλιακά αυτοκίνητα), λειτουργία φάρων ή την κάλυψη έστω και μέρους των ενεργειακών αναγκών μικρών κατοικιών όπως φωτισμός, τηλεπικοινωνίες, ψύξη κτλ.



Η μέγιστη απόδοση των Φ/Β στοιχείων, ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους κυμαίνεται από 7% (ηλιακά στοιχεία άμορφου πυριτίου) έως 12-15% (ηλιακά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου). Το σημαντικό είναι ότι η ενέργεια που παράγεται με αυτό τον τρόπο, μπορεί να αποθηκευτεί σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές (μπαταρίες) με αποτέλεσμα να υπάρχει ανεξάντλητη, ανανεώσιμη, φθηνή και κυρίως "καθαρή" ενέργεια.

## 1.4 Αρχή λειτουργίας φωτοβολταϊκών

Όταν το φως προσπίπτει στην επιφάνεια ενός υλικού, τότε ένα μέρος αυτού ανακλάται, ένα άλλο τη διαπερνά και το υπόλοιπο απορροφάται από το υλικό της επιφάνειας. Η απορρόφηση του φωτός, ουσιαστικά σημαίνει τη μετατροπή του σε άλλη μορφή ενέργειας η οποία συνήθως είναι θερμότητα. Παρ' όλα αυτά όμως, υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των φωτονίων που προσπίπτουν στην επιφάνειά τους, σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα υλικά είναι οι ημιαγωγοί.

Φωτοβολταϊκό φαινόμενο ορίζεται ως η άμεση μετατροπή του φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια σε ατομικό επίπεδο. Το Φ/Β φαινόμενο, αποτελεί τη βασική φυσική διαδικασία μέσω της οποίας ένα Φ/Β στοιχείο μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα. Υλικά που χρησιμοποιούνται είναι τα ημιαγώγιμα υλικά όπως το πυρίτιο, το αρσενιούχο γάλλιο, το τελουριούχο κάδμιο, ο δισελινιοϊνδιούχος χαλκός κλπ. Το στοιχείο του κρυσταλλικού πυριτίου ωστόσο παραμένει το ευρύτερα διαδεδομένο Φ/Β στοιχείο.<sup>[10]</sup>

### A. Δημιουργία ηλεκτρικά φορτισμένων ημιαγωγών

Ο περισσότερος γνωστός ημιαγωγός είναι το πυρίτιο (Si). Τις ημιαγωγές ιδιότητές του το πυρίτιο τις αποκτά με τεχνικό τρόπο. Αυτό πρακτικά γίνεται με την πρόσμειξη με άλλα στοιχεία τα οποία είτε έχουν ένα ηλεκτρόνιο περισσότερο είτε ένα λιγότερο στη στοιβάδα σθένους τους. Η πρόσμειξη κάνει τον κρύσταλλο δεκτικό είτε σε θετικά φορτία (υλικό τύπου p) είτε σε αρνητικά φορτία (υλικό τύπου n).

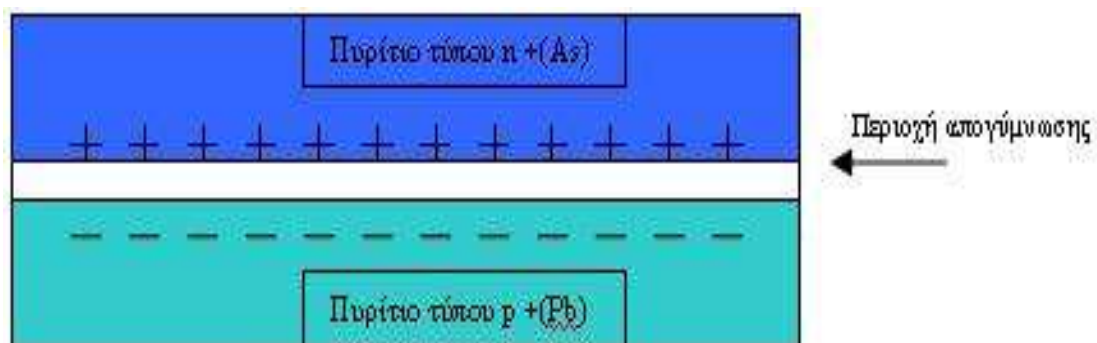
Για την κατασκευή ημιαγωγού τύπου n, ή αλλιώς ένας αρνητικά φορτισμένος κρύσταλλος πυριτίου, θα πρέπει να γίνει πρόσμειξη ενός υλικού με 5e στην εξωτερική του στοιβάδα, όπως για παράδειγμα το αρσενικό (As). Αντίστοιχα για τη δημιουργία ημιαγωγού τύπου p, ή αλλιώς ένα θετικά φορτισμένο κρύσταλλο πυριτίου, χρειάζεται να γίνει πρόσμειξη στον κρύσταλλο κάποιου υλικού, όπως το βόριο (B) που έχει 3e στην εξωτερική του στοιβάδα.



## Β. Δημιουργία του ηλεκτρικού πεδίου

Εάν έρθουν σε επαφή δύο τμήματα πυριτίου τύπου  $n$  και τύπου  $p$ , το ένα απέναντι από το άλλο, δημιουργείται στη θέση επαφής μια ζώνη όπου εναλλάσσονται οπές και ηλεκτρόνια. Ελεύθερα ηλεκτρόνια του ημιαγωγού  $n$  εισέρχονται στον ημιαγωγό  $p$  και συμπληρώνουν αντίστοιχες οπές, ενώ ελεύθερες οπές από τον ημιαγωγό  $p$  εισέρχονται στον  $n$  ημιαγωγό και ενώνονται με ίσο αριθμό ηλεκτρονίων. Έτσι, η πλευρά  $n$  αποκτά θετικό δυναμικό και η πλευρά  $p$  αρνητικό, απαγορεύοντας πια την ανταλλαγή ηλεκτρονίων-οπών στην περιοχή απογύμνωσης. Με αυτόν τον τρόπο σχηματίζεται μια δίοδος ή αλλιώς ένα ηλεκτρικό πεδίο στην επαφή των δύο υλικών που ονομάζεται δίοδος επαφής ή ημιαγωγική επαφή  $p$ - $n$  (Σχήμα 1.4).

Κατά την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας, η οποία έρχεται με τη μορφή πακέτων ενέργειας ή φωτονίων, τα φωτόνια που προσπίπτουν στη διάταξη του Φ/Β κελιού περνούν αδιατάραχτα την επαφή τύπου  $n$  και χτυπούν άτομα της περιοχής τύπου  $p$ . Τα ηλεκτρόνια της περιοχής τύπου  $p$  αρχίζουν και κινούνται μεταξύ των οπών ώπου τελικά φτάνουν στην περιοχή της διόδου, όπου και έλκονται πλέον από το θετικό πεδίο της εκεί περιοχής.

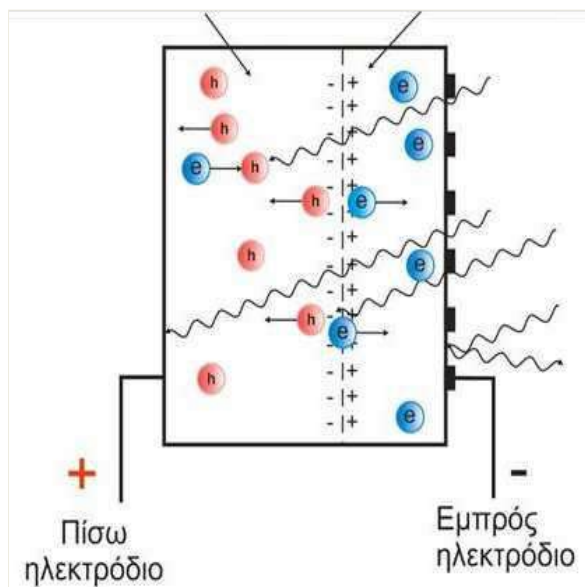


**Σχήμα 1.4:** Επαφή ημιαγωγού τύπου  $p$  και ημιαγωγού τύπου  $n$

Αφού ξεπεράσουν το ενεργειακό χάσμα αυτής της περιοχής μετά είναι αδύνατον να επιστρέψουν. Στο κομμάτι της επαφής  $n$  πλέον υπάρχει μια περίσσεια ηλεκτρονίων που μπορεί να γίνει να εκμεταλλεύσιμη.

Αυτή η περίσσεια των ηλεκτρονίων μπορεί να παράγει ηλεκτρικό ρεύμα εάν τοποθετήσουμε μια διάταξη όπως ένας μεταλλικός αγωγός στο πάνω μέρος της επαφής  $n$  και στο κάτω της επαφής  $p$  και ένα φορτίο ενδιάμεσα με τέτοιο τρόπο ώστε να κλείσει ένας αγωγίμος δρόμος για το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται. Αυτή είναι απλοποιημένα η γενική αρχή λειτουργίας του Φ/Β φαινομένου (Σχήμα 1.5).

Συμπερασματικά η όλη διάταξη, αποτελεί μία πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, που διατηρείται για όσο χρονικό διάστημα διαρκεί η πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του Φ/Β κυττάρου



**Σχήμα 1.5:** Μηχανισμός εκδήλωσης φωτοβολταϊκού φαινομένου σε Φ/Β στοιχείο.

Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στους δύο ακροδέκτες της παραπάνω διάταξης, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση διόδου, ονομάζεται Φ/Β φαινόμενο. Από την πίσω πλευρά του Φ/Β πάνελ εξέρχονται δύο καλώδια (θετικό και αρνητικό) από όπου παίρνουμε το ηλεκτρικό ρεύμα.<sup>[11]</sup>

## 1.5 Τα βασικά μέρη ενός τυπικού Φ/Β συστήματος

Τα βασικά μέρη ενός τυπικού Φ/Β συστήματος είναι τα εξής:

### 1.5.1 Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια μετατρέπουν ένα ποσοστό της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό, το οποίο εξαρτάται από τον τύπο των Φ/Β στοιχείων. Τα λεγόμενα μονοκρυσταλλικά στοιχεία έχουν τη μεγαλύτερη απόδοση που στη βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 18% (δηλαδή μετατρέπουν αυτό το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρικό ρεύμα). Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία έχουν ελαφρώς χαμηλότερη απόδοση (τα συνηθισμένα πολυκρυσταλλικά πάνελ μετατρέπουν το 14%-16% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό), είναι όμως φθηνότερα από τα μονοκρυσταλλικά.

## Α. Φ/Β Τεχνολογίες

Οι Φ/Β τεχνολογίες διακρίνονται σε **πρώτης, δεύτερης και τρίτης** γενιάς. Στην πρώτη γενιά ανήκουν τα Φ/Β κρυσταλλικού πυριτίου (c-Si), στην δεύτερη γενιά περιλαμβάνει την τεχνολογία λεπτού υμένα (thin film) και στην τρίτη γενιά γενικά ανήκουν τα συγκεντρωτικά συστήματα, τα οργανικά συστήματα καθώς και άλλες τεχνολογίες που δεν είναι ακόμα εμπορικά διαθέσιμες. Οι τεχνολογίες διαφέρουν μεταξύ τους όσον αφορά το βαθμό απορρόφησης του φωτός, την ενεργειακή απόδοση, τον τρόπο και το κόστος κατασκευής. Μία σύνοψη τους φαίνεται στον Πίνακα 1.1.

- **Πρώτης γενιάς Φ/Β συστήματα**

Η τεχνολογία του κρυσταλλικού πυριτίου είναι η πιο γνωστή και ώριμη από τις άλλες σχετικές τεχνολογίες. Αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 80% της σημερινής αγοράς και η απόδοση κυμαίνεται μεταξύ 12% και 22%. Οι κυψέλες κρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από λεπτά πλακίδια (wafer) πυριτίου, τα οποία είναι είτε μονοκρυσταλλικά είτε πολυκρυσταλλικά.

Οι κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου έχουν κοπεί από ένα κυλινδρικό κρύσταλλο πυριτίου. Το πυρίτιο πρέπει να είναι πολύ υψηλής καθαρότητας και να έχει τέλεια δομή κρυστάλλου. Αυτού του είδους οι ηλιακές κυψέλες έχουν και την μεγαλύτερη απόδοση. Η κατασκευή τους όμως είναι πιο πολύπλοκη γιατί απαιτεί την κατασκευή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου με αποτέλεσμα υψηλότερο κόστος κατασκευής.

Οι κυψέλες πολυκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από ράβδους λιωμένου και επανακρυσταλλομένου πυριτίου. Για την παραγωγή τους, οι ράβδοι του πυριτίου κόβονται σε λεπτά τμήματα από τα οποία κατασκευάζεται η κυψέλη του Φ/Β πλαισίου με τη διαδικασία χύτευσης. Η διαδικασία κατασκευής τους είναι απλούστερη από εκείνη των μονοκρυσταλλικών ηλιακών κυψελών με αποτέλεσμα χαμηλότερο κόστος παραγωγής. Όμως, παρουσιάζουν μικρότερη απόδοση από τις ηλιακές κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου που οφείλεται στις ατέλειες στη δομή του κρυστάλλου ως αποτέλεσμα της διαδικασίας χύτευσης.

- **Δεύτερης γενιάς Φ/Β συστήματα**

Οι Φ/Β ηλιακές κυψέλες λεπτού υμένα, προκύπτουν με την εναπόθεση λεπτών στρωμάτων φωτοευαίσθητου ημιαγωγού υλικού, επάνω σε γυαλί ή ανοξείδωτο χάλυβα ή πλαστικό ή ακόμα και σε άλλου είδους χαμηλού κόστους υποστρώματα. Μόλις το υλικό αποτεθεί στο γυαλί, με τη βοήθεια λέιζερ κόβεται σε πολλαπλές λεπτές κυψέλες. Συνήθως περικλείονται από δύο γυάλινες επιφάνειες χωρίς πλαίσιο. Εάν το φωτοευαίσθητο υλικό έχει εναποτεθεί επάνω σε λεπτή πλαστική μεμβράνη, τότε η ηλιακή κυψέλη που προκύπτει μπορεί να είναι εύκαμπτη. Αυτού του είδους οι Φ/Β κυψέλες, μπορούν να ενσωματωθούν επάνω σε κτίρια ή να χρησιμοποιηθούν σε ειδικές εφαρμογές.

Τα πρότυπα Φ/Β πλαίσια λεπτού υμένα έχουν χαμηλότερη ονομαστική ισχύ από τα άλλα Φ/Β πλαίσια που κυκλοφορούν και το μέγεθός τους είναι σχετικά μικρότερο, αλλά το μέγεθός τους ποικίλει από 0,6 μέχρι 5,7 m<sup>2</sup>, ανάλογα με την εφαρμογή τους. **Τέσσερις βασικοί διαφορετικοί** τύποι Φ/Β πλαισίων λεπτού υμένα είναι διαθέσιμοι στο εμπόριο:

### **1. Άμορφου πυριτίου (a-Si)**

Το στρώμα του ημιαγωγού έχει πάχος περίπου 1-2 ms. Το άμορφο πυρίτιο μπορεί να απορροφήσει περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία σε σύγκριση με του κρυσταλλικού πυριτίου. Ωστόσο, προκαλείται χαμηλότερη ροή ηλεκτρονίων, η οποία οδηγεί σε αποδόσεις που κυμαίνονται από 4% έως 8%. Ολοένα και περισσότερες εταιρίες παράγουν ελαφριά και εύκαμπτα Φ/Β πλαίσια άμορφου πυριτίου τα οποία είναι κατάλληλα για επίπεδες και κυρτές οροφές.

### **2. Πολλαπλών επιστρώσεων λεπτού υμένα πυρίτιο (a-Si/μc-Si)**

Το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο λεπτού υμένα αποτελείται από κυψέλη άμορφου πυριτίου με πρόσθετα στρώματα άμορφου και μικροκρυσταλλικού πυριτίου τα οποία εφαρμόζονται στο υπόστρωμα. Το μικροκρυσταλλικό απορροφά περισσότερο φως στο κοντινό υπέρυθρο και ερυθρό φάσμα με αποτέλεσμα να αυξάνει την απόδοση του συστήματος προσεγγίζοντας μέχρι το 12%. Το πάχος του στρώματος του μικροκρυσταλλικού πυριτίου είναι της τάξης των 3 μm.

### **3. Ηλιακές Φ/Β κυψέλες τελλουρίου-καδμίου (CdTe)**

Η κατασκευή των λεπτών υποστρωμάτων τελλουρίου-καδμίου κοστίζει λιγότερο από τα παραπάνω και η απόδοση τους φθάνει έως και 13%. Αυτό το καθιστά ως την οικονομικότερη τεχνολογία λεπτού υμένα.

### **4. Φ/Β κυψέλες πολυκρυσταλλικών υμένων τετραμερούς σεληνίου (CIGS) και σιδεληνοϊνδιούχου χαλκού (CIS)**

Οι ηλιακές κυψέλες CIGS και CIS προσφέρουν τις υψηλότερες αποδόσεις από όλες τις άλλες τεχνολογίες λεπτού υμένα. Αποδόσεις της τάξης του 20% έχουν επιτευχθεί εργαστηριακά, πλησιάζοντας τα επίπεδα που παρουσιάζει το κρυσταλλικό πυρίτιο. Η διαδικασία παραγωγής είναι πολύ πιο περίπλοκη και λιγότερη τυποποιημένη σε σύγκριση με τους άλλους τύπους ηλιακών κυψελών οδηγώντας σε αύξηση του κόστους κατασκευής τους. Η τρέχουσα απόδοση τους κυμαίνεται από 10-14%.

- **Τρίτης γενιάς Φ/Β συστήματα**

- 1. Συγκεντρωτικά Φ/Β συστήματα (CPV)**

Χρησιμοποιούν φακούς ή κάτοπτρα, ώστε να εστιάζεται η ηλιακή ακτινοβολία τις κυψέλες. Οι κυψέλες είναι φτιαγμένες από πολύ μικρές ποσότητες ημιαγωγικού Φ/Β υλικού, υψηλής απόδοσης αλλά και κόστους. Οι συγκεντρωτικές Φ/Β κυψέλες έχουν ως βάση συνήθως το πυρίτιο ή αλλά ημιαγωγία στοιχεία (αρσενιούχο γάλλιο, GaAs). Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν μόνο την άμεση ακτινοβολία και είναι πολύ πιο αποδοτικά σε περιοχές με υψηλές τιμές άμεσης ακτινοβολίας. Οι ηλιακές κυψέλες των Φ/Β πλαισίων αποτελούνται από σύνολο φακών ή κατόπτρων τα οποία είναι ακριβή, αξιόπιστα και θα πρέπει να είναι μονίμως προσανατολισμένα προς τον ήλιο. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση συστήματος παρακολούθησης δύο αξόνων.

- 2. Άλλης μορφής τρίτης γενιάς Φ/Β συστήματα**

Οι τεχνολογίες τρίτης γενιάς που έχουν ξεκινήσει να εμφανίζονται στην αγορά κατηγοριοποιούνται ως εξής :

- Προηγμένης Τεχνολογίας Ανόργανου Λεπτού Υμένα Σφαιρικά (CIS).
- Οργανικές φωτοευαίσθητες ηλιακές κυψέλες με χρωστική ουσία (DSC).
- Θερμοφωτοβολταϊκές κυψέλες (TPV) που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμένα συστήματα θερμότητας και ενέργειας.

- **Νεότερες τεχνολογίες**

Εκτός από τις Φ/Β τεχνολογίες τρίτης γενιάς, ακόμα νεότερες τεχνολογίες βρίσκονται σε ερευνητικό επίπεδο.

- Ενεργά υποστρώματα με την εισαγωγή κβαντικών σωματιδίων ή σωματιδίων νανοτεχνολογίας. Αυτή η τεχνολογία είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί σε Φ/Β συγκεντρωτικά συστήματα λόγω του υψηλού κόστους παραγωγής αλλά και της υψηλής απόδοσης που επιτυγχάνεται.
- Προσαρμογή του ηλιακού φάσματος σε μήκη κύματος με μέγιστη απόδοση συλλογής ή αύξησης την απορροφητικότητα των ηλιακών κυψελών. Οι προσαρμογές αυτές μπορούν να εφαρμοστούν σε όλες τις υφιστάμενες τεχνολογίες Φ/Β κυψελών.<sup>[6]</sup>

**Πίνακας 1.1:** Σύνοψη απόδοσης Φ/Β τεχνολογιών

Commercial Module Efficiency								
Technology	First generation : Crystalline silicon		Second generation : Thin Film				Third generation PV	
	Mono	Multi	a-Si	CdTe	Cl(G)S	a-Si/μc-Si	CPV	DSSC/OPV
Cell efficiency	16-22%	14-18%	5.4-7.7%	9-12.5%	7.3-12.7%	7.5-9.8%	30-38%	2-4%
Module efficiency	13-19.7%	11-15%					~25%	
Area needed per kW (for modules)	~7m <sup>2</sup>	~8m <sup>2</sup>	~15m <sup>2</sup>	~10m <sup>2</sup>	~10m <sup>2</sup>	~12m <sup>2</sup>		

Source: Strategic Research Agenda (2011), Photon International (February 2011), EPIA analysis  
Efficiency based on Standard Test Conditions (STC).

## **B. Επιλογή Φ/Β πάνελ**

Ο ήλιος παρέχει πάνω από 1.000 W ανά τετραγωνικό μέτρο. Έτσι, ένα Φ/Β με διαστάσεις ένα μέτρο πλάτος και ένα μέτρο θα παράγει περίπου 160 W την ώρα αν αποτελείται από μονοκρυσταλλικά Φ/Β στοιχεία με απόδοση 16%, περίπου 140 W την ώρα αν αποτελείται από πολυκρυσταλλικά Φ/Β στοιχεία με απόδοση 14% και περίπου 80 W την ώρα αν είναι για παράδειγμα άμορφου πυριτίου με απόδοση 8%.

Ένα Φ/Β με ονομαστική μέγιστη ισχύ 100 Wp βγάζει έξοδο περίπου 20V και 5A ( $20 \times 5 = 100$ ). Γίνεται να συνδεθούν όσα φωτοβολταϊκά πάνελ θέλει ο επενδυτής σε σειρά ή και παράλληλα, για να πετύχει το συνδυασμό τάσης ρεύματος (V), έντασης ρεύματος (A) και φυσικά την συνολική ισχύ (W) που επιθυμεί να έχει το σύστημα. Φ/Β συνδεδεμένα σε σειρά είναι όταν έχουν συνδεθεί μεταξύ τους, ενώνοντας το θετικό καλώδιο εξόδου του ενός πάνελ με το αρνητικό του άλλου, δηλαδή εναλλάξ το + με το - κ.ο.κ. Συνδεδεμένα παράλληλα είναι όταν έχουν συνδέσει το θετικό καλώδιο εξόδου του ενός πάνελ με το θετικό του επόμενου και το αρνητικό καλώδιο εξόδου με το αρνητικό του επόμενου. Σε σειρά αθροίζεται μόνο η τάση (τα V), ενώ παράλληλα αθροίζεται μόνο η ένταση (τα A). Τα Φ/Β πάνελ συνήθως συνδέονται σε σειρά για μεγαλύτερη τάση (V) όταν πρόκειται να συνδεθούν με το δίκτυο της ΔΕΗ, ενώ αν προορίζονται για αυτόνομο σύστημα με συσσωρευτές (μπαταρίες), τότε η απαιτούμενη τάση εξαρτάται από αυτή των συσσωρευτών.

Μια αρκετά συνηθισμένη παρανόηση είναι αυτή που θέλει τα μονοκρυσταλλικά να είναι καλύτερα από πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, αφού έχουν μεγαλύτερη απόδοση. Η σύγχυση προκαλείται από την έννοια απόδοση φωτοβολταϊκών. Η έννοια είναι τεχνική και δεν πρέπει να απασχολεί ιδιαίτερα τον τελικό χρήστη ενός μικρού συστήματος. Αφορά μόνο μεγάλα Φ/Β πάρκα ή στέγες περιορισμένων τετραγωνικών όπου κάθε εκατοστό μπορεί να έχει σημασία για την τοποθέτηση μερικών ακόμη πάνελ (αφού τα μονοκρυσταλλικά Φ/Β πάνελ έχουν κατά λίγα εκατοστά μικρότερες διαστάσεις).

Τα πολυκρυσταλλικά πλαίσια έχουν καλύτερη συμπεριφορά όσον αφορά την φυσιολογική απώλεια ισχύος στη διάρκεια των ετών που παρουσιάζουν όλα τα πάνελ. Επίσης τα πολυκρυσταλλικά Φ/Β είναι καλύτερα από τα μονοκρυσταλλικά για το κλίμα της Ελλάδας (λόγω καλύτερου συντελεστή θερμοκρασιακής διόρθωσης). Εξ' άλλου, όταν κάποιος αγοράζει Φ/Β πάνελ π.χ. 200 Watt/p, τόσα Watt/p θα παράγει το πάνελ του είτε είναι μονοκρυσταλλικό είτε είναι πολυκρυσταλλικό, απλά το μονοκρυσταλλικό μπορεί να είναι ακριβότερο και μικρότερο σε διαστάσεις.

Υπάρχουν και τα λεγόμενα “άμορφου πυριτίου” που αποτελούνται από μια ενιαία επιφάνεια κι όχι από διασυνδεδεμένα Φ/Β στοιχεία όπως τα προηγούμενα. Αυτά έχουν χαμηλότερη απόδοση (10%-15% σήμερα) αλλά είναι τα οικονομικότερα.

Χρειάζονται απλώς μεγαλύτερη επιφάνεια για να δώσουν την ίδια ισχύ με τα μονοκρυσταλλικά ή τα πολυκρυσταλλικά Φ/Β.<sup>[12]</sup>

Για την επιλογή των Φ/Β πλαισίων απαιτείται έλεγχος των εγγυήσεων που προσφέρει ο κάθε κατασκευαστής. Τα πλαίσια με πάνω από 25 χρόνια εγγύηση απόδοσης είναι συνήθως και τα πιο αξιόπιστα. Βασικό κριτήριο είναι επίσης αν δίνεται από τον κατασκευαστή γραμμική εγγύηση απόδοσης. Η κατασκευάστρια εταιρία και η παγκόσμια κατάταξή του επιλεγμένου πλαισίου σε εξειδικευμένα tests αποτελούν επίσης στοιχεία για την επιλογή ενός Φ/Β πλαισίου. Όσον αφορά την ισχύ και την τάση η επιλογή θα γίνει ανάλογα με τις ανάγκες του επενδυτή από ειδικό και έμπειρο μηχανικό σε αυτόνομα Φ/Β συστήματα.

### 1.5.2 Αντιστροφέας

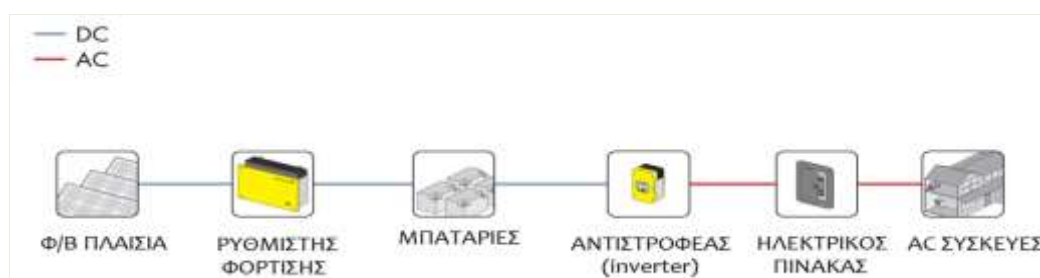
Ο αντιστροφέας (inverter), αναφέρεται και ως μετατροπέας, είναι ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που μετατρέπει τη συνεχή τάση DC (για την περίπτωση μας: 12V ή 24V ή 48V) σε εναλλασσόμενη AC (230V). Η μετατροπή αυτή είναι απαραίτητη για να τροφοδοτηθούν από τη μπαταρία του Φ/Β συστήματος όλες τις συσκευές που απαιτούν 230 V. Ο αντιστροφέας συνδέεται με ένα διπλό καλώδιο (θετικό – αρνητικό) πάνω στους πόλους της μπαταρίας. Έχει συνήθως μια ή δύο υποδοχές σαν τις πρίζες που υπάρχουν στους τοίχους του σπιτιού μας, πάνω στις οποίες συνδέουμε τις συσκευές που απαιτούν 230V, απ' ευθείας ή χρησιμοποιώντας πολύμπριζο ή και μπαλαντέζα.



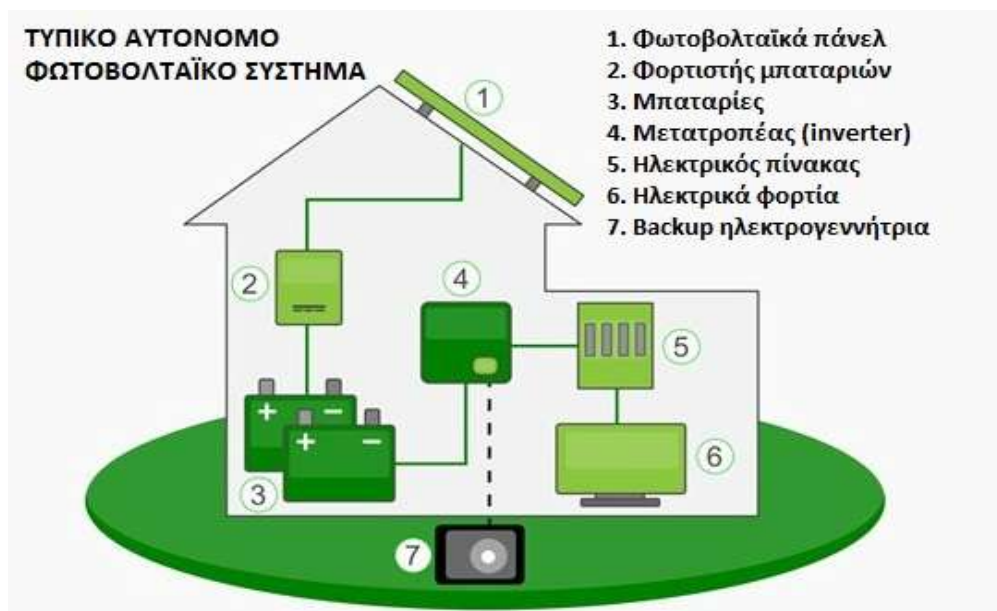
Σχήμα 1.6: Παράδειγμα αντιστροφέα

Σε έναν αντιστροφέα γίνεται να συνδεθούν ταυτόχρονα τόσες συσκευές, όσες η ισχύς όλων των συσκευών μαζί (ταυτοχρονισμός ισχύος) να μην ξεπερνά την ισχύ που μπορεί να αντέξει ο αντιστροφέας. Το σύνολο της ισχύος των ταυτόχρονων φορτίων με ένα συντελεστή προσαύξησης π.χ. 10% είναι η κατάλληλη ισχύ που πρέπει να έχει ο επιλεγμένος αντιστροφέας. Όταν συνδεθούν περισσότερες συσκευές από το επιτρεπόμενο, τότε ο αντιστροφέας κλείνει αυτόματα για να προστατεύσει τις συσκευές, πράγμα που συμβαίνει ακόμα κι όταν κοντεύει να

αδειάσει η μπαταρία.<sup>[13]</sup> Οι αντιστροφείς χωρίζονται σε αντιστροφείς και αντιστροφείς/φορτιστές. Στην πρώτη κατηγορία, μετατρέπουν την συνεχή τάση που μπορεί να προέρχεται από τις μπαταρίες ή μια ηλεκτρογεννήτρια σε εναλλασσόμενη για την τροφοδότηση των ηλεκτρικών φορτίων του συστήματος ενώ στην δεύτερη κατηγορία η λειτουργία τους είναι η ίδια αλλά πραγματοποιούν επιπλέον την φόρτιση των μπαταριών από την ηλεκτρογεννήτρια. Μια τυπική σύνδεση του αντιστροφέα και αντιστροφέα/φορτιστή με τα υπόλοιπα μέρη ενός Φ/Β συστήματος καταγράφεται στα Σχήματα 1.7, 1.8 και 1.9 .

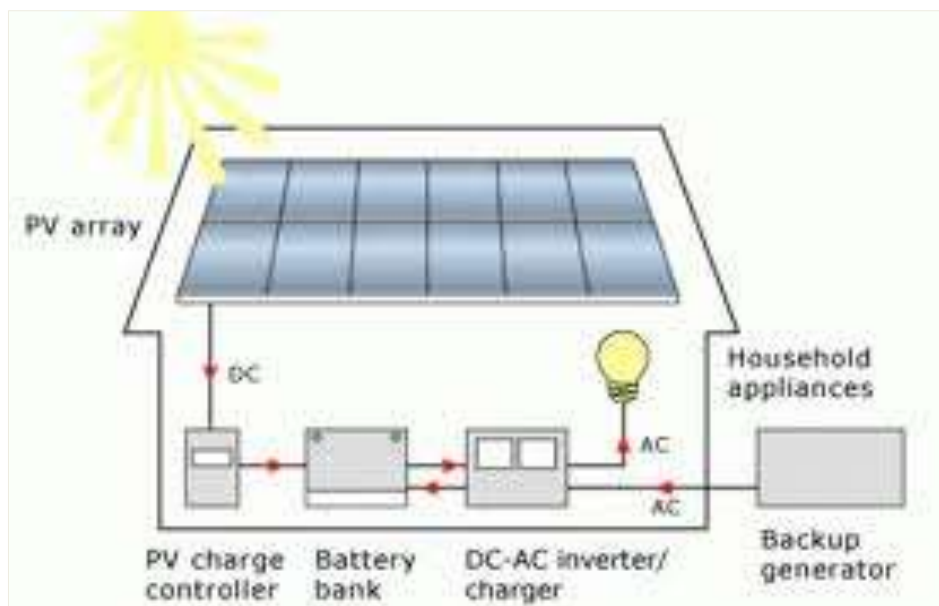


Σχήμα 1.7: Συνδεσμολογία αντιστροφέα



Σχήμα 1.8: Συνδεσμολογία αντιστροφέα με γεννήτρια.





Σχήμα 1.9: Συνδεσμολογία αντιστροφέα/φορτιστή με γεννήτρια

- **Διάκριση αντιστροφέων**

Οι αντιστροφέες διακρίνονται σε τροποποιημένου ημίτονου (modified sine-wave) και σε καθαρού ημίτονου (pure ή true sine-wave). Ένας μετατροπέας με τροποποιημένο ημίτονο, είναι φθηνότερος από έναν με καθαρό ημίτονο και είναι κατάλληλος για τις περισσότερες από τις συσκευές που κυκλοφορούν στην αγορά. Καταναλώνει όμως έως και 20% περισσότερη ενέργεια από τη μπαταρία σε σχέση με έναν μετατροπέα καθαρού ημίτονου. Επίσης, σε τηλεοράσεις και ηχοσυστήματα μέτριας ποιότητας μπορεί να ακούγεται ένα ελαφρύ βουητό.

Από την άλλη μεριά, το μοναδικό μειονέκτημα που έχουν οι αντιστραφείς καθαρού ημίτονου είναι η τιμή τους, αφού είναι ακριβότεροι από έναν αντίστοιχο με τροποποιημένο ημίτονο. Αν υπάρχουν ευαίσθητες ηλεκτρονικές συσκευές, καλό είναι να χρησιμοποιούμε για αυτές αντιστροφέες με καθαρό ημίτονο. Για λόγους μακροζωίας των συσκευών προτείνεται η χρήση αντιστροφέων καθαρού ημιτόνου.<sup>[14]</sup>

- **Επιλογή αντιστροφέα**

Δεν πρέπει να επιλέγει ένας αντιστροφέας με οριακή ισχύ σε σχέση με τις συσκευές που ενδέχεται να χρειαστεί να τροφοδοτηθούν ταυτόχρονα από αυτόν. Έτσι λοιπόν, αν η συνολική ισχύς των συσκευών είναι π.χ. 1.200 W, επιλέγετε αντιστροφέας ισχύος τουλάχιστον 2.000 W. Αυτό επειδή τα τεχνικά χαρακτηριστικά των αντιστροφέων έχουν υπολογιστεί σε βέλτιστες εργαστηριακές συνθήκες. Στην πραγματικότητα, ο αντιστροφέας μπορεί κάποια στιγμή να λειτουργεί σε μεγαλύτερη θερμοκρασία ή υγρασία και να μην μπορεί να δώσει αυτά που

θεωρητικά θα μπορούσε σύμφωνα με τον κατασκευαστή του (π.χ. κάτω από άλλες συνθήκες θερμοκρασίας).

Ιδιαίτερη προσοχή θέλουν φορτία με κινητήρες τα οποία κατά την έναρξη λειτουργίας τους ζητούν περισσότερη ισχύ από την ονομαστική τους. Για παράδειγμα μία αντλία ή ένα ψυγείο μπορεί να απαιτήσουν από 3 έως 5 φορές της ονομαστικής τους ισχύος. Οι περισσότεροι κατασκευαστές αντιστροφών δίνουν στοιχεία για στιγμιαία απαίτηση ισχύος (αγγίζει συνήθως τις 2-2,5 φορές της ονομαστικής) καθώς και για 30 λεπτά (1,5 φορά συνήθως).

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι δεν υπάρχει καλός και κακός inverter αλλά καλός η κακός ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται. Για αυτές τις συσκευές πρέπει να χρησιμοποιηθούν αντιστροφείς με μετασχηματιστές και πάντα με πολύ μεγαλύτερη ισχύ από την ονομαστική. Μπορεί να έχουν μεγαλύτερη αυτοκατανάλωση, αλλά συνήθως χρησιμοποιούνται και σε μεγαλύτερα συστήματα όπου οι συσσωρευτές και τα Φ/Β μπορούν να την αντιμετωπίσουν (ή χρησιμοποιούμε τη λειτουργία energy saver που έχουν οι περισσότεροι για χαμηλή αυτοκατανάλωση). Για οποιαδήποτε άλλη χρήση δεν υπάρχει πρόβλημα, αρκεί να μην λειτουργεί ένας inverter στα όρια της ισχύος του. Μερικές φορές ίσως έχει νόημα η προμήθεια δύο inverter. Έναν για βαριά χρήση με μηχανήματα και έναν οικονομικότερο μικρό για όλες τις υπόλοιπες συσκευές μας. Αυτή η λύση έχει και το πλεονέκτημα ότι σε περίπτωση βλάβης του ενός inverter, θα υπάρχει ο δεύτερος μέχρι να αντικατασταθεί ο πρώτος.

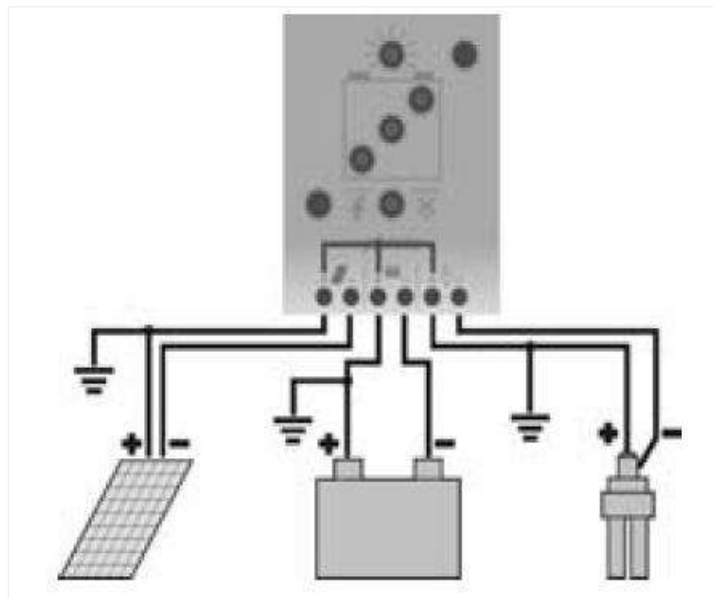
Οι βασικές κατασκευαστικές προδιαγραφές ενός αντιστροφέα (inverter) είναι να αποτελείται από εύκολα συναρμολογούμενα μέρη για να γίνονται εύκολα μετατροπές και αναβαθμίσεις, ενώ πρέπει να είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να μη σταματάει η λειτουργία του σε υψηλές διακοπτικές συχνότητες. Ακόμα, πρέπει να υπάρχει πλήρης γαλβανική απομόνωση του κυκλώματος από τα κυκλώματα ελέγχου και προστασίας ώστε να έχει τη δυνατότητα ο αντιστροφέας (inverter) να συνδέεται με άλλα ψηφιακά συστήματα. Η τιμή των αντιστροφών εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες όπως η ποιότητα κατασκευής, η προέλευση, η μάρκα κ.λπ.

Ο αντιστροφέας είναι το ένα από τα δύο δυσκολότερα στην επιλογή μέρη ενός Φ/Β συστήματος, το άλλο είναι οι συσσωρευτές.<sup>[15]</sup>

### 1.5.3 Ρυθμιστής φόρτισης

Ο ρυθμιστής φόρτισης είναι μια απλή ηλεκτρονική συσκευή που φροντίζει για τη σωστή φόρτιση των συσσωρευτών (μπαταριών) του Φ/Β συστήματος και σταματούν τη φόρτιση όταν διαπιστώσουν ότι η μπαταρία έχει φορτιστεί πλήρως, προστατεύοντάς την με αυτό τον τρόπο από πλήρη αποφόρτιση που θα οδηγούσε στην καταστροφή της (Σχήμα 1.10). Επειδή οι μπαταρίες έχουν την τάση να αποφορτίζονται σταδιακά ακόμα κι αν δεν τροφοδοτούν με ρεύμα κάποια συσκευή, ο ρυθμιστής φόρτισης φροντίζει αυτόματα να ξαναρχίσει η διαδικασία φόρτισης της

μπαταρίας όταν διαπιστώσει ότι η τάση της έπεσε κάτω από το επίπεδο της πλήρους φόρτισης.



**Σχήμα 1.10:** Συνδεσμολογία ρυθμιστών φόρτισης.

- **Επιλογή ρυθμιστή φόρτισης**

Το μέγεθος του ρυθμιστή φόρτισης εξαρτάται από το μέγεθος των Φ/Β που θα συνωθούν πάνω του. Πρέπει να υπερκαλύπτει την συνολική ένταση σε Α των Φ/Β. Αν, για παράδειγμα, η ονομαστική ένταση σε Α των Φ/Β είναι 10Α, τότε πρέπει να επιλεγεί ρυθμιστής φόρτισης 12Α και να είναι κατάλληλος και για την τάση του Φ/Β συστήματος. Αν τα Φ/Β βγάζουν συνολική τάση 12V, επιλέγεται ο ρυθμιστής για 12V, ενώ εάν βγάζουν συνολική τάση 24V, επιλέγεται ο ρυθμιστής για 24V κλπ.

Τέλος, μια ακόμη διάκριση μεταξύ των ρυθμιστών φόρτισης έχει να κάνει με τον τρόπο λειτουργίας τους. Υπάρχουν ρυθμιστές φόρτισης τύπου PWM και ρυθμιστές τύπου MPPT. Οι ρυθμιστές MPPT υπερτερούν αφού εκμεταλλεύονται (υπό συνθήκες) περισσότερη ενέργεια από Φ/Β πάνελ (10-20% περισσότερο από τους PWM). Αν υπάρχει περίπτωση να επεκταθεί το Φ/Β σύστημα με περισσότερα Φ/Β πάνελ στο μέλλον, τότε είναι καλό να επιλεγεί μεγαλύτερος ρυθμιστής φόρτισης από την αρχική φάση σχεδίασης του συστήματος, για να καλυφτούν και πιθανές μελλοντικές ανάγκες χωρίς να πρέπει να αντικατασταθεί ο ρυθμιστής φόρτισης.<sup>[16]</sup>

### 1.5.4 Μπαταρία (συσσωρευτές)

Σε περίπτωση που το σύστημα είναι αυτόνομο, απαιτείται η χρήση μπαταριών για την αποθήκευση του παραγόμενου ρεύματος που δεν καταναλώνεται άμεσα. Η μπαταρία προσφέρει με τη σειρά της την αποθηκευμένη ενέργεια, όταν δεν υπάρχει ηλιακό φως, κυρίως δηλαδή τις βραδινές ώρες.

Η επιλογή της αποθηκευτικής μονάδας (μπαταρίες) όταν σχεδιάζεται ένα αυτόνομο Φ/Β σύστημα, αποτελεί την πιο σημαντική απόφαση, ανεξάρτητα από το τελικό μέγεθος της μονάδας παραγωγής ή τον σκοπό που χρειάζεται. Η αναβάθμιση της χωρητικότητας των μπαταριών είναι δύσκολη τόσο από τεχνικής πλευράς όσο και από πλευράς κόστους. Για παράδειγμα αν απαιτηθεί παράλληλη σύνδεση των μπαταριών, αυτή εμπεριέχει κάποιους περιορισμούς. Οι μπαταρίες που θα συνδεθούν πρέπει να είναι ίδιες, αν όμως η πρώτη μπαταρία έχει χρησιμοποιηθεί αρκετά στην υπάρχουσα υλοποίηση τότε θα έχει απολέσει ένα μέρος από τα ονομαστικά χαρακτηριστικά της, με αποτέλεσμα να μην είναι πλέον ίδια με μια καινούρια μπαταρία με τα ίδια ονομαστικά χαρακτηριστικά.

Η χωρητικότητα των μπαταριών μετρείται σε αμπερώρια (Ah). Μια μπαταρία των 100Ah θεωρητικά μπορεί να παρέχει ρεύμα έντασης 1 αμπέρ (A) για 100 ώρες πριν την πλήρη εκφόρτισή της, αν και αυτό δεν πρέπει να συμβαίνει γιατί μια μπαταρία που εκφορτίζεται 100% χάνει από τη διάρκεια ζωής της. Συνιστάται η εκφόρτιση να μην είναι κάτω από το 20%, ενώ αν η χρήση της (φόρτιση – εκφόρτιση) είναι καθημερινή, καλό είναι να μην πέφτει κάτω από το 60% της ικανότητας αποθήκευσης. Στα Φ/Β συστήματα χρησιμοποιούνται οι μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης, οι οποίες είναι ικανές να κάνουν πολλούς κύκλους φόρτισης–εκφόρτισης. Αντιθέτως οι μπαταρίες αυτοκινήτου που είναι διαφορετικού τύπου, αν εκφορτιστούν πλήρως πολύ δύσκολα φορτίζονται πάλι πλήρως και ακόμη δυσκολότερα διατηρούν τη διάρκειά τους. Για αυτό τα αυτοκίνητα όσο λειτουργούν τις φορτίζουν μέσω του δυναμό (γεννήτρια). Το χαρακτηριστικό αυτών των μπαταριών είναι η δυνατότητα άμεσης παροχής ρεύματος μεγάλης έντασης που είναι απαραίτητος για την εκκίνηση του κινητήρα.

Αν δύο μπαταρίες συνδεθούν σε σειρά, η συνολική χωρητικότητα σε αμπερώρια θα παραμείνει ίδια, όσο δηλαδή η κάθε μία από τις μπαταρίες, η τάση του ρεύματος όμως θα διπλασιαστεί (σημαντικό είναι οι μπαταρίες που συνδέονται μεταξύ τους πρέπει να έχουν ίδια χαρακτηριστικά και να είναι στην ίδια περίπου κατάσταση). Αν συνδεθούν παράλληλα τότε η χωρητικότητα, τα αμπερώρια (Ah) θα διπλασιαστούν και η τάση του ρεύματος θα παραμείνει ίδια, όση δηλαδή έχει η κάθε μπαταρία ξεχωριστά.

Οι συσσωρευτές αποτελούνται από πλάκες μολύβδου, οι οποίες έχουν την ικανότητα να αποθηκεύουν την ενέργεια και να την αποδίδουν όποτε ζητηθεί. Ειδικά στα Φ/Β συστήματα, η εκφόρτιση των συσσωρευτών είναι αρκετά συχνή και σε αρκετά μεγάλο βάθος. Βαθιά εκφόρτιση συμβαίνει όταν χρησιμοποιείται μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα, για παράδειγμα μέσα σε 24 ώρες, μεγάλο μέρος της

χωρητικότητας του συσσωρευτή (από 25% μέχρι και το 80% της συνολικής του χωρητικότητας). Κάθε τέτοια εκφόρτιση χαρακτηρίζεται ως κύκλος εκφόρτισης. Κάθε μπαταριά βαθιάς εκφόρτισης διαθέτει μια καμπύλη κύκλων. Η καμπύλη αυτή δείχνει πόσους κύκλους μπορεί να δώσει η μπαταρία για κάθε βάθος εκφόρτισης. Για παράδειγμα, μια μπαταρία μπορεί να είναι ικανή να αντέξει για 1.000 κύκλους χρήσης με εκφορτίσεις βάθους 30%, ή 600 κύκλους χρήσης με εκφορτίσεις βάθους 50% κ.ο.κ.

Για να αντέξει για πολλούς τέτοιους κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης, πρέπει οι πλάκες μολύβδου του συσσωρευτή να έχουν αρκετά μεγάλο πάχος. Πολύ καλές είναι οι AGM deer cycle που χρησιμοποιούνται πολύ συχνά σε Φ/Β συστήματα. Ακόμη καλύτερες σε βαθιές εκφορτίσεις, σε ακραίες συνθήκες χρήσης αλλά και στη μακροζωία είναι οι μπαταρίες GEL deer cycle, ενώ τα καλύτερα αλλά και ακριβότερα OPzS ή OPzV στοιχεία 2V χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερα συστήματα.

Προσοχή στα PzS 2V στοιχεία, χωρίς το O στο όνομά τους τα οποία δεν είναι και τόσο κατάλληλα για Φ/Β αφού δεν έχουν πολύ μεγάλη διάρκεια ζωής όπως τα OPzS ή OPzV. Επίσης προσοχή σε μπαταρίες με χαρακτηρισμό “traction” που σημαίνει μπαταρίες για ηλεκτρικά οχήματα όπως κλαρκ, golf carts, ηλεκτρικά αυτοκίνητα κ.ά.), ενώ πολύ χειρότερες είναι οι μπαταρίες “semi-traction”, που απλώς είναι ελαφρώς καλύτερες από τις μπαταρίες αυτοκινήτου.

Όλοι οι τύποι θα δουλέψουν σε ένα Φ/Β σύστημα, αλλά θα αχρηστευτεί πολύ συντομότερα ο συσσωρευτής που δεν είναι κατάλληλος για βαθιές εκφορτίσεις (deer cycle). Σε βάθος 3 ετών και άνω, οικονομικά συμφέρουν πάντα και χωρίς εξαίρεση οι ακριβότεροι συσσωρευτές. Οι μπαταρίες αυτοκινήτου για παράδειγμα, έχουν περισσότερες πλάκες αλλά λεπτές, ώστε να αντέχουν πολλά Ampere για την εκκίνηση ενός οχήματος. Ποτέ όμως δεν εκφορτίζονται έτσι περισσότερο από 5-10% και αμέσως μετά την εκκίνηση το δυναμό φροντίζει να τις επαναφορτίσει πλήρως. Γι’ αυτό αντέχουν άνετα μερικά χρόνια με καθημερινή χρήση, ενώ σε ένα Φ/Β σύστημα με καθημερινές βαθιές εκφορτίσεις θα καταστρέφονταν μέσα σε ελάχιστες εβδομάδες.

Προτείνονται τα στοιχεία 2V και μάλιστα κλειστού τύπου, γιατί συνήθως αμελείται ο τακτικός έλεγχος των υγρών τους, με αποτέλεσμα να καταστρέφονται πολύ νωρίτερα από το φυσιολογικό τους. Ακόμη και αν ο ιδιοκτήτης είναι συνεπής, για να προσθέσει υγρά στον ηλεκτρολύτη χρειάζεται κάποιος χρόνος και κόπος. Συνιστάται επίσης με ηλεκτρολύτη σε μορφή GEL, αφού έτσι αντέχουν ακόμη περισσότερο την κακόμεταχείριση. Τα στοιχεία 2V ανοικτού τύπου προτείνονται σε όσους δεν θα παραλείπουν τη σωστή συντήρηση που προβλέπεται από τον κατασκευαστή και πάντα σε συστήματα που βρίσκονται σε συχνή επίβλεψη (και όχι π.χ. μια-δύο φορές το χρόνο όπως ένα εξοχικό). Τα στοιχεία OPzS είναι λίγο οικονομικότερα από τα στοιχεία OPzV, ωστόσο οι τιμές των στοιχείων OPzS (ανοικτού τύπου) και OPzV (κλειστού τύπου με GEL) είναι πλέον αρκετά κοντά.

**• Οδηγίες σωστής χρήσης των συσσωρευτών**

1. Οι συσσωρευτές μολύβδου γενικά πρέπει να φορτίζονται στο 100% της χωρητικότητάς τους καθημερινά. Οποιαδήποτε άλλη περίπτωση μειώνει πολύ δραστικά το χρόνο ζωής τους. Γι' αυτό πρέπει να φορτίζονται καθημερινά από το Φ/Β σύστημα, ακόμη και αν δεν χρησιμοποιούνται για καιρό. Κι αυτό επειδή οι συσσωρευτές αυτό-εκφορτίζονται ακόμη και όταν δεν χρησιμοποιούνται.
2. Καλύτερα να εκφορτίζονται με αργό ρυθμό παρά με γρήγορο. Αν τροφοδοτούν το σύστημα με λίγα Α την ώρα είναι καλύτερα από το να το τροφοδοτούν με πολλά Α ανά ώρα.
3. Όλοι οι συσσωρευτές προτιμούν σταθερή θερμοκρασία χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις. Οι 20-26 βαθμοί Κελσίου είναι το προτεινόμενο, έστω και με μικρές αποκλίσεις. Αλλιώς μειώνεται η διάρκεια ζωής τους ακόμη και κατά 50% καθώς και την απόδοσή τους.
4. Όσο μεγαλύτερης χωρητικότητας συσσωρευτές διαθέτει το σύστημα, τόσο το καλύτερο για τη διάρκεια ζωής τους, αφού έτσι καταπονούνται λιγότερο. Αν το σύστημα χρειάζεται 100Ah ανά 24ωρο για τη λειτουργία μιας συσκευής, είναι προτιμότερος ένας συσσωρευτής βαθιάς εκφόρτισης 200Ah (που θα εκφορτίζεται έτσι κατά 50%) παρά ένας συσσωρευτής βαθιάς εκφόρτισης 120Ah (που έτσι θα εκφορτίζεται κατά 80%). Ο δεύτερος θα αχρηστευτεί μετά από 100-300 χρήσεις, ενώ ο πρώτος μετά από 600-1.200 χρήσεις, ή και παραπάνω. Οι αριθμοί που αφορούν τις χρήσεις διπλασιάζονται ή τριπλασιάζονται όταν αφορούν 2V στοιχεία OPzS ή OPzV.
5. Οι συσσωρευτές περιέχουν επικίνδυνες ουσίες και πρέπει υποχρεωτικά να αποσύρονται για ανακύκλωση σε ειδικούς χώρους που βρίσκονται στα σημεία όπου πωλούνται συσσωρευτές και μπαταρίες, αλλά και αλλού. Με την απόρριψη των συσσωρευτών στα σκουπίδια μολύνεται για εκατοντάδες χρόνια το χώμα και το νερό.

Οι κύκλοι χρήσης του παραπάνω παραδείγματος, μπορεί ακόμη και να διπλασιαστούν αν διατηρούνται συνεχώς οι συσσωρευτές σε σταθερή θερμοκρασία δωματίου, φορτίζονται καθημερινά στο 100% με έναν καλό ρυθμιστή φόρτισης κ.λπ. Ένας κύκλος στο παράδειγμα του 50%, είναι μια εκφόρτιση κατά το μισό που ακολουθείται αμέσως από μια φόρτιση στο 100% .

Αν ένας συσσωρευτής εκφορτίζεται λιγότερο από 50%, θα αντέξει για πολύ περισσότερους κύκλους. Μετά το πέρας των κύκλων αυτών, δεν σημαίνει ότι θα είναι απαραίτητα για πέταμα, απλώς θα έχει πλέον αρκετά μικρή χωρητικότητα και θα αδειάζει πολύ γρήγορα, με αποτέλεσμα να πρέπει να τον αλλάξουμε.

Όταν οι πωλητές λένε ότι κάποιος συσσωρευτής “έχει διάρκεια ζωής 10 χρόνια”, αυτά τα 10 χρόνια τα εγγυάται ο κατασκευαστής του συσσωρευτή για το λεγόμενο “floating service”. Αυτό συμβαίνει όταν ένας συσσωρευτής χρησιμοποιείται σε μια χρήση παρόμοια με αυτή στα συστήματα συναγερμών:

Βρίσκεται συνεχώς φορτισμένος στο 100% (ή απλώς αυτό-εκφορτίζεται καθημερινά ελαφρώς) και χρησιμοποιείται μόνο όταν ενεργοποιηθεί ο συναγερμός.

- **Η χωρητικότητα στους συσσωρευτές**

Ένας δείκτης που μπορεί παρατηρείται στα φυλλάδια των συσσωρευτών είναι ο δείκτης C (π.χ. C10, C20, C100). Οι συσσωρευτές δεν έχουν κάποιο συγκεκριμένο C. Είναι απλά ένας δείκτης που δείχνει σε τι ταχύτητα εκφόρτισης σε A έχει υπολογιστεί από τον κατασκευαστή η δηλούμενη χωρητικότητα ενός συσσωρευτή. Για παράδειγμα, ένας συσσωρευτής 100Ah σε ταχύτητα εκφόρτισης 10A την ώρα (δηλαδή σε C10 ή 1/10 ή 10% της χωρητικότητας σε Ah) έχει χωρητικότητα 100Ah, ενώ σε ταχύτητα εκφόρτισης 5A την ώρα (δηλαδή σε C20 ή 1/20 ή 5% της χωρητικότητας σε Ah) έχει χωρητικότητα 110-120Ah (περίπου 10-20% παραπάνω). Όσο περισσότερο ρεύμα τραβάει το σύστημα, τόσο λιγότερη η συνολική ποσότητα που μπορεί να μας παρέχει ένας συσσωρευτής. Συνήθως οι συσσωρευτές του εμπορίου έχουν βαθμονομηθεί ως C10 ή C20 ή C120. Για χρήση σε Φ/Β συστήματα, το C20 είναι κοντά στην πραγματικότητα όπως και το C10 μερικές φορές.

- **Διασύνδεση των συσσωρευτών σε συστοιχίες**

Για μεγαλύτερη χωρητικότητα γίνεται σύνδεση με περισσότερους συσσωρευτές παράλληλα ή σε σειρά μεταξύ τους. Για μεγαλύτερη τάση (V) γίνεται σύνδεση σε σειρά μεταξύ τους, ενώ για μεγαλύτερη χωρητικότητα (σε Ah) γίνεται σύνδεση παράλληλα μεταξύ τους. Επίσης γίνονται συνδυασμοί σε εν σειρά και παράλληλη σύνδεση, για να διαμορφωθεί ο κατάλληλος συνδυασμός τάσης και χωρητικότητας σε Αμπερώρια (Ah).

Πρέπει να δοθεί προσοχή στην συνδεσμολογία γιατί ενώ η εν σειρά διασύνδεση είναι σχετικά απλή και υπάρχουν και σταθεροποιητές για να φορτίζονται σωστά όλες οι μπαταρίες που βρίσκονται συνδεδεμένες εν σειρά, η παράλληλη διασύνδεση πολλών συσσωρευτών πρέπει να αποφεύγεται αν δεν γνωρίζει κανείς πολύ καλά τη διαδικασία. Η λάθος συνδεσμολογία θα οδηγήσει τους συσσωρευτές να μην βρίσκονται ποτέ ταυτόχρονα τέλεια ισορροπημένοι. Έτσι, οι πιο αδύναμοι συσσωρευτές δημιουργούν πρόβλημα στους διπλανούς τους και αρχίζει ένας φαύλος κύκλος που μειώνει τελικά δραστικά την αναμενόμενη διάρκεια ζωής όλων των συσσωρευτών. Όσο περισσότεροι τόσο πιο έντονο γίνεται το πρόβλημα αυτό.

- **Επιλογή μπαταριών**

Απαιτείται μεγάλη προσοχή στην επιλογή των μπαταριών για Φ/Β σε σχέση με την τιμή τους. Μια μπαταρία μπορεί να είναι 30% φθηνότερη από κάποια άλλη, αλλά ίσως να παρέχει μόνο τους μισούς κύκλους ζωής συγκριτικά με την ακριβότερη μπαταρία (για τον ίδιο τρόπο χρήσης και για το ίδιο βάθος εκφόρτισης). Για παράδειγμα: Μπαταρία Α: Τιμή 350,00 ευρώ. Διάρκεια ζωής 1.000 κύκλοι (με

εκφόρτιση έως το μισό της χωρητικότητάς της) και Μπαταρία Β: Τιμή 300,00 ευρώ. Διάρκεια ζωής 500 κύκλοι (με εκφόρτιση έως το μισό της χωρητικότητάς της).

Ο εγκαταστάτης οφείλει να προτείνει στον επενδυτή τις μπαταρίες με την καλύτερη σχέση τιμή-κύκλους ζωής (υπό τις ίδιες συνθήκες) αν και την τελική απόφαση την κάνει ο επενδυτής. Δεν είναι σωστό να προστεθούν καινούριοι συσσωρευτές σε μια συστοιχία με παλιούς. Όλοι οι συσσωρευτές πρέπει να είναι σε παρόμοια κατάσταση (της ίδιας χρονιάς, με την ίδια χρήση, του ίδιου κατασκευαστή, του ίδιου τύπου κ.λπ.). Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, καλό είναι να επιλεγεί σωστά από την αρχή η χωρητικότητα των συσσωρευτών του συστήματός. Συνιστάται η χωρητικότητα των μπαταριών να είναι μεγαλύτερη από ότι χρειάζεται σε περίπτωση μελλοντικής επέκτασης του συστήματος.

Πριν από τον υπολογισμό της ισχύς της Φ/Β συστοιχίας και της χωρητικότητας των συσσωρευτών πρέπει να δοθούν κάποιοι γενικοί κανόνες, όπως η τάση των συσσωρευτών που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί και το βάθος εκφόρτισης τους (καθορίζει ισχυρά το χρόνο ζωής τους). Η τάση των μπαταριών επηρεάζει από τον τύπο της μπαταρίας, τα πάνελ που θα χρησιμοποιηθούν, τον τρόπο σύνδεσής τους και το ρυθμιστή φόρτισης. Επίσης θα πρέπει να οριστεί από τον επενδυτή ο αριθμός των ημερών αυτονομίας που θα θέλει από το σύστημά του. Το βάθος εκφόρτισης ορίζει πόσο βαθιά θα είναι η χρήση της ενέργειας της μπαταρίας. Ο αριθμός των εκφορτίσεων επί το βάθος εκφόρτισης είναι σταθερός και κατά συνέπεια όσο αυξάνεται το βάθος εκφόρτισης τόσο μειώνεται ο χρόνος ζωής της μπαταρίας.

Στη συνέχεια και με βάση τα παραπάνω υπολογίζεται η χωρητικότητα C σε Ah της συστοιχίας των συσσωρευτών από την παρακάτω εξίσωση:

$$C = \frac{E * A}{V * T * n_{cab} * n_{inv}}$$

C: ελάχιστη χωρητικότητα της μπαταρίας

E: ημερήσιες ενεργειακές ανάγκες, Wh

A: αριθμός αυτονομίας

V: τάση συστήματος συνεχούς ρεύματος, V

T: μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης

$n_{inv}$ : απόδοση αντιστροφέα (1 αν δεν υπάρχει αντιστροφέας)

$n_{cap}$ : απόδοση των καλωδίων που μεταφέρουν την ισχύ από τις μπαταρίες στα φορτία καταναλώσεις.



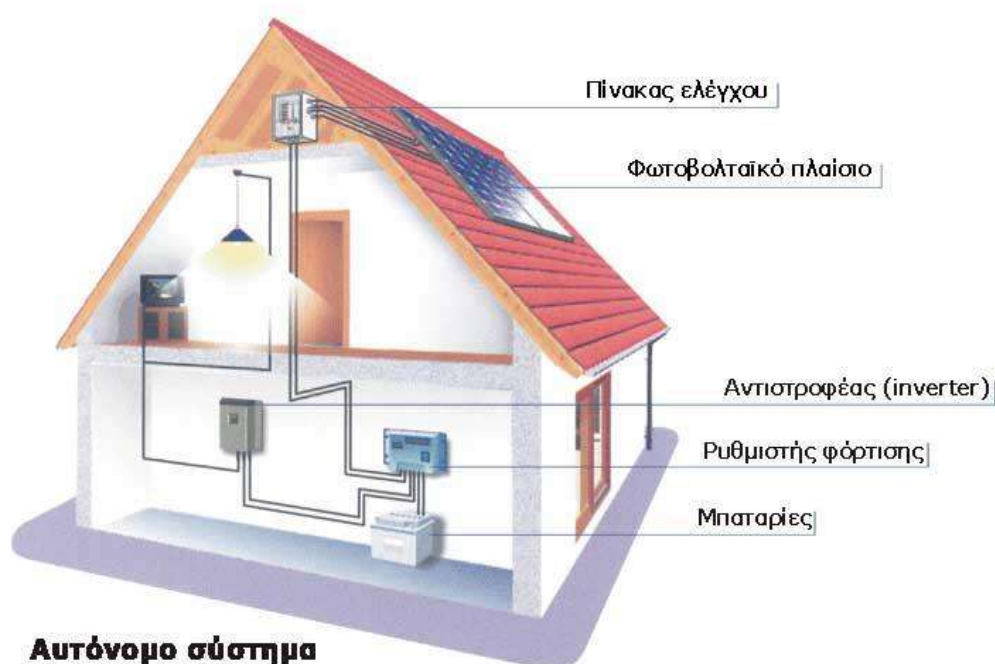
## 1.6 Κατάταξη Φ/Β συστήματος

Υπάρχουν διάφορες ταξινομήσεις των Φ/Β συστημάτων στη βιβλιογραφία. Οι δυο πιο συχνές είναι σε σχέση με: α) με τη χρήση του παραγόμενου ρεύματος και β) με τον τρόπο σύνδεσης των Φ/Β πάνελ.

### 1.6.1 Σε σχέση με τη χρήση του παραγόμενου ρεύματος

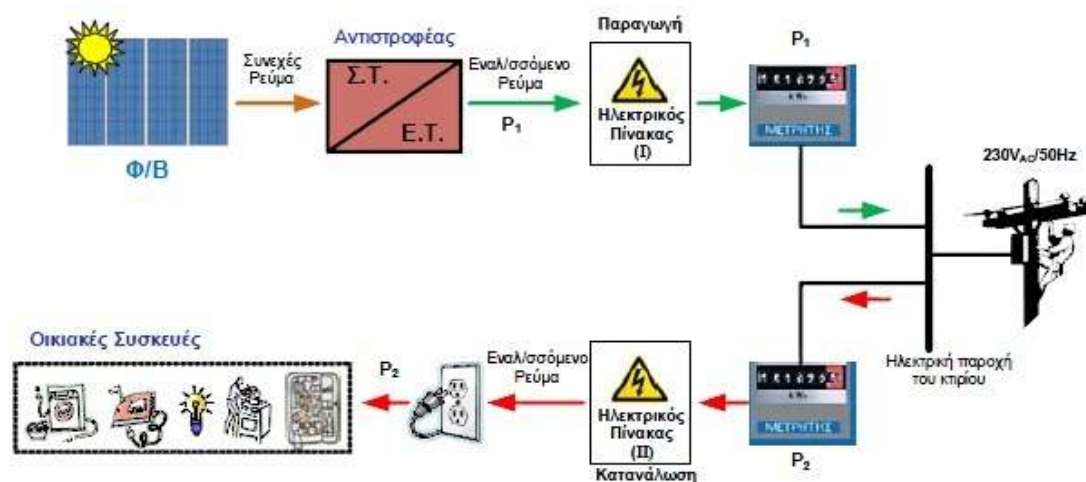
Τα Φ/Β συστήματα χωρίζονται με βάση τη χρήση του παραγόμενου ρεύματος σε τρεις κατηγορίες, οι οποίες είναι τα:

1. **Αυτόνομα συστήματα**, η παραγόμενη ενέργεια καταναλώνεται επιτόπου και εξολοκλήρου από την παραγωγή στην κατανάλωση καθιστώντας το σύστημα ενεργειακά αυτόνομο (Σχήμα 1.11).



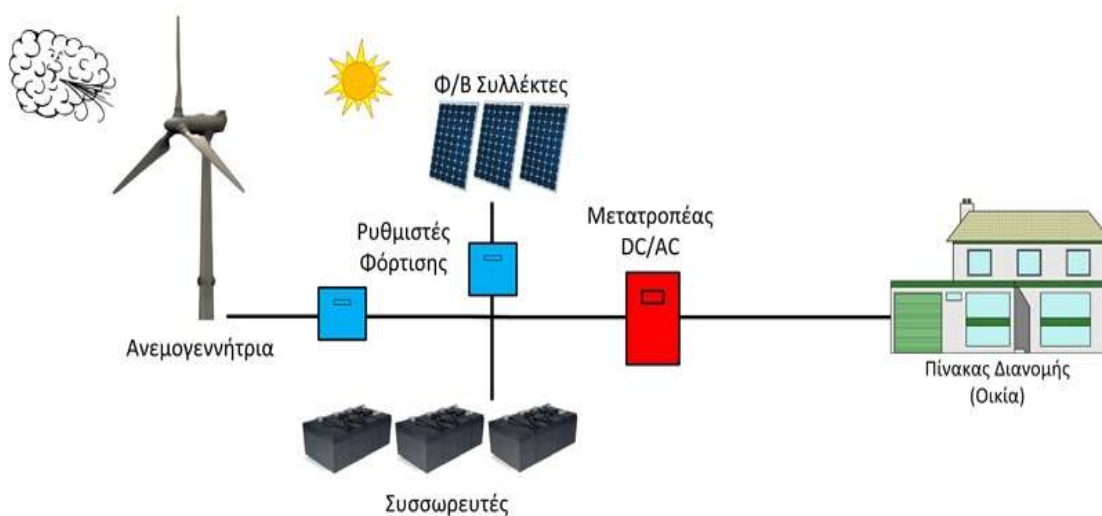
Σχήμα 1.11: Παράδειγμα αυτόνομου Φ/Β συστήματος.

2. **Διασυνδεδεμένα συστήματα**, η παραγόμενη ενέργεια από τα Φ/Β διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να μεταφερθεί και να καταναλωθεί αλλού με αντίτιμο αμοιβή από τον ιδιοκτήτη του δικτύου ή τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία του συστήματος και η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας εφ' όσον υπάρχει διαβιβάζεται και πωλείται στο δίκτυο (Σχήμα 1.12).



Σχήμα 1.12: Παράδειγμα διασυνδεδεμένου Φ/Β συστήματος

3. **Υβριδικά Φ/Β συστήματα**: Όταν τα αυτόνομα Φ/Β συστήματα συνδυασθούν και με άλλη ανανεώσιμη ή συμβατική πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (ανεμογεννήτρια, ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, κ.λ.π.) (Σχήμα 1.13).

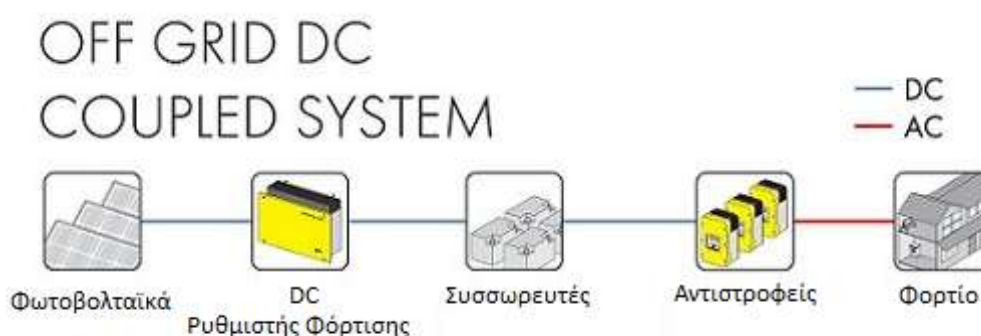


Σχήμα 1.13: Παράδειγμα υβριδικού Φ/Β συστήματος

### 1.6.2 Σε σχέση με τον τρόπο διασύνδεσης των Φ/Β συστημάτων

- **Διασύνδεση σε DC (DC coupling)**

Ο πιο γνωστός έως σήμερα τρόπος διασύνδεσης ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η διασύνδεση σε DC (DC coupling). Βασική ιδέα στον τρόπο αυτό σύνδεσης ενός αυτόνομου Φ/Β είναι η κοινή διασύνδεση όλων των επιμέρους στοιχείων του συστήματος (Φ/Β πάνελ μέσω ρυθμιστή και αντιστροφέας) σε συνεχή τάση (DC) στη συστοιχία συσσωρευτών. Το διάγραμμα DC διασύνδεσης ενός αυτόνομου Φ/Β δίνεται στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 1.14) και κάνει σαφές το λόγο της ονομασίας αυτής.



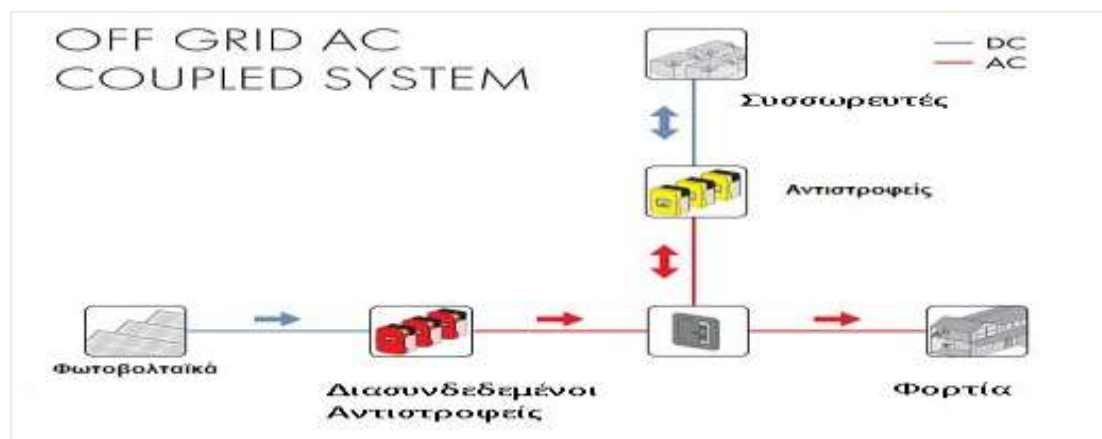
**Σχήμα 1.14:** Διάγραμμα DC διασύνδεσης ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος

Συνήθως η DC διασύνδεση χρησιμοποιείται σχετικά σε μικρά σε ισχύ συστήματα (συνήθως μονοφασικά με ισχύ πλαισίων κάτω από 5-6kWp και ισχύ αντιστροφέα κάτω από 6-8kWp) ενώ η AC διασύνδεση στα μεγάλα σε ισχύ συστήματα.

Κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η απλότητα στην κατασκευή και τη λειτουργία και το χαμηλό κόστος. Βασικό μειονέκτημα της DC διασύνδεσης είναι οι αυξημένες απώλειες καθώς η ενέργεια για να καταλήξει στο καταναλωτή διοχετεύεται υποχρεωτικά από διπλές απώλειες μετατροπής (από πάνελ μέσω ρυθμιστή φόρτισης στις μπαταρίες και από τις μπαταρίες μέσω του αντιστροφέα στο φορτίο). Επίσης μειώνεται ο χρόνος ζωής της μπαταρίας εφόσον ακόμη και όταν υπάρχει ηλιοφάνεια για να τροφοδοτηθεί η κατανάλωση η ενέργεια πρέπει να περάσει μέσω των μπαταριών.

- **Διασύνδεση σε AC**

Τα μειονεκτήματα της DC διασύνδεσης εκμηδενίζονται χρησιμοποιώντας την **AC διασύνδεση** όπου τα πάνελ διασυνδέονται μέσω του αντιστροφέα (κοινός διασυνδεδεμένος αντιστροφέας) απευθείας στο φορτίο (Σχήμα 1.15).



**Σχήμα 1.15:** Διάγραμμα AC διασύνδεσης ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος

Επίσης τα Φ/Β με τις μπαταρίες μπορούν να εγκατασταθούν σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους, κάτι μπορεί να είναι χρήσιμο σε μεγάλα συγκροτήματα όπως ξενοδοχεία που θα έχουν σε άλλο μέρος εγκατεστημένα τα Φ/Β πάνελ και άλλου τις μπαταρίες.

Τέλος με την AC διασύνδεση γίνεται να παρέχεται διπλάσια ισχύ στο σύστημα καθώς αποδίδεται ισχύ από τους αντιστροφείς και από τους διασυνδεδεμένους αντιστροφείς. Για παράδειγμα στην DC διασύνδεση μπορεί να παρέχεται ισχύ 5 KW από τον αντιστροφέα, ενώ στην AC διασύνδεση μπορεί να παρέχεται ισχύ 5 KW από τον αντιστροφέα και άλλα 5 KW από τον διασυνδεδεμένο αντιστροφέα. Βασικό μειονέκτημα όμως του AC coupling είναι το αυξημένο κόστος.<sup>[17]</sup>

## 1.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Φ/Β συστημάτων

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των Φ/Β είναι:

- Μηδενική ρύπανση: (Δεν παράγουν υποπροϊόντα ούτε χρειάζονται καύσιμα για να λειτουργήσουν. Επίσης κατασκευάζονται από ανακυκλώσιμα υλικά (γυαλί, αλουμίνιο, πυρίτιο) συνεπώς είναι περιβαλλοντικά καθαρά.)
- Αθόρυβη λειτουργία.
- Αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής: Η απόδοση τους παραμένει σταθερή στο μεγαλύτερο μέρος της λειτουργίας τους και η διάρκεια ζωής τους μπορεί να φτάσει έως και τα 30 χρόνια.

- Μηδενικό κόστος λειτουργίας και παραγωγής ενέργειας: Χρησιμοποιούν το φως του ήλιου για να παράγουν ηλεκτρισμό. Δεν καταναλώνουν πρώτες ύλες. Απαιτούν ελάχιστη συντήρηση.
- Δυνατότητα επέκτασης: Σε περίπτωση που οι ανάγκες αυξηθούν, πολύ εύκολα το σύστημα αναβαθμίζεται για να καλύψει ενεργειακά την νέα ζήτηση.
- Είναι κατάλληλα για επιτόπιες εφαρμογές όπου δεν υπάρχει ή δε συμφέρει η επέκταση του ηλεκτρικού δικτύου.
- Είναι δυνατόν να συναρμολογηθούν τυποποιημένα στοιχεία μαζικής παραγωγής σε σύστημα οποιουδήποτε μεγέθους (και βαθμό απόδοσης πρακτικά ανεξάρτητο του μεγέθους) για να καλύψουν μικρές, μέσες και μεγάλες ενεργειακές ανάγκες.
- Έχουν μεγάλο λόγο ισχύος/βάρους επομένως κατάλληλα για εγκατάσταση σε στέγες.
- Μεγάλες δυνατότητες σε μια ευρεία περιοχή ισχύων (από mW μέχρι MW).
- Κατασκευάζονται από πυρίτιο, ένα από τα πλέον εν αφθονία στοιχεία.
- Λειτουργούν και με νεφελώδη ουρανό (διάχυτη ακτινοβολία).
- Πλέον αποδοτικά σε χαμηλές θερμοκρασίες.
- Αν ένα κομμάτι πάθει βλάβη το σύστημα συνεχίζει τη λειτουργία του μέχρι την αντικατάστασή του.

Η χρήση των Φ/Β έχει και ορισμένα μειονεκτήματα που περιγράφονται παρακάτω.

- Η έλλειψη επιδοτήσεων ήταν ως πριν λίγο ο κυριότερος λόγος για τη στασιμότητα της ελληνικής αγοράς Φ/Β, (π.χ. η έλλειψη επιχορήγησης για τον οικιακό καταναλωτή, έλλειψη επιχορήγησης της παραγόμενης kWh).
- Τα Φ/Β έχουν υψηλό αρχικό κόστος επένδυσης.
- Ο απαραίτητος περιοδικός καθαρισμός της επιφάνειας των Φ/Β πλαισίων με απορρυπαντικό για να αποφευχθεί η μείωση της απόδοσης από τη ρύπανση (αιθάλη, σκόνη, αλάτι θαλάσσης κτλ).
- Υπάρχει ανάγκη αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας των Φ/Β με ανεμογεννήτριες και συμβατικές μηχανές παραγωγής λόγω ετεροχρονισμού φορτίου και παραγωγής (Κατά τις νυχτερινές ώρες, δεν υπάρχει παραγωγή ενέργειας, επομένως για αυτόνομα συστήματα απαιτείται η χρήση συσσωρευτών).
- Απαιτούν συνήθως μεγάλο χώρο για την εγκατάστασή τους προκειμένου να επιτευχθεί ικανοποιητικό επίπεδο παραγωγής ενέργειας.
- Η παραγωγή ενέργειας επηρεάζεται από πιθανές νεφώσεις και τη ρύπανση του αέρα.
- Οι απόψεις για την αισθητική (οπτική) επίπτωση τους δίδονται, αν και σήμερα υπάρχει πληθώρα καινοτόμων υλικών που ικανοποιούν και τις πιο απαιτητικές αισθητικές παραμέτρους της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής.<sup>[18],[19]</sup>

## 1.8 Το μέλλον των Φ/Β συστημάτων

Βασικός στόχος των Φ/Β στο μέλλον είναι οι προσπάθειες για την αύξηση της απόδοσης των πάνελ και την καλύτερη λειτουργία των συσσωρευτών, ταυτόχρονα με τη μείωση του συνολικού κόστους του συστήματος. Πρόσφατα μια ομάδα επιστημόνων από την Αυστραλία κατασκεύασε φωτοβολταϊκά συστήματα με αποδοτικότητα ύψους 34,5% (χωρίς συμπυκνωτές) και ταυτόχρονα το Φ/Β έχει μέγεθος 28 τετραγωνικά εκατοστά (διασταύρωση), γεγονός που θα συμβάλλει στη μείωση τους κόστους για την ηλιακή ενέργεια. Η ίδια ομάδα ερευνητών από το University of New South Wales, το 2014 είχε πετύχει ένα ακόμη μεγαλύτερο ποσοστό αποδοτικότητας, χρησιμοποιώντας καθρέπτες ώστε να συγκεντρώνει το φως στα πάνελ. Τότε το ποσοστό είχε εκτοξευτεί στο 40%, όμως δεν μπορεί να συγκριθεί με το νέο ποσοστό.

Τα συμβατικά φωτοβολταϊκά, αυτά που για παράδειγμα τοποθετούνται πάνω στην οροφή ενός σπιτιού, δεν έχουν καθρέπτες ώστε να συγκεντρώνουν παραπάνω ηλιακή ενέργεια. Το 34,5% χωρίς συμπυκνωτές θεωρείται ένα καταπληκτικό ποσοστό. Πέραν αυτού όμως, αφορά στα φωτοβολταϊκά που θα μπορούν να διατεθούν στην αγορά για ιδιωτική χρήση. Μπορεί το 40% να είναι θεωρητικά καλύτερο, αλλά πιο δύσκολα θα προτιμήσει κάποιος να βάλει φωτοβολταϊκά με κάτοπτρα στην ταράτσα του. Αρχικά η πρόβλεψη των επιστημόνων, οι οποίοι μάλιστα χαρακτηρίζονταν ως ιδιαίτερα φιλόδοξοι, ήταν να επιτευχθεί ένα ποσοστό κοντά στο 35% μέχρι στο 2050, όμως διαψεύστηκαν ευχάριστα. Επόμενος στόχος της ομάδας είναι η δημιουργία ηλιακών πάνελ αντίστοιχης τεχνολογίας αλλά μεγαλύτερου μεγέθους, έτσι ώστε τα Φ/Β να αυξήσουν την αποδοτικότητά τους. Πάντως, η θεωρία προβλέπει πως δεν μπορεί το ποσοστό να ξεπεράσει το 50-53%.

Οι προβλέψεις για το άμεσο μέλλον όσον αφορά την αγορά των Φ/Β είναι ιδιαίτερα ευοίωνες, τόσο για την καθολική εξάπλωση της Φ/Β τεχνολογίας παγκοσμίως, όσο και για την καθοδική πορεία στις τιμές των Φ/Β πλαϊσίων.<sup>[20]</sup>

## Κεφάλαιο Δεύτερο

# Σχεδιασμός εφαρμογής ενός Φ/Β συστήματος – Η αρχική μελέτη

### 2.1 Η εκτίμηση των παραγόντων για την εφαρμογή ενός Φ/Β συστήματος

Η αρχική μελέτη και ο σχεδιασμός ενός Φ/Β συστήματος απαιτεί την εκτίμηση μιας σειράς από παραμέτρους που θα διευκολύνουν την καλύτερη απόδοση του συστήματος στις υπάρχουσες συνθήκες που θα εγκατασταθεί και σε κόστος που μπορεί να διαθέσει ο επενδυτής. Οι κυριότεροι από αυτούς του παράγοντες είναι:

[6]

- Επιθεώρηση χώρου εγκατάστασης
- Οι ανάγκες του πελάτη
- Κλιματικές συνθήκες
- Σκίαση
- Προσανατολισμός και κλίση της διάταξης
- Μέθοδοι Στήριξης Φ/Β πλαισίων
- Χωροθέτηση
- Καταγραφή φορτίου
- Απόδοση συστήματος

#### 2.1.1 Επιθεώρηση χώρου εγκατάστασης

Πριν ξεκινήσει ο σχεδιασμός ενός Φ/Β συστήματος ο εγκαταστάτης θα πρέπει να διεξάγει επιθεώρηση στο χώρο εγκατάστασης προκειμένου να ελέγξει εάν η τοποθεσία είναι κατάλληλη για την εγκατάσταση. Κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης της περιοχής θα πρέπει να συλλεχτούν στοιχεία για την εκτίμηση της παραγωγής ενέργειας του συστήματος και το κόστος αυτού. Σημαντικές πληροφορίες που πρέπει να εξετάσει ο εγκαταστάτης σε ένα κτίριο για την εγκατάσταση των Φ/Β πάνελ είναι:

- τη διαθέσιμη έκταση και τις ιδιαιτερότητες του χώρου, δηλαδή την πρόσβαση, τα σημεία εξόδου και εργασίας, τους διάδρομους στέγης σε περίπτωση που εγκατασταθούν στη ταράτσα του κτιρίου, πιθανά εμπόδια όπως ο ηλιακός θερμοσίφωνας ή τυχόν διελεύσεις σωληνώσεων κ.ά.



- την πιθανή θέση των πλαισίων και του υπόλοιπου εξοπλισμού (αντιστροφείς, μπαταρίες κ.ά.),
- τις σκιάσεις,
- τη διέλευση των καλωδίων,
- τον προσανατολισμό και τη γωνία κλίσης των Φ/Β πάνελ,
- το ύψος της εγκατάστασης και το υψόμετρο της περιοχής για να ληφθούν υπ' όψη οι αναμενόμενες ανεμοπιέσεις και οι καιρικές συνθήκες (πιθανό βάρος χιονιού).

Επίσης θα πρέπει να είναι διαθέσιμη η στατική μελέτη του κτιρίου, διατομές και βάρη σκελετού, προκειμένου να είναι υπολογίσιμο:

- το μέγιστο επιτρεπόμενο βάρος επί στέγης,
- ο υπολογισμός των διατομών,
- ο υπολογισμός πρόσθετης μεταλλικής κατασκευής για την υποστήριξη των βάσεων.

Αν η κατασκευή δείχνει ανεπαρκής, για τη στήριξη του συστήματος, ο τεχνικός θα πρέπει να απευθυνθεί σε στατικό μηχανικό και να ζητήσει την συμβουλή του. Επιπλέον ο εγκαταστάτης πρέπει να λαμβάνει υπόψη του τυχόν κινδύνους που εγκυμονεί η εγκατάσταση των Φ/Β στον συγκεκριμένο χώρο. Πιο αναλυτικά, είναι απαραίτητο να ελέγξει τον τρόπο πρόσβασης στο σημείο εγκατάστασης και τις συνθήκες που επικρατούν εκεί. Για παράδειγμα αν υπάρχουν ολισθηρές επιφάνειες ή αν υπάρχει εκτεταμένη φθορά στην στέγη που αυξάνουν τους κινδύνους ατυχήματος. Τέλος να λάβει υπόψη τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν την δεδομένη χρονική στιγμή, ώστε να μπορούν να υλοποιηθούν οι εργασίες εγκατάστασης (μην έχει ισχυρούς ανέμους, ημέρες ψύχους).<sup>[6]</sup>

### 2.1.2 Οι ανάγκες του πελάτη

Ο εγκαταστάτης πρέπει να έχει σαφή εικόνα των αναγκών του επενδυτή, πριν προχωρήσει στη μελέτη σκοπιμότητας και το σχεδιασμό του συστήματος, ώστε αυτό να είναι όσο τον δυνατόν πιο αξιόπιστο και να ανταποκρίνεται στις ζητούμενες ανάγκες. Θα πρέπει να συζητηθούν με τον επενδυτή θέματα σχετικά με το μέγεθος του συστήματος, το κόστος υλοποίησής του, τις πιθανές επιδοτήσεις κλπ. Επίσης, ο εγκαταστάτης οφείλει να μπορεί να απαντήσει σε ερωτήσεις σχετικά με το προτεινόμενο σύστημα, καθώς και σε ερωτήσεις γενικές επί του συστήματος (π.χ. ποια είναι η διάρκεια ζωής του Φ/Β συστήματος; τι συντήρηση απαιτείται; κτλ) και να μπορεί να παραθέσει εναλλακτικές επιλογές βασιζόμενες σε διάφορες παραμέτρους (διαφορετική χωροθέτηση κλπ).<sup>[6]</sup>



### 2.1.3 Κλιματικές συνθήκες

Όσο μεγαλύτερη και πιο ομοιογενές είναι η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στη Φ/Β συστοιχία, τόσο υψηλότερη είναι η απόδοση του συστήματος και αυτό διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και από τις κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτές. Οι περιοχές κοντά στον Ισημερινό δέχονται περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία από τις περιοχές κοντά στους πόλους. Υπάρχει όμως περίπτωση περιοχές με διαφορετικό κλίμα αλλά στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος να δέχονται μικρότερη ή μεγαλύτερη ηλιακή ακτινοβολία λόγω του κλίματος που επικρατεί εκεί π.χ. πολλές νεφώσεις που συνεπάγεται να φτάνει στο έδαφος μικρότερη ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας. Για τον λόγο αυτό η περιοχή εγκατάστασης αποτελεί σημαντική παράμετρο στην απόδοση του συστήματος. Ηλιακοί χάρτες που απεικονίζουν το ηλιακό δυναμικό σε διάφορες περιοχές της Ευρώπης, είναι διαθέσιμοι στο Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών για Φ/Β (PVGIS). Για την Ελλάδα διατίθενται επίσης αντίστοιχοι χάρτες, από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών.<sup>[21]</sup>

Τα Φ/Β συστήματα πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να αντέχουν σε δύσκολες καιρικές συνθήκες, όπως καταιγίδες με κεραυνούς, ισχυρούς ανέμους έντασης έως και 120 χλμ/ώρα και ακραίες θερμοκρασίες. Τα Φ/Β είναι πιο αποδοτικά σε χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας, έτσι θα πρέπει να εγκαθίστανται σε απόσταση από τις στέγες, τοίχους κλπ, ώστε να διασφαλίζεται αυτόματα και φυσικά η ψύξη τους με τον αερισμό τους.<sup>[6]</sup>

### 2.1.4 Σκίαση

Κατά την πρώτη επίσκεψη του εγκατάσταση στον χώρο εγκατάστασης θα πρέπει να διαπιστώσει εάν το Φ/Β σύστημα θα σκιάζεται και σε ποιο βαθμό. Οι σκιάσεις μπορούν να αποτελέσουν μια από τις σημαντικότερες αιτίες απωλειών στη διάταξη και για το λόγο αυτό απαιτείται λεπτομερής, επιτόπια καταγραφή του χώρου. Η σκίαση σε Φ/Β μπορεί να ταξινομηθεί στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Προσωρινή** σκίαση που οφείλεται στα φύλλα, το χιόνι, τη σκόνη και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Η επίδραση αυτής της κατηγορίας σκίασης μπορεί να αποφευχθεί σε μεγάλο βαθμό με την κατάλληλη ρύθμιση της γωνίας του πλαισίου και την συχνή καθαριότητα του πλαισίου με νερό.
- **Προερχόμενη από την τοποθεσία** σκίαση, που οφείλεται στον περιβάλλοντα χώρο, συνήθως δέντρα, τηλεφωνικές καλωδιώσεις, παράθυρα της στέγης, καμινάδες κτλ.
- **Αυτό-σκίαση** που δημιουργείται από τα ίδια τα Φ/Β πάνελ αν έχουν τοποθετηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να σκιάζουν γειτονικά τους πάνελ. Ο εγκαταστάτης θα πρέπει να τοποθετεί τις σειρές με τέτοιο τρόπο που θα

ελαχιστοποιούνται οι απώλειες σκίασης με βελτιστοποίηση της κλίσης των γωνιών και των αποστάσεων μεταξύ των σειρών των πλαίσιων. Συνιστάται η απόσταση μεταξύ των σειρών να υπολογίζεται ώστε να αποφεύγεται η σκίαση μεταξύ 9:00πμ-15:00μμ κατά το χειμερινό ηλιοστάσιο, καθώς τότε ο ήλιος βρίσκεται στην χαμηλότερη γωνία.

- **Προερχόμενη από τα κτίρια** σκίαση που δημιουργούν τα γειτονικά κτίρια ή το ίδιο το κτίριο.

Οτιδήποτε που είναι πιθανόν να δημιουργεί σκιά στα πλαίσια κάποια ώρα της ημέρας που είναι ωφέλιμη για την παραγωγή ενεργείας, δεν θα πρέπει να θεωρηθεί αμελητέα. Μια σκίαση δεν εξαρτάται μόνο από την τοποθεσία, το μέγεθος και την αιτία που την προκαλεί αλλά και από τις καιρικές συνθήκες, την ώρα και την εποχή. Η χρονική διάρκεια των σκιάσεων τις περισσότερες φορές είναι περιορισμένη δηλαδή σε καμία περίπτωση δεν επηρεάζουν οι σκιάσεις συνεχώς την ενεργειακή απόδοση. Είναι βέβαιο όμως ότι με το σωστό σχεδιασμό, η απόδοση μερικώς σκιασμένων εγκαταστάσεων μπορεί να βελτιωθεί αισθητά.

Σε μερικές περιπτώσεις γίνεται να μετακινηθούν τα εμπόδια όπως για παράδειγμα να επανεγκατασταθεί μια δορυφορική κεραία κάπου που δεν σκιάζει τα πλαίσια ή να κοπούν τα κλαδιά του δέντρου που δημιουργούν σκιά στο χώρο εγκατάστασης. Σε άλλες περιπτώσεις είναι αναπόφευκτη η σκίαση στον χώρο.<sup>[6]</sup>

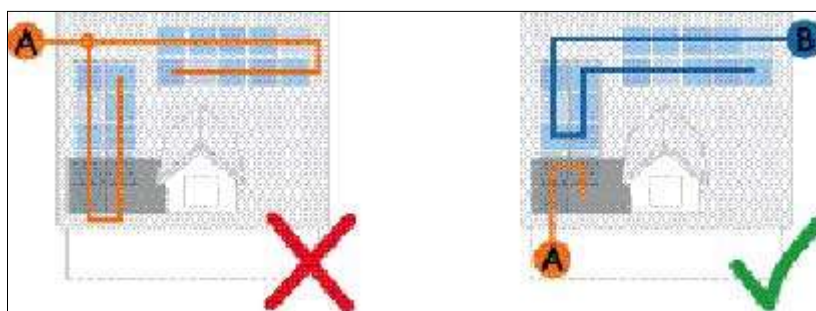
Γενικά, προκειμένου η λειτουργία μιας Φ/Β εγκατάστασης να είναι αποδοτική, απαιτείται η μέγιστη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας σε ώρες υψηλής ακτινοβολίας. Γι' αυτό δεν θα πρέπει να σχεδιάζονται εγκαταστάσεις σε συνθήκες μόνιμης σκίασης. Επιπλέον θα πρέπει να αποφεύγεται κατά το δυνατόν η σκίαση κατά τις ώρες της έντονης ηλιοφάνειας. Υπό αυτές τις προϋποθέσεις, η απόδοση της Φ/Β εγκατάστασης μπορεί, ακολουθώντας τους επόμενους έξι κανόνες μελέτης και σχεδιασμού, να βελτιστοποιηθεί ώστε οι απώλειες λόγω σκίασης να ελαχιστοποιηθούν.<sup>[22]</sup>

1. Ανάλυση της διάρκειας σκίασης επάνω στη γεννήτρια.
2. Ένωση Φ/Β πλαίσιων με παρόμοια πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας σε στοιχειοσειρές.
3. Σύνδεση των στοιχειοσειρών σε μετατροπέα που διαθέτει περισσότερους από έναν ανιχνευτές σημείου μέγιστης ισχύος (MPPT Tracker).
4. Κατάλληλος προσανατολισμός των Φ/Β πλαίσιων.
5. Επιλογή ενός μετατροπέα κατάλληλου για συνθήκες σκίασης.
6. Σωστός σχεδιασμός της τάσης της γεννήτριας.

1. Ανάλυση της διάρκειας σκίασης στη γεννήτρια: Κατ' αρχήν πρέπει να εξακριβωθεί πότε, πού και με ποια ένταση εμφανίζονται οι σκιάσεις και πώς αυτές κατανέμονται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Για να γίνει αυτό, θα πρέπει να συνυπολογιστεί μία σειρά από παραμέτρους ενώ υπάρχουν και διάφορες μέθοδοι

και εργαλεία διαθέσιμα - από έναν απλό δείκτη πορείας της ηλιακής ακτινοβολίας μέχρι μια ηλεκτρονική συσκευή ανάλυσης με GPS, πυξίδα και ενσωματωμένη ψηφιακή κάμερα για λήψεις ορίζοντα.

2. Ένωση Φ/Β πλαισίων με παρόμοια πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας σε στοιχειοσειρές: Όταν εξακριβωθεί ο επιθυμητός αριθμός και η κατάλληλη διάταξη των Φ/Β πλαισίων, θα πρέπει να ενωθούν σε στοιχειοσειρές τα μέρη εκείνα που δέχονται αντίστοιχη ακτινοβολία (ή αντίστοιχη σκίαση). Διότι όταν συνδέονται σε σειρά πλαίσια με διαφορετική πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας, σχηματίζονται στη χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος της στοιχειοσειράς πολλά «τοπικά» σημεία μέγιστης ισχύος, ένα για κάθε κατάσταση ηλιακής ακτινοβολίας. Καθώς κάθε στοιχειοσειρά μπορεί να λειτουργήσει σε ένα μόνο σημείο μέγιστης ισχύος, ο βασικός στόχος είναι να δημιουργηθούν όσο το δυνατόν λιγότερες ανομοιογενείς στοιχειοσειρές (Σχήμα 2.1). Στην πράξη βέβαια, θα πρέπει να προσδιοριστεί ο βαθμός σκίασης (ώρα, διάρκεια, ένταση) που κατηγοριοποιεί ένα πλαίσιο ως "σκιασμένο". Εδώ κατά κανόνα υπάρχουν διάφορες διαβαθμίσεις. Επιπλέον καθοριστικό ρόλο παίζει και το μήκος των στοιχειοσειρών όσον αφορά στο βαθμό απόδοσης του μετατροπέα -που εξαρτάται από την τάση- αλλά και στην περιοχή του εύρους τάσης εισόδου, όπου ο ανιχνευτής MPP λειτουργεί. Στην αγορά πλέον διατίθενται αρκετές τεχνικές λύσεις για την ελαχιστοποίηση απωλειών παραγωγής ηλιακής ενέργειας. Ωστόσο, παραμένει ιδιαίτερα σημαντικός ο προσεκτικός σχεδιασμός που συνυπολογίζει εκ των προτέρων τις τεχνικές και ενεργειακές ιδιαιτερότητες.



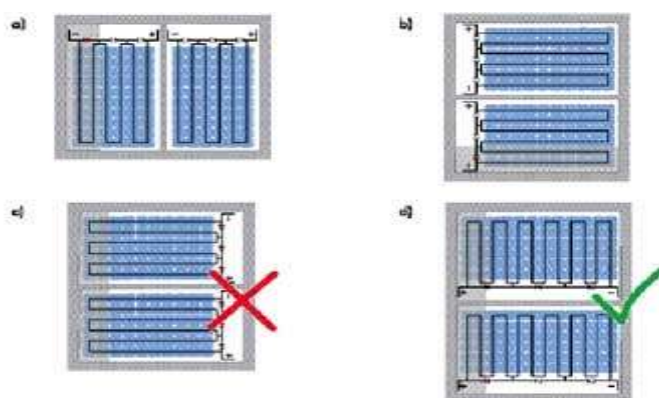
**Σχήμα 2.1:** Ένωση φωτοβολταϊκών πλαισίων σε περίπτωση μερικής σκίασης.

3. Σύνδεση των στοιχειοσειρών σε μετατροπέα που διαθέτει περισσότερους από έναν ανιχνευτές σημείου μέγιστης ισχύος (MPP Tracker): Ο τρίτος κανόνας βασίζεται στο δεύτερο. Εδώ πρόκειται για τη σύνδεση στοιχειοσειρών ή τμημάτων συστοιχιών με διαφορετική πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας ακόμη και σε ξεχωριστές εισόδους μετατροπέων με περισσότερους από έναν ανιχνευτές σημείου μέγιστης ισχύος (MPP-Tracker). Η παράλληλη σύνδεση των στοιχειοσειρών με διαφορετική πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας σε έναν κοινό ανιχνευτή σημείου μέγιστης ισχύος μπορεί να προκαλέσει σημαντικές απώλειες καθώς ένα μέρος των

πλαισίων βασικά δεν θα λειτουργεί στο βέλτιστο σημείο ισχύος. Εάν όμως οι στοιχειοσειρές πρέπει να συνδεθούν παράλληλα, επειδή για παράδειγμα δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί μετατροπέας με περισσότερους από έναν ανιχνευτές σημείου μέγιστης ισχύος, θα πρέπει όλες να παρουσιάζουν την ίδια πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας.

**4. Κατάλληλος προσανατολισμός των Φ/Β πλαισίων:** Ένα Φ/Β πλαίσιο αποτελείται από ξεχωριστές ηλιακές κυψέλες που σχηματίζουν μια μακρά σειρά κυψελών, η οποία χωρίζεται μέσω των παρακαμπτήριων διόδων, ανάλογα με τις ανάγκες, σε αρκετά μικρότερα τμήματα στοιχειοσειρών. Και εδώ προκύπτει το πρόβλημα του διαχωρισμού των κυψελών με διαφορετική πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας από τα διαφορετικά ρεύματα του σημείου μέγιστης ισχύος. Οι δίοδοι παράκαμψης διασφαλίζουν ότι σε περίπτωση που ένα τμήμα σκιάζεται, επηρεάζεται μόνο η δική του απόδοση και όχι ολόκληρου του πλαισίου. Στην περίπτωση λοιπόν που πέσει σκιά στο πλαίσιο, θα πρέπει να εξεταστεί αν αυτό το γεγονός επηρεάζει πολύ μόνο κάποια τμήματα ή λιγότερο μεν αλλά συνολικά όλα τα τμήματα του πλαισίου. Γιατί όσο μικρότερος ο αριθμός των μερικώς σκιασμένων τμημάτων της στοιχειοσειράς, τόσο λιγότερο παρακάμπτονται και τόσο υψηλότερη είναι η ενεργειακή απόδοση του πλαισίου. Ανάλογα με την ανάλυση της διάρκειας σκίασης, τα Φ/Β πλαίσια θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε κάθε φορά να επηρεάζονται όσο το δυνατόν λιγότερα τμήματα των στοιχειοσειρών των πλαισίων (Σχήμα 2.2).

- Πλευρική σκίαση: Κάθετος προσανατολισμός πλαισίων (α)
- Σκίαση από πάνω ή από κάτω: Οριζόντιος προσανατολισμός πλαισίων (β)
- Εάν η κατεύθυνση της συναρμολόγησης των πλαισίων δε δέχεται επιλογές, θα πρέπει, εάν γίνεται, να χρησιμοποιηθούν πλαίσια με άλλη διάταξη κυψελών και διόδων παράκαμψης (c) και (d).



**Σχήμα 2.2:** Κατάλληλος προσανατολισμός των Φ/Β πλαισίων

Σε συνθήκες πλευρικής σκίασης (α) συστήνεται κάθετος προσανατολισμός των πλαισίων. Σε συνθήκες οριζόντιας σκίασης (β) αντίστοιχα οριζόντιος προσανατολισμός. Στο παράδειγμα (γ) σε κάθε περίπτωση είναι ενεργές και οι τρεις

δίοδοι παράκαμψης. Στον τύπο πλαισίου (δ) μόνο μία. Έτσι αξιοποιείται ένα σημαντικά μεγαλύτερο ποσοστό της ισχύος.

5. Επιλογή ενός μετατροπέα κατάλληλου για συνθήκες σκίασης: Κάθε μετατροπέας με περισσότερους από ένα ανιχνευτές σημείου μέγιστης ισχύος (MPP Tracker), δεν είναι και ο κατάλληλος για μερικώς σκιασμένες φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις. Διότι ακόμη και εάν τα μη σκιασμένα και σκιασμένα πλαίσια, σύμφωνα με τον κανόνα 1, συνδεθούν σε διαφορετικούς ανιχνευτές σημείου μέγιστης ισχύος, ο ανιχνευτής στη δεύτερη περίπτωση θα πρέπει να μπορεί να διαχειριστεί διαφορετικά μέγιστα ισχύος. Αυτό συμβαίνει γιατί η σκίαση δεν εμφανίζεται σχεδόν ποτέ σε όλα τα πλαίσια ταυτόχρονα και με την ίδια ένταση. Γι' αυτό το λόγο, στην καμπύλη απόδοσης των μερικώς σκιασμένων στοιχειοσειρών δεν δημιουργείται μόνο ένα, αλλά κατά κανόνα περισσότερα μέγιστα, τα οποία επιπλέον μπορεί να βρίσκονται σε σημαντικά διαφορετικές τάσεις.

Ο ανιχνευτής σημείου μέγιστης ισχύος υπολογίζει το πραγματικό, δηλαδή το καθολικό σημείο μέγιστης ισχύος. Οι συμβατικοί ανιχνευτές δεν είναι πάντα κατάλληλοι αφού, προκειμένου να μην προκαλέσουν άσκοπες απώλειες λόγω αναζήτησης στις μη σκιασμένες Φ/Β εγκαταστάσεις, τις περισσότερες φορές έχουν περιορισμένο πεδίο αναζήτησης. Έτσι, μπορεί ο ανιχνευτής σημείου μέγιστης ισχύος να μη βρίσκει το βέλτιστο σημείο ισχύος της στοιχειοσειράς γιατί αυτό βρίσκεται εκτός του πραγματικού πεδίου αναζήτησής του.

Σε ανιχνευτές ειδικούς για σκιάσεις, το πεδίο αναζήτησής τους μπορεί να επεκταθεί σημαντικά για να μη διατρέχουν τον κίνδυνο να "κολλήσουν" σε ένα τυχόν τοπικό μέγιστο. Ένας τέτοιος ειδικός ανιχνευτής σημείου μέγιστης ισχύος είναι ο Opti-Trac-Global-Peak της SMA, ο οποίος διατίθεται σε όλους τους νέους μετατροπείς της SMA και μπορεί να ενεργοποιηθεί από το μενού. Μία επιπλέον ιδιαιτερότητα του OptiTrac-Global-Peak: Παρά το ευρύ πεδίο αναζήτησης προκύπτει μία ετήσια απώλεια απόδοσης που δεν ξεπερνάει τις 0.2 ποσοστιαίες μονάδες. Αντίθετα, το κέρδος απόδοσης από τη συνεχή λειτουργία σε καθολικό σημείο μέγιστης ισχύος μπορεί να ανέλθει σε περίπου 20% ανάλογα με τις συνθήκες σκίασης.

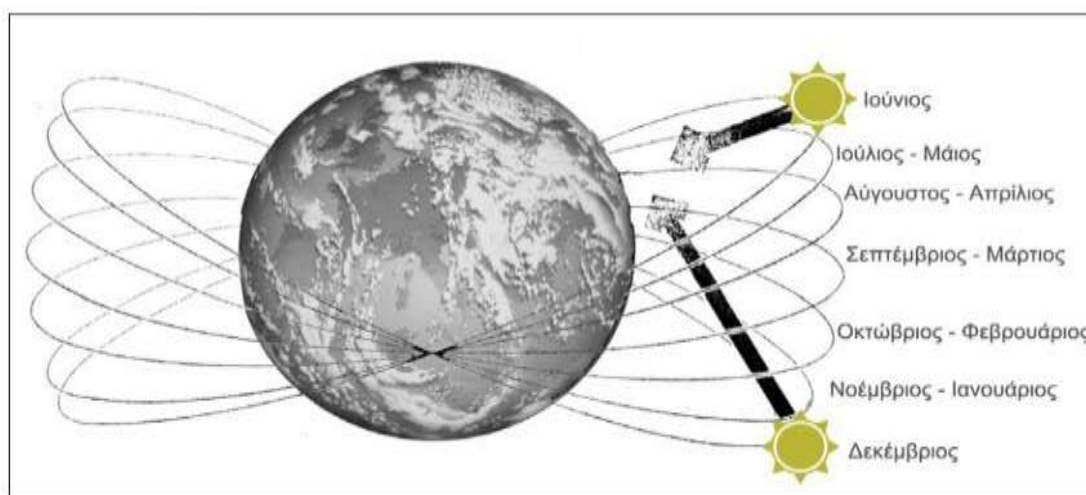
6. Σωστός σχεδιασμός της τάσης της γεννήτριας: Τέλος, θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν η δυνητικά χαμηλότερη τάση των μερικώς σκιασμένων στοιχειοσειρών και κατά τον υπολογισμό της τάσης ολόκληρης της εγκατάστασης. Ο "κλασικός" υπολογισμός της τάσης της γεννήτριας στο κατώτατο όριο τάσης εισόδου του μετατροπέα (UMPP (70°C) μπορεί να μην είναι κατάλληλος και να οδηγήσει σε πτώση κάτω από την ελάχιστη τάση σημείου μέγιστης ισχύος του μετατροπέα. Ως αποτέλεσμα δεν θα μπορεί να ρυθμιστεί το σημείο μέγιστης ισχύος που θα βρίσκεται εκεί. Ο ειδικός για τη σκίαση ανιχνευτής σημείου μέγιστης ισχύος έχει ένα σημαντικά μεγαλύτερο πεδίο αναζήτησης και μπορεί να βρει το μέγιστο απόδοσης

και σε μερικώς σκιασμένες στοιχειοσειρές. Σε συνθήκες σκίασης μειώνεται η τάση του σημείου μέγιστης ισχύος. Για να μπορεί να ρυθμιστεί το σημείο μέγιστης απόδοσης, η περιοχή τάσης εισόδου του μετατροπέα θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη.

Συμπερασματικά η υλοποίηση μερικώς σκιασμένων Φ/Β εγκαταστάσεων αποτελεί ένα έργο με αρκετές προκλήσεις. Η πρόκληση όμως μπορεί να αντιμετωπιστεί με επιτυχία με το σωστό σχεδιασμό, τις απαραίτητες τεχνικές γνώσεις και τους σωστούς μετατροπείς

### 2.1.5 Προσανατολισμός και κλίση της διάταξης

Ο προσανατολισμός της διάταξης αποτελεί επίσης μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους που πρέπει να εκτιμηθούν κατά την επιτόπια επίσκεψη καθώς παίζει ρόλο στην απόδοση του συστήματος. Τα περισσότερα Φ/Β εγκαθίστανται σε σταθερή θέση και δεν ακολουθούν την πορεία του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας. Σε αυτήν την περίπτωση, ο βέλτιστος προσανατολισμός για το βόρειο ημισφαίριο όπου βρίσκεται και η Ελλάδα, είναι προς το νότο. Η υψηλότερη απόδοση ενός Φ/Β πλαισίου επιτυγχάνεται όταν η επιφάνεια του είναι κάθετη στις ακτίνες του ήλιου. Στο βόρειο ημισφαίριο, ο ήλιος φαίνεται να κινείται στο μέγιστο ύψος της τροχιάς του το μεσημέρι κατά το Θερινό Ηλιοστάσιο και στο χαμηλότερο κατά το Χειμερινό Ηλιοστάσιο (Σχήμα 2.3). Οι θέσεις αυτές διαφοροποιούνται ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος κάθε τοποθεσίας.




**Σχήμα 2.3:** Η τροχιά του ήλιου κατά τη διάρκεια του χρόνου

Εμπειρικά, τα Φ/Β θα πρέπει να τοποθετούνται σε κλίση περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος ( $\phi$ ) της περιοχής που εγκαθίστανται, ώστε να συλλέγουν το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Ωστόσο, για αυτόνομα συστήματα σχεδιασμένα να αποδίδουν βέλτιστα το χειμώνα,



τα πλαίσια θα πρέπει να κλίνουν σε γωνία ( $\phi+15^\circ$ ). Αν το σύστημα έχει σχεδιαστεί για να αποδίδει καλύτερα το καλοκαίρι, τότε τα πλαίσια θα πρέπει να εγκαθίστανται σε γωνία ( $\phi-15^\circ$ ).

**Πίνακας 2.1α:** Απόδοση ανάλογα τον προσανατολισμό και την κλίση του Φ/Β πλαισίου στην Ελλάδα<sup>[23]</sup>

 Προσανατολισμός	Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο		
	30°	0°	90°
Ανατολικός - Δυτικός	85%kWh <sub>(max)</sub>	90%kWh <sub>(max)</sub>	50%kWh <sub>(max)</sub>
ΝοτιοΑνατολικός - ΝοτιοΔυτικός	95%kWh <sub>(max)</sub>	90%kWh <sub>(max)</sub>	60%kWh <sub>(max)</sub>
Νότιος	kWh <sub>(max)</sub>	90%kWh <sub>(max)</sub>	60%kWh <sub>(max)</sub>
ΒορειοΑνατολικός ΒορειοΔυτικός	67%kWh <sub>(max)</sub>	90%kWh <sub>(max)</sub>	30%kWh <sub>(max)</sub>
Βόρειος	60%kWh <sub>(max)</sub>	90%kWh <sub>(max)</sub>	20%kWh <sub>(max)</sub>

**Πίνακας 2.1β:** Απόδοση ανάλογα τον προσανατολισμό και την κλίση του Φ/Β πλαισίου στην Ελλάδα

προσανατολισμός																				
δύση					νότος										ανατολή					
τοποθέτηση πάνελ σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο		90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
	0°	87	88	90	91	92	92	93	93	93	93	93	93	92	92	91	90	89	87	86
	10°	84	87	90	92	94	95	95	96	96	97	97	96	95	94	93	91	89	87	84
	20°	82	85	90	93	94	96	97	98	99	99	98	97	96	95	93	91	88	84	81
	30°	78	83	87	91	93	96	97	98	99	100	98	97	96	95	93	89	85	81	78
	40°	75	79	84	87	92	94	95	96	96	96	96	95	94	92	90	86	82	77	72
	50°	70	74	79	83	87	90	91	93	94	94	94	93	91	88	83	80	76	73	70
	60°	65	69	73	77	80	83	86	87	87	87	88	87	85	82	78	74	71	67	63
	70°	59	69	66	70	72	75	78	79	79	79	79	79	78	75	72	62	64	61	56
	80°	50	56	60	64	66	68	69	70	71	72	72	71	70	67	66	60	57	54	50
90°	41	49	54	58	59	60	61	61	63	65	65	63	62	59	59	52	50	47	44	

Αν η Φ/Β συστοιχία είναι εγκατεστημένη στο κτίριο όπου δεν είναι εφικτός ο προσανατολισμός των πλαισίων προς το Νότο, τότε μπορούν να στρέφονται προς την Ανατολή ή την Δύση, αλλά σε καμία περίπτωση προς το Βορρά, καθώς η απόδοσή του θα είναι εξαιρετικά περιορισμένη όπως παρατηρείται και στον πίνακα (Πίνακας 2.1α,β).

### 2.1.6 Μέθοδοι στήριξης Φ/Β πλαισίων

#### Α. Στήριξη σε κτίρια

Οι πιο συνηθισμένες πρακτικές που συναντώνται στα κτίρια είναι:

- Ενσωμάτωση σε κτίρια: Τα Φ/Β μπορούν να ενσωματωθούν στα κτίρια ως ΦΒΕΚ (Φ/Β Ενσωματωμένα στα Κτίρια). Τα ΦΒΕΚ συνήθως τοποθετούνται ταυτόχρονα με τα δομικά υλικά, αλλά μπορούν να εγκατασταθούν και εκ των υστέρων. Κατά την ενσωμάτωση, τα Φ/Β μπορούν να ενταχθούν είτε στην οροφή είτε σε οποιοδήποτε εξωτερικό τμήμα του κτιρίου. Υπάρχουν τρεις βασικές περιοχές ενσωμάτωσης : η οροφή (Εικόνα 2.1), η πρόσοψη (Εικόνα 2.2) και τα σκίαστρα (Εικόνα 2.3).



Εικόνα 2.1: Ενσωματωμένο Φ/Β σε οροφή κτιρίου



Εικόνα 2.2: Ενσωματωμένο Φ/Β σε οροφή κτιρίου





**Εικόνα 2.3:** Ενσωματωμένο Φ/Β ως σκίαστρο κτιρίου

- **Στήριξη σε ράγες:** Τα πλαίσια στηρίζονται σε μεταλλική κατασκευή επιτρέποντας την εύκολη εγκατάσταση και αφαίρεσή τους. Στις περισσότερες περιπτώσεις τοποθετούνται πάνω και παράλληλα στην επιφάνεια της οροφής. Η μεταλλική στήριξη συνήθως παρέχεται μαζί με τα πλαίσια από τον κατασκευαστή των πλαισίων (Εικόνα 2.4).



**Εικόνα 2.4:** Στήριξη Φ/Β σε ράγες

- **Στήριξη σε βάση:** Τα πλαίσια τοποθετούνται σε μια μεταλλική βάση που κατασκευάζεται επάνω από την οροφή. Η διαφορά σε σχέση με την προηγούμενη μέθοδο είναι πως τα πλαίσια τοποθετούνται σε γωνία, που μπορεί να ρυθμιστεί και συνήθως δεν είναι παράλληλα με την επιφάνεια της στέγης (Εικόνα 2.5). Αυτή η μέθοδος ενδείκνυται για επίπεδες οροφές. Αυτός ο τύπος στήριξης μπορεί να μην είναι ο βέλτιστος αισθητικά, ωστόσο η απόδοση του συστήματος είναι υψηλότερη σε σχέση με την τοποθέτηση σε ράγες.



**Εικόνα 2.5:** Στήριξη Φ/Β σε βάση

Κάποιοι τύποι Φ/Β που τοποθετούνται στα κτίρια (π.χ. ηλιακά κεραμίδια) πιθανόν να μην είναι τόσο αποδοτικοί όπως άλλοι, καθώς οι Φ/Β κυψέλες είναι πιο αποδοτικές σε χαμηλές θερμοκρασίες και όταν αερίζονται. Αυτό δεν σημαίνει ότι πρέπει να απορριφθούν σαν ιδέες καθώς μπορεί ο επενδυτής να νοιάζεται για την αισθητική του κτιρίου, να θέλει να καλύψει μόνο ένα μέρος των ηλεκτρικών αναγκών του σπιτιού ή να θέλει να επεκτείνει το ήδη υπάρχων Φ/Β σύστημα κ.α. . Ο εγκαταστάτης θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη του την παράμετρο αυτή και να αφήνει χώρο στο πίσω μέρος του πλαισίου ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση. Γενικά, θα πρέπει να διατηρείται ελεύθερος χώρος τουλάχιστον 50mm στο πίσω μέρος των πλαισίων (NABCEP, 2009). Στην περίπτωση των Φ/Β που στηρίζονται σε πρόσθετη βάση, η κυκλοφορία του αέρα πίσω από τα πλαίσια μειώνει τη θερμοκρασία λειτουργίας, καθιστώντας τα πιο αποδοτικά.

## **B. Στήριξη στο έδαφος**

Σε περιοχές της υπαίθρου συναντιόνται συστήματα επί εδάφους (Εικόνα 2.5). Τα πλαίσια στηρίζονται σε κατασκευή από χάλυβα ή αλουμίνιο, η οποία στερεώνεται στο έδαφος σε βάση από τσιμέντο, γεώβιδες ή πασσάλους. Η κατασκευή θα πρέπει να έχει αντοχή στους ανέμους KOL στις δυνάμεις που

αναπτύσσονται εξαιτίας του βάρους των πλαισίων, αλλά και, ενδεχομένως, του χιονιού. Στην περίπτωση των Φ/Β στο έδαφος, συχνά απαιτείται περίφραξη για προστασία των πλαισίων από κλοπή και βανδαλισμούς. Κατά το σχεδιασμό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το ύψος της περίφραξης και η απόσταση αυτής από τα πλαίσια, ώστε να μη δημιουργούνται σκιάσεις.

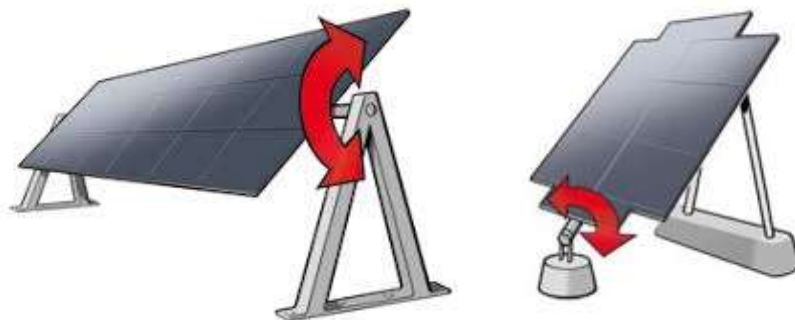


**Εικόνα 2.6:** Στήριξη Φ/Β στο έδαφος

Κύριο πλεονέκτημα σε αυτά τα συστήματα, είναι πως τα πλαίσια μπορούν να προσανατολίζονται απευθείας προς το νότο και στη βέλτιστη γωνία κλίσης που σημαίνει υψηλή απόδοση και μέγιστη παραγωγή ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Επιπλέον, τα πλαίσια μπορούν ευκολότερα να συντηρηθούν ή να αντικατασταθούν, εφόσον απαιτείται, σε σχέση με τα ΦΒΕΚ. Ωστόσο, τα Φ/Β συστήματα στο έδαφος κοστίζουν περισσότερο από τα αντίστοιχα στα κτίρια, λόγω του κόστους κατασκευής της βάσης, των επιπλέον συστημάτων στήριξης αλλά και τις απαιτήσεις σε χωματουργικές εργασίες, περίφραξη, σύστημα συναγερμού κλπ. Μειονέκτημα των συστημάτων αυτών αποτελεί η πιθανή οπτική όχληση που προκαλούν σε γειτνιάζουσες περιοχές.

Για να βελτιωθεί η απόδοση των Φ/Β στο έδαφος χρησιμοποιούνται συχνά οι ηλιακοί ιχνηλάτες, καθώς τα πλαίσια συλλέγουν μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας σε σχέση με την περίπτωση εγκατάστασής τους σε σταθερή κλίση. Σε περιοχές χωρίς ιδιαίτερη νέφωση η απόδοση μπορεί να αυξηθεί έως και 30%.<sup>[24]</sup> Υπάρχουν δύο τύποι συστημάτων ιχνηλάτησης (ανίχνευσης) του ήλιου:

**Συστήματα μονού άξονα (single axis):** Πρόκειται για συστήματα στα οποία λαμβάνει χώρα κίνηση των πάνελ σε έναν άξονα, αυτόν της Ανατολής-Δύσης κατά τη διάρκεια μίας μέρας. Τυπικά, τα συστήματα αυτά επιτυγχάνουν αύξηση της παραγωγής κατά 20-25% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων.



**Εικόνα 2.7:** Ιχνηλάτηση του ήλιου σε ένα άξονα

**Συστήματα διπλού άξονα (dual axis):** πρόκειται για συστήματα στα οποία είναι επιπλέον δυνατή η ρύθμιση της κλίσης των πάνελ ως προς την οριζόντιο. Η επιπλέον αυτή δυνατότητα παρέχει αυξημένη απόδοση κατά τυπικά 25-40% σε σχέση με τα συστήματα σταθερών βάσεων<sup>[25]</sup> (Εικόνα 2.7).



**Εικόνα 2.8:** Ιχνηλάτηση του ήλιου σε δυο άξονες

Στην περίπτωση των συστημάτων με ιχνηλάτη οι ανάγκες συντήρησης είναι αυξημένες και πιθανές αστοχίες, μπορούν να μειώσουν την αξιοπιστία και να αυξήσουν το κόστος συντήρησής τους.

### 2.1.7 Χωροθέτηση

Η έννοια της "ισορροπίας του συστήματος" (Balance of System, BoS) χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει το "βοηθητικό εξοπλισμό" σε ένα σύστημα και περιλαμβάνει τη βάση στήριξης, τους αντιστροφείς, τους διακόπτες ασφαλείας, τις συσκευές προστασίας από υπερτάσεις, τους ρυθμιστές φόρτισης, τις μπαταρίες, τα κουτιά διακλαδώσεων κλπ.<sup>[26]</sup>

Κάποια από τα επιμέρους τμήματα του συστήματος θα πρέπει να τοποθετούνται σε χώρους προστατευμένους από τα καιρικά φαινόμενα και την υγρασία. Ο εγκαταστάτης θα πρέπει να εκτιμήσει τις διαστάσεις του απαιτούμενου χώρου για τα στοιχεία αυτά κατά το αρχικό στάδιο του σχεδιασμού. Οι συνθήκες για τις οποίες είναι κατάλληλο κάθε τμήμα του συστήματος θα πρέπει να τηρούνται βάσει των οδηγιών του κατασκευαστή.

Κατά τη χωροθέτηση του βοηθητικού εξοπλισμού, ο εγκαταστάτης θα πρέπει να αποφύγει χώρους που εκτίθενται άμεσα σε ηλιακή ακτινοβολία, ισχυρούς ανέμους, βροχόπτωση και υγρασία. Στην περίπτωση που το σύστημα περιλαμβάνει μπαταρίες, θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε να μην εκτίθενται σε μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές, καθώς μπορεί να διαπιστωθεί μείωση στην απόδοσή τους. Επιπλέον, ο ιδανικός χώρος τοποθέτησης των αντιστροφών θα πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά: δροσερός, ξηρός, χωρίς σκόνη και όσο το δυνατόν εγγύτερα στο κιβώτιο διακλαδώσεων και τις μπαταρίες (εφόσον υπάρχουν), ώστε να ελαχιστοποιηθεί το μήκος των καλωδιώσεων.

### 2.1.8 Καταγραφή φορτίου

Στην περίπτωση εγκατάστασης αυτόνομου συστήματος, απαιτείται λεπτομερής καταγραφή των φορτίων. Τα αυτόνομα συστήματα μπορούν να διαστασιολογηθούν επιτυχώς μόνο εφόσον έχουν προβλεφθεί με σχετική ακρίβεια τα φορτία, διαφορετικά μπορούν να οδηγήσουν σε μειωμένη αξιοπιστία του συστήματος. Ο εγκαταστάτης μπορεί να συμβουλευτεί και σχετικούς πίνακες από τη βιβλιογραφία με ενδεικτικές τιμές κατανάλωσης της ενέργειας για διαφορετικές συσκευές και να καταλήξει με βάση τις ανάγκες του πελάτη.<sup>[24]</sup> (Πίνακας 2.3).

### 2.1.9 Απόδοση συστήματος

Κατά τη διάρκεια της επιθεώρησης του χώρου ο εγκαταστάτης πιθανόν να κληθεί να δώσει πρόχειρη εκτίμηση της ετήσιας παραγωγής ενέργειας από το Φ/Β σύστημα, της συνολικά απαιτούμενης επιφάνειας καθώς και του κόστους. Αρχική εκτίμηση για την παραγωγή ενέργειας μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση του Συντελεστή Απόδοσης, ΣΑ (Performance Ratio, PR). Ο ΣΑ εκφράζει την απόδοση του

συστήματος σε σχέση με ένα αντίστοιχο σύστημα χωρίς απώλειες, με τα ίδια χαρακτηριστικά στην ίδια τοποθεσία.

**Πίνακας 2.3:** Ενδεικτικές τιμές ενεργειακής κατανάλωσης.

	Μέση Ονομ. Ισχύς (W)	Μέση Χρήση (h/μέρα)	Ετήσια ενεργειακή κατανάλωση (kWh/έτος)
<b>Φωτισμός</b>			
Κρεββατοκάμαρα	94	1	34
Τραπεζαρία	87	2,3	138,5
Χωλ	78	1,7	48
Κουζίνα	95	3,2	111
Σαλόνι	124	2,4	109
Εξωτερικός	93	35	116,5
Μπάνιο	138	1,9	96
<b>Άλλες Συσκευές</b>			
Ψυγείο	90	24	788
Φούρνος	4000	1	1460
Ηλεκτρική σκούπα	1500	1 h/εβδομάδα	78
Τηλεόραση	200	5	365
Υπολογιστής	250	6	547,5
Πλυντήριο ρούχων	2800	2 πλύσεις/εβδομάδα	291
Κλιματιστικό 9000 Btu	1000	2	730

Τυπικές τιμές ΣΑ κυμαίνονται από 70-85%. Επομένως βάσει των ακόλουθων υποθέσεων:

- **Τυπική τιμή ΣΑ: 0,8**
- **Τιμή ηλιακής ακτινοβολίας στη διάταξη: 142,5 kWh/m<sup>2</sup>/έτος**

Πχ: 1.000 kWh/m<sup>2</sup>/γ \* 0,15 (απόδοση) \* 0,95 (συντελεστής διόρθωσης γωνίας και αζιμούθιου). Η παραγωγή του Φ/Β συστήματος θα είναι 0,8 \* 142,5 kWh/m<sup>2</sup>/έτος = 114 kWh/m<sup>2</sup>/έτος.

Βάσει της τιμής αυτής, ο εγκαταστάτης μπορεί να εκτιμήσει, το ετήσιο εισόδημα από το σύστημα λαμβάνοντας υπόψη την τιμή πώλησης (€/kWh). Μια κατά προσέγγιση εκτίμηση της απαιτούμενης επιφάνειας μπορεί να γίνει βάσει της σχέσης: 10m<sup>2</sup> -> 1 kWp, ενώ τέλος, το αρχικό κόστος εγκατάστασης ενός διασυνδεδεμένου συστήματος κυμαίνεται από 2.800-3.600 €/kWh και μπορεί να εκτιμηθεί από τις τρέχουσες τιμές της αγοράς.



## Κεφάλαιο Τρίτο

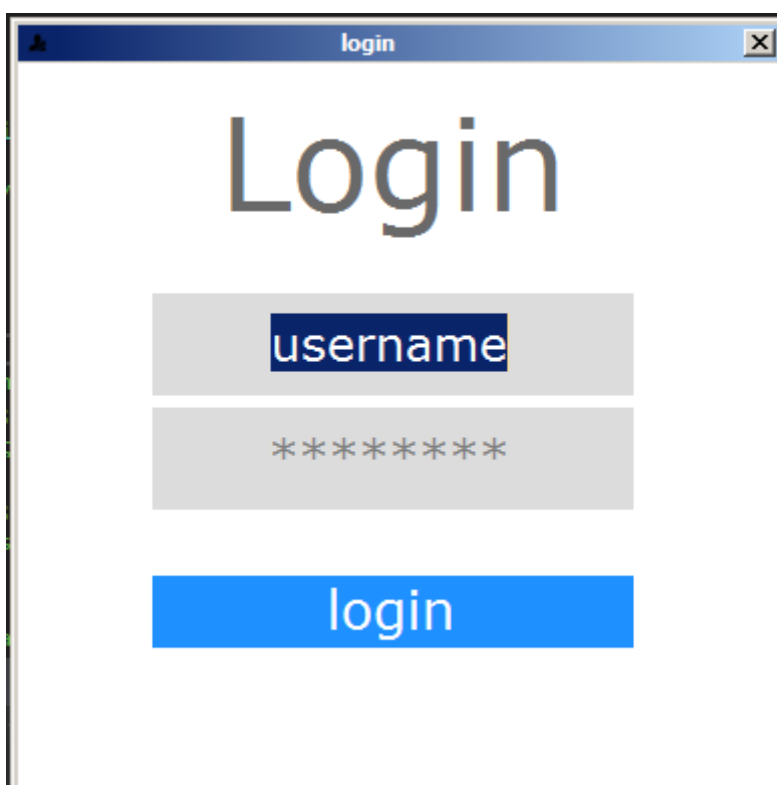
# Η παρουσίαση λειτουργίας του προγράμματος

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται, με κείμενο και εικόνες, ο τρόπος λειτουργίας του προγράμματος που υλοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Για τις ανάγκες παρουσίασης του προγράμματος, θα χρησιμοποιηθεί ένα υποθετικό παράδειγμα εγκατάστασης ενός αυτόνομου Φ/Β σε κύρια κατοικία.

Θεωρείται ότι έχει πραγματοποιηθεί η αρχική μελέτη του χώρου και υλοποιείται η φάση της οικονομοτεχνικής διαστασιολόγησης μεταξύ του εγκατάστασης και του πιθανού πελάτη/επενδυτή.

Η **αρχική εικόνα του προγράμματος** είναι η ακόλουθη (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1

Αν είναι σωστό το username και το password, τα οποία ελέγχονται αν υπάρχουν σε μια κλειδωμένη βάση δεδομένων τύπου MS access database, τότε εμφανίζεται η Εικόνα 3.2 όπου σε αυτήν φαίνεται το όνομα του προγράμματος (E.S.A.S), του προγραμματιστή (George Konstantinidis) και της έκδοσή του.



**Εικόνα 3.2**

Αρχικά δίνεται ένα default username και password για να κάνει login ο χρήστης. Όταν ανοίξει το πρόγραμμα ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει έναν δικό του λογαριασμό με το πάτημα του κουμπιού «Sign up» και με τη συμπλήρωση των πλαισίων της φόρμας που εμφανίζεται (Εικόνα 3.4). Για να γίνει επιτυχής μια εισαγωγή λογαριασμού πρέπει να συμπληρωθούν όλα τα πλαίσια, σε αντίθετη περίπτωση γίνεται το φόντο τους κόκκινο και δεν πραγματοποιείται η εισαγωγή της κατοχύρωσης στην βάση δεδομένων. Για να γίνει η διαγραφή ενός λογαριασμού αρκεί να συμπληρωθεί το πλαίσιο του username και password. Για να γίνει η αναθεώρηση ενός λογαριασμού πρέπει να συμπληρωθούν τα πλαίσια του username και password και στην συνέχεια να πατηθεί το κουμπί «Search». Τα δεδομένα θα εμφανιστούν στα αντίστοιχα πλαίσια της φόρμας αν είναι σωστό το username και password. Ο χρήστης τότε μπορεί να επεξεργαστεί τα δεδομένα και με το πάτημα του κουμπιού «Update» να αναθεωρηθεί ο λογαριασμός. Όταν γίνεται login με ένα κατοχυρωμένο username, εμφανίζονται αυτόματα τα στοιχεία που αντιστοιχούν στο αντίστοιχο username στον πίνακα «ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΤΗ» με την δυνατότητα να μπορούν να επεξεργαστούν. Στον διπλανό πίνακα «ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΛΑΤΗ» εισάγονται τα στοιχεία που πελάτη (Εικόνα 3.3).



Εικόνα 3.3

Εικόνα 3.4

Το πρώτο βήμα είναι η **συμπλήρωση του είδους κατοικίας** από το χρήστη του προγράμματος (Εικόνα 3.5-1). Η επιλογή στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι «μόνιμη κατοικία». Σε περίπτωση που είναι εξοχική κατοικία, συμπληρώνει επιπλέον ο μέγιστος αριθμός των συνεχόμενων ημερών επίσκεψης. Επισήμανση: Σε αυτή την περίπτωση ο εγκαταστάτης μπορεί να εγκαταστήσει Φ/Β σύστημα μικρότερης ισχύς από ότι θα εγκαθιστούσε για να καλύψει την κατανάλωση την ημέρα που κατοικείται το κτίριο, αρκεί να γεμίζουν οι μπαταρίες το διάστημα που δεν θα χρησιμοποιείται η κατοικία και να διατηρεί τις μπαταρίες φορτισμένες πάνω

από το μέγιστο όριο βάθους εκφόρτισης. Με αυτόν τον τρόπο εξοικονομούνται χρήματα εγκαθιστώντας Φ/Β σύστημα χαμηλότερης ισχύς, με την προϋπόθεση να συμφέρει η σχέση Φ/Β-μπαταρίες. Δηλαδή να μην χρησιμοποιηθούν περισσότερες μπαταρίες για να πραγματοποιηθεί αυτό το σενάριο.

Εικόνα 3.5

Στο επόμενο βήμα γίνεται η **επιλογή των συσκευών και η διάρκεια χρήσης τους** σε μια ημέρα κατά την χειμερινή και καλοκαιρινή περίοδο, έτσι ώστε να υπολογιστεί το συνολικό ημερήσιο φορτίο που καταναλώνεται, καθώς και ο προσδιορισμός του ταυτοχρονισμού φορτίου των συσκευών (Εικόνα 3.5-2).

Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται διότι οι ανάγκες κάθε περιόδου είναι διαφορετικές λόγω κλιματολογικών αλλαγών, ενώ στους μήνες που ανήκουν στην ίδια περίοδο (χειμερινή/καλοκαιρινή) παρατηρούνται παρόμοιες ηλεκτρικές καταναλώσεις. Για παράδειγμα τη χειμερινή περίοδο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα αερόθερμο, ενώ την καλοκαιρινή περίοδο όχι και αντίστοιχα την καλοκαιρινή περίοδο είναι πιθανό να χρησιμοποιηθεί ένας ανεμιστήρας και όχι το αερόθερμο.

Όταν γίνει η επιλογή μιας συσκευής ενεργοποιείται δίπλα της ένα τετράγωνο/πλαίσιο (textbox) και εμφανίζεται μια λίστα. Στο τετράγωνο καταγράφεται από τον χρήστη σε συνεργασία με τον επενδυτή ο αριθμός των ίδιων συσκευών που χρησιμοποιούνται στην κατοικία. Ανάλογα τον αριθμό τους εμφανίζεται στη λίστα τα προκαθορισμένα watts της κάθε συσκευής και στην διπλανή στήλη ο αριθμός των ωρών που λειτουργούν σε μια μέρα. Σε περίπτωση που τα watts μιας συσκευής είναι διαφορετικά, ο χρήστης μπορεί να επεξεργαστεί τις τιμές πατώντας με το ποντίκι πάνω τους και πληκτρολογώντας την καινούργια τιμή. Παρομοίως μπορεί να επεξεργαστεί τις ώρες λειτουργίας τους (Εικόνα 3.6).

The figure consists of four vertically stacked screenshots of a software interface. Each screenshot shows a checkbox labeled 'Ηλεκτρική Κουζίνα' (Electric Kitchen), a dropdown menu labeled 'Α.Σ.' (Appliance), and a table with columns 'Watts' and 'Ωρες' (Hours).

- Screenshot 1:** The checkbox is unchecked. The table is empty.
- Screenshot 2:** The checkbox is checked. The table is empty.
- Screenshot 3:** The checkbox is checked. The table contains two rows:
 

	Watts	Ωρες
1	4000	0
2	4000	0
- Screenshot 4:** The checkbox is checked. The table contains two rows:
 

	Watts	Ωρες
1	4000	1
2	3000	4

Εικόνα 3.6

Ταυτοχρονισμός φορτίου είναι τα watt που καταναλώνονται από τις ηλεκτρονικές συσκευές όταν αυτές λειτουργούν ταυτόχρονα στο χειρότερο σενάριο (είναι το σενάριο που ο πελάτης κάνει την μεγαλύτερη ηλεκτρική κατανάλωση την ίδια στιγμή. Ένα ενδεικτικό απλό παράδειγμα είναι το ακόλουθο:

Σενάριο 1: Κουζίνα, απορροφητήρας 4 λάμπες.

Σενάριο 2: Κουζίνα, θερμοσίφωνας, τηλεόραση.

Το σενάριο 2 είναι το χειρότερο).

Ανάλογα με τις συσκευές που έχουν επιλεγεί εμφανίζεται μια λίστα που περιλαμβάνει τις συσκευές που έχουν επιλεγεί και την κατανάλωση τους σε watts και στην συνέχεια γίνεται η επιλογή των συσκευών όπως αναφέρθηκε στο παράδειγμα. Για το παράδειγμα της παρουσίασης επιλέγονται οι συσκευές με κατανάλωση και χρόνο λειτουργίας όπως φαίνονται στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 3.7-3.10):

[illegible]

### Εικόνα 3.7

[illegible]

### Εικόνα 3.8

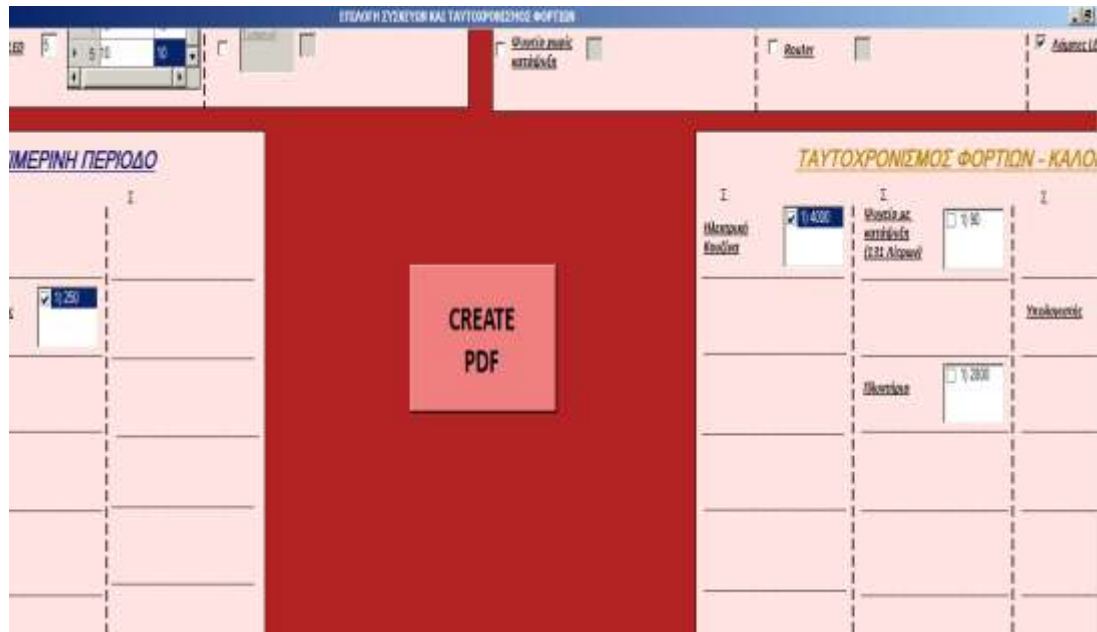
[illegible]

### Εικόνα 3.9

[illegible]

### Εικόνα 3.10

Όταν επιδεχθούν οι συσκευές, ο χρήστης μπορεί να της εκτυπώσει από το pdf που δημιουργείται από το πάτημα του κουμπιού «CREATE PDF» (Εικόνα 3.11). Το περιεχόμενο του συγκεκριμένου pdf περιέχει τις επιλεγμένες συσκευές όπως φαίνεται και παρακάτω από το παράδειγμα(Εικόνα 3.12-3.15). Στο τέλος του αρχείου υπογράφουν ο εγκαταστάτης και ο πελάτης για υπάχει απόδειξη ότι συμφώνησαν σε αυτό σχέδιο και να μην υπάρχουν μελλοντικές διενέξεις όπως για παράδειγμα παράπονα του πελάτη ότι δεν έγινε σωστή εκτίμηση της κατανάλωσης.



Εικόνα 3.11

## E.S.A.S

## Economotechical Sizing of Autonomous System

By G.K

## Μέρος 1) Επιλογή συσκευών

Επιλογή συσκευών την χειμερινή περίοδο

Κουζίνα	
Watts	Πρεξ
4000	1
Ψυγείο με κατάψυξη (131 Λίτρων)	
Watts	Πρεξ
90	24
Πλυντήριο	
Watts	Πρεξ
2800	0,66
Θερμοσίφωνας	
Watts	Πρεξ
4000	0,5
Τηλεόραση	
Watts	Πρεξ
200	1
Υπολογιστής	
Watts	Πρεξ
250	1
Λάμπες LED	
Watts	Πρεξ
10	3
10	3
10	3
10	10
10	10

Ταυτοχρονισμός φορτίου την χειμερινή περίοδο

Κουζίνα	
Watts	
4000	
Ψυγείο με κατάψυξη (131 Λίτρων)	
Watts	
90	

Εικόνα 3.12

Τηλεόραση
Watts
200
Υπολογιστής
Watts
250
Λάμπες LED
Watts
10
10
10
10
10

Επιλογή συσκευών την καλοκαιρινή περίοδο

Κουζίνα
Watts
4000
Ψυγείο με κατάψυξη (131 Λίτρων)
Watts
90
Πλυντήριο
Watts
2800
Τηλεόραση
Watts
200
Υπολογιστής
Watts
250
Λάμπες LED
Watts
10
10
10
10
10

Εικόνα 3.13

Υπολογισμός φορτίου την καλοκαιρινή περίοδο
Κουζίνα
Watts
4000
Ψυγείο με κατάψυξη (131 Λίτρων)
Watts
90
Τηλεόραση
Watts
200
Υπολογιστής
Watts
250
Λάμπες LED
Watts
10
10
10
10
10
Χωρίς τον συντελεστή ημερήσιας
καλοκαιρινή περίοδος
Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (kWh):
9,578
Μέγιστη ταυτόχρονη ισχύς (kW):
4,6
καλοκαιρινή περίοδος
Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (kWh):
10,608
Μέγιστη ταυτόχρονη ισχύς (kW):
4,6

Εικόνα 3.14



Υπογραφή εγκαταστάτη
Υπογραφή πελάτη

Στοιχεία Εγκαταστάτη	
Εταιρία	
Όνομα	
Επάγγελμα	
Τηλέφωνο οικίας	
Τηλέφωνο κινητού	
Περιοχή	
Διεύθυνση	

Στοιχεία Πελάτη	
Όνομα	
Επάγγελμα	
Τηλέφωνο οικίας	
Τηλέφωνο κινητού	
Περιοχή	
Διεύθυνση	

Εικόνα 3.15

Με το κλείσιμο της φόρμας «ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ» γίνεται ο υπολογισμός της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας καθώς και ο υπολογισμός του ταυτοχρονισμού φορτίου για κάθε περίοδο ανάλογα τις επιλογές του χρήστη (Εικόνα 3.16).

Διεύθυνση:

ΕΙΔΟΣ ΚΑΤΟΙΚΙΑΣ

☒ Μόνιμη Κατοικία
☐ Εξοχική Κατοικία

Μόνο ένας από τους τύπους κατοικίας μπορεί να είναι επιλεγμένος

---

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

--ΕΠΙΛΟΓΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ--  
 --ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ--

**1** → Χειμερινή περίοδος (1/10 - 31/3)

Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (KWh) : **10,608**

Μέγιστη ταυτοχρονισμένη ισχύς (KW) : **4,59**

**Καλοκαιρινή περίοδος (1/4 - 30/9)**

Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (KWh) : **9,578**

Μέγιστη ταυτοχρονισμένη ισχύς (KW) : **4,59**

**2** → Συντελεστής προσάφησης φορτίου:  %

**2** → Χειμερινή περίοδος (1/10 - 31/3)

Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (KWh) : **10,608**

Μέγιστη ταυτοχρονισμένη ισχύς (KW) : **4,59**

**Καλοκαιρινή περίοδος (1/4 - 30/9)**

Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (KWh) : **9,578**

Μέγιστη ταυτοχρονισμένη ισχύς (KW) : **4,59**

Εικόνα 3.16

Για παράδειγμα έχουν επιλεγεί ότι λειτουργούν σε μια ημέρα 4 λαμπτήρες οικονομίας 15W και μία κουζίνα που καταναλώνει 4000W. Ένας λαμπτήρας οικονομίας 15W καταναλώνει 15W την ώρα. Σε 5 ώρες, 75Wh (5 ώρες X 15W). Τέσσερις τέτοιοι λαμπτήρες από 5 ώρες ο κάθε ένας, καταναλώνουν συνολικά 300Wh (4 λαμπτήρες X 5 ώρες X 15W). Μια κουζίνα που καταναλώνει περίπου 4000W σε μια ώρα, σε 2 ώρες λειτουργίας καταναλώνει συνολικά 8000 Wh (2 ώρες X 4000W). Στο συγκεκριμένο παράδειγμα λοιπόν, οι λαμπτήρες και η κουζίνα θα καταναλώνουν συνολικά 8300Wh κάθε μέρα.

Με τον ίδιο τρόπο υπολογίζεται η κατανάλωση όλων των συσκευών που έχουν επιλεγεί και αθροίζονται οι τιμές αυτών για να υπολογιστεί η συνολική μέση ημερήσια κατανάλωση του συστήματος (οι τιμές της κατανάλωσης κάθε συσκευής αναγράφονται συνήθως πάνω σε κάποιο μέρος της συσκευής ή πάνω στο τροφοδοτικό/μετασχηματιστή της). Αντίστοιχα υπολογίζεται ο ταυτοχρονισμός φορτίου με τη διαφορά ότι δεν γίνεται πολλαπλασιασμός με τις ώρες λειτουργίας κάθε ηλεκτρικής συσκευής, διότι το δεδομένο που χρειάζεται ο εγκαταστάτης είναι η ισχύς που πρέπει να μπορεί να αποδώσει το σύστημα ανά πάσα στιγμή.

Στο επόμενο βήμα ο χρήστης συμπληρώνει **το παράγοντα προσαύξησης** και υπολογίζονται αυτόματα οι νέες τιμές της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας και της ταυτοχρονισμένης ισχύος (Εικόνα 3.17).

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μέση ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (KWh): 10,608  
Μέγιστη ταυτοχρονισμένη ισχύς (KW): 4,59

Συντελεστής προσαύξησης φορτίου: 1,1

Μέση ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (KWh): 11,669  
Μέγιστη ταυτοχρονισμένη ισχύς (KW): 4,59

Ισχύς Φ/Β συστήματος: 0 KWp

Εικόνα 3.17

Συντελεστής προσαύξησης είναι ο συντελεστής που χρησιμοποιεί ο εγκαταστάτης ώστε να προβλέψει όσο τον δυνατόν καλύτερα την αυξημένη ζήτηση ενέργειας εξαιτίας της παράβλεψης του πελάτη να τηρήσει τις επιλογές που έχει κάνει στην προηγούμενη φόρμα ή διότι μπορεί να μην έχει γίνει ακόμη η αγορά των ηλεκτρικών συσκευών. Για παράδειγμα να καλυφτούν ηλεκτρικές ανάγκες που

προκύπτουν από νέες ή παλιές, μικρές σε κατανάλωση, ηλεκτρικές συσκευές όπως η φόρτιση ενός φορητού υπολογιστή ή να έχει επιλέξει μια κουζίνα των 4000W και να αγοράσει τελικά μια των 5000W. Αν η ηλεκτρική κατανάλωση υπερβεί κάποια στιγμή την εγκατεστημένη ισχύ για τους παραπάνω λόγους ή άλλους όπως το κτίσιμο νέου διαμερίσματος στο κτίριο και η παροχή του με ηλεκτρική ενέργεια, τότε ο πελάτης θα χρειαστεί να επεκτείνει το σύστημα. Συνήθως, ο συντελεστής προσαύξησης που εφαρμόζεται στον ταυτοχρονισμό φορτίου είναι μικρότερος από τον συντελεστή προσαύξησης της ημερήσιας κατανάλωσης ενέργειας, γιατί έχει παρατηρηθεί ότι ο πελάτης συνήθως δεν είναι συνεπής στις ώρες λειτουργίας κάθε συσκευής, ενώ στο ταυτοχρονισμό φορτίου μπορεί να είναι πιο ακριβής.

Στη συνέχεια γίνεται η επιλογή της ισχύος του Φ/Β συστήματος. Στη φόρμα «Πίνακας συνολικής ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας ανά περιοχή» που ανοίγει με το πάτημα του κουμπιού με το ίδιο όνομα, υπάρχει βάση δεδομένων με μετρήσεις της μέσης συνολικής ημερήσιας ακτινοβολίας για κάθε μήνα του χρόνου σε διάφορες κλίσεις και για διάφορες περιοχές με νότιο προσανατολισμό. Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε κάθε περιοχή την ίδια περίοδο κάθε χρόνο είναι κατ' εκτίμηση ίδια, οπότε δεν χρειάζεται να είναι πολύ πρόσφατες οι μετρήσεις αλλά ούτε και πολύ παλιές. Στην βάση δεδομένων έχουν μπει δεδομένα από την συνολική ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας από διαφορές περιοχές της Ελλάδας και σε διαφορετικές κλίσεις (Εικόνα 3.18).

ΕΠΙΛΕΞΕΤΕ ΤΗΝ ΤΗΝ ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΜΕΣΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΣΕ ΔΙΑΦΕΡΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΚΑΙ ΚΛΙΣΕΙΣ

Όνομα:   
 Περιοχή:   
 Κλίση:

Όνομα	Περιοχή	Κλίση	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Σύνολο
Αθήνα	Αθήνα	0	1,671	2,643	3,548	4,9	6,129	6,8	7,865	6,515	4,967	3,385			
Ηράκλειο	Ηράκλειο	0	1,903	2,679	3,548	5,033	6,320	7,133	7,29	6,613	5,233	3,387			
Ρέθυμνο	Ρέθυμνο	0	1,903	2,714	3,419	4,833	6,258	6,888	7,167	6,548	4,967	3,085			
Ιαπό	Ιαπό	0	1,9	2,679	3,613	4,965	6,322	7,146	7,387	6,718	5,111	2,258			

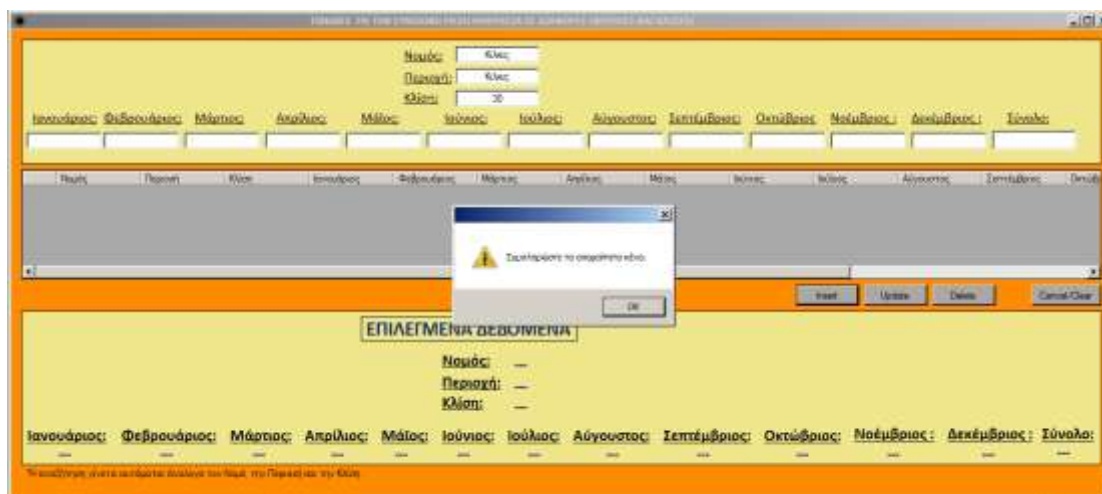
ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Όνομα: —  
 Περιοχή: —  
 Κλίση: —

Το αποτέλεσμα είναι επίλυση θέματος του Ηαδ. του Γαρυφάλειου της Κλίσ

Εικόνα 3.18

Σε αυτή τη βάση μπορεί να γίνει εισαγωγή, διαγραφή και αναθεώρηση μιας καταχώρησης μέσω της φόρμας. Όταν γίνεται εισαγωγή ή αναθεώρηση μιας καταχώρησης και δεν έχουν συμπληρωθεί όλα τα απαραίτητα τετράγωνα, γίνεται κόκκινο το φόντο αυτών που πρέπει να συμπληρωθούν και εμφανίζεται το αντίστοιχο μήνυμα (Εικόνα 3.19α-3.19β).



Εικόνα 3.19α



Εικόνα 3.19β

Επίσης γίνεται αυτόματα επικύρωση των χαρακτήρων που πληκτρολογούνται σε κάθε τετράγωνο/πλαίσιο. Μη αποδεκτοί χαρακτήρες δεν επιτρέπονται να καταχωρηθούν, π.χ. στο τετράγωνο «Ιανουάριος» επιτρέπονται μόνο αριθμοί.

Η αναζήτηση μιας καταχώρησης γίνεται αυτόματα πληκτρολογώντας στα τετράγωνα του «Νομού», της «Περιοχής» και της «Κλίσης». Η διαδικασία της αναζήτησης γίνεται όταν πληκτρολογείται ένας χαρακτήρας στα παραπάνω τετράγωνα και σε συνδυασμό αυτών (Εικόνα 3.20).

ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Όνομα: —  
Περιοχή: —  
Κλίση: —

Όνομα	Περιοχή	Κλίση	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Σύνολο
Αθήνα	Αθήνα	0	1,671	2,642	3,540	4,9	6,129	6,9	7,065	6,516	4,967	3,205			

Εικόνα 3.20

Η επιλογή της ζητούμενης περιοχής γίνεται πατώντας πάνω σε ένα κελί της γραμμής της λίστας με την ονομασία της. Τα δεδομένα που έχουν επιλεγεί απεικονίζονται στο κάτω μέρος της φόρμας καθώς και στα κουτιά πάνω, αν ο χρήστης θέλει να κάνει αναθεώρηση της καταχώρησης (Εικόνα 3.21). Στο παρόν παράδειγμα επιλέγεται η πόλη του Ρεθύμνου και τοποθέτηση των Φ/Β πάνελ σε οριζόντια θέση.

ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Όνομα: Ρεθύμνο  
Περιοχή: Ρεθύμνο  
Κλίση: 0

Όνομα	Περιοχή	Κλίση	Ιανουάριος	Φεβρουάριος	Μάρτιος	Απρίλιος	Μάιος	Ιούνιος	Ιούλιος	Αύγουστος	Σεπτέμβριος	Οκτώβριος	Νοέμβριος	Δεκέμβριος	Σύνολο
Αθήνα	Αθήνα	0	1,671	2,642	3,540	4,9	6,129	6,9	7,065	6,516	4,967	3,205			
Ηράκλειο	Ηράκλειο	0	1,903	2,679	3,540	5,033	6,323	7,110	7,29	6,813	5,233	3,397			
Ρεθύμνο	Ρεθύμνο	0	1,92	2,714	3,419	4,833	6,258	6,866	7,161	6,548	4,967	3,065	2,533	1,91	1590,6

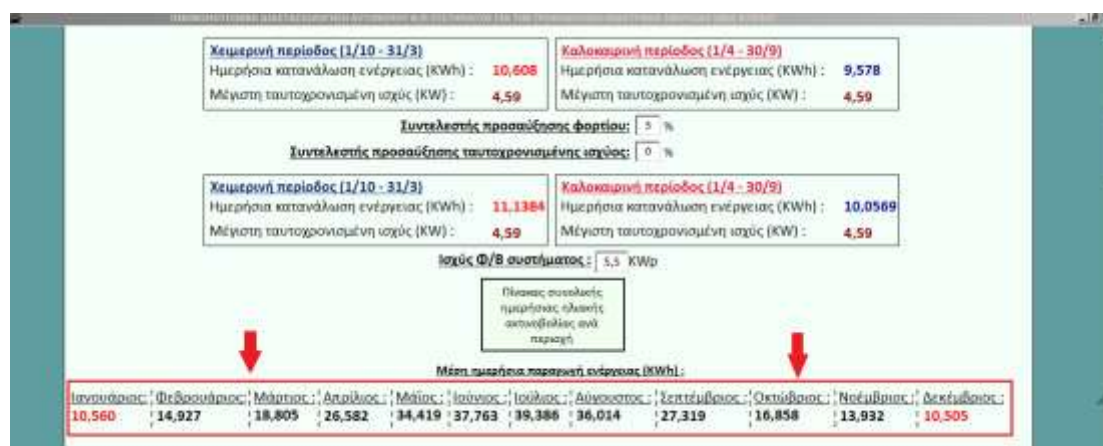
Εικόνα 3.21

Ο χρήστης στη συνέχεια συμπληρώνει την **ισχύ του Φ/Β συστήματος**.

Για τον υπολογισμό της μέσης ημερήσιας παραγωγής ενέργειας κάθε μήνα, πολλαπλασιάζεται η επιλεγμένη ισχύς του Φ/Β συστήματος με τα δεδομένα της



ηλιακής ακτινοβολίας που έχουν επιλεγεί από την παραπάνω φόρμα. Με αυτή τη διαδικασία εκτιμάται αν θα είναι επαρκής η ισχύς του Φ/Β συστήματος ή θα πρέπει να είναι μεγαλύτερης ισχύος ή διαφορετικής γωνίας εγκατάστασης για τη βέλτιστη λειτουργία της, εφόσον υπάρχει η δυνατότητα. Η αδυναμία κάλυψης της απαιτούμενης ενέργειας σε συγκεκριμένους μήνες γίνεται εύκολα ορατή καθώς τους μήνες που θα υπάρχει έλλειψη κάλυψης της ζητούμενης ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται η γραμματοσειρά της παραγόμενης ενέργειας τους κόκκινη (Εικόνα 3.22).



Εικόνα 3.22

Συγκρίνεται η μέση ημερήσια παραγωγή ενέργειας τους μήνες από Απρίλιο μέχρι Σεπτέμβριο (καλοκαιρινή περίοδος) και αντίστοιχα τη χειμερινή περίοδο, με τις ημερήσιες ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας του πελάτη τα ίδια χρονικά διαστήματα. Ο λόγος που δεν γίνεται αυτόματα ο καθορισμός της ισχύος του Φ/Β συστήματος είναι διότι ο εγκαταστάτης μπορεί να προτείνει στον πελάτη μερικές συσκευές -όπως ο θερμοσίφωνας που είναι μεγάλης ισχύος και δεν χρησιμοποιούνται συχνά σε μια μέρα- να μην ενταχθούν στον υπολογισμό της κατανάλωσης που θα καλύψει το Φ/Β σύστημα, αλλά για αυτές να χρησιμοποιηθεί μια γεννήτρια. Αυτό είναι υλοποιήσιμο με την προϋπόθεση της εγκατάστασης γεννήτριας στο σύστημα.

Στο τέλος του πρώτου μέρους καθορίζονται **οι παράμετροι των μπαταριών** σύμφωνα με την ημερήσια κατανάλωση ενέργειας.

Η συνολική χωρητικότητα των μπαταριών είναι αποτέλεσμα της παρακάτω εξίσωσης όπως διατυπώθηκε στην ενότητα 1.5.4.

$$Q = \frac{E * A}{V * T * n_{cab} * n_{inv}}$$

Σε αυτό το σημείο του προγράμματος γνωρίζουμε όλες τις παραμέτρους της εξίσωσης εκτός από το  $n_{cab} * n_{inv}$

Ο συντελεστής του αντιστροφέα ( $\eta_{inv}$ ) λαμβάνεται υπόψη παρακάτω, κατά την επιλογή του κατάλληλου μοντέλου αντιστροφέα όπου γίνεται ο τελικός υπολογισμός της χωρητικότητας της μπαταρίας. Επίσης η τιμή του συντελεστή καλωδίων ( $\eta_{cab}$ ) λαμβάνεται ως 1, διότι συνήθως οι απώλειες λόγω των καλωδίων είναι μικρές, δεδομένου ότι ο αντιστροφέας και οι μπαταρίες βρίσκονται σε κοντινή απόσταση.

Η επιλογή «**Αυτονομία σε ημέρες**» σημαίνει τη δυνατότητα (σε ημέρες) τροφοδοσίας του κτιρίου με ηλεκτρική ενέργεια, που επιλέγει ο πελάτης, χωρίς οι μπαταρίες να υπερβούν το μέγιστο βάθος εκφόρτισης. Ο αριθμός αυτός κυμαίνεται συνήθως από 3-5 ημέρες και εξαρτάται από τον εγκαταστάτη των Φ/Β, τον πελάτη και τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Ενδεικτικά, σε περιοχές της Κρήτης αυτονομίας θεωρούνται ιδανικές οι 3 ημέρες, ενώ σε περιοχές της Μακεδονίας οι 5 ημέρες.

Ακολουθεί η επιλογή για τον τρόπο υπολογισμού της «**ωφέλιμης αποθηκευμένης ενέργειας**» δηλαδή πόση ενέργεια χρειάζεται να καλύψουν οι μπαταρίες, με βάση την ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση της χειμερινής ή της καλοκαιρινής περιόδου.

Η ωφέλιμη ενέργεια είναι το γινόμενο του πολλαπλασιασμού του αριθμού των ημερών αυτονομίας που έχει επιλέξει ο πελάτης με την ημερήσια κατανάλωση ενέργειας της περιόδου που έχει επιλεγεί. Συνήθως προτιμάται η επιλογή της περιόδου με την μεγαλύτερη ημερήσια ηλεκτρική κατανάλωση. Το καλοκαίρι λόγω των ευνοϊκών συνθηκών έχουμε αυξημένη παραγωγή ενέργειας. Στην περίπτωση που η κατανάλωση την καλοκαιρινή περίοδο είναι σχετικά μεγαλύτερη από την χειμερινή μπορούμε να επιλέξουμε τον υπολογισμό της ωφέλιμης αποθηκευμένης ενέργειας με βάση τη χειμερινή περίοδο. Έτσι η ωφέλιμη ενέργεια θα είναι μικρότερη από ότι αν επιλέγαμε την καλοκαιρινή περίοδο άρα θα χρησιμοποιηθούν λιγότερες μπαταρίες και θα εξοικονομήσουμε χρήματα, ενώ ταυτόχρονα θα έχουμε ένα αξιόπιστο σύστημα εξαιτίας των παραπάνω συνθηκών.

Η τάση του συστήματος μπορεί να είναι 12V, 24V ή 48V. Συνιστάται για ισχύ συστήματος μέχρι 1KWp να χρησιμοποιηθεί τάση συστήματος 12V, από 1 KWp έως 3KWp τάση συστήματος 24V και από 3 KWp έως 8KWp τάση συστήματος 48V.

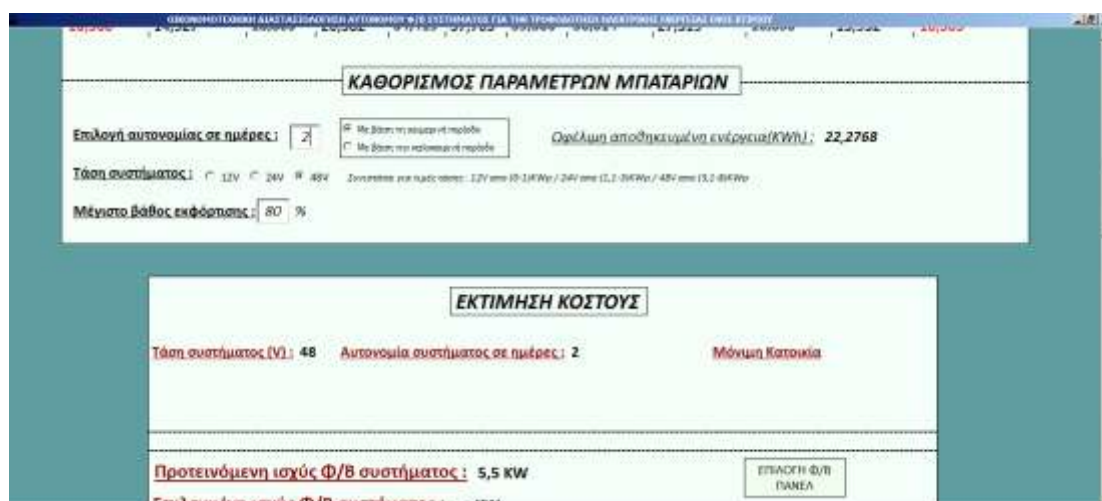
Το βάθος εκφόρτισης αναφέρεται στην ενότητα 1.5.4 και ο καθορισμός του εξαρτάται κυρίως από τις γνώσεις και την εμπειρία του εγκαταστάτη (Εικόνα 3.23).



Εικόνα 3.23

**Στο δεύτερο μέρος του προγράμματος γίνεται η εκτίμηση του κόστους εγκατάστασης του Φ/Β συστήματος.**

Απεικονίζονται συγκεντρωτικά όλα τα χαρακτηριστικά του συστήματος και γίνεται η επιλογή του κατάλληλου μηχανήματος από τις βάσεις δεδομένων του προγράμματος (Εικόνα 3.24).



Εικόνα 3.24

Στην συνέχεια γίνεται επιλογή των κύριων μερών του Φ/Β συστήματος και εκτιμάται το κόστος του. Κάθε μέρος του Φ/Β συστήματος επιλέγεται από τις παρακάτω φόρμες.

Για την επιλογή των Φ/Β πάνελ :



**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ**

Τάση συστήματος (V): 48    Αυτονομία συστήματος σε ημέρες: 2    Μόνιμη Κατοικία

---

Προτεινόμενη ισχύς Φ/Β συστήματος: 5,5 KW    **ΕΠΙΛΟΓΗ Φ/Β ΠΑΝΕΛ**

Επιλεγμένη ισχύς Φ/Β συστήματος: -- KW

ΔΕΝ ΕΧΟΥΝ ΕΠΙΛΕΓΕΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ Φ/Β ΠΑΝΕΛ

Εικόνα 3.25

Η φόρμα «**ΕΠΙΛΟΓΗ Φ/Β ΠΑΝΕΛ**» συνδέεται με μια βάση δεδομένων, τύπου MS access database, η οποία έχει σχεδιαστεί κατάλληλα για την εισαγωγή των απαραίτητων δεδομένων των Φ/Β πάνελ που χρειάζεται ο χρήστης για το στήσιμο του αυτόνομου Φ/Β συστήματος. Τα δεδομένα εισάγονται μέσω της παρακάτω φόρμας. Η βάση δεδομένων είναι κλειδωμένη καθώς η αλλαγή της σχεδίασής της μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα στους υπολογισμούς και την λειτουργία του προγράμματος. Τα στοιχεία που υπάρχουν στη βάση δεδομένων απεικονίζονται στην φόρμα και μπορεί να γίνει εισαγωγή, διαγραφή, αναθεώρηση και αναζήτηση πάνω σε αυτά (Εικόνα 3.26).

**ΕΠΙΛΟΓΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΠΑΝΕΛ**

**ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

Κατασκευαστής:

Μοντέλο:

Ισχύς:  W

Τάση Λειτουργίας:  V

Τύπος:

Διαστάσεις: πλάτος:  m, μήκος:  m

Ενδεικτική τιμή:  €/Wp

Λοιπές Πληροφορίες:

**ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

Ισχύς συστήματος: 5,5 KW

Κατασκευαστής: ---

Μοντέλο: ---

Ισχύς(W): ---

Τάση Λειτουργίας(V): ---

Τύπος: ---

Διαστάσεις: πλάτος(m): ---, μήκος(m): ---, Συνολική Έκταση(m²): ---

Τιμή(€): --- \*Αλλαγή αριθμού τεμαχίων:

>Νέα ισχύς σε περίπτωση αλλαγής των τεμαχίων: ---

Ενδεικτική συνολική τιμή(€): --- \*Αλλαγή τιμής:  €/Wp

Λοιπές Πληροφορίες:

Insert    Update    Delete    Cancel/Clear

Γραμμή	Μοντέλο	Ισχύς (W)	Τάση Vmp (V)	Τύπος	Πλάτος (m)	Μήκος (m)	Ενδεικτική τιμή €/Wp	Λοιπές Πληροφορίες
1	LX-250P/156-60+ (Poly)	250	30	Polycrystalline	0.992	1.540	0.62	
2	LX-250P/156-60+ (Poly)	260	30.65	Polycrystalline	0.992	1.540	0.62	
3	LX-250P/156-60+ (Poly)	265	30.90	Polycrystalline	0.992	1.540	0.63	
4	LX-270P/156-60+ (Poly)	270	31.65	Polycrystalline	0.992	1.540	0.64	
5	K-280M/156-60+ (Mono)	280	30.79	Monocrystalline	0.992	1.540	0.66	
6	LX-250M/125-72+ (Mono)	200	36.49	Monocrystalline	0.828	1.509	0.77	

Εικόνα 3.26

Η επιλογή μιας καταχώρησης γίνεται πατώντας πάνω σε ένα κελί της γραμμής της λίστας με την ονομασία του Φ/Β πάνελ (Εικόνα 3.27).

Παραμετρία	Μοντέλο	Ισχύς (W)	Τάση Αντιστ.	Τύπος	Πλάτος (m)	Μήκος (m)	Ενδεικτική τιμή (€/Wp)	Διατίθ. Πληροφορίες
* Luxor	LX-250P/156-60+ (Poly)	250	30	Polycrystalline	0.992	1.640	0.62	
Luxor	LX-250P/156-60+ (Poly)	250	30.95	Polycrystalline	0.992	1.640	0.62	
Luxor	LX-245P/156-60+ (Poly)	245	30.90	Polycrystalline	0.992	1.640	0.63	
Luxor	LX-270P/156-60+ (Poly)	270	31.65	Polycrystalline	0.992	1.640	0.64	
Luxor	K-265M/156-60+ (Mono)	265	30.79	Monocrystalline	0.992	1.640	0.66	
Luxor	LX-200M/125-72+ (Mono)	200	35.43	Monocrystalline	0.808	1.508	0.77	

Εικόνα 3.27

Για το παράδειγμα επιλέγονται τα Φ/Β πάνελ που φαίνονται στην Εικόνα 3.27.

Η αναζήτηση και η καταγραφή των χαρακτήρων που επιτρέπονται να γραφτούν σε ένα κουτί πραγματοποιείται με αντίστοιχο τρόπο όπως και στην φόρμα «**Πίνακας συνολικής ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας ανά περιοχή**». Η αναζήτηση μπορεί να γίνει με βάση τον κατασκευαστή, το μοντέλο και για την Ισχύ του Φ/Β πάνελ. Η επικύρωση των χαρακτήρων ελέγχεται για την Ισχύ, την τάση και την ενδεικτική τιμή, ώστε να εισάγονται μόνο αριθμοί σε αυτή τα κουτιά. Όταν ο χρήστης κάνει εισαγωγή μιας καταχώρησης, το πρόγραμμα επιβεβαιώνει ότι όλα τα κουτιά περιέχουν δεδομένα, εκτός τις «Λουπές Πληροφορίες». Δηλαδή, έχουν συμπληρωθεί όλες οι απαραίτητες πληροφορίες για την περιγραφή ενός Φ/Β πάνελ. Αν δεν ισχύει αυτό, εμφανίζεται ένα παράθυρο που επισημαίνει την συμπλήρωση των κενών κουτιών και γίνεται κόκκινο το φόντο τους όπως φαίνεται παραπάνω στην φόρμα «**Πίνακας συνολικής ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας ανά περιοχή**» στην Εικόνα 3.14α-3.15β.

Στην περίπτωση που γίνει προσπάθεια καταχώρησης Φ/Β πάνελ που έχει τα ίδια χαρακτηριστικά (κατασκευαστή, μοντέλο) με έναν υπάρχον στη βάση δεδομένων, εμφανίζεται ένα παράθυρο που δίνει την επιλογή στον χρήστη για την αντικατάσταση της υπάρχουσας καταχώρησης ή όχι, ενώ ταυτόχρονα εμφανίζεται ο ήδη καταχωρημένος αντιστροφέας στη λίστα της φόρμας (Εικόνα 3.28).

**ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

Κατασκευαστής: Luxor  
 Μοντέλο: LX-250P/156-60+ (Poly)  
 Ισχύς: 250 W  
 Τάση Διεύθυνσης: 30 V  
 Τύπος: Polycrystalline  
 Διαστάσεις: πλάτος: 0,992 m, μήκος: 1,640 m  
 Ενδεικτική τιμή: 0,62 €/Wp  
 Λοιπές Πληροφορίες:

**ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

Ισχύς συστήματος: 5,5 KW  
 Κατασκευαστής: Luxor  
 Μοντέλο: LX-250P/156-60+ (Poly)  
 Ισχύς(W): 250  
 Τάση Διεύθυνσης(V): 30  
 Τύπος: Polycrystalline  
 Διαστάσεις: πλάτος(m): 0,992, μήκος(m): 1,640  
 Συνολική Έκταση(m²): 35,79  
 \*Αλλαγή αριθμού τεμαχίων: 10,00  
 \*Αλλαγή τιμής: 0,62 €/Wp

**Αντικατάσταση καταχώρησης**

Ήθελες ήθελες να αντικαταστήσεις το Μοντέλο LX-250P/156-60+ (Poly) που Κατασκευαστή: Luxor, θέλεις να γίνει αντικατάσταση;

Yes No Cancel

Προϊόντης	Μοντέλο	Ισχύς (W)	Τάση (V)	Τύπος	Πλάτος (m)	Μήκος (m)	Ενδεικτική τιμή (€/Wp)	Λοιπές Πληροφορίες
Luxor	LX-250P/156-60+ (Poly)	250	30	Polycrystalline	0,992	1,640	0,62	

Εικόνα 3.28

Η διαγραφή μιας καταχώρησης γίνεται με την επιλογή του κουμπιού delete. Τότε εμφανίζεται παράθυρο που δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να προχωρήσει στην τελική διαγραφή ή να την ακυρώσει (Εικόνα 3.29).

**ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

Κατασκευαστής: Luxor  
 Μοντέλο: LX-250P/156-60+ (Poly)  
 Ισχύς: 250 W  
 Τάση Διεύθυνσης: 30 V  
 Τύπος: Polycrystalline  
 Διαστάσεις: πλάτος: 0,992 m, μήκος: 1,640 m  
 Ενδεικτική τιμή: 0,62 €/Wp  
 Λοιπές Πληροφορίες:

**ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

Ισχύς συστήματος: 5,5 KW  
 Κατασκευαστής: Luxor  
 Μοντέλο: LX-250P/156-60+ (Poly)  
 Ισχύς(W): 250  
 Τάση Διεύθυνσης(V): 30  
 Τύπος: Polycrystalline  
 Διαστάσεις: πλάτος(m): 0,992, μήκος(m): 1,640  
 Συνολική Έκταση(m²): 35,79  
 \*Αλλαγή αριθμού τεμαχίων: 10,00  
 \*Αλλαγή τιμής: 0,62 €/Wp

**Ασφάλιση καταχώρησης**

Θέλετε να διαγράψετε το Μοντέλο LX-250P/156-60+ (Poly), που Κατασκευαστή: Luxor;

Yes No Cancel

Προϊόντης	Μοντέλο	Ισχύς (W)	Τάση (V)	Τύπος	Πλάτος (m)	Μήκος (m)	Ενδεικτική τιμή (€/Wp)	Λοιπές Πληροφορίες
Luxor	LX-250P/156-60+ (Poly)	250	30	Polycrystalline	0,992	1,640	0,62	
Luxor	LX-260P/156-60+ (Poly)	260	30,65	Polycrystalline	0,992	1,640	0,62	
Luxor	LX-265P/156-60+ (Poly)	265	30,90	Polycrystalline	0,992	1,640	0,63	
Luxor	LX-270P/156-60+ (Poly)	270	31,65	Polycrystalline	0,992	1,640	0,64	
Luxor	X-280M/156-60+ (Mono)	280	30,79	Monocrystalline	0,992	1,640	0,66	
Luxor	LX-250M/125-72+ (Mono)	200	36,49	Monocrystalline	0,828	1,538	0,77	

Εικόνα 3.29

Για να γίνει αναθεώρηση μιας καταχώρησης, αρχικά επιλέγεται η ζητούμενη καταχώρηση από τη λίστα που υπάρχει στη φόρμα και τα στοιχεία της εμφανίζονται

στα κουτιά του πίνακα «**ΔΕΔΟΜΕΝΑ**». Αυτά τα στοιχεία μπορεί να τα επεξεργαστεί ο χρήστης και στη συνέχεια με το πάτημα του κουμπιού «**Update**» να γίνει η αναθεώρηση της συγκεκριμένης καταχώρησης.

Σε περίπτωση που ο εγκαταστάτης αλλάξει τον αριθμό των τεμαχίων ή η ισχύς των Φ/Β πάνελ που έχουν επιλεγεί είναι διαφορετική από την προτεινόμενη ισχύ του πρώτο μέρος του προγράμματος, τότε η νέα ισχύς του συστήματος φαίνεται στην «Επιλεγμένη ισχύς του Φ/Β συστήματος» (Εικόνα 3.30)

Με την επιλογή των Φ/Β πάνελ εκτιμάται επιπλέον και η έκταση του χώρου που απαιτείται χωρίς να λαμβάνονται θέματα δουλείας και σκίασης του περιβάλλοντα χώρου. Η απαιτούμενη έκταση είναι αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού του μήκους με το πλάτος και του συνημιτόνου της κλίσης που έχει επιλεγεί να εγκατασταθούν τα Φ/Β πάνελ. Με το κλείσιμο της φόρμας, τα στοιχεία του πίνακα «**ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ**» εμφανίζονται στην κεντρική φόρμα, καθώς αυτά είναι τα τελικά στοιχεία του αντιστροφέα που θα χρησιμοποιηθεί.

Προτεινόμενη ισχύς Φ/Β συστήματος : 5,5 KW

Επιλεγμένη ισχύς Φ/Β συστήματος : — KW

**Φ/Β ΠΑΝΕΛ**

Κατασκευαστής : **Luxor**

Μοντέλο : **LX-250P/156-60+ (Poly)**

Ισχύς(Φ): **250**

Τάση Ανοικτού Κυκλώ (V): **30**

Τύπος : **Polycrystalline**

Επιφάνεια Τετραγωνική : **35,79**

Τιμή/μτ² : **3.410,00**

Ενδεικτική συνολική τιμή(€): **22**

Ασπίδα Πυροπροστασίας :

Ισχύς Ρυθμιστών Φόρτισης : Μεινυλάτωση από 5.5 KW

Εικόνα 3.30

Τα χαρακτηριστικά και οι λειτουργίες της φόρμας «**ΕΠΙΛΟΓΗ Φ/Β ΠΑΝΕΛ**» ισχύουν αντίστοιχα και στις παρακάτω φόρμες και ακολουθείται η ίδια διαδικασία για την επιλογή των υπόλοιπων μερών του Φ/Β συστήματος.

Στη συνέχεια γίνεται επιλογή του ρυθμιστή φόρτισης. Για τις ανάγκες του παραδείγματος, επιλέγεται ο παρακάτω, που υποστηρίζει τάση εισόδου 48V και την ισχύ του συστήματος (Εικόνα 3.31, 3.32).



**ΕΠΙΛΟΓΗ ΡΥΘΜΙΣΤΗ ΦΟΡΤΙΣΤΗ**

**ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

Κατασκευαστής: Victron Energy  
 Μοντέλο: SCC VIC BlueSolar MPPT 150/100-MC4 (12/24/48V-100A)  
 Αλγόριθμος Φόρτισης: MPPT  
 Μέγιστο Ρεύμα: 100 A  
 Τάση Άνοξης: 150 V  
☒ Τάση Συστήματος(12V) Ισχύς: 120 W  
☒ Τάση Συστήματος(24V) Ισχύς: 200 W  
☒ Τάση Συστήματος(48V) Ισχύς: 500 W  
 Ενδεικτική τιμή: 750 €  
 Λογική Πληροφορία:

**ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

Τάση συστήματος: 48 V  
 Ισχύς μεγαλύτερη ή ίση από: 5,5 KW  
 Κατασκευαστής: Victron Energy  
 Μοντέλο: SCC VIC BlueSolar MPPT 150/100-MC4 (12/24/48V-100A)  
 Αλγόριθμος Φόρτισης: MPPT  
 Μέγιστο Ρεύμα(A): 100  
 Τάση Άνοξης(V): 150  
 Τάση Συστήματος(V): 48  
 Ισχύς(W): 5800  
 Ενδεικτική συνολική τιμή(€): 750  
 Τιμή: 1  
 Λογική Πληροφορία:

Παραμ. Φόρτισης	Μοντέλο	Αλγόριθμος Φόρτισης	Μέγιστο Ρεύμα (A)	Τάση Άνοξης(Ανοχή) (V)	Τάση Συστήματος (V)	Ισχύς σε 12V (W)	Ισχύς σε 24V (W)	Ισχύς σε 48V (W)	Τάση Συστήματος (V)	Ισχύς (W)
1	Victron Energy	MPPT	60	150	12	860	24	1720	48	3440
2	Victron Energy	MPPT	70	150	12	1000	24	2000	48	4000
3	Victron Energy	MPPT	80	150	12	1120	24	2240	48	4480
4	Victron Energy	MPPT	100	150	12	1400	24	2800	48	5600
5	Victron Energy	MPPT	50	150	12	700	24	1400	48	2800
6	Victron Energy	MPPT	40	150	12	560	24	1120	48	2240
7	Victron Energy	MPPT	30	150	12	420	24	840	48	1680

\*Η επιλογή γίνεται σύμφωνα με τα παρακάτω κριτήρια: 1. Η τάση συστήματος 2. Η ισχύς 3. Η τιμή 4. Η λογική πληροφορία.

Εικόνα 3.31

**Ισχύς Ρυθμιστών Φόρτισης: Μεγαλύτερη ή ίση από 5,5 KW**

**ΕΠΙΛΟΓΗ ΡΥΘΜΙΣΤΗ ΦΟΡΤΙΣΤΗ**

**Ρυθμιστής Φορτιστής**

Κατασκευαστής: Victron Energy  
 Μοντέλο: SCC VIC BlueSolar MPPT 150/100-MC4 (12/24/48V-100A)  
 Αλγόριθμος Φόρτισης: MPPT  
 Μέγιστο Ρεύμα(A): 100  
 Τάση Άνοξης(V): 150  
 Τάση Συστήματος/Εισόδου: 48  
 Ισχύς(W): 5800  
 Τιμή: 1  
 Ενδεικτική συνολική τιμή(€): 750  
 Λογική Πληροφορία:

**Ισχύς Αντιστροφών: 0**

Αντιστροφή  
 Αντιστροφή/Φόρτιση

Εικόνα 3.32

Για την επιλογή του αντιστροφέα υπάρχει η δυνατότητα χρήσης ενός αντιστροφέα ή ενός αντιστροφέα/φορτιστή (οι διαφορές τους αναφέρονται στην ενότητα 1.5.2). Ανάλογα από την επιλογή του εγκαταστάτη εμφανίζονται τα αντίστοιχα κουμπιά (Εικόνα 3.35, 3.36).

Ισχύς Αντιστροφών : Μεγαλύτερη από 4,59 KW

☒ Αντιστροφή  
☐ Αντιστροφή/Φορτιστής

ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ

ΔΕΝ ΕΧΟΥΝ ΕΠΙΛΕΓΕΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ

Εικόνα 3.35

Ισχύς Αντιστροφών : Μεγαλύτερη από 4,59 KW

☐ Αντιστροφή  
☒ Αντιστροφή/Φορτιστής

ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ/ΦΟΡΤΙΣΤΗ

ΔΕΝ ΕΧΟΥΝ ΕΠΙΛΕΓΕΙ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΓΙΑ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ

Εικόνα 3.36

Αν ο αντιστροφέας υποστηρίζει σαν τάση εισόδου τη ζητούμενη τάση του συστήματος, τότε τα στοιχεία του εμφανίζονται και στον πίνακα «**ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ**» εκτός του πίνακα «**ΔΕΔΟΜΕΝΑ**». Σε αυτόν τον πίνακα υπολογίζεται επιπλέον, πόσα τεμάχια θα χρειαστούν από τον συγκεκριμένο αντιστροφέα για να καλυφτεί η ζητούμενη ισχύς και η συνολική τιμή (τεμάχια \* τιμή/ανά τεμάχιο). Δίνεται η δυνατότητα αλλαγής της τιμής, σε περίπτωση ειδικών εκπτώσεων και η αλλαγή των τεμαχίων αν για παράδειγμα το προτείνει ο εγκαταστάτης στον επενδυτή για μελλοντική επέκταση του συστήματος.

**ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ**

**ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

Κατασκευαστής:

Μοντέλο:

Όνομα. Ισχύς:

Μέγιστη Ισχύς:

Επιλέξτε τις τάσεις συστήματος που μπορεί να υποστηρίξει ο Ρυθμιστής Φόρτισης:

☐ Τάση Συστήματος(12V) Απόδοση:

☒ Τάση Συστήματος(24V) Απόδοση:

☒ Τάση Συστήματος(48V) Απόδοση:

Τάση Εξόδου:  V

Ενδεικτική τιμή:  €

Λοιπές Πληροφορίες:

**ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ**

Τάση συστήματος: **48 V**

Ισχύς μεγαλύτερη ή ίση απο: **4,59 KW**

Κατασκευαστής: **Victron Energy**

Μοντέλο: **IVI VIC Phoenix C 24/5000 C 48/5000**

Όνομα. Ισχύς(W): **5000**

Μέγιστη Ισχύς(W): **10000**

Τάση Εισόδου(V): **24**

Απόδοση(%): **95**

Τάση Εξόδου(V): **230**

Τεμάχια: **1** \*Αλλαγή αριθμού τεμαχίων:

Ενδεικτική συνολική τιμή(€): **1945** \*Αλλαγή τιμής/τεμαχίου(€):

Λοιπές Πληροφορίες:

	Κατασκευαστής	Μοντέλο	Όνομαστική Ισχύς (W)	Μέγιστη Ισχύς (W)	Τάση Συστήματος 12V	Απόδοση για τάση συστήματος 12V	Τάση Συστήματος 24V	Απόδοση για τάση συστήματος 24V	Τάση Συστήματος 48V	Απόδοση για τάση συστήματος 48V	Τ/Δ (W)
6	Victron Energy	IVI VIC Phoenix C 24/5000	5000	10000	x	x	x	x	48	91	23
7	Victron Energy	IVI VIC Phoenix C 24/5000 C 48/5000	12000	24000	12	92	24	94	x	x	23
8	Victron Energy	IVI VIC Phoenix C 48/5000	16000	32000	12	92	24	94	x	x	23

Insert Update Delete Cancel/Close

Εικόνα 3.37

Έχοντας επιλέξει τον αντιστροφέα του συστήματος, γίνεται ο τελικός υπολογισμός της χωρητικότητας των μπαταριών συνυπολογίζοντας τον συντελεστή απόδοσης του αντιστροφέα. Έγινε η επιλογή του παρακάτω μοντέλου μπαταρίας. Θα χρειαστούν 24 μπαταρίες που θα εγκατασταθούν σε σειρά για να .

**Προτεινόμενη χωρητικότητα Μπαταριών (Ah): 610**

**Επιλεγμένη χωρητικότητα Μπαταριών (Ah): 670**

**ΕΠΙΛΟΓΗ ΜΠΑΤΑΡΙΩΝ**

**Μπαταρίες**

Κατασκευαστής: **ENERSYS PowerSafe**

Μοντέλο: **SB ENERSYS PowerSafe TS TYS 6/670 (C100:900Ah/2V)**

Τάση(V): **2**

Χωρητικότητα(Ah): **670**

Τύπος: **OPzS Flooded, Deep Cycle**

Τεμάχια: **24**

Ενδεικτική συνολική τιμή(€): **7176,00**

Λοιπές Πληροφορίες:

\* Προτεινόμενη χωρητικότητα Μπαταριών (Ah) : Συνυπολογισμένη με τον συντελεστή απόδοσης του αντιστροφέα.

Εικόνα 3.38

Η επιλογή γεννήτριας, εφόσον αποφασιστεί από τον πελάτη, μπορεί να επιλεγεί από μια λίστα γεννητριών με τη διαδικασία που ακολουθήθηκε στην επιλογή του Φ/Β πάνελ (Εικόνα 3.39, 3.40). Επιλέγεται μια γεννήτρια ισχύος 6KW για το παράδειγμα.

	Κατασκευαστής	Μοντέλο	Ισχύς	Μέγιστη Ισχύς	Τύπος	Λειτουργία Συνεχούς Ρεύματος	Σύστημα Εκκίνησης	Ενδεικτική Τιμή	Λοιπές Πληροφορίες
1	KUMATSU	GB6500	6500	6500	Βενζίνη		Χειρόμια	500	
2	Spartan	SPRT SP 6500	6000	6000	Βενζίνη		Χειρόμια	500	
3	RAPTOR	B-6500E	5000	5000	Βενζίνη	5000	Μίζα	563	
4	United Power	GG-7300 EB 681	6300	6300	Βενζίνη		Μίζα	580	
5	LOHON	LC 6500A	5000	5000	Βενζίνη		Στανή Αυτόματης Έκκίνησης	580	
6	LAUNTOP	LT 6500 CLE	5600	5600	Βενζίνη	5000	Μίζα	580	
7	KRAFT	G 7 D EW	5500	5500	Βενζίνη	5000	Μίζα	090	

Εικόνα 3.39

**Γεννήτρια :**

**ΕΠΙΛΟΓΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ**

**Γεννήτρια**

Κατασκευαστής: KUMATSU  
 Μοντέλο: GB6500  
 Ονομ. Ισχύς(W): 6500  
 Μέγιστη Ισχύς(W): 6500  
 Είδος κινητήρα: Βενζίνη  
 Λειτουργία Συνεχούς Ρεύματος(W):  
 Σύστημα Εκκίνησης: Χειρόμια  
 Ενδεικτική τιμή(€): 500  
 Λοιπές Πληροφορίες:

Εκτίμηση κόστους Βάσης Στήριξης: C New C Op

Εικόνα 3.40



Προτείνεται η αγορά μια γεννήτριας ως δικλείδα ασφαλείας για πιθανή αστοχία του συστήματος, έτσι ώστε να μπορούν μερικά φορτία να τροφοδοτηθούν με τη γεννήτρια. Σε αυτήν ο εγκαταστάτης εξετάζει, σύμφωνα με τις προτιμήσεις του επενδυτή, την ισχύ της (ανάλογα τι φορτία θέλει να τροφοδοτήσει), το τύπο της (βενζινοκίνητη ή πετρελαιοκίνητη), τον τρόπο εκκίνησης, τον θόρυβο όταν λειτουργεί κ.ά.

Επίσης, γίνεται ο υπολογισμός του κόστους των βάσεων στήριξης, αν υπάρχουν και δίνονται ενδεικτικές τιμές οι οποίες μπορούν να επεξεργαστούν. Γίνεται η υπόθεση ότι στο παράδειγμα χρησιμοποιούνται βάση στήριξης από αλουμίνιο.

Εκτίμηση κόστους βάσης Στήριξης:

Εύλογη Βάση Στήριξης:  $B = \max(C, C_{\text{op}})$

# Αλουμίνιο	0.12 €/Watt	Κόστος κατά εκτίμηση(€) : 660,00
C Λοοκαυμένο Αλουμίνιο	0.19 €/Watt	
C Γαλβανισέ	0.08 €/Watt	

Παρατηρήσεις / Σχόλια

Create PDF

Εικόνα 3.41

Ο εγκαταστάτης κλείνοντας την προσφορά ενός Φ/Β συστήματος μπορεί να καταγράψει σε ένα πλαίσιο με τίτλο «Παρατηρήσεις/Σχόλια» επισημάνσεις ή σχόλια που πιθανότατα να είναι απαραίτητο να καταγραφούν και δεν προσδιορίζονται ήδη από τις επιλογές του προγράμματος.

Τέλος μετά τη συμπλήρωση όλων των πεδίων ο χρήστης του προγράμματος έχει τη δυνατότητα να εξάγει όλα τα δεδομένα που είχαν επιλεγεί προηγουμένως σε αρχείο pdf, προκειμένου να δοθούν στον πελάτη μαζί με το pdf αρχείο που έχει δημιουργηθεί στην φόρμα επιλογής συσκευών (3.42, 3.43, 3.44).

**E.S.A.S****Economotechical Sizing of Autonomous System**

By G.K

Μέρος 2.) Εκτίμηση κόστους

Με συντελεστή προσαύξησης

Συντελεστής προσαύξησης φορτίου : 5%

Συντελεστής προσαύξησης ταυτοχρονισμένης ισχύος φορτίου : 0%

Χειμερινή Περίοδος	
Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (KWh):	11,138
Μέγιστη ταυτοχρονισμένη ισχύς (KW) :	4,59

Καλοκαιρινή περίοδος	
Ημερήσια κατανάλωση ενέργειας (KWh):	10,056
Μέγιστη ταυτοχρονισμένη ισχύς (KW) :	4,59

Πληροφορίες Συστήματος	
Είδος μπαταρίας	Μόνιμη
Τάση συστήματος (V)	48
Αυτονομία συστήματος σε μέρες	2

**Εικόνα 3.42**

Κόστος Υλικών

	Κατασκευαστής	Μοντέλο	Τιμή (€)
Αντιστροφέας	Victron Energy	IM VIC Phoenix C 24/5000 & C 48/5000	1945
Ρυθμιστής Φόρτισης	Victron Energy	SCC VIC BlueSolar MPPT 150/100-MC4 (12/24/48V-100A)	750
Φ/Β πάνελ	Luxor	LX-250P/156-60+ (Poly)	3410
Μπαταρίες	ENERSYS PowerSafe	SB ENERSYS PowerSafe TS TYS 6/670 (C100:900Ah/2V)	7176
Γεννήτρια	KUMATSU	GB6500	500

Βάση στήριξης

Τύπος	Αλουμίνιο
Εκτίμηση κόστους	660 €

Παρατηρήσεις/Σχόλια

Εικόνα 3.43

**Συνολικό εκτιμώμενο κόστος : 14.441 €**

Υπογραφή εγκαταστάτη

Υπογραφή πελάτη

Στοιχεία Πελάτη	
Όνομα	
Εκίθετο	
Τηλέφωνο οικίας	
Τηλέφωνο κινητού	
Περιοχή	
Διεύθυνση	

Στοιχεία Εγκαταστάτη	
Εταιρία	
Όνομα	
Εκίθετο	
Τηλέφωνο οικίας	
Τηλέφωνο κινητού	
Περιοχή	
Διεύθυνση	

**Εικόνα 3.44**

## Κεφάλαιο Τέταρτο

# Συμπεράσματα – Προτάσεις

### 4.1 Συμπεράσματα

Η πολυπλοκότητα εφαρμογής ενός Φ/Β, που επηρεάζεται από ποικίλους παράγοντες, όπως είναι ο χώρος εγκατάστασης, οι ανάγκες του πελάτη, οι κλιματικές συνθήκες, η καταγραφή φορτίου, η απόδοση του συστήματος και το αυξημένο κόστος αγοράς των υλικών απαιτεί καλή αρχική μελέτη και σχεδιασμό με βάση τις υπάρχουσες συνθήκες.

Για την βέλτιστη εκτίμηση των αναγκών του πελάτη και κατά συνέπεια την ανάλογη επιλογή μεταξύ των διαθέσιμων υλικών του συστήματος και του κόστους, είναι απαραίτητη η δημιουργία εργαλείων/προγραμμάτων που να τα υπολογίζουν κάτω από διαφορετικές συνθήκες επιλογής και να παρουσιάζουν τις διαθέσιμες επιλογές με κατανοητό τρόπο στον υποψήφιο πελάτη.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα που με έναν εύχρηστο, γρήγορο και παραμετροποιήσιμο τρόπο μπορεί να αποτυπώσει πολλές από τις προηγούμενα αναφερόμενες παραμέτρους όπως είναι το συνολικό φορτίο, την ισχύ του Φ/Β, την χωρητικότητα των μπαταριών κ.ά. και ταυτόχρονα να διευκολύνει την επιλογή των επιλεγμένων υλικών και του κόστους αυτών.

Το πρόγραμμα εξάγει ένα pdf αρχείο στο οποίο αναγράφονται αναλυτικά τα στοιχεία του εγκαταστάτη, του πελάτη, οι παράμετροι που αναφέρθηκαν προηγουμένως, τα επιλεγμένα υλικά και το συνολικό κόστος εγκατάστασης, χωρίς την εκτίμηση των καλωδίων, άλλων παρελκόμενων και κόστους εργασίας. Το πρόγραμμα δεν εξετάζει παραμέτρους που σχετίζονται με θέματα σκίασης, χωροθέτησης και ζωνών δουλείας.

Το συγκεκριμένο πρόγραμμα μπορεί να αποτελέσει ένα αξιόπιστο εργαλείο για την διευκόλυνση υπολογισμού του κόστους από εγκαταστάτες αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων και την αναλυτική παρουσίασή τους σε πιθανούς επενδυτές.

## 5.2 Προτάσεις

Το παρόν πρόγραμμα αν και καταγραφεί τους βασικούς παραμέτρους που είναι απαραίτητοι για την επιλογή ενός ολοκληρωμένου Φ/Β συστήματος, έχει περιθώρια περαιτέρω αναβάθμισης.

Προτείνεται ο μελλοντικός του εμπλουτισμός με τη δυνατότητα υπολογισμού της συνολικής ηλεκτρικής ενέργειας λαμβάνοντας υπόψη τις πιθανές απώλειες από σκίαση, την εκτίμηση του συνολικού εμβαδού επιφανείας για την εγκατάστασή του ανάλογα με το χώρο και τον προσανατολισμό των Φ/Β και κατά συνέπεια τον υπολογισμό και των ζωνών δουλείας.

Το πρόγραμμα επίσης θα μπορούσε να αναβαθμιστεί έτσι ώστε η εισαγωγή νέων πληροφοριών από υλικά κατασκευαστών να εισάγονται αυτόματα στο σύστημα, εφόσον οι αυτοί καταγραφούν τα υλικά σε μια βάση με συγκεκριμένες στήλες που περιγράφουν τα χαρακτηριστικά τους.

Τέλος το σύστημα θα μπορούσε να προσδιορίσει ένα εκτιμώμενο κόστος εργασίας και απόσβεσης.

## Βιβλιογραφία

- [1] Γεωργούλας Ε. Ανάλυση λειτουργίας φωτοβολταϊκών πλαισίων αμόρφου πυριτίου υπό συνθήκες μερικής σκίασης. Διπλωματική εργασία. Σχολή ηλεκτρολόγων μηχανικών και μηχανικών υπολογιστών ΕΜΠ. Αθήνα 2013.
- [2] Ασλανίδης Α, Μεταξώτος Ι. Προσδιορισμός συχνότητας έντασης ηλιακής ακτινοβολίας για όλο το έτος σε συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή. Πτυχιακή εργασία. Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Κρήτης.
- [3] Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Υπουργείο περιβάλλοντος και ενέργειας. <http://www.ypeka.gr/?tabid=285>, (25/7/2107)
- [4] Κέντρο ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας. <http://www.cres.gr/kape/#1> (26/7/2017).
- [5] Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. (26/7/2017) [https://el.wikipedia.org/wiki/Ανανεώσιμες\\_πηγές\\_ενέργειας](https://el.wikipedia.org/wiki/Ανανεώσιμες_πηγές_ενέργειας), 26/7/2017.
- [6] Εκπαιδευτικό πρόγραμμα PVTRIN. Εγχειρίδιο εγκαταστάτη φωτοβολταϊκών. [www.pvtrin.eu](http://www.pvtrin.eu), (19/8/2017)
- [7] Ηλιακή ακτινοβολία στην Ελλάδα. SolarGIS © 2011 GeoModel Solar s.r.o. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File%3ASolarGIS-Solar-map-Greece-en.png>
- [8] Η ηλιακή ενέργεια είναι πλέον η φθηνότερη μορφή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στον κόσμο. <http://www.naftemporiki.gr/story/1184332/i-iliaki-energeia-einai-pleon-i-ftthinoteri-morfi-paragogis-ilektrikis-energeias-ston-kosmo>. (16/12/2016).
- [9] Περιβάλλον και διαχείριση ενέργειας. Ηλιακά συστήματα. <http://www.allaboutenergy.gr/HliakaSistimata.html>, 17/7/2017.
- [10] Χατζηκάλφας Νικόλαος. Μελέτη φωτοβολταϊκού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας 100Kw. Διπλωματική εργασία. Τμήμα Μηχανικών παραγωγής και διοίκησης, Πολυτεχνείο Κρήτης. Χανιά 2008.
- [11] Ινστιτούτο τεχνολογίας υπολογιστών και εκδόσεων «Διοφάντος». Η αρχή λειτουργίας φωτοβολταϊκών συστημάτων. <http://greenmindset.cti.gr/principle>, 2013.
- [12] Φωτοβολταϊκά πάνελ και απόδοση. IQsolarpower. <http://www.iqsolarpower.com/pvpanels>, 2014.
- [13] Αντιστροφείς τάσης (inverters) / Μετατροπείς. <http://www.fotovoltaiika-systems.gr/fotovoltaiika-inverters.html> (23/7/2017)
- [14] Inverters και φωτοβολταϊκά (α). <http://www.iqsolarpower.com/inverter>, 2014.
- [15] Inverters και φωτοβολταϊκά (β). <http://www.iqsolarpower.com/inverter-122448v-dc-to-230v-ac>, 2014
- [16] Ρυθμιστές φόρτισης μπαταρίας. <http://www.iqsolarpower.com/pvchargecontroller>, 2014.
- [17] DC coupling. <https://www.mp-energy.gr/αυτονομα-συστηματα/βοήθεια/dc-coupling.html>, (20/8/2017)

- [18] Ινστιτούτο τεχνολογίας υπολογιστών και εκδόσεων «Διοφάντος». Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών συστημάτων. Πράσινη αντίληψη. <http://greenmindset.cti.gr/advantages-and-disadvantages>, 2013.
- [19] Χρήση Φωτοβολταϊκών συστημάτων και παραγωγή ενέργειας στην Ευρώπη. [https://el.wikibooks.org/wiki/Χρήση\\_φωτοβολταϊκών\\_συστημάτων\\_και\\_παραγωγή\\_ενέργειας\\_στην\\_Ευρώπη](https://el.wikibooks.org/wiki/Χρήση_φωτοβολταϊκών_συστημάτων_και_παραγωγή_ενέργειας_στην_Ευρώπη), (19/8/2017).
- [20] Ηλιακή επανάσταση: Τα νέα φωτοβολταϊκά που έκαναν ρεκόρ αποδοτικότητας. <http://www.iefimerida.gr/news/267793/iliaki-epanastasi-ta-ne-fotovoltaika-poy-ekanan-apisteyto-rekor-apodotikotitas>, (20/08/2017).
- [21] Κλιματολογικοί χάρτες ηλιακής ενέργειας στην Ελλάδα. Πανεπιστήμιο Πατρών. Εργαστήριο φυσικής της ατμόσφαιρας. <https://atmosphere-upatras.gr/solarmaps>
- [22] Σκίαση φωτοβολταϊκού - Καθαρά θέμα σχεδιασμού. ECON<sup>3</sup> [http://www.econ3.gr/readmore.php?article\\_id=87141311347139](http://www.econ3.gr/readmore.php?article_id=87141311347139)
- [23] Υπουργείο Περιβάλλοντος, ενέργειας και κλιματικής αλλαγής. Οδηγίες για την εγκατάσταση Φ/Β συστημάτων σε κτηριακές εγκαταστάσεις. Κέντρο ανανεώσιμων πηγών και εξοικονόμησης ενέργειας. [http://www.cres.gr/kape/pdf/odigos\\_pv\\_systimaton.pdf](http://www.cres.gr/kape/pdf/odigos_pv_systimaton.pdf), 2009.
- [24] Markvart & Castafier. Practical handbook of voltaics: Fundamentals and applications. Elsevier science Ltd 2003.
- [25] Στεργιόπουλος Φ, Δαμιανίδης Μ, Τόλης Μ, Κατσαρός Γ. Τεχνικό εγχειρίδιο για τη μελέτη και υλοποίηση Φ/Β συστημάτων. Θεσσαλονίκη 2011.
- [26] NABCEP. Study guide for photovoltaic system installers. 2009.