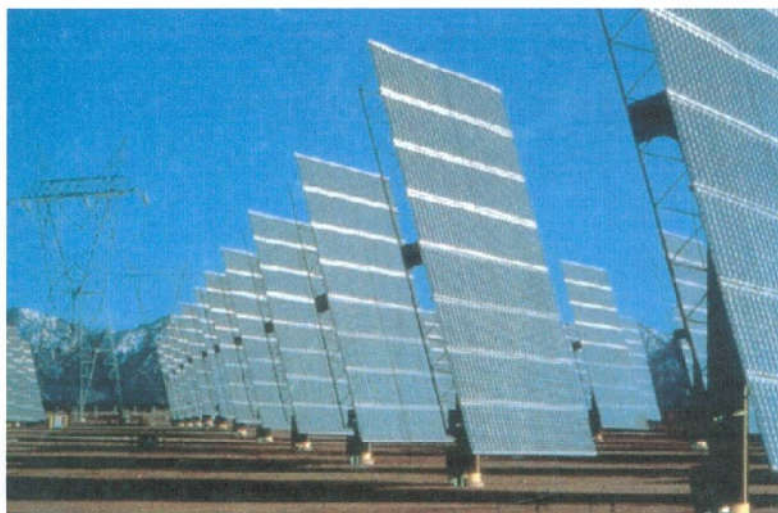


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΙΚΡΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ

ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ ΜΑΡΙΑ  
ΛΕΜΟΝΗ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ



Α.Π.Θ. - ΤΜΗΜΑ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΠΟΡΩΝ  
Αριθμ. Εισαγ... 1299  
Ημερομηνία... 14.10.04

Τριμελής επιτροπή  
ΜΠΑΡΤΖΗΣ Ι.  
ΜΠΟΥΡΗΣ Δ.  
ΜΑΡΝΕΛΛΟΣ Γ.

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ, 2004

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διπλωματική εργασία που ακολουθεί έχει ως στόχο την υλοποίηση τριών μελετών ηλιακών εφαρμογών μικρού και μεσαίου μεγέθους καθώς επίσης και τον προσδιορισμό των δυσκολιών που μπορεί να προκύψουν στον σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων. Προς την κατεύθυνση αυτού του στόχου απαιτήθηκε η γνώση και η παρουσίαση κάποιας συγκεκριμένης βιβλιογραφίας, με αντικείμενο τα φωτοβολταϊκά. Σημαντικό βήμα ήταν η έρευνα αγοράς που βασίστηκε σε εταιρείες του ελληνικού χώρου, έτσι ώστε οι μελέτες να βασιστούν σε πραγματικά προϊόντα (φωτοβολταϊκά, συσσωρευτές, αντιστροφείς, ρυθμιστές φόρτισης) παρέχοντας τα απαραίτητα τεχνικά χαρακτηριστικά καθώς και το κόστος κάθε προϊόντος.

Στην πρώτη ενότητα, γενικό πλαίσιο εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας, περιλαμβάνονται στοιχεία για την ηλιακή ενέργεια καθώς και ένα γενικότερο πλάνο που δίνει στοιχεία για εφαρμογές φωτοβολταϊκών και γενικότερα για το πώς θα κινηθεί η εργασία.

Στη δεύτερη ενότητα γίνεται εκτεταμένη αναφορά στα φωτοβολταϊκά συστήματα, στα είδη των συστημάτων που υπάρχουν, στα φωτοβολταϊκά πλαίσια, με σημαντικές παραγράφους, την αρχή λειτουργίας τους και την κατασκευή τους, καθώς και στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους. Περιλαμβάνεται παράγραφος για τον προσανατολισμό και τη βέλτιστη κλίση που πρέπει να έχει ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο, για μέγιστη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας, για την ηλεκτρική απόκριση του φωτοβολταϊκού και την συνδεσμολογία του. Παρουσιάζονται κάποιες ενδεικτικές εφαρμογές τόσο στο εξωτερικό όσο και στην Ελλάδα. Από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα δεν μπορεί να λείπει ο περιφερειακός εξοπλισμός, του οποίου αναλυτική περιγραφή γίνεται στο τέλος της ενότητας.

Για να υλοποιηθεί μια μελέτη φωτοβολταϊκών απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο στην συγκεκριμένη κάθε φορά περιοχή, ενδεχόμενης εφαρμογής της μελέτης. Στόχος είναι ο υπολογισμός των απαιτούμενων φωτοβολταϊκών πλαισίων και του απαιτούμενου κάθε φορά εξοπλισμού (συσσωρευτών, αντιστροφέων και ρυθμιστών φόρτισης). Έτσι

απαιτείται ο υπολογισμός της βέλτιστης γωνίας κλίσης του πλαισίου, του βαθμού απόδοσης του ενεργειακού συστήματος και ο καθορισμός της αυτοδυναμίας του συστήματος (Sp). Όλα αυτά περιγράφονται αναλυτικά στην τρίτη ενότητα.

Στην τέταρτη ενότητα ακολουθεί η έρευνα αγοράς ενώ στην πέμπτη ενότητα παρουσιάζονται οι τρεις μελέτες συστημάτων: μελέτη λάμπας δημόσιου φωτισμού, μελέτη καντίνας, μελέτη φορητού φωτοβολταϊκού.

Στη συνέχεια στην έκτη ενότητα συμπεριλαμβάνονται τα συμπεράσματα που έχουν εξαχθεί από την εργασία ενώ στην έβδομη ενότητα είναι ο επίλογος της εργασίας όπου γίνεται αναφορά στην βελτίωση της ζωής μας με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων, για την προστασία του περιβάλλοντος.

Από τη θέση αυτή οφείλουμε να ευχαριστήσουμε πρωτίστως τον επίκουρο καθηγητή Μπούρη Δ. για την πολύτιμη βοήθεια και άριστη συνεργασία που είχαμε μαζί του.

Επιθυμούμε να ευχαριστήσουμε τον μηχανικό περιβάλλοντος Νικολαΐδη Π. και τον Ηλεκτρολόγο Ιωάννου Κ. για την πρόθυμη παροχή υλικού και πληροφοριών που μας πρόσφεραν καθώς και τον μηχανολόγο μηχανικό Γουσιόπουλο Θ.

Θέλουμε να ευχαριστήσουμε τις εταιρείες (ECOSUN, SOLION, ΗΛΙΑΚΟΣ ΦΟΥΡΝΟΣ, SENERS, PHOTOVOLTAICS) που μας απάντησαν, δίνοντας μας στοιχεία για τα προϊόντα τους.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....</b>	<b>10</b>
2.1. Είδη φωτοβολταϊκών συστημάτων.....	10
2.2. Φωτοβολταϊκά στοιχεία.....	11
2.3. Φωτοβολταϊκά πλαίσια.....	12
2.3.1. Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα.....	12
2.3.2. Βασικά χαρακτηριστικά.....	14
2.3.3. Αρχή λειτουργίας.....	17
2.3.4. Κατασκευή φωτοβολταϊκού.....	20
2.3.5. Προσανατολισμός και βέλτιστη κλίση φωτοβολταϊκών πλαισίων.....	22
2.4. Παραγωγή-τύποι φωτοβολταϊκών.....	25
2.5. Ηλεκτρική απόκριση φωτοβολταϊκού.....	30
2.6. Συνδεσμολογία φωτοβολταϊκού.....	37
2.6.1. Δίοδοι-Ρυθμιστές ροής ρεύματος.....	40
2.7. Εφαρμογές-Χρήση φωτοβολταϊκών.....	42
2.7.1. Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών.....	44
2.7.2. Εφαρμογές στην Ελλάδα.....	48
2.8. Περιφερειακός εξοπλισμός.....	54
<b>3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....</b>	<b>60</b>
3.1. Σχεδίαση συστημάτων.....	60
3.2. Ηλιακή ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο, στην επιφάνεια της γης.....	61
3.3. Βέλτιστη γωνία κλίσης επιπέδου.....	63
3.4. Βαθμός απόδοσης ενεργειακού συστήματος.....	64
3.5. Καθορισμός της αυτοδυναμίας του συστήματος ( $S_p$ ).....	66



3.6. Συσσωρευτής.....	67
3.7. Απαιτούμενα φωτοβολταϊκά συστήματα.....	68
3.8. Αντιστροφέας συνεχούς-εναλλασσόμενου ρεύματος.....	71
3.9. Ρυθμιστής φόρτισης.....	72
<b>4. ΕΡΕΥΝΑ ΑΓΟΡΑΣ.....</b>	<b>73</b>
<b>5. ΜΕΛΕΤΕΣ.....</b>	<b>101</b>
5.1. Μελέτη υπολογισμού φωτοβολταϊκών πλαισίων για λάμπα δημόσιου φωτισμού.....	102
5.2. Μελέτη υπολογισμού φωτοβολταϊκών πλαισίων για θερινή καντίνα.....	113
5.3.Μελέτη για φορητό φωτοβολταϊκό πλαίσιο.....	126
<b>6. ΚΡΙΤΙΚΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΧΡΗΣΗ.....</b>	<b>137</b>
<b>7. ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....</b>	<b>140</b>
<b>8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>141</b>

## 1. ΓΕΝΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σχεδόν κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα εξαρτάται από την ενέργεια. Η ενέργεια μας ζεσταίνει, μας δίνει φως, κινεί τα αυτοκίνητα και τα εργοστάσια. Μεταβολές στην προσφορά της ενέργειας ή της τιμής της μπορεί να έχουν τεράστιες επιπτώσεις στην οικονομία και στην ποιότητα ζωής. Αυτό έγινε καθαρό στη δεκαετία του '70 με τις δύο ενεργειακές κρίσεις, αλλά και πρόσφατα στη χώρα μας με την αύξηση της τιμής του αργού πετρελαίου και της ισοτιμίας του δολαρίου. Συγχρόνως, η ενεργειακή κατανάλωση συνδέεται άμεσα με την οικολογική ισορροπία του πλανήτη μας. Η παραγωγή ενέργειας σε όλα τα στάδιά της προκαλεί αναμφίβολα υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Το πρόβλημα της ενέργειας, εκτός από τις συνιστώσες της τιμής (ανάγκη για φθηνότερη ενέργεια και ενέργεια για όλους) και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (ανάγκη για ενέργεια με το μικρότερο περιβαλλοντικό κόστος), έχει και μία ακόμα συνιστώσα: την εξαντλησιμότητα των συμβατικών καυσίμων, του γαιάνθρακα, του πετρελαίου και του φυσικού αερίου, αλλά και των πυρηνικών καυσίμων. Οι κίνδυνοι αυτοί μπορούν να περιοριστούν με την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για παραγωγή ενέργειας.

Ο άνεμος, το νερό και ο ήλιος ήταν οι κυριότερες μορφές ενέργειας για χιλιετίες. Ήδη από τον 5<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ. ο Σωκράτης συνιστούσε τη χρήση παθητικών ηλιακών σπιτιών. Αναφορές στους νερόμυλους από Έλληνες και Ρωμαίους γίνονται κατά τον 2<sup>ο</sup> αιώνα π.Χ., ενώ κατά την ίδια εποχή οι Ρωμαίοι και οι Κινέζοι θερμαίνονται με γεωθερμικά νερά. Το 1400 μ.Χ. οι Ολλανδοί χρησιμοποιούσαν τη ξυλεία για να ανεβάσουν τη θερμοκρασία στα χυτήρια σιδήρου στους 1600<sup>ο</sup>C. Αν και η χρήση του γαιάνθρακα αναφέρεται από τον 1<sup>ο</sup> μ.Χ. αιώνα στην Ανατολή, η ξυλεία, ο άνεμος και το νερό, δηλαδή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κυριαρχούσαν στην αγορά ενέργειας του Δυτικού πολιτισμού μέχρι τον 16<sup>ο</sup> μ.Χ. αιώνα.

Ο ήλιος αποτελεί την απόλυτη πηγή ενέργειας για τη γη. Ο ήλιος παρέχει στη γη θερμότητα από την εκπεμπόμενη ακτινοβολία σε ημερήσια βάση και η οποία με τη σειρά της είναι υπεύθυνη για μια σειρά δράσεων που οδηγούν

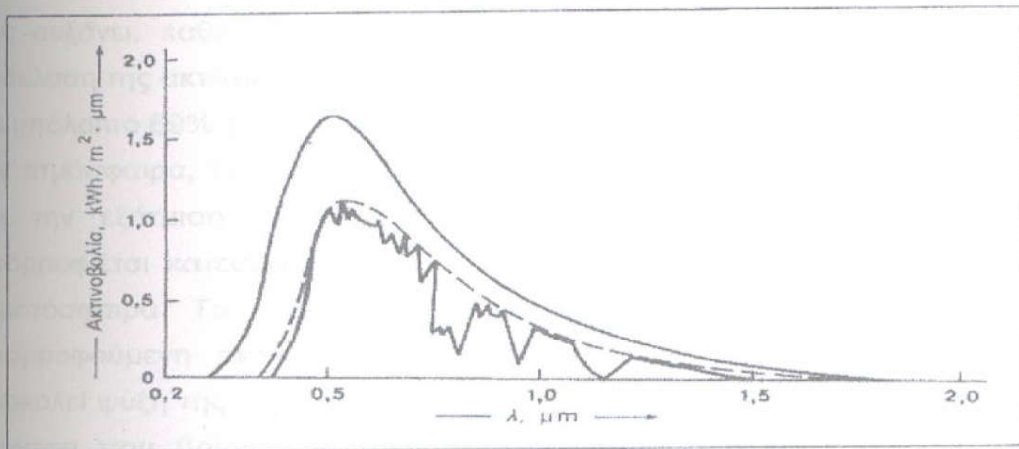
στην ενέργεια από το νερό, τον άνεμο, τα κύματα και τα θαλάσσια ρεύματα. Επίσης η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στη γη για εκατομμύρια χρόνια έχει δημιουργήσει αποθηκευμένη ενέργεια με την μετατροπή φυτικών και ζωικών υλών σε πετρέλαιο, γαιάνθρακα και φυσικό αέριο, δηλαδή σε ορυκτά ή φυσικά καύσιμα. Αυτή η διεργασία, βεβαίως, γίνεται και σήμερα, αλλά σε τόσο μικρό ρυθμό που δεν μπορεί να συγκριθεί με τον τεράστιο ρυθμό με τον οποίο η σημερινή κοινωνία καταναλώνει αυτούς τους ενεργειακούς πόρους.

Ηλιακή ενέργεια είναι η ενέργεια που μεταφέρεται στη γη από τον ήλιο. Υπάρχει άμεση ηλιακή ενέργεια και έμμεση με τη μορφή της βιομάζας, των ανέμων, της θερμότητας των ωκεανών κτλ. Η ενέργεια του ήλιου οφείλεται στις αντιδράσεις πυρηνικής σύντηξης που γίνονται στον ήλιο. Η ανώτερη ατμόσφαιρα της γης δέχεται ετησίως περίπου  $1,5 \cdot 10^{21}$  Wh ηλιακής ακτινοβολίας, ενέργεια που είναι μεγαλύτερη κατά 23000 φορές από την ενέργεια που καταναλίσκει όλος ο πλανήτης. Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω στην επιφάνεια της γης είναι μειωμένη κατά 60% περίπου αλλά δεν παύει να είναι μια τεράστια ποσότητα ενέργειας. Η επιφάνεια της γης δέχεται άμεση και έμμεση ακτινοβολία (από σύννεφα, σκόνη κτλ) η οποία για την Ευρώπη αντιπροσωπεύει το 40% περίπου της συνολικής ακτινοβολίας.

Τα κυριότερα προβλήματα για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας αφορούν στη χρονική διακύμανση της ακτινοβολίας (στην ημέρα και στο έτος) , κάτι που κάνει απαραίτητη προϋπόθεση την ύπαρξη αξιόπιστων και αποδοτικών μεθόδων αποθήκευσης της ενέργειας, και στη μικρή ενεργειακή της πυκνότητα, που απαιτεί τη δεύσμεση μεγάλων επιφανειών.

Έξω από την ατμόσφαιρα της γης η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια επιφάνεια κάθετη στη διεύθυνσή της είναι  $1367 \text{ W/m}^2$  (η τιμή της ηλιακής σταθεράς). Η ακτινοβολία αυτή απαρτίζεται από: 8% υπέρυθη ακτινοβολία (χαμηλή ενέργεια), 47% στο ορατό φάσμα και 45% στο υπεριώδες (υψηλή ενέργεια). Η κατανομή των ακτινοβολιών διαφορετικού μήκους κύματος που εκπέμπει ο ήλιος καθορίζεται από τη θερμοκρασία του (σχήμα 1.1.). Το μήκος κύματος της ηλιακής ακτινοβολίας κυμαίνεται από  $2 \cdot 10^{-7} \text{ m}$  μέχρι  $4 \cdot 10^{-6} \text{ m}$ . Όσο μικρότερο το μήκος κύματος τόσο μεγαλύτερη η συχνότητα και η ενέργεια (ως eV).





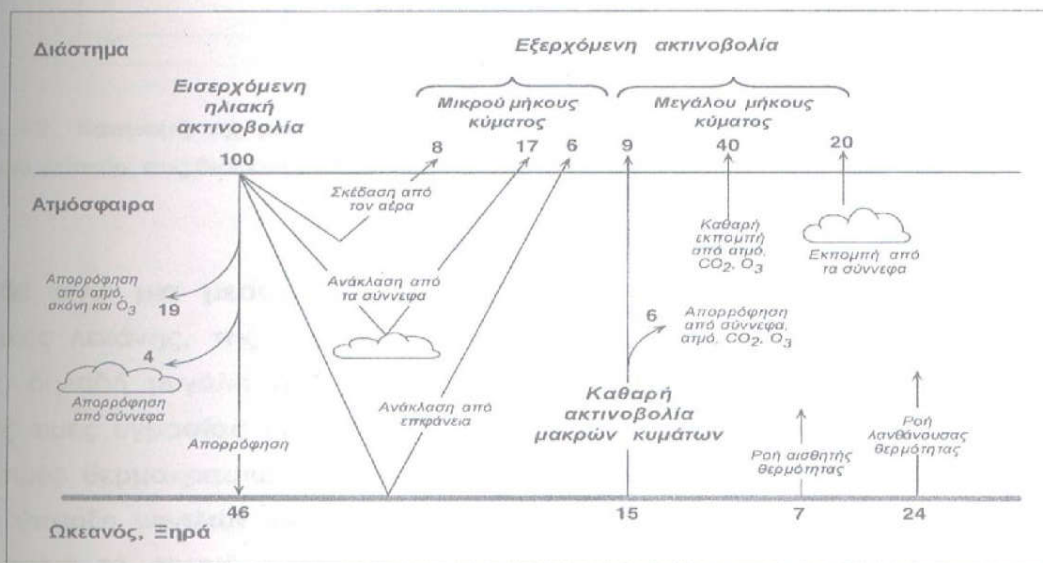
Σχήμα 1.1.: Το φάσμα της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί (1) στην εκπομπή μέλανος σώματος θερμοκρασίας 5800K (εξωτερική συνεχή γραμμή), (2) στην ίδια πηγή ύστερα από τις απορροφήσεις και (3) το πραγματικό φάσμα στην επιφάνεια της γης σε μέτρια υγρασία. Πηγή: ΑΝΔΡΙΤΣΟΣ Ν, 2001.

Μόνο μια απειροελάχιστη ποσότητα της ενέργειας κατακρατείται στη γη (μέσω της διεργασίας της φωτοσύνθεσης, από την οποία προήλθαν τα ορυκτά καύσιμα) και πρακτικά όση ενέργεια εισέρχεται τόση εξέρχεται. Το ενεργειακό ισοζύγιο στην ατμόσφαιρα (μεταξύ της μέσης ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνει η γη ή απορροφείται από το σύστημα γη-ατμόσφαιρα και της μέσης ακτινοβολίας που εκπέμπεται πίσω στο διάστημα) παρουσιάζεται στο σχήμα 1.2.. Τα κυριότερα στοιχεία του διαγράμματος είναι:

- ❖ Η ηλιακή ακτινοβολία μικρού μήκους κύματος προσεγγίζει στο ανώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας. Τα σύννεφα αντανακλούν το 17% της ακτινοβολίας πίσω στο διάστημα. Εάν αναπτυχθούν περισσότερα σύννεφα ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής (όπως προβλέπουν ορισμένοι επιστήμονες) τότε θα αυξηθεί η ακτινοβολία που αντανακλάται και θα μειωθεί η ακτινοβολία που θα φθάνει στη γη. Το 8% της ακτινοβολίας σκεδάζεται προς τα πίσω από τα μόρια του αέρα. Το 6% αντανακλάται από την επιφάνεια της γης πίσω στο διάστημα. Έτσι η συνολική ανακλασιμότητα (το ποσοστό που επιστρέφει στην ατμόσφαιρα) της γης είναι 31%. Αυτό είναι γνωστό με τον τεχνικό όρο (λευκαύγεια). Σημειώνεται ότι από την περίοδο των παγετών η λευκαύγεια της

γης αυξάνει, καθώς περισσότερη επιφάνεια της γης είναι διαθέσιμη για ανάκλαση της ακτινοβολίας.

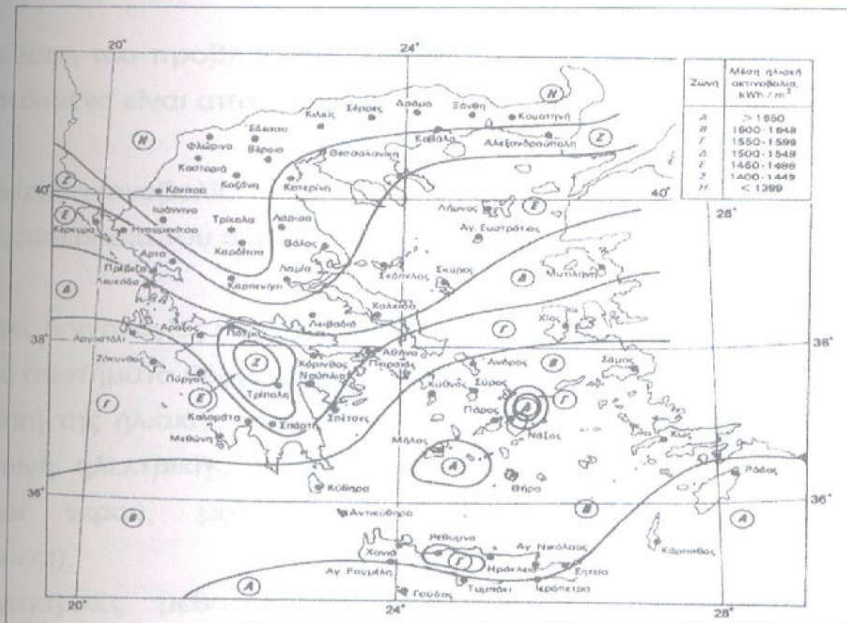
- ❖ Το υπόλοιπο 69% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας απορροφείται από τη γη, την ατμόσφαιρα, τα σύννεφα με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας και την εξάτμιση νερού από ωκεανούς, λίμνες, ποταμούς. Το 19% απορροφείται κατευθείαν από τη σκόνη, το όζον και τους υδρατμούς στη στρατόσφαιρα. Το στρώμα αυτό της ατμόσφαιρας θερμαίνεται από την απορροφούμενη ακτινοβολία. Η απώλεια του στρατοσφαιρικού όζοντος προκαλεί ψύξη της στρατόσφαιρας με το χρόνο. Το 4% απορροφείται από τα σύννεφα που βρίσκονται στην τροπόσφαιρα, στο κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας. Το υπόλοιπο 46% του φωτός, που προσπίπτει στην εξωτερική επιφάνεια της ατμόσφαιρας, φθάνει στη γη.
- ❖ Η γη και η ατμόσφαιρα χάνουν θερμότητα στο διάστημα μόνο με ακτινοβολία (μακρού μήκους κύματος) και αυτή η ακτινοβολία ισούται με το 69% της ηλιακής ακτινοβολίας που δεν ανακλάται ή σκεδάζεται.



Σχήμα 1.2.: Το ισοζύγιο της ηλιακής ενέργειας στην επιφάνεια της γης. Πηγή: ΑΝΔΡΙΤΣΟΣ Ν, 2001.

Η Ελλάδα είναι σχετικά ευνοημένη σε σχέση με την ηλιακή ενέργεια, η οποία μπορεί να υποκαταστήσει ένα σημαντικό ποσοστό σε ενέργεια. Η μέση ημερήσια ενέργεια

που παρέχεται από τον ήλιο στην Ελλάδα (ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας) εκτιμάται σε  $1680 \text{ kWh/m}^2$ . Στο χάρτη του σχήματος 1.3. παρουσιάζεται η κατανομή της μέσης ετήσιας έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στη χώρα μας.



Σχήμα 1.3.: Κατανομή της μέσης συνολικής ετήσιας έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, σε οριζόντιο επίπεδο, στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Πηγή: ΑΝΔΡΙΤΣΟΣ Ν, 2001.

Η Ελλάδα είναι μια μεσογειακή χώρα. Η θέση της στη βόρεια πλευρά της μεσογειακής λεκάνης, της εξασφαλίζει όλα τα χαρακτηριστικά του μεσογειακού κλίματος, δηλαδή μεγάλη ηλιοφάνεια, σχεδόν καθ'όλη τη διάρκεια του χρόνου, κανονικές τιμές υγρασίας όλες τις εποχές, παρατεταμένα καλοκαίρια με σχετικά μέτριες τιμές θερμοκρασιών, μικρούς και σχετικά ήπιους χειμώνες. Παράλληλα όμως, η ύπαρξη υψηλών οροσειρών στο βόρειο και κεντρικό κυρίως τμήμα της χώρας, γεννά το ορεινό ελληνικό κλίμα που χαρακτηρίζεται κυρίως από τους παρατεταμένους και δριμείς χειμώνες με ανάλογη βέβαια συρρίκνωση των θερινών περιόδων.



Η ανάπτυξη της ηλιακής ενέργειας και τεχνολογίας αποσκοπεί στην εύρεση των βέλτιστων μεθόδων για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας και στην ανάπτυξη συστημάτων που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική.

Για την ανάλυση του προβλήματος της ηλιακής ηλεκτρικής διαδικασίας δύο κυρίως κλιματικά δεδομένα είναι απαραίτητα:

1. Η ηλιακή ακτινοβολία
2. Η θερμοκρασία του αέρα

Οι κυριότερες τεχνολογίες για την αξιοποίηση της άμεσης ηλιακής ενέργειας είναι:

- A. Παθητικά συστήματα θέρμανσης-δροσισμού.
- B. Μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα (Ηλιακή θερμική τεχνολογία για παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, παραγωγή αφαλατωμένου νερού, θέρμανση χώρων και νερού, μαγείρεμα. Ηλιακοί συλλέκτες: συγκεντρωτικοί, μη συγκεντρωτικοί).
- Γ. Φωτοηλεκτρικές μέθοδοι (φωτοβολταϊκό, θερμοηλεκτρικό και θερμοιονικό φαινόμενο, με σημαντικό το πρώτο).
- Δ. Φωτοκαταλυτικές μέθοδοι (φωτοκατάλυση, φωτοηλεκτρόλυση).

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών χρησιμοποιήθηκε πρώτα στο διάστημα κατά τη δεκαετία του '60 για την παραγωγή ενέργειας στις διαστημικές εφαρμογές. Από τις αρχές της δεκαετίας του '70 οι εφαρμογές των φωτοβολταϊκών έχουν περάσει στην κάλυψη των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια σε διάφορες περιοχές του κόσμου, ιδιαίτερα σε απομονωμένες περιοχές ή σε περιοχές με μικρές ανάγκες ενέργειας. Η βασική τεχνολογία των φωτοβολταϊκών έχει αποδειχτεί ότι μπορεί να λειτουργήσει με επιτυχία σε πολλές εφαρμογές όπου απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια.

Το σημείο εκκίνησης των φωτοβολταϊκών συστημάτων υπήρξε το συνέδριο "Ο ήλιος στην υπηρεσία της ανθρωπότητας" το οποίο πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο του 1973, υπό την αιγίδα της UNESCO στο Παρίσι. Από τότε σε όλο τον κόσμο έχουν επενδυθεί πάνω από τρία δισεκατομμύρια δολάρια στην έρευνα, στις πειραματικές εφαρμογές και στην παραγωγή των φωτοβολταϊκών συσκευών και συστημάτων. Περίπου οι μισές από τις επενδύσεις προήλθαν από δημόσιες χρηματοδοτικές

πηγές. Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε ότι οι επενδύσεις που έγιναν από το 1973 μέχρι και το 1988 για έρευνα και για ανάπτυξη τεχνολογίας, είναι τριπλάσιες από τον συνολικό τζίρο των πωλήσεων που είναι ένα δισεκατομμύριο δολάρια. Το 1995, η ετήσια παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών έφθασε τα 80 MW, αξίας 1,4 δις. δολάρια. Τα τελευταία 10 χρόνια η βιομηχανία των φωτοβολταϊκών παρουσιάζει αύξηση κατά 300%, ενώ η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύ ξεπερνά τα 100 MW. Αυτό δείχνει ότι οι επενδυτές, που είναι κυρίως κρατικές εταιρείες και εταιρείες πετρελαιοειδών, πιστεύουν ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να κατακτήσουν μακροπρόθεσμα ένα μεγάλο κομμάτι της αγοράς ενέργειας.

Μετά το 1988 οι ΗΠΑ, η Ιαπωνία και η Δυτική Γερμανία θεωρούνται ως οι μεγαλύτεροι υποστηρικτές των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Η κάθε μία από αυτές τις χώρες δαπανεί πάνω από 50 εκατομμύρια δολάρια το χρόνο από τον εθνικό της προϋπολογισμό. Ο δυναμισμός της Γερμανικής προσπάθειας εκδηλώθηκε σχετικά πρόσφατα και είναι αποτέλεσμα του πυρηνικού ατυχήματος στο Τσερνομπίλ. Η ερευνητική και τεχνολογική δραστηριότητα που έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια, στον τομέα της βέλτιστης εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας με μετατροπή της σε ηλεκτρική, είναι τεράστια. Έχουν δαπανηθεί σημαντικά κονδύλια σε έρευνα και ανάπτυξη με σκοπό τόσο την αύξηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων όσο και την μείωση του κόστους παραγωγής αυτών. Η τεχνολογία υλικών παίζει τον κυριότερο ρόλο σε αυτό τον αγώνα. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση της τιμής των φωτοβολταϊκών κατά 25% την τελευταία δεκαετία. Παρά ταύτα το κόστος τους παραμένει υψηλό και δεν είναι ακόμη ανταγωνίσιμο αυτού των ανεμογεννητριών. Έτσι, γνωρίζουν περιορισμένη έκταση εγκατάστασης. Αυτό με τη σειρά του δεν παρέχει στις κατασκευάστριες εταιρείες τη δυνατότητα να αυξήσουν τους τζίρους τους και κατά συνέπεια να καταφέρουν να μειώσουν το κόστος. Το γεγονός όμως ότι τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν σήμερα την καλύτερη και οικονομικότερη λύση για αυτόνομες εγκαταστάσεις μέχρι λίγα kW, κρατά σταθερά την τεχνολογία των φωτοβολταϊκών στο ερευνητικό και εμπορικό προσκήνιο. Συγκεκριμένα, έχει βρεθεί ότι για φορτία από 10Wh έως και 10kwh την ημέρα το κόστος της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης είναι παρόμοιο ή και μικρότερο με αυτό των ανεμογεννητριών.



Σύμφωνα με εκτιμήσεις της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, υπάρχουν σήμερα δύο δισεκατομμύρια άνθρωποι στον κόσμο που δεν έχουν διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια, κάτι το οποίο μπορεί να λυθεί με εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Τα φωτοβολταϊκά έχουν τη δυνατότητα να αποτελέσουν μια κύρια πηγή ηλεκτρικής ενέργειας στο μέλλον και να ενσωματωθούν μαζί με τα άλλα συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), στο ενεργειακό ισοζύγιο της Ευρώπης στην προσπάθεια να αυξηθεί μέχρι το έτος 2010 το ποσοστό των ΑΠΕ από 6% σε 12% της συνολικής παραγωγής ενέργειας, με τα φωτοβολταϊκά να συμβάλλουν με 3000 MW (σύμφωνα με τις δηλώσεις του Έλληνα επιτρόπου Χ. Παπουτσή στη 2<sup>η</sup> Διεθνή Διάσκεψη φωτοβολταϊκών στη Βιέννη, Ιούλιος 1998).

Είναι λοιπόν φανερό ότι η πρόσβαση στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών έχει αρχίσει να γίνεται εύκολη και μπορεί σχετικά εύκολα ένας μηχανικός να σχεδιάσει και να εφαρμόσει ένα μικρό φωτοβολταϊκό σύστημα, τον εξοπλισμό του οποίου μπορεί πλέον να βρει και στην ελληνική αγορά. Γεννάται όμως το ερώτημα κατά πόσο τα προϊόντα της αγοράς μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες μικρών συστημάτων τόσο ως προς την απόδοση όσο και ως προς το κόστος.

Έτσι στην παρούσα εργασία αρχικά γίνεται αναφορά στα φωτοβολταϊκά συστήματα, στην αρχή λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου, στα είδη που υπάρχουν. Περιγράφεται ο περιφερειακός εξοπλισμός που είναι απαραίτητος για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα (συσσωρευτές ρυθμιστές φόρτισης, αντιστροφείς) καθώς και η λειτουργία του καθενός στο γενικότερο σύστημα.

Επιλέγονται, λοιπόν, τρία συστήματα μικρού μεγέθους με διαφορετικές ιδιαιτερότητες το καθένα και ακολουθώντας μια απλή έρευνα αγοράς, μετά από επικοινωνία με πέντε εταιρείες (Eco//sun Ltd, Solion, Photovoltaic, Ηλιακός φούρνος, Seners Ltd) γίνεται προσπάθεια προσαρμογής του διαθέσιμου εξοπλισμού στην κάθε εφαρμογή. Στην έρευνα αγοράς αναγράφεται μια ποικιλία τύπων, όσον αφορά τα φωτοβολταϊκά πλαίσια και τον περιφερειακό εξοπλισμό, με τα απαραίτητα τεχνικά τους χαρακτηριστικά.



Οι μελέτες, οι οποίες αναλύονται, είναι:

1. Υπολογισμός του αριθμού των φωτοβολταϊκών πλαισίων που απαιτούνται για να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες μιας λάμπας δημόσιου φωτισμού για δρόμο, μονοπάτι (γενικότερα σημεία που δε βρίσκονται στο κεντρικό δίκτυο φωτισμού). Το συγκεκριμένο φωτοβολταϊκό σύστημα λειτουργεί καθ'όλη τη διάρκεια του έτους, είναι εκτιθέμενο στις καιρικές συνθήκες άρα θα πρέπει να προστατεύονται τα εξαρτήματα σε ειδικά κουτιά.
2. Υπολογισμός του αριθμού των φωτοβολταϊκών που απαιτούνται για να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες μιας καντίνας, για θερινή περίοδο, σε τουριστική περιοχή. Το φωτοβολταϊκό σύστημα λειτουργεί 5 μήνες (Μάιος-Σεπτέμβριος), απαιτεί φωτοβολταϊκά μεγάλης επιφάνειας και ισχύος, είναι σταθερά τοποθετημένο και εκτιθέμενο και αυτό στις καιρικές συνθήκες.
3. Υπολογισμός του αριθμού των φωτοβολταϊκών πλαισίων που απαιτούνται για να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες ενός φορητού φωτοβολταϊκού πλαισίου για χρήση σε σκάφη, τροχόσπιτα, οχήματα και για camping. Το φωτοβολταϊκό σύστημα επιλέγεται να είναι ελαφρύ, ώστε να μεταφέρεται εύκολα και να συναρμολογείται χωρίς δυσκολίες. Έτσι η προσοχή εστιάζεται στην κατάλληλη επιλογή φωτοβολταϊκού και περιφερειακού εξοπλισμού ώστε να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες του συστήματος και να πληρείται το κριτήριο του βάρους.

## 2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

### 2.1. ΕΙΔΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Υπάρχουν τριών ειδών φωτοβολταϊκά συστήματα. Στο κάθε είδος τα φωτοβολταϊκά συστήματα προσαρμόζονται ανάλογα με την περίπτωση κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να δημιουργούνται διαφορετικού τύπου εφαρμογές.

#### 1. Αυτοδύναμα ή αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα

Ιδανικά για απομακρυσμένες περιοχές, όπου δεν υπάρχει τρόπος σύνδεσης με το δίκτυο και όπου είναι δύσκολη η μεταφορά καυσίμου σε περίπτωση που χρησιμοποιούνταν μια γεννήτρια diesel. Τέτοιες εφαρμογές είναι συνήθως περιορισμένης ισχύος, όπως: ηλεκτρικά αυτοδύναμες κατοικίες, άντληση νερού για γεωργία ή για κτηνοτροφία ή για άλλους λόγους, φωτισμός εμπορικών ή καθοδηγητικών πινακίδων στους εθνικούς δρόμους, δημόσιος φωτισμός, τηλεπικοινωνίες (αναμεταδότες στα βουνά) κλπ. (σχήμα 2.1.1.α.)

#### 2. Φωτοβολταϊκά συστήματα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο

Τα συστήματα αυτά βρίσκονται εγκατεστημένα όχι μόνο σε απομακρυσμένες περιοχές αλλά και στο τοπικό ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας, διασυνδεδεμένα με αυτό. Εάν είναι ιδιωτικά, έχουν σκοπό την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ. (σχήμα 2.1.1.β.)

#### 3. Συμμετοχή φωτοβολταϊκών σε υβριδικά συστήματα

Τα υβριδικά συστήματα αποτελούνται από διάφορες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας ανανεώσιμες και συμβατικές. Ο συνδυασμός τους (ποιοτικά και ποσοτικά) ποικίλλει από περίπτωση σε περίπτωση και ο βέλτιστος σχεδιασμός τους είναι πολύ δύσκολο αντικείμενο αφού πρέπει να συνεκτιμηθούν και παράγοντες όπως η ευστάθεια του συστήματος. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια παίζουν ουσιαστικό ρόλο σε τέτοια συστήματα, τα οποία ας σημειωθεί ότι αποτελούν -με βάση τα σημερινά δεδομένα- τον καλύτερο οικολογικό ενεργειακό σχεδιασμό. (σχήμα 2.1.1.γ.)





Σχήμα 2.1.1.: Εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων α) αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα (τροφοδότηση οικιών), β) συστήματα διασυνδεδεμένα με το δίκτυο γ) υβριδικά συστήματα (φωτοβολταϊκό και μικρή ανεμογεννήτρια), Πηγή: ΑΡΓΥΡΟΥ Α. Κ.Α , 2002.

## 2.2. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μετατρέπουν μέρος της διαθέσιμης ηλεκτρικής ενέργειας σε συνεχές ρεύμα (DC).

Το υλικό κατασκευής των φωτοβολταϊκών στοιχείων ανήκει στους ημιαγωγούς. Στις πρακτικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται περισσότερο στοιχεία βασισμένα στο πυρίτιο (Si). Υπάρχουν στοιχεία άμορφου πυριτίου και στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου.

Όπως κάθε σύστημα μετατροπής ενέργειας από μια μορφή σε μια άλλη, έχει κάποια χαρακτηριστικά, κάποιο βαθμό απόδοσης και κάποια όρια. Απ'αυτόν τον κανόνα δε ξεφεύγουν ούτε τα φωτοβολταϊκά στοιχεία.

Η ηλεκτρική ισχύς που παρέχει κάθε ανεξάρτητο φωτοβολταϊκό στοιχείο, εκτιθέμενο πλήρως στην ηλιακή ακτινοβολία, είναι της τάξης μερικών εκατοντάδων mWatt, υπό τάση (για τις κυψελίδες πυριτίου) 0,4-0,8 Volts. Ισχύς πάρα πολύ μικρή για οποιαδήποτε πρακτική εφαρμογή. Για την επίτευξη πρακτικού αποτελέσματος καταφεύγουμε στο να συνδέσουμε μεταξύ τους κατάλληλα πλήθος φωτοβολταϊκών στοιχείων. Το σύνολο που προκύπτει λέγεται φωτοβολταϊκό πλαίσιο (solar panel) και έχει την ικανότητα να παράσχει ηλεκτρική ισχύ άμεσα αξιοποιήσιμη. Αυτή η άμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας,



καθιστά τα φωτοβολταϊκά ως μία από τις πλέον κατάλληλες τεχνολογίες για την κάλυψη των αναγκών απομονωμένων περιοχών. Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ή να αποθηκευτεί σε μπαταρίες. Το συνεχές ρεύμα (DC) μπορεί μέσω ενός μετατροπέα να μετατραπεί σε εναλλασσόμενο (AC) το οποίο χρησιμοποιούν οι περισσότερες ηλεκτρικές συσκευές.

## 2.3. ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

### 2.3.1. Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα

Στο σημείο αυτό καλό είναι να αναφερθούν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των φωτοβολταϊκών πλαισίων και συστημάτων γενικότερα.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την εφαρμογή τέτοιου είδους συστημάτων είναι περιορισμένες. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους δεν προκαλούν θόρυβο, δεν απελευθερώνουν αέρια ή υγρά απόβλητα, στερεά κατάλοιπα ή θερμότητα προς το περιβάλλον. Η εφαρμογή τέτοιων συστημάτων είναι μία από τις πλέον φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες και έχει γίνει γενικώς αποδεκτή από το κοινωνικό σύνολο, αφού εκτός από το ότι είναι μια καθαρή τεχνολογία δεν παρουσιάζει πλέον προβλήματα λειτουργίας.

Το κυριότερο μειονέκτημα των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι το υψηλό τους κόστος, το οποίο έχει αποτρέψει μέχρι στιγμής την ευρεία εξάπλωσή τους. Ωστόσο η εξέλιξη της τεχνολογίας οδηγεί στη σταδιακή μείωση του κόστους αυτών και τα καθιστά ολοένα και πιο ανταγωνιστικά των άλλων αυτόνομων συστημάτων. Παρακάτω παρουσιάζονται αριθμημένα τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

#### Πλεονεκτήματα

1. Δεν έχουν κινούμενα μέρη και παράγουν ισχύ αθόρυβα.
2. Δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον με αέρια ή με άλλα κατάλοιπα, αφού δε λαμβάνει χώρα κάποια χημική αντίδραση.

3. Λόγω του σπονδυλωτού τρόπου κατασκευής τους τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να προσαρμοστούν σε όλες τις απαιτήσεις μεγέθους και ζήτησης ισχύος.
4. Μπορούν εύκολα να λειτουργήσουν παράλληλα με άλλα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αυξάνοντας την αξιοπιστία των συστημάτων.
5. Είναι επεκτάσιμα ανάλογα με τις ανάγκες σε φορτίο, χωρίς την απαίτηση ειδικής εγκατάστασης.
6. Μπορούν να λειτουργήσουν αυτόνομα και αξιόπιστα, χωρίς την παρουσία κάποιου χειριστή.
7. Επειδή δε χρειάζονται συνεχή παρακολούθηση, έχουν πολύ μικρό κόστος λειτουργίας.
8. Μπορούν να εγκατασταθούν σε απομονωμένες περιοχές.
9. Δεν καταναλώνουν καύσιμο.
10. Λειτουργούν χωρίς προβλήματα σε μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και κάτω από όλες τις καιρικές συνθήκες.

#### Μειονεκτήματα

1. Υψηλό κόστος.
2. Απαίτηση χρήσης συσσωρευτών για την αποθήκευση ενέργειας, ειδικά σε αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα. Έτσι αυξάνεται και το συνολικό κόστος του συστήματος.
3. Απαίτηση χρήσης σχετικά μεγάλων επιφανειών για την εγκατάστασή τους λόγω της μικρής απόδοσης (μετατρέπουν περίπου το 11% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική).
4. Η απόδοσή τους μειώνεται σε συνθήκες συννεφιάς, ομίχλης και κακοκαιρίας.
5. Οι ώρες πλήρους λειτουργίας τους περιορίζονται βάση υπολογισμών στις 1200 ώρες το έτος, δηλαδή στο 13,7% του συνολικού χρόνου.

Θεωρητικά τα φωτοβολταϊκά έχουν διάρκεια ζωής όση και τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται και σε περίπτωση βλάβης κάποιου στοιχείου η επισκευή γίνεται σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα (λιγότερο από δύο μέρες). Οι μπαταρίες έχουν συνήθως μικρότερη διάρκεια ζωής, περίπου 5 χρόνια (τύπου αυτοκινήτου). Τα φωτοβολταϊκά είναι μια αξιόπιστη τεχνολογία και η συχνότητα διακοπής λειτουργίας

τους δεν είναι πάνω από 2 φορές ετησίως. Η ετήσια παραγωγή ενέργειας τους είναι τουλάχιστον 800 kWh/kW κατά μέσο όρο, ενώ μπορούν να μειώσουν τουλάχιστον κατά 20% το φορτίο αιχμής μιας περιοχής.

### 2.3.2. Βασικά χαρακτηριστικά

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι η βασική κινητήρια δύναμη της φωτοβολταϊκής διαδικασίας η οποία μετατρέπει άμεσα την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια.

#### Φωτόνια

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από φωτόνια που έχουν μια συγκεκριμένη μάζα και κινούνται με εξαιρετικά υψηλές ταχύτητες. Η ενέργεια που έχει κάθε φωτόνιο είναι ίση με το γινόμενο της μάζας επί της ταχύτητάς του.

Μια δέσμη από φωτόνια (ακτίνα φωτός), συμπεριφέρεται σαν ένα κύμα. Το μήκος κύματος είναι μικρότερο για φωτόνια με υψηλές ενέργειες και εκφράζει την περιεκτικότητά τους σε ενέργεια.

Όταν ένα φωτόνιο προσκρούει σε ένα άτομο, μπορεί να συσχετισθεί με τα ηλεκτρόνια του ατόμου αυτού και να απορροφηθεί. Η ενέργεια που μεταφέρεται από το φωτόνιο αποδίδεται στα εξωτερικά ηλεκτρόνια του ατόμου. Η ενέργεια αυτή είναι ικανή να ενεργοποιήσει τα ηλεκτρόνια έτσι ώστε να υπερνικήσουν την έλξη που τους ασκεί ο πυρήνας και να είναι ελεύθερα να κινηθούν, παράγοντας έτσι ηλεκτρικό ρεύμα.

Η αλληλεπίδραση μεταξύ της ακτινοβολίας και των ηλεκτρονίων είναι η βασική αρχή λειτουργίας όλων των φωτοβολταϊκών συσκευών.

Η ενέργεια που συνεχώς παράγεται από τον ήλιο απελευθερώνεται με τη μορφή φωτονίων σε διάφορα ενεργειακά επίπεδα, τα οποία εκτοξεύονται προς όλες τις διευθύνσεις από την επιφάνεια του ήλιου. Γι'αυτό το λόγο, ο ήλιος χάνει συνεχώς βάρος ή μάζα.



Κάθε ένα φωτόνιο που φθάνει στη γη έχει όλη την ενέργεια που είχε όταν έφυγε από την επιφάνεια του ήλιου, περίπου 8,5 λεπτά της ώρας ενωρίτερα.

Στην επιφάνεια της γης, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μειώνεται λόγω της ατμόσφαιρας, αλλά σε πολλές περιπτώσεις (ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν, το χρόνο και τη τοποθεσία) η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας φτάνει τα 900-1000 W/m<sup>2</sup>.

Δυστυχώς με την υπάρχουσα τεχνολογία των φωτοβολταϊκών, δεν είναι δυνατό να μετατρέψουμε ούτε τη μισή από τη διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρισμό. Παρόλα αυτά, τα επίπεδα της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας είναι τόσο υψηλά ώστε διάφορες πρακτικές φωτοβολταϊκές συσκευές έχουν γίνει οικονομικά βιώσιμες.

#### Πρώτη ύλη των φωτοβολταϊκών

Το υλικό που συνήθως χρησιμοποιείται για την κατασκευή φωτοβολταϊκού είναι το πυρίτιο. Όλα τα φωτόνια με ενέργεια μεγαλύτερη από 1,08 eV (μήκος κύματος 11500 Å) θα απορροφηθούν και θα ενεργοποιήσουν τα ηλεκτρόνια. Συνεπώς φαίνεται αρχικά ότι σχεδόν όλη η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας θα μπορούσε να μετατραπεί σε ηλεκτρισμό. Δυστυχώς όμως ένα φωτόνιο μπορεί να ενεργοποιήσει και να ελευθερώσει μόνο ένα ηλεκτρόνιο.

Τα φωτόνια που έχουν περισσότερη ενέργεια από την ελάχιστη που απαιτείται για την ενεργοποίηση ενός ηλεκτρονίου, μετατρέπουν την υπολειπόμενη τους ενέργεια σε θερμότητα μέσα στο ίδιο το υλικό.

#### Απώλειες στην εκμετάλλευση της διαθέσιμης ακτινοβολίας

Διάφορες επιμέρους απώλειες μειώνουν την απόδοση της διαδικασίας εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας και μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια, όπως φαίνεται στον πίνακα 2.3.2.1..

Παράγοντες που επηρεάζουν τις απώλειες ενέργειας	Ποσοστό ακτινοβολίας που δεν μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό (%)
Υπερ-ενεργητικά φωτόνια	32
Υπό-ενεργητικά φωτόνια	24
Άλλες εσωτερικές απώλειες της κυψέλης	21
Αντανεκλάσεις στην επιφάνεια	3
Σχήμα κυψελών	2
ΣΥΝΟΛΟ	82

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3.2.1.: Κατανομή απωλειών ενέργειας στα φωτοβολταϊκά. Πηγή: ΜΠΑΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

Ένα μέρος της ακτινοβολίας ποτέ δε φθάνει στο φωτοβολταϊκό γιατί αντανεκλάται πάνω στην επιφάνεια του υλικού. Αυτή η απώλεια μπορεί να μειωθεί χρησιμοποιώντας κάποια αντανεκλαστική επικάλυψη στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού. Υπάρχουν επίσης εσωτερικές απώλειες ενέργειας που εξαρτώνται από την καθαρότητα του υλικού και την ποιότητα της κρυσταλλικής δομής του. Ανάλογα με τον τύπο του φωτοβολταϊκού συστήματος, η επιφάνεια η οποία έχει διατεθεί για τη συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας δεν καλύπτεται πλήρως από φωτοβολταϊκά στοιχεία. Ιδιαίτερα σε παλαιότερα συστήματα, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, λόγω του σχήματός τους και της διάταξής τους πάνω στην συλλεκτική επιφάνεια, (π.χ. στοιχεία κυκλικού σχήματος), κάποιο μέρος της επιφάνειας παρέμενε ανεκμετάλλευτο. Το πρόβλημα αυτό περιορίζεται κατασκευάζοντας στοιχεία με εξαγωνικό ή παραλληλεπίπεδο σχήμα και πλέον ομογενείς φωτοβολταϊκές επιφάνειες σε συνεχή φύλλα, ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιείται.

#### Αποδόσεις φωτοβολταϊκών

Τα νέα φωτοβολταϊκά στοιχεία που κατασκευάζονται σήμερα πετυχαίνουν αποδόσεις μετατροπής της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας που ξεπερνούν θεωρητικά το 20%. Η υπάρχουσα κατάσταση στην Ευρώπη παρουσιάζεται στον πίνακα 2.3.2.2.. Η πραγματική μέση απόδοση των φωτοβολταϊκών, με την υπάρχουσα τεχνολογία, κυμαίνεται σε 12-14%. Η διάρκεια ζωής των φωτοβολταϊκών συστημάτων, όπου διατηρούνται οι αποδόσεις του συστήματος είναι περίπου 30 χρόνια.



Τύπος	Απόδοση στο Εργαστήριο (%)	Πραγματική απόδοση (%)
Μονοκρυσταλλικό Si	23	15
Πολυκρυσταλλικό Si	18	12
Μεμβράνες Άμορφου Si	13	5
Μεμβράνες Ga-As	25,5	--
Μεμβράνες CuInSe <sub>2</sub>	15	--
Μεμβράνες Cd-Te	15	--
Μεμβράνες Ga-As με συγκέντρωση	29	--
Μεμβράνες με οργανικά στοιχεία TiO <sub>2</sub>	>10	--

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3.2.2.: Αποδόσεις φωτοβολταϊκών (%). Πηγή: ΜΠΑΛΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

Στην περίπτωση που η εγκατάσταση περιλαμβάνει φωτοβολταϊκά από άμορφο πυρίτιο, παρουσιάζεται το πρόβλημα μείωσης της απόδοσης με την πάροδο του χρόνου. Μετά από τα πρώτα δύο χρόνια η απόδοσή τους μειώνεται περίπου στο 5% που είναι 65-75% της αρχικής τιμής. Συνεπώς τέτοιου είδους φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλες κεντρικές εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

### 2.3.3. Αρχή λειτουργίας

Ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel ήταν ο πρώτος που το 1839, παρατήρησε ότι μερικά υλικά μπορούν να παράγουν μικρές ποσότητες ηλεκτρικού ρεύματος όταν είναι εκτεθειμένα στο φως. Οι βασικές ιδιότητες της ύλης πάνω στις οποίες στηρίζεται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι αρκετά απλές. Καταρχάς, ως εξετασθούν τα βασικά χαρακτηριστικά της δομής των υλικών, που χαρακτηρίζουν τη λειτουργία των φωτοβολταϊκών και έχουν να κάνουν με τον αριθμό των ηλεκτρονίων τους και τους δεσμούς που αναπτύσσονται στη δομή των ατόμων.

Το απλούστερο άτομο είναι το υδρογόνο, που έχει ένα πρωτόνιο και ένα ηλεκτρόνιο σε τροχιά γύρω του. Το μεγαλύτερο άτομο στη φύση που υπάρχει σε σημαντικές ποσότητες είναι το ουράνιο που έχει 92 ηλεκτρόνια σε τροχιά γύρω από τον πυρήνα, που αποτελείται από πρωτόνια και νετρόνια. Προχωρώντας από το υδρογόνο προς τα βαρύτερα άτομα, αυξάνεται ο αριθμός των ηλεκτρονίων γύρω από τον πυρήνα που κινούνται σε διαφορετικές τροχιές. Η εξωτερική στοιβάδα στα μικρότερα άτομα



γεμίζει εάν έχει σε τροχιά 8 ηλεκτρόνια. Η πρόσθεση ενός ακόμα ηλεκτρονίου ορίζει μια νέα στοιβάδα.

Εάν η εξωτερική στοιβάδα ενός ατόμου έχει ένα ή δύο ηλεκτρόνια, τότε αυτά δεν είναι στενά συνδεδεμένα και μπορούν να κινηθούν εύκολα από ένα άτομο σε ένα άλλο.

Υλικά που αποτελούνται από τέτοια άτομα είναι τα μέταλλα, τα οποία άγουν τον ηλεκτρισμό εύκολα, δηλαδή παρουσιάζεται ροή ηλεκτρονίων (που υπερνικούν τις δυνάμεις έλξης από τον πυρήνα) και ελευθερώνονται από την εξωτερική στοιβάδα των ατόμων. Εάν η εξωτερική στοιβάδα ενός ατόμου έχει 6 ή 7 ηλεκτρόνια, το υλικό αυτό είναι μη-μεταλλικό και κακός αγωγός ηλεκτρισμού, γιατί τα ηλεκτρόνια είναι στενά συνδεδεμένα μεταξύ τους.

#### Ημιαγωγοί

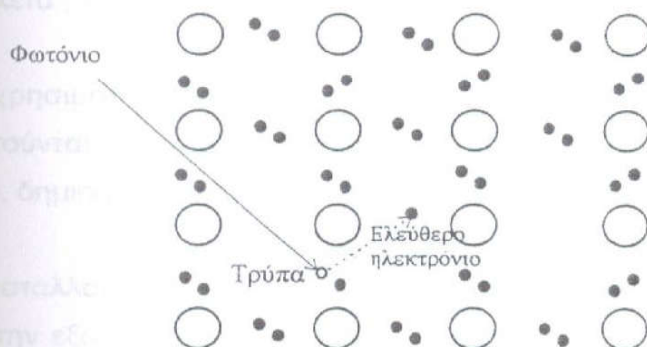
Μεταξύ αυτών των ακραίων καταστάσεων, υπάρχουν άτομα που έχουν 3, 4 ή 5 ηλεκτρόνια στην εξωτερική τους στοιβάδα. Αυτά τα ηλεκτρόνια μπορούν να απελευθερωθούν μόνο εάν τους αποδοθεί μία πρόσθετη ενέργεια από το εξωτερικό περιβάλλον. Επειδή μπορούν να άγουν τον ηλεκτρισμό μέχρι σε ένα βαθμό, αυτά τα στοιχεία ονομάζονται ημιαγωγοί.

Το άτομο του πυριτίου έχει 4 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα.

#### Το άτομο του πυριτίου

Ένα άτομο πυριτίου απορροφά ένα φωτόνιο. Η πρόσθετη ενέργεια ενεργοποιεί ή διεγείρει ένα από τα εξωτερικά ηλεκτρόνια και το απελευθερώνει. Αυτό γίνεται καλύτερα όταν τα άτομα είναι παρατεταγμένα σε συγκεκριμένες σειρές ή θέσεις. Αυτή ονομάζεται κρυσταλλική κατάσταση. Σε οποιοδήποτε κρύσταλλο, τα άτομα ή τα μόρια είναι διατεταγμένα σε τέλειους γεωμετρικούς σχηματισμούς. Το πυρίτιο έχει κρυσταλλική δομή.

Όταν ένα φωτόνιο χτυπήσει τον κρύσταλλο του πυριτίου, τον διαπερνά μέχρις ότου απορροφηθεί από ένα άτομο (σχήμα 2.3.3.1.). Αμέσως μετά η ενέργεια του φωτονίου μεταφέρεται σε ένα από τα εξωτερικά ηλεκτρόνια, το οποίο μετά απελευθερώνεται από το άτομο αφήνοντας ελεύθερη τη θέση του ή όπως ονομάζεται, δημιουργώντας μια «τρύπα».



Σχήμα 2.3.3.1.: Κρύσταλλο πυριτίου. Πηγή: ΜΠΑΛΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

Οι μεγάλοι κύκλοι αντιπροσωπεύουν τα άτομα πυριτίου που είναι διατεταγμένα σε τέλειους τετράπλευρους σχηματισμούς. Κάθε άτομο έχει 4 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα (μαύρα σημεία) που μοιράζονται με τα γειτονικά άτομα και έχουν σαν αποτέλεσμα μια σταθερή δομή (που φαίνεται εδώ σε δισδιάστατη μορφή). Στο σχήμα φαίνεται και η πρόσπτωση ενός φωτονίου που απελευθερώνει ένα ηλεκτρόνιο, δημιουργώντας παράλληλα μια τρύπα, στη θέση που ήταν αρχικά το ηλεκτρόνιο.

Όταν μια δέσμη φωτός πέφτει πάνω στον κρύσταλλο του πυριτίου, εκατομμύρια ηλεκτρονίων απελευθερώνονται με αυτόν τον τρόπο και δημιουργείται ένας αντίστοιχος αριθμός από τρύπες που παραμένουν στην εξωτερική στοιβάδα. Ένα οποιοδήποτε ηλεκτρόνιο μπορεί να γεμίσει τη θέση μιας τρύπας, εκπέμποντας μια ελάχιστη ποσότητα θερμότητας κατά τη διάρκεια της διαδικασίας αυτής.

Όταν σταματήσει να υπάρχει διαθέσιμη ακτινοβολία, όλα τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται ελεύθερα και εκτός θέσεως, αμέσως επιστρέφουν στις κενές θέσεις (τρύπες). Ο κρύσταλλος επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση, με αυξημένη τη θερμοκρασία του υλικού. Επειδή τα άτομα δεν αλλάζουν θέση, ο κρύσταλλος δεν αλλάζει μέγεθος, βάρος, σχήμα ή εμφάνιση.

### Προσμίξεις στο άτομο του πυριτίου

Προσθέτοντας μερικά ξένα άτομα στον κρύσταλλο πυριτίου, η τέλεια τοποθέτηση των ηλεκτρονίων στην εξωτερική στοιβάδα διαταράσσεται. Δημιουργείται έτσι ένας κρύσταλλος που έχει περισσότερα από ό,τι θα έπρεπε ηλεκτρόνια ή σε άλλη περίπτωση όχι αρκετά, ώστε να ικανοποιήσει την εξωτερική δομική ισορροπία.

Δύο υλικά που χρησιμοποιούνται για αυτόν τον σκοπό είναι το Βόριο και ο Φώσφορος. Απαιτούνται μόνο σε ελάχιστες ποσότητες, 1:10<sup>6</sup>. Με πρόσθεση ενός ατόμου από Βόριο, δημιουργείται μια κενή θέση ηλεκτρονίου.

Συνεπώς ένας κρύσταλλος πυριτίου ενισχυμένος με Βόριο, χρειάζεται ηλεκτρόνια για να συμπληρώσει την εξωτερική του στοιβάδα. Σε αντίθεση, πυρίτιο ενισχυμένο με άτομα φωσφόρου, το κάθε ένα από τα οποία έχει 5 ηλεκτρόνια στην εξωτερική του στοιβάδα, θα έχει πλεόνασμα ηλεκτρονίων.

#### **2.3.4. Κατασκευή φωτοβολταϊκού**

Ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο κατασκευάζεται με την τοποθέτηση ενός λεπτού στρώματος πυριτίου ενισχυμένου με φώσφορο, σε επαφή με ένα στρώμα από πυρίτιο ενισχυμένο με βόριο. Όταν προσπίπτει ακτινοβολία πάνω στο στοιχείο, τα φωτόνια απορροφούνται και ελευθερώνονται τα ηλεκτρόνια.

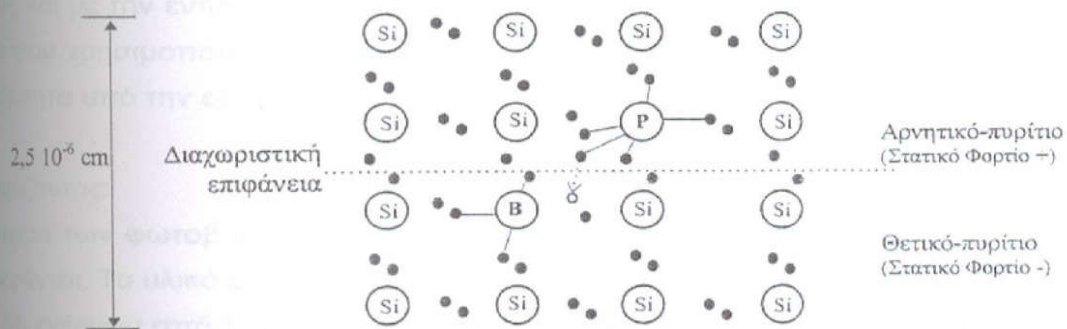
#### **N-πυρίτιο & P-πυρίτιο**

Πρόσθετα ηλεκτρόνια δημιουργούνται στο κομμάτι του πυριτίου-φωσφόρου, που ονομάζεται N-πυρίτιο γιατί τα ηλεκτρόνια έχουν αρνητικό φορτίο (negative). Εάν συνδέσουμε με ένα σύρμα τα δύο στρώματα, τότε ηλεκτρόνια από το πάνω στρώμα θα φύγουν και θα κατευθυνθούν μέσα από το σύρμα στο κάτω στρώμα όπου και θα απορροφηθούν από το πυρίτιο-βόριο, που ονομάζεται P-πυρίτιο, μια και το φορτίο του είναι θετικό (positive).

Όταν κατασκευάζουμε το στοιχείο, στην επιφάνεια επαφής μεταξύ των δύο στρωμάτων μερικά από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια στο N στρώμα διαχέονται στην



μικρή απόσταση μέχρι την απέναντι επιφάνεια του P στρώματος. Έλκονται από τις οπές που υπάρχουν εκεί, τις οποίες θέλουν να γεμίσουν. Αυτό αφήνει τα άτομα του φωσφόρου στο N στρώμα χωρίς αρκετά ηλεκτρόνια για να ισορροπήσει τα θετικά φορτία στα μόριά του, ενώ αρκετά ηλεκτρόνια βρίσκονται στο P-στρώμα γύρω από τα άτομα του βορίου. Δημιουργείται έτσι ένα λεπτό στρώμα ηλεκτρικού φορτίου κατά μήκος της επαφής των δύο στρωμάτων (σχήμα 2.3.4.1.).



Σχήμα 2.3.4.1.: Δημιουργία ηλεκτρικού φορτίου κατά μήκος της επαφής των δύο στρωμάτων του στοιχείου. Οι μεγάλοι κύκλοι αντιπροσωπεύουν άτομα πυριτίου. Τα μαύρα σημεία είναι ηλεκτρόνια. Πηγή: ΜΠΑΛΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

Το ουδέτερο άτομο φωσφόρου P, έχει αρχικά 5 ηλεκτρόνια. Το ουδέτερο άτομο βορίου B, έχει μόνο 3 ηλεκτρόνια, αφήνοντας έτσι μια οπή στην δομή του κρυστάλλου. Το επιπρόσθετο ηλεκτρόνιο από το άτομο του P αμέσως μετακινείται για να την καλύψει. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το άτομο του P να μείνει με ένα θετικό φορτίο και το άτομο του B αποκτά ένα αρνητικό φορτίο εξαιτίας του ηλεκτρονίου που του προστέθηκε. Για αυτή τη διαδικασία, δεν απαιτείται η ηλιακή ακτινοβολία. Αυτή η ανταλλαγή ηλεκτρονίων συμβαίνει σε μια μικροσκοπική λεπτή διαχωριστική επιφάνεια, όπου οι δύο περιοχές έρχονται σε επαφή.

Αφού τα ηλεκτρόνια είναι φορτισμένα σωματίδια, είναι δύσκολο να περάσουν μέσα από τη ζώνη στατικού ηλεκτρικού φορτίου. Η φορτισμένη περιοχή δρα σαν συνοριακό όριο για το στοιχείο. Όταν κατασκευάζεται το φωτοβολταϊκό, το σύνορο αυτό δημιουργείται αυτόματα. Υπάρχει για όλη τη ζωή του στοιχείου και ποτέ δεν εξασθενεί. Κανένα φωτοβολταϊκό δεν μπορεί να λειτουργήσει χωρίς αυτή τη ζώνη. Μόνο ηλεκτρόνια με υψηλά επίπεδα ενέργειας (υψηλές ταχύτητες) μπορούν να το

διαπεράσουν. Συνεπώς το σύνορο αυτό λειτουργεί σαν φίλτρο που αφήνει μόνο ηλεκτρόνια με υψηλές ενέργειες και σταματά ηλεκτρόνια με χαμηλά επίπεδα ενέργειας.

Η ποσότητα ρεύματος που παράγει ένα φωτοβολταϊκό είναι ανάλογη της ποσότητας ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω στο στοιχείο (αριθμός φωτονίων που εισέρχονται). Γι'αυτό το λόγο, το ρεύμα αυξάνεται με την επιφάνεια του στοιχείου καθώς και με την ένταση της ακτινοβολίας. Η τάση από την άλλη, εξαρτάται από το υλικό που χρησιμοποιείται. Όλα τα στοιχεία από πυρίτιο παράγουν περίπου 0,5 volt ανεξάρτητα από την επιφάνεια.

Συνοψίζοντας:

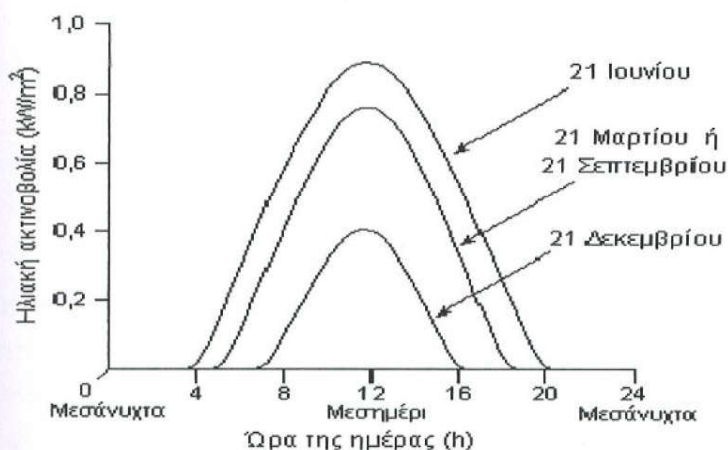
Τα άτομα των φωτοβολταϊκών στοιχείων δεν αλλάζουν θέση. Μόνο τα ηλεκτρόνια διακινούνται. Το υλικό δεν αλλάζει σχήμα και τελικά η μόνη διαδικασία που συμβαίνει είναι ότι ενέργεια από την ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια για εξωτερική χρήση.

### **2.3.5. Προσανατολισμός και βέλτιστη κλίση φωτοβολταϊκών πλαισίων**

Είναι γνωστό ότι, από εποχή σε εποχή ο ήλιος διαγράφει τελείως διαφορετικές τροχιές στον ουρανό. Είναι τροχιές οι οποίες απέχουν διαφορετικό ύψος από ένα σημείο στην επιφάνεια της γης, ενώ οι ακτίνες του ήλιου προσπίπτουν στο ίδιο σημείο με διαφορετική γωνία κάθε φορά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη διακύμανση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Στο σχήμα 2.3.5.1. παρουσιάζεται η διακύμανση της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας μέσα σε μία ημέρα αρχίζοντας από το θερινό και φθάνοντας έως το χειμερινό ηλιοστάσιο.

Ο ήλιος αποκλίνει της πορείας του (σχήματα 2.3.5.1., 2.3.5.2.) ανάλογα με την εποχή και συγκεκριμένα από  $+23,45^\circ$  έως  $-23,45^\circ$  και έτσι η βέλτιστη κλίση διαφέρει και αυτή ανά εποχή. Εξαιτίας, λοιπόν, των ανά εποχή διαφορετικών τροχιών του ήλιου, είναι φανερό ότι απαιτείται ανάλογη μεταβολή της κλίσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου για τις ίδιες ημερομηνίες, ώστε η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια να είναι η μέγιστη. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.3.5.2. η προσπάθεια έγκειται στην επιλογή

κλίσης των πλαισίων ώστε αυτά να είναι κάθετα στις ηλιακές ακτίνες (ελαχιστοποίηση της γωνίας προσπτώσεως  $\phi$ ).



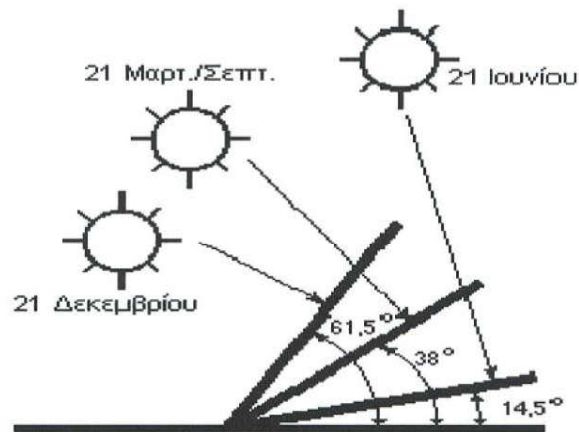
Σχήμα 2.3.5.1.: Η διακύμανση της έντασης ηλιακής ακτινοβολίας μέσα σε μια ημέρα αρχίζοντας από το θερινό και φθάνοντας έως το χειμερινό ηλιοστάσιο. Πηγή: ΜΠΑΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

Άρα, μπορούμε με βάση την Άνοιξη (ή Φθινόπωρο) να μεταβάλλουμε την κλίση του πλαισίου μία φορά κάθε εποχή. Το Καλοκαίρι θα μειώνεται κατά  $10-15^\circ$  σε σχέση με τον παράλληλο του τόπου, ενώ το Χειμώνα θα είναι μεγαλύτερη κατά  $10-15^\circ$  από τον παράλληλο του τόπου. Η συνήθης πρακτική στην Ελλάδα είναι  $30^\circ$  το Καλοκαίρι,  $45^\circ$  την Άνοιξη (ή Φθινόπωρο) και  $60^\circ$  το Χειμώνα.

Εφόσον ο ήλιος κινείται σχεδόν επάνω στον ισημερινό είναι λογικό στο βόρειο ημισφαίριο τα πλαίσια να είναι στραμμένα προς το νότο, ενώ στο νότιο ημισφαίριο προς το βορά.

Γενικά, ο προσανατολισμός ενός φωτοβολταϊκού συστήματος σε επίπεδη περιοχή δεν αποτελεί πρόβλημα. Όταν όμως αυτό πρόκειται να εγκατασταθεί σε επικλινές επίπεδο, όπως π.χ. στη οροφή ενός κτιρίου, τότε δεν είναι πάντα δυνατό να επιτευχθεί ο σωστός προσανατολισμός. Όσο περισσότερο πρέπει κανείς να αποκλίνει από τον ιδανικό προσανατολισμό, τόσο πιο μικρή πρέπει να είναι η γωνία κλίσης των πλαισίων. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να αξιοποιηθεί το 80% με 85% της ενέργειας που θα παράγονταν κατά την ιδανική εγκατάσταση.





Σχήμα 2.3.5.2.:Βέλτιστη κλίση του φωτοβολταϊκού από το θερινό έως το χειμερινό ηλιοστάσιο. Πηγή: ΑΡΓΥΡΟΥ Α. Κ.Α., 2002.

Σε όλες πάντως τις περιπτώσεις, η βέλτιστη ενεργειακή απολαβή είναι εφικτή (υπάρχουν τέτοιες εφαρμογές) εάν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται πάνω σε κινούμενα πλαίσια, ελεγχόμενα από συστήματα παρακολούθησης της τροχιάς του ηλίου, ώστε να διατηρούνται κάθετα προς τις ηλιακές ακτίνες σε όλη τη διάρκεια της ημέρας. Τα συστήματα αυτά βασίστηκαν σε μοντέλα ηλιακής γεωμετρίας καθώς επίσης και στη χρήση πυρομέτρου, το οποίο μετρά την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία. Σε τέτοιου είδους εφαρμογές πάντως, έχει μετρηθεί ότι η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει είναι μέχρι και 40% περισσότερη!

Ανάλογα με την περιοχή, λοιπόν, θα πρέπει να προσδιορισθεί η βέλτιστη κλίση ώστε το φωτοβολταϊκό να έχει την μέγιστη απόδοση τις περιόδους με τις μεγαλύτερες ανάγκες. Η βέλτιστη γωνία κλίσης των φωτοβολταϊκών για μεγιστοποίηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, για κάθε μήνα, είναι συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους.

Εάν η κλίση της επιφάνειας είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, τότε η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία πάνω στην επιφάνεια του φωτοβολταϊκού είναι ικανοποιητική. Υπάρχει όμως μεγάλη διαφορά της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας που θα δέχεται η επιφάνεια των φωτοβολταϊκών κατά την διάρκεια του έτους. Τον

χειμώνα η ένταση της διαθέσιμης ηλιακής ενέργειας είναι κατά πολύ μικρότερη από την διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, η διάρκεια της ημέρας είναι μικρότερη και έχουμε λιγότερες ώρες ηλιοφάνειας. Συνεπώς, θα πρέπει η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών επιφανειών να γίνει κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ευνοείται η συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του χειμώνα.

Η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών κατά τρόπο τέτοιο ώστε να σχηματίζεται γωνία με το οριζόντιο επίπεδο ίση με  $(\varphi+15)$  μοίρες έχει σαν αποτέλεσμα να υπάρχει σχεδόν μια σταθερή απόδοση κατά την διάρκεια του έτους. Πρακτικά δηλαδή, η επιφάνεια των φωτοβολταϊκών θα δέχεται περίπου σταθερή ποσότητα ηλιακής ενέργειας την περίοδο του χειμώνα και του καλοκαιριού. Επιπλέον, η διαθέσιμη ενέργεια είναι περίπου ίση με εκείνη που δέχεται η επιφάνεια των φωτοβολταϊκών την άνοιξη και το φθινόπωρο, διατηρώντας έτσι μια σταθερή απόδοση για όλο τον χρόνο.

Εάν η χρήση των φωτοβολταϊκών είναι για μια συγκεκριμένη περίοδο του χρόνου, τότε πρέπει να τοποθετηθούν ανάλογα με την πλέον κατάλληλη κλίση για την συγκεκριμένη εποχή. Για παράδειγμα, εάν η χρήση τους θα είναι την περίοδο του καλοκαιριού, οι φωτοβολταϊκές επιφάνειες τοποθετούνται με γωνία κλίσης  $(\varphi-15)$ .

Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στην εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού πεδίου έτσι ώστε να μην αλληλοσκιάζονται οι επιφάνειες των φωτοβολταϊκών από τα γειτονικά πλαίσια. Η απόσταση των συστοιχιών μεταξύ τους προσδιορίζεται υπολογίζοντας το ηλιακό ύψος και την γωνία πρόσπτωσης στην κεκλιμένη επιφάνεια, τον χειμώνα.

#### **2.4. ΠΑΡΑΓΩΓΗ - ΤΥΠΟΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ**

Αρχικά η παραγωγή των φωτοβολταϊκών ήταν μικρή με υψηλό κόστος. Μέχρι το 1970, η παραγωγή σταθεροποιήθηκε στα 80 kW τον χρόνο, με μέσο κόστος US\$100 - US\$200 ανά Watt. Η επιτυχία των φωτοβολταϊκών στο διάστημα και η ενεργειακή κρίση αύξησαν το ενδιαφέρον για αυτά. Στις αρχές της δεκαετίας του '90, υπήρχαν 10 εταιρείες στις ΗΠΑ που κατασκεύαζαν φωτοβολταϊκά και 35 στον υπόλοιπο

κόσμο, κυρίως στην Ευρώπη και την Ιαπωνία. Οι συνολικές πωλήσεις φωτοβολταϊκών το 1990, στην Ευρώπη ήταν περίπου 12 MW/έτος, ενώ παγκοσμίως πλησίαζε τα 50 MW/έτος.

#### Κόστος παραγωγής

Τα τελευταία χρόνια το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά μειώνεται συνεχώς, με την συνεχιζόμενη έρευνα και ανάπτυξη. Στην 20ετία που πέρασε το κόστος των φωτοβολταϊκών μειώθηκε κατά 50 φορές.

#### Μονάδες παραγωγής

Η παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών το 1997 ξεπέρασε τα 100 MW. Οι ρυθμοί αύξησης είναι σημαντικοί, ιδιαίτερα με την κατασκευή νέων μονάδων παραγωγής φωτοβολταϊκών. Η ανάπτυξη αυτή είναι αποτέλεσμα της βελτίωσης των αποδόσεων των φωτοβολταϊκών, μείωσης του κόστους και των παραγωγικών διαδικασιών.

#### Παγκόσμια παραγωγή

Η παραγωγή των φωτοβολταϊκών συγκεντρώνεται πλέον στις ΗΠΑ, Ιαπωνία και μερικές Ευρωπαϊκές χώρες. Η παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών το 1992 έφτασε τα 60 MW.

Το ποσοστό της παγκόσμιας αγοράς που κατέχουν οι Ευρωπαϊκές εταιρείες ήταν 15% το 1986 και έφτασε το 28% το 1992. Οι Ιάπωνες ασχολούνται περισσότερο με την χρήση φωτοβολταϊκών σε μικροσυσκευές. Γενικός στόχος είναι η μείωση του κόστους παραγωγής και αύξηση της απόδοσης. Για παράδειγμα, η εταιρεία Mobil ανέπτυξε μια νέα μέθοδο που χρησιμοποιεί 4,5 kg πυριτίου/kW, αντί 32 kg πυριτίου/kW που συνήθως χρειάζεται.

#### Φωτοβολταϊκό από πυρίτιο

Το πυρίτιο είναι από τα αφθονότερα στοιχεία που υπάρχουν στον πλανήτη, αφού αποτελεί περίπου το 25% του γήινου φλοιού.

Η διαδικασία κατασκευής των φωτοβολταϊκών είναι σχετικά πολύπλοκη, με τελικό αποτέλεσμα το υψηλό κόστος παραγωγής τους. Η έρευνα στον τομέα αυτό, απλουστεύει την παραγωγική διαδικασία, μειώνοντας έτσι σημαντικά το κόστος



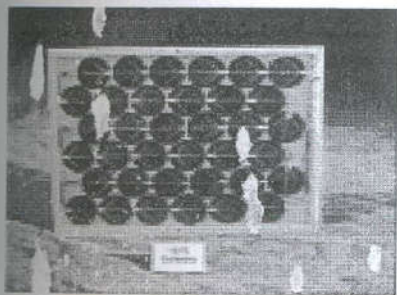
κατασκευής των φωτοβολταϊκών. Η συνήθης διαδικασία παραγωγής των ημιαγωγών πυριτίου είναι:

Διοξειδίο πυριτίου → Μεταλλουργικό πυρίτιο → Σιλάνια → Καθαρό πολυκρυσταλλικό  
→ Μονοκρύσταλλοι → Ημιαγωγός

Οι διάφοροι τύποι φωτοβολταϊκών κατασκευάζονται από :

- Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο
- Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο
- Άμορφο πυρίτιο

### Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο



Σχήμα 2.4.1.: Ιστορική φωτογραφία μονοκρυσταλλικού φωτοβολταϊκού στοιχείου της εταιρείας Solarex (1973). Η απόδοση του πλαισίου ήταν περίπου 24 Volts. Πηγή: ΜΠΑΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

Το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο αποτελείται από μεγάλους κρυστάλλους στη σύστασή του (σχήμα 2.4.1.). Το μέγεθος των κρυστάλλων εξαρτάται από τις συνθήκες κάτω από τις οποίες ψύχθηκε το πυρίτιο. Το προϊόν παράγεται σαν στερεό κομμάτι, το οποίο απάγεται πάλι από τη τηγμένη πρώτη ύλη. Το χρώμα των φωτοβολταϊκών στοιχείων, που είναι κατασκευασμένα από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο, είναι συνήθως ομοίμορφο γαλάζιο ή μπλε.

Άλλες μορφές πυριτίου που είναι πιο φθηνές να παραχθούν από τους μεγάλους μεγέθους μονοκρυστάλλους, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν σε φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η στερεοποίηση υπό κανονικές συνθήκες πυριτίου που έχει υποστεί



τήξη, έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία μικροσκοπικών κρυστάλλων. Εάν ο χρόνος στερεοποίησης είναι μεγάλος τότε οι κρύσταλλοι που δημιουργούνται θα είναι μεγαλύτεροι σε μέγεθος.

### **Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο**

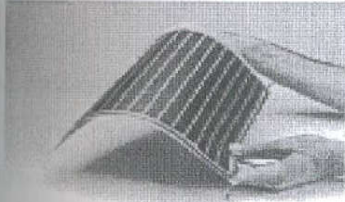
Είναι κροκοειδές στη μορφή του και το μέγεθος των κρυστάλλων εξαρτάται από τις συνθήκες κάτω από τις οποίες το πυρίτιο ψύχθηκε (σχήμα 2.4.2.). Το προϊόν παράγεται σαν στερεό κομμάτι ή σε σχήμα κορδέλας η οποία απάγεται από τη τηγμένη πρώτη ύλη, ή με τον βρασμό του πυριτίου και την συγκέντρωση των ατμών πάνω σε μια επίπεδη επιφάνεια. Αυτή η μέθοδος κοστίζει λιγότερο από την παραγωγή μονοκρυσταλλικού πυριτίου.



Σχήμα 2.4.2.: Φωτοβολταϊκή επιφάνεια από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο. Πηγή: ΜΠΑΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

Το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο αντικατέστησε το μονοκρυσταλλικό στη κατασκευή φωτοβολταϊκών για εφαρμογές στη γη, λόγω της διαφοράς στο κόστος . Τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία έχουν όμως μικρότερη απόδοση στην μετατροπή ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό. Παρατηρούνται μικρά ηλεκτρικά βραχυκυκλώματα στα όρια των κρυστάλλων. Συνεπώς, όσο μεγαλύτεροι είναι οι κρύσταλλοι, είναι λιγότερες οι συνοριακές τους επιφάνειες και το στοιχείο συμπεριφέρεται περισσότερο σαν να ήταν μονοκρυσταλλικό. Το χρώμα των πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι συνήθως γαλάζιο με πιο ανοιχτόχρωμα «σύννεφα».

## Άμορφο πυρίτιο



Σχήμα 2.4.3.: Φωτοβολταϊκό από άμορφο πυρίτιο α) εύκαμπτο πλαστικό φύλλο β) σε χρώμα καφέ, σε θέση κεραμιδιού στέγης. Πηγή: ΜΠΑΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

Το άμορφο πυρίτιο είναι καθαρό πυρίτιο που δεν έχει κρυσταλλική δομή. Τα άτομα του πυριτίου στο στερεό είναι τυχαία τοποθετημένα. Το γυαλί για παράδειγμα, είναι άμορφο, όχι κρυσταλλικό, υλικό. Λεπτά φιλμ φωτοβολταϊκού (σαν μεμβράνες) από άμορφο πυρίτιο (σχήμα 2.4.3.α.) μετατρέπουν με μεγαλύτερη απόδοση την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρισμό.

Το πάχος των επιφανειών τους είναι περίπου μόνο  $1 \mu\text{m}$  ( $10^{-6} \text{ cm}$ ). Λόγω δε του ότι χρησιμοποιείται πολύ λιγότερο υλικό και αποφεύγεται η κρυσταλλοποίηση, τα στοιχεία από άμορφο πυρίτιο είναι πολύ φτηνά στην κατασκευή τους και έχουν τελικά μικρότερο κόστος. Εξαιτίας του μικρού μεγέθους τους, μπορούν να τοποθετηθούν με ευκολία σε στέγες, αντί για κεραμίδια, ταιριάζοντας ακόμα και το χρώμα τους, όπως φαίνεται με το χρώματος καφέ φωτοβολταϊκό στο σχήμα 2.4.3.β..

Οι αποδόσεις όμως είναι μικρές, γύρω στο 9-11%, σε σχέση με 16-18% για τις μονοκρυσταλλικές κυψέλες.

Η συμπεριφορά άμορφων υλικών είναι πολυσύνθετη, και οι βασικές γνώσεις της δομής και συμπεριφοράς τέτοιων υλικών είναι περιορισμένες. Το άμορφο πυρίτιο χρησιμοποιείται αρκετά σε Ιαπωνικά προϊόντα, τροφοδοτώντας μικροσυσκευές π.χ. ρολόγια, υπολογιστές τσέπης και παιχνίδια που χρειάζονται πολύ μικρές ποσότητες ενέργειας. Οι Ιαπωνικές εταιρείες είναι πρωτοπόροι στην παραγωγή άμορφου πυριτίου. Η μελλοντική αύξηση της απόδοσής τους και της σταθερότητάς τους



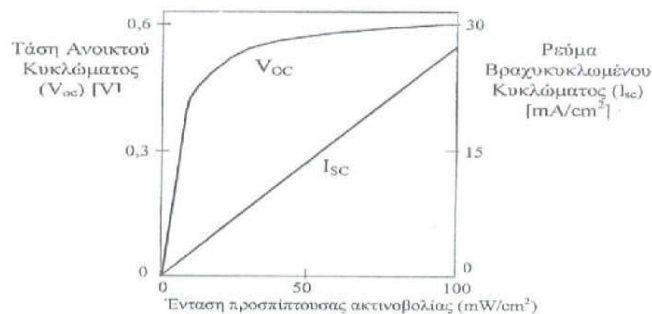
μπορούν να κάνουν την κατασκευή τέτοιων στοιχείων συμφέρουσα και για μεγαλύτερες εφαρμογές.

#### Μερίδιο αγοράς

Από τους διάφορους τύπους φωτοβολταϊκών, το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο κατέχει το 58% στην Ευρωπαϊκή αγορά και 33% στην παγκόσμια. Αντίστοιχα, τα μονοκρυσταλλικά καταλαμβάνουν το 30% της Ευρωπαϊκής και 35% της παγκόσμιας αγοράς, και το άμορφο πυρίτιο το 12% της Ευρωπαϊκής και 32% της παγκόσμιας αγοράς.

### 2.5. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ

Η τάση που παράγει το φωτοβολταϊκό μεταβάλλεται ελάχιστα με τη ένταση της ακτινοβολίας, εκτός από την αρχική κατάσταση, όταν δηλαδή η ακτινοβολία αρχικά πέφτει πάνω στο φωτοβολταϊκό. Εάν δεν υπάρχει φορτίο, τότε αυξανόμενης της ακτινοβολίας αυξάνεται το ρεύμα με τον ίδιο ρυθμό. Εάν δηλαδή διπλασιάσουμε την ένταση της ακτινοβολίας διπλασιάζεται και το ρεύμα. Συνεπώς, το ρεύμα που παράγεται είναι ανάλογο με την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.



Σχήμα 2.5.1.: Τυπική συνδεσμολογία για τη μέτρηση της τάσης και της έντασης σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα και γραφική παράσταση της συμπεριφοράς του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Πηγή: ΜΠΑΛΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

Αυτό κάνει τα φωτοβολταϊκά χρήσιμα σαν μετρητές έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (π.χ. πυρανόμετρα ή φωτομετρητές σε κάμερες). Μια απλή πειραματική διάταξη φαίνεται στο σχήμα 2.5.1., μαζί με την γραφική παράσταση της τάσης και του ρεύματος, με την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας

Στο σχήμα 2.5.1. παρουσιάζονται δυο χαρακτηριστικά μεγέθη για κάθε φωτοβολταϊκό, τα οποία είναι η τάση ανοικτού κυκλώματος  $V_{oc}$  και το ρεύμα βραχυκυκλωμένου κυκλώματος  $I_{sc}$ .

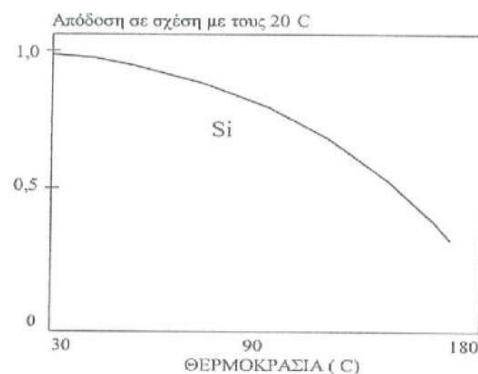
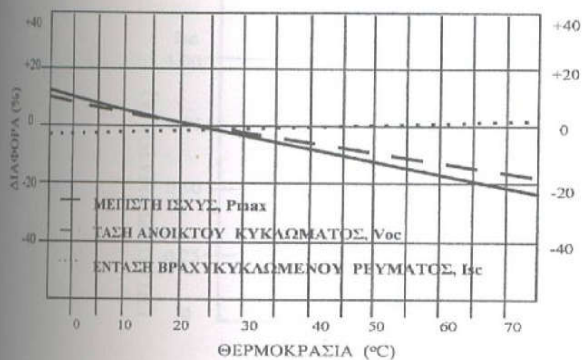
Η τάση ανοικτού κυκλώματος ( $V_{oc}$ ) είναι η τάση που εμφανίζεται στα άκρα του φωτοβολταϊκού όταν δεν ενώνονται μεταξύ τους ή ενώνονται με την βοήθεια μιας πολύ μεγάλης αντίστασης.

Το ρεύμα βραχυκύκλωσης ( $I_{sc}$ ) είναι το ρεύμα που δίνει το φωτοβολταϊκό στοιχείο, όταν τα άκρα του ενώνονται με σύρμα μηδαμινής αντίστασης.

Η τάση του φωτοβολταϊκού είναι αντίστροφα ανάλογη της θερμοκρασίας του στοιχείου, ή με άλλα λόγια, αύξηση της θερμοκρασίας έχει σαν αποτέλεσμα μια ανάλογη μείωση της τάσης (σχήμα 2.5.2.). Η ένταση του ρεύματος από το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι σχετικά σταθερή ανεξάρτητα από τις μεταβολές της θερμοκρασίας.

Συνεπώς, αφού η ισχύς ισούται με το γινόμενο του ρεύματος με την τάση, μπορούμε να πούμε ότι η ισχύς από ένα φωτοβολταϊκό αυξάνεται με την μείωση της θερμοκρασίας του στοιχείου.

Η θερμοκρασία του στοιχείου δεν είναι ίση με την ατμοσφαιρική αφού η επιφάνεια είναι σκούρη και συνεπώς απορροφά μεγαλύτερα ποσοστά ηλιακής ακτινοβολίας. Η θερμοκρασία του στοιχείου είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος ανάλογα με την προσπίπτουσα ακτινοβολία. Τα επίπεδα του ανέμου στην περιοχή θα επηρεάσουν και την θερμοκρασία του στοιχείου. Ένα φωτοβολταϊκό λειτουργεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες εάν αποδίδει ρεύμα παρά όταν δεν αποδίδει. Η θερμοκρασία μεταβάλλεται σχεδόν γραμμικά με τις μεταβολές της ακτινοβολίας.



Σχήμα 2.5.2.: Επίδραση της θερμοκρασίας στην απόδοση φωτοβολταϊκού. Πηγή: ΜΠΑΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

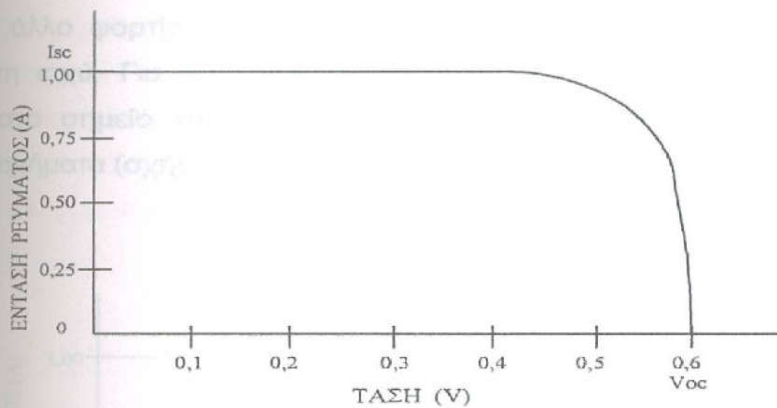
Η απόδοση του φωτοβολταϊκού προσδιορίζεται σε συγκεκριμένες συνθήκες (προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια  $1000 \text{ W/m}^2$  και θερμοκρασία  $25^\circ\text{C}$ ). Μπορεί να δώσει και παραπάνω σε άλλες συνθήκες αλλά έχει επικρατήσει να συγκρίνονται τα φωτοβολταϊκά μεταξύ τους σε αυτές τις συνθήκες.

#### Χαρακτηριστική καμπύλη IV

Εάν σχεδιάσουμε την ένταση και την τάση του ρεύματος που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό, καθώς μειώνεται το φορτίο από ανοικτό σε βραχυκυκλωμένο κύκλωμα, σχηματίζεται μια χαρακτηριστική καμπύλη που φαίνεται στο σχήμα 2.5.3.. Το φωτοβολταϊκό συμπεριφέρεται σαν σταθερή πηγή ρεύματος για το μεγαλύτερο κομμάτι της καμπύλης, με το να αποδίδει σταθερό ρεύμα μεταβάλλοντας την τάση έτσι ώστε να διατηρεί το συγκεκριμένο ρεύμα ανεξάρτητα από το φορτίο. Όσο συνεχίζεται να μειώνεται το φορτίο, η συμπεριφορά του φωτοβολταϊκού πλησιάζει σε ένα σημείο που δεν μπορεί πια να διατηρήσει την συγκεκριμένη ένταση και παρουσιάζεται μια πτώση μέχρι να φτάσει το μηδέν.

Η καμπύλη στο σχήμα 2.5.3. παρουσιάζει γραφικά αυτή την συμπεριφορά και ονομάζεται καμπύλη IV. Αποτελεί την "ταυτότητα" κάθε φωτοβολταϊκού. Η χαρακτηριστική καμπύλη καθορίζεται από τον κατασκευαστή και συνοδεύει κάθε φωτοβολταϊκό.

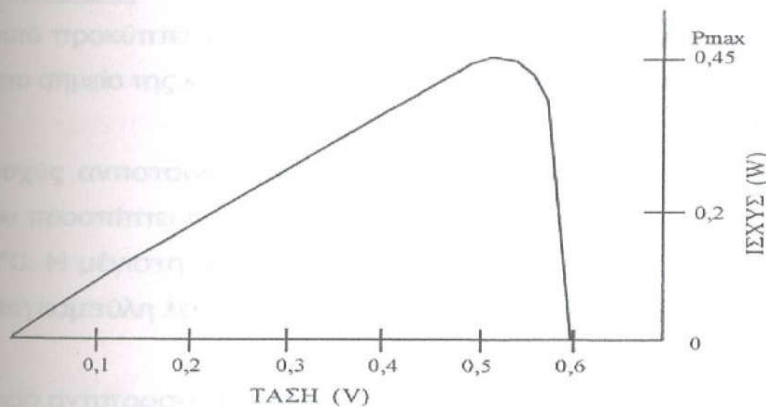




Σχήμα 2.5.3.: Χαρακτηριστική καμπύλη  $I/V$  φωτοβολταϊκού στοιχείου. Πηγή: ΜΠΑΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

#### Χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος

Η τάση του ανοικτού κυκλώματος συμβολίζεται με  $V_{oc}$  (σημείο τομής της καμπύλης με τον άξονα της τάσης) και η ένταση του ρεύματος για το βραχυκυκλωμένο κύκλωμα  $I_{sc}$  είναι το σημείο τομής της καμπύλης με τον άξονα του ρεύματος. Η καμπύλη της ισχύος με την τάση παρουσιάζεται στο σχήμα 2.5.4..

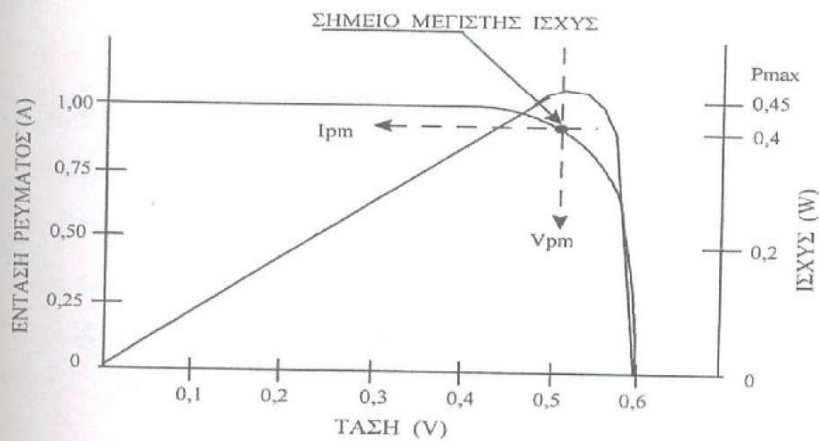


Σχήμα 2.5.4.: Χαρακτηριστική καμπύλη  $P/V$  φωτοβολταϊκού στοιχείου. Πηγή: ΜΠΑΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

#### Μέγιστη ισχύς

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5.4., παρουσιάζεται ένα μέγιστο σημείο. Στην κορυφή παίρνουμε την μέγιστη δυνατή ισχύ ( $P_{max}$ ). Υπάρχει δηλαδή μια συγκεκριμένη τιμή φορτίου που θα έχει σαν αποτέλεσμα την μέγιστη ισχύ από το φωτοβολταϊκό.

Οποιοδήποτε άλλο φορτίο θα έχει σαν αποτέλεσμα μικρότερη απόδοση από την δυνατή μέγιστη ισχύ. Για να υπολογισθούν η τάση, το ρεύμα και το φορτίο που αντιστοιχούν στο σημείο της μέγιστης ισχύος, μπορούν να συνδυασθούν τα δυο προηγούμενα σχήματα (σχήμα 2.5.5.).



Σχήμα 2.5.5.: Περιοχή λειτουργίας του φωτοβολταϊκού για μέγιστη απόδοση. Πηγή: ΜΠΑΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

### Σημείο μέγιστης ισχύος

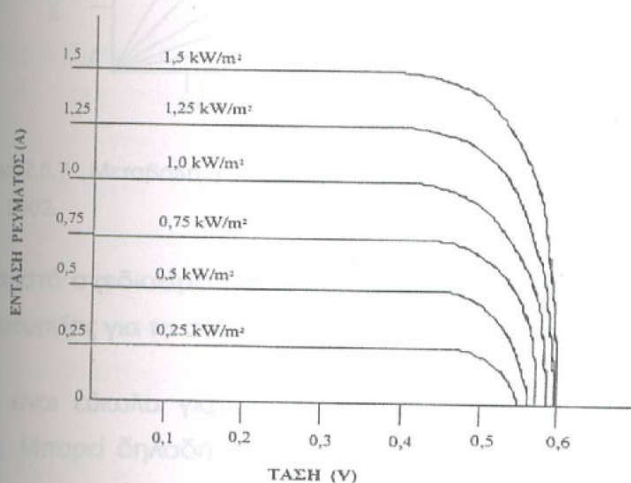
Το σημείο αυτό προκύπτει σχεδιάζοντας την κάθετη διακεκομμένη γραμμή που περνάει από το μέγιστο σημείο της καμπύλης ισχύος μέχρι που τέμνει την καμπύλη  $I/V$ .

Η μέγιστη ισχύς αντιστοιχεί στην απόδοση που έχει το φωτοβολταϊκό όταν στην επιφάνεια του προσπίπτει ηλιακή ακτινοβολία με ένταση  $1000 \text{ W/m}^2$  και η θερμοκρασία του είναι  $25^\circ\text{C}$ . Η μέγιστη ισχύς δίνεται πάντοτε από τον κατασκευαστή, μαζί με την χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας του φωτοβολταϊκού.

Αυτό το σημείο αντιπροσωπεύει τις μέγιστες τιμές του ρεύματος και της τάσης,  $I_{mp}$  και  $V_{mp}$  αντίστοιχα. Το ελάχιστο φορτίο υπολογίζεται παίρνοντας το πηλίκο  $V/I$ . Χρησιμοποιώντας αυτή τη τιμή του φορτίου αντλείται η καλύτερη δυνατή απόδοση από το φωτοβολταϊκό στοιχείο.

### Απόκριση φωτοβολταϊκού στοιχείου υπό κανονικές συνθήκες

Οι μεταβολές της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας προκαλούν αντίστοιχα και μεταβολές στις καμπύλες  $I/V$ . Η ένταση του ρεύματος αυξάνεται με την αύξηση της ακτινοβολίας (σχήμα 2.5.6.). Η καμπύλη φτάνει στο υψηλότερο σημείο της γύρω από την μεσημβρία και στη συνέχεια μειώνεται με μικρούς ρυθμούς για να μηδενισθεί με την δύση του ήλιου.



Σχήμα 2.5.6.: Συμπεριφορά της καμπύλης  $I/V$  με την μεταβολή της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας.

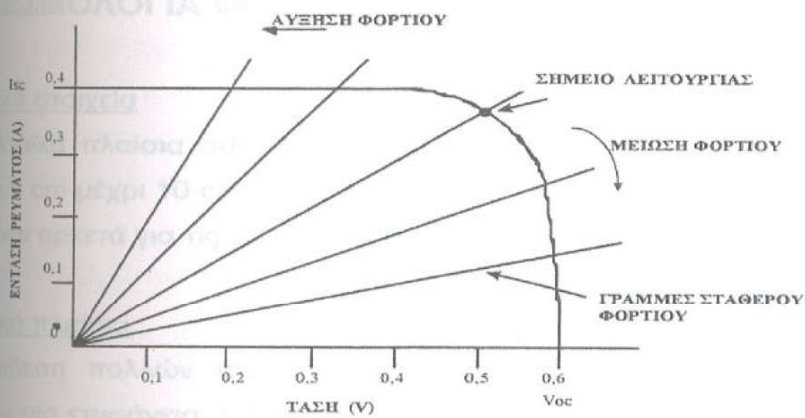
Πηγή: ΜΠΑΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

Αλλαγές στην θερμοκρασία κατά την διάρκεια της ημέρας ή εποχιακές αλλαγές επηρεάζουν την συμπεριφορά του φωτοβολταϊκού. Αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μείωση της τάσης και το κάθετο μέρος της  $I/V$  καμπύλης κινείται προς τα αριστερά (μικρότερη τάση), ενώ μείωση της θερμοκρασίας προκαλεί το αντίθετο αποτέλεσμα (μεγαλύτερη τάση). Επηρεάζεται συνεπώς και η αποδιδόμενη ισχύς. Η μείωση της τάσης είναι περίπου  $2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ .

Η  $I/V$  καμπύλη δείχνει πως ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο θα συμπεριφερθεί σε κάθε ένα από τα πιθανά φορτία κάτω από συγκεκριμένους συνδυασμούς ακτινοβολίας και θερμοκρασίας.

Όταν ένα συγκεκριμένο φορτίο συνδέεται σε ένα φωτοβολταϊκό, αντιπροσωπεύεται από ένα σημείο κάπου πάνω σε αυτή την καμπύλη. Με την αύξηση του φορτίου το σημείο λειτουργίας μετακινείται πάνω στην καμπύλη προς τα αριστερά (σχήμα 2.5.7.). Η μείωση του φορτίου προκαλεί μετακίνηση του σημείου λειτουργίας προς τα δεξιά.



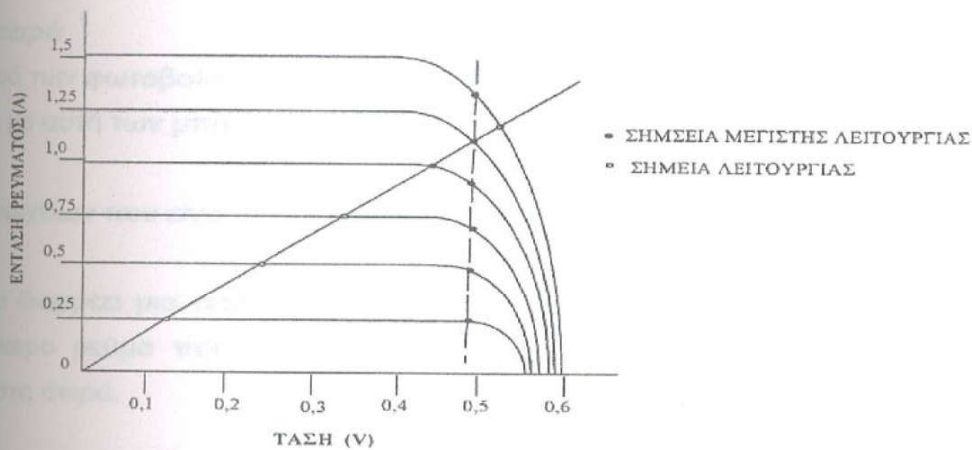


Σχήμα 2.5.7.: Μεταβολή φορτίου και επίδραση στις συνθήκες λειτουργίας. Πηγή: ΜΠΑΛΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

Για τον σωστό σχεδιασμό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, πρέπει να συμπίσει το σημείο λειτουργίας για το συγκεκριμένο φορτίο με το σημείο μέγιστης ισχύος

Αυτό δεν είναι εύκολο γιατί κατά την διάρκεια της ημέρας παρουσιάζονται μεγάλες μεταβολές. Μπορεί δηλαδή το σημείο λειτουργίας να συμπίπτει με το σημείο μέγιστης ισχύος το μεσημέρι αλλά να διαφέρουν το πρωί και το απόγευμα.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5.8., το σημείο λειτουργίας στις διάφορες καμπύλες βρίσκεται σε μια ευθεία που περνάει τελικά από το μηδέν.



Σχήμα 2.5.8.: Σημεία μέγιστης ισχύος και λειτουργίας. Πηγή: ΜΠΑΛΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

## 2.6. ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

### Φωτοβολταϊκά στοιχεία

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια συνήθως αποτελούνται από στοιχεία. Το μέγεθος τους ποικίλει από 1 cm μέχρι 10 cm. Κάθε ένα στοιχείο μπορεί να καλύψει μόνο 1-2 W τα οποία δεν είναι αρκετά για τις περισσότερες εφαρμογές.

### Φωτοβολταϊκά πλαίσια

Με την σύνδεση πολλών φωτοβολταϊκών στοιχείων, σε σειρά ή παράλληλα, δημιουργείται μια επιφάνεια, πλαίσιο, που μοιάζει με αυτή των ηλιακών συλλεκτών. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται κατάλληλου μεγέθους επιφάνειες ώστε να καλυφθούν οι συγκεκριμένες ανάγκες. Τα νέα φωτοβολταϊκά λεπτού φιλμ σαν μεμβράνες (π.χ. από άμορφο πυρίτιο) μπορούν να κατασκευαστούν κατευθείαν σε διάφορα μεγέθη επιφάνειας (πλαίσιο), χωρίς την απαίτηση να κατασκευάζεται πρώτα ένα μικρό στοιχείο.

### Φωτοβολταϊκά πεδία

Πολλά πλαίσια μαζί μπορούν να συνδεθούν για να δημιουργήσουν μια συστοιχία για την ανάπτυξη ενός πεδίου. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να καλύψουν ανάγκες πολλών μεγαβάτ (MW).

### **Σύνδεση σε σειρά**

Η συμπεριφορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων που συνδέονται σε σειρά (σχήμα 2.6.1.) μοιάζει με αυτή των μπαταριών.

Η τάση των στοιχείων που είναι συνδεδεμένα σε σειρά προστίθεται.

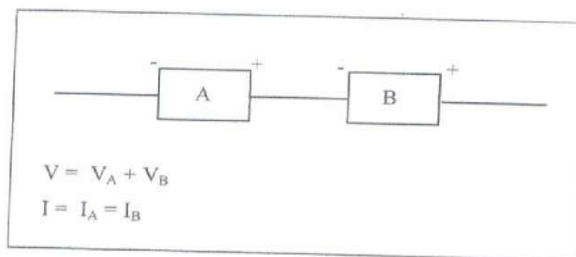
Το ρεύμα που διαρρέει μια τέτοια συνδεσμολογία δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από το μικρότερο ρεύμα που περνάει από το οποιοδήποτε στοιχείο που είναι συνδεδεμένο στη σειρά.

### Σύνδεση παράλληλα

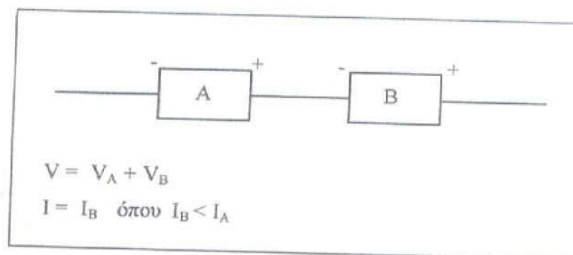
Η τάση των στοιχείων που είναι συνδεδεμένα παράλληλα (σχήμα 2.6.2.) καθορίζεται από τα συγκεκριμένα στοιχεία και δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερη από την μέση τιμή όλων των τάσεων που θα είχαν τα στοιχεία μόνα τους. Το στοιχείο με την μικρότερη τάση προσδιορίζει αυτή την τιμή.

Το ρεύμα για την περίπτωση παράλληλης συνδεσμολογίας προστίθεται.

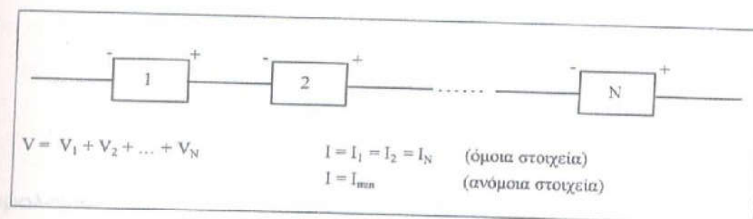
- Δύο όμοια ΦΒ στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά



- Δύο ανόμοια ΦΒ στοιχεία συνδεδεμένα σε σειρά



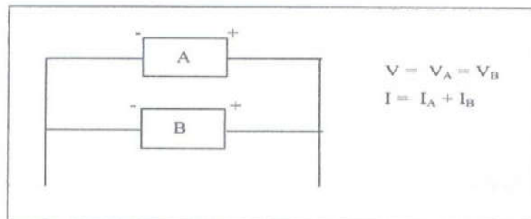
- Ν αριθμός ΦΒ στοιχείων συνδεδεμένων σε σειρά



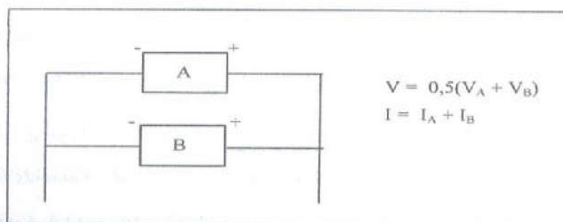
Σχήμα 2.6.1.: Συνδεσμολογία σε σειρά. Πηγή: ΜΠΑΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.



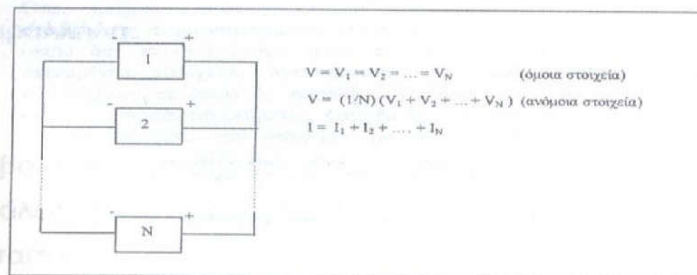
- Δοο όμοια ΦΒ στοιχεία συνδεδεμένα παράλληλα



- Δοο ανόμοια ΦΒ στοιχεία συνδεδεμένα παράλληλα



- N αριθμός ΦΒ στοιχείων συνδεδεμένα παράλληλα



Σχήμα 2.6.2.: Συνδεσμολογία παράλληλα. Πηγή: ΜΠΑΛΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

### 2.6.1. Δίοδοι-Ρυθμιστές ροής ρεύματος

Στην συνδεσμολογία των φωτοβολταϊκών στοιχείων παρεμβάλλονται κάποια επιμέρους ηλεκτρικά εξαρτήματα τα οποία εξασφαλίζουν την ροή του ρεύματος προς μια μόνο κατεύθυνση. Υπάρχουν δύο ειδών δίοδοι που χρησιμοποιούνται:

- ρυθμιστικές δίοδοι
- παρακαμπτήριες δίοδοι

#### Ρυθμιστικές δίοδοι

Εμποδίζουν την ροή του ρεύματος προς την αντίθετη από την επιθυμητή κατεύθυνση. Για παράδειγμα, όπως θα δούμε και στη συνέχεια, τα φωτοβολταϊκά συνήθως συνδέονται με μπαταρίες. Η ροή του ρεύματος πρέπει να είναι από τα φωτοβολταϊκά προς τις μπαταρίες. Το βράδυ όμως πρέπει να εξασφαλιστεί ότι δεν υπάρχει περίπτωση να αποφορτιστούν οι μπαταρίες μέσω των φωτοβολταϊκών, δηλαδή να υπάρξει ροή ρεύματος από τις μπαταρίες προς τα φωτοβολταϊκά. Επίσης εμποδίζουν την αντίθετη ροή ρεύματος όταν η συνδεσμολογία των φωτοβολταϊκών στοιχείων γίνεται παράλληλα και κάποιο από τα στοιχεία σκιάζεται. Με τον τρόπο αυτό τα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν απορροφούν ρεύμα από κάποια άλλα στοιχεία που είναι συνδεδεμένα παράλληλα.

#### Παρακαμπτήριες δίοδοι

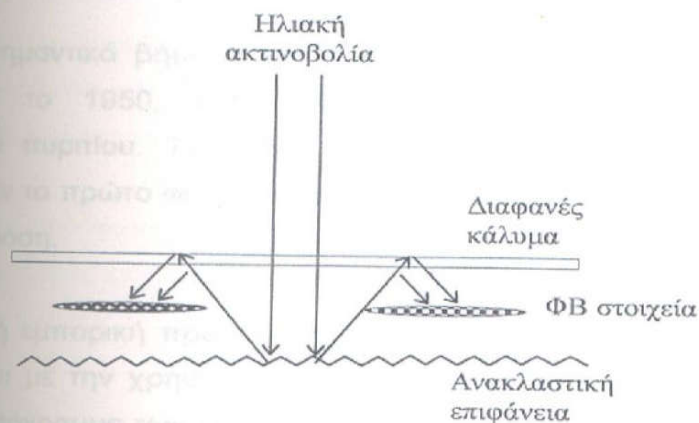
Προστατεύουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία όταν κάποιο από αυτά σκιάζεται. Χρησιμοποιούνται σε μεγάλες συνδεσμολογίες όπου τα φωτοβολταϊκά συνδέονται σε σειρά. Συνήθως δεν απαιτούνται όταν το σύστημα λειτουργεί σε τάση μέχρι 24 V. Με τον τρόπο αυτό η παρακαμπτήρια δίοδος δεν επιτρέπει την ροή του ρεύματος από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο συνδεδεμένο σε σειρά, προς άλλο στοιχείο στην ίδια σειρά, το οποίο σκιάζεται.

Όταν σκιάζεται ένα στοιχείο που είναι συνδεδεμένο σε σειρά, τα άλλα στοιχεία στη σειρά κατευθύνουν το ρεύμα προς το σκιασμένο στοιχείο το οποίο δεν παράγει ρεύμα, αλλά το απορροφά. Η πολικότητα του σκιασμένου στοιχείου αντιστρέφεται. Εάν πολλά στοιχεία είναι συνδεδεμένα σε σειρά το σκιασμένο στοιχείο μπορεί να απορροφήσει σημαντική ποσότητα ρεύματος. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του στοιχείου, με αποτέλεσμα την ολοκληρωτική

καταστροφή του. Μια δίοδος που συνδέεται παράλληλα με το στοιχείο μπορεί να αποτρέψει τέτοιου είδους προβλήματα, αφού μπαίνει σε λειτουργία όταν αντιστραφεί η πολικότητα του στοιχείου, επιτρέποντας στο ρεύμα που κυκλοφορεί στην σειρά των στοιχείων να παρακάμψει το σκιασμένο στοιχείο.

Θεωρητικά, κάθε φωτοβολταϊκό στοιχείο θα έπρεπε να διαθέτει μια τέτοιου είδους προστατευτική δίοδο, όπως γίνεται συνήθως σε εφαρμογές φωτοβολταϊκών που προορίζονται για χρήση στο διάστημα. Συνήθως, μια παράλληλα συνδεδεμένη δίοδος για κάθε 18-20 στοιχεία, είναι αρκετό. Για συστήματα με τάση λειτουργίας μέχρι 24 V, η τάση δεν επαρκεί ώστε να προκαλέσει την αντιστροφή του ρεύματος, και κατά συνέπεια δεν απαιτείται η χρήση της παρακαμπτήριας διόδου.

Τα μονοκρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου με αποδόσεις περίπου 17%, τοποθετούνται σε διαστήματα που είναι 10 φορές πιο μεγάλα απ'ότι στα συνηθισμένα στοιχεία. Η ηλιακή ακτινοβολία που περνάει από τα κενά μεταξύ των στοιχείων αντανακλάται και διαχέεται από μια επιφάνεια που βρίσκεται στο πίσω μέρος, κάτω από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, και στην συνέχεια αντανακλάται από το κάλυμμα του πλαισίου και απορροφάται από τα στοιχεία που βρίσκονται στην άμεση περιοχή (σχήμα 2.6.3.).



Σχήμα 2.6.3.: Βασική αρχή λειτουργίας. Πηγή: ΜΠΑΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

Τα μεγαλύτερα κενά επιτρέπουν στα φωτοβολταϊκά στοιχεία να συλλέγουν με μεγαλύτερη ευκολία την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και συνεπώς ενισχύεται



το ( $I_{sc}$ ) του κάθε στοιχείου κατά 4% (από 5.70 A για τα συνηθισμένα στοιχεία σε 5.93 A). Με τον τρόπο αυτό μπορεί να μειωθεί ο αριθμός των στοιχείων στο πλαίσιο κατά 11% (από 54 σε 48).

Η μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς αυξάνεται μεγαλώνοντας την απόσταση μεταξύ των στοιχείων, με ένα βέλτιστο σημείο γύρω στα 30 mm.

## 2.7. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ - ΧΡΗΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Ο Γάλλος φυσικός Edmond Becquerel ήταν ο πρώτος που το 1839, ενώ πειραματιζόταν με ηλεκτρολύτες από δυο μεταλλικά ηλεκτρόδια, παρατήρησε ότι μερικά υλικά μπορούν να παράγουν μικρές ποσότητες ηλεκτρικού ρεύματος όταν είναι εκτεθειμένα στο φως. Το θέμα όμως παρέμεινε απλώς ένα επιστημονικά ανεξήγητο φαινόμενο για αρκετές δεκαετίες.

Ο Heinrich Hertz ήταν ο πρώτος που το 1870 μελέτησε το φαινόμενο σε στερεά, όπως το σελήνιο. Τα πρώτα φωτοβολταϊκά από σελήνιο μετέτρεπαν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρισμό με αποδόσεις 1-2%. Οι πρώτες εφαρμογές έγιναν με την χρήση τους σε συσκευές μέτρησης των επιπέδων φωτισμού, στο αναπτυσσόμενο τότε χώρο της φωτογραφίας.

Τα πρώτα σημαντικά βήματα για την εμπορική αξιοποίηση των φωτοβολταϊκών έγιναν μετά το 1950, όταν αναπτύχθηκαν μέθοδοι παραγωγής καθαρού κρυσταλλικού πυριτίου. Το 1954, επιστήμονες στα εργαστήρια Bell στις ΗΠΑ, κατασκεύασαν το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο από κρυσταλλικό πυρίτιο, το οποίο είχε 4% απόδοση.

Η πραγματική εμπορική πρόοδος στην τεχνολογία των φωτοβολταϊκών άρχισε να παρουσιάζεται με την χρησιμοποίησή τους στις αρχές της δεκαετίας του '60 στο διαστημικό πρόγραμμα των ΗΠΑ.

Στις 17 Μαρτίου 1958, 6 μικρά φωτοβολταϊκά συστήματα με 108 στοιχεία πυριτίου, χρησιμοποιήθηκαν στο διάστημα για να τροφοδοτήσουν το 5-mW ραδιοαναμεταδότη στο δορυφόρο Vanguard I.

Οι επόμενοι 22 δορυφόροι των ΗΠΑ εκτοξεύτηκαν εξοπλισμένοι με ηλεκτροχημικές μπαταρίες, αλλά στο τέλος του 1959 ο Explorer VI μετέφερε 8000 κρύσταλλα πυριτίου διαστάσεων 1 εκ επί 2 εκ, που παρήγαγαν περίπου 15 W.

Εκτός από την περιορισμένη χρήση πυρηνικής ενέργειας, τα φωτοβολταϊκά παραμένουν η κατά κύριο λόγο πηγή ενέργειας στις διαστημικές εφαρμογές.

Μέχρι το 1975, η NASA χρησιμοποιούσε 1000000 στοιχεία τον χρόνο. Τα μεγέθη των φωτοβολταϊκών μεγαλώνουν συστηματικά. Ο δορυφόρος Nimbus που εκτοξεύθηκε το 1964, είχε ένα σύστημα 500 W. Οι δορυφόροι της αεροπορίας των ΗΠΑ έχουν 1,5 kW, ενώ ο νέος διαστημικός σταθμός υπολογίζεται ότι θα είναι εξοπλισμένος με ένα σύστημα για 100 kW. Τα φωτοβολταϊκά έχουν λειτουργήσει με επιτυχία στο αφιλόξενο διάστημα (κενό, υψηλές θερμοκρασιακές διαφορές, υψηλά ποσοστά ακτινοβολίας) με πολύ καλές επιδόσεις, ανθεκτικότητα, απόδοση και αξιοπιστία. Σε εφαρμογές στην γη, λειτουργούν με επιτυχία σε εξαιρετικά δύσκολες συνθήκες, σκόνης, ατμοσφαιρικής μόλυνσης, ανέμων, χαλαζιού, αλμυρότητας, αποδεικνύοντας τις μεγάλες δυνατότητες εφαρμογής τους.

Από τις αρχές της δεκαετίας του '70 οι εφαρμογές των φωτοβολταϊκών έχουν περάσει στην κάλυψη αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια σε διάφορες περιοχές του κόσμου, ιδιαίτερα σε απομονωμένες περιοχές ή σε περιοχές με μικρές ενεργειακές ανάγκες. Η βασική τεχνολογία των φωτοβολταϊκών έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να λειτουργήσει με επιτυχία σε πολλές εφαρμογές όπου απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια.

Οι εφαρμογές των φωτοβολταϊκών καλύπτουν μικροσυσκευές, όπως υπολογιστές τσέπης και ρολόγια, μέχρι και ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια μιας κατοικίας ή ενός κτιρίου, ή και για την παροχή ενέργειας σε ανεξάρτητες ή απομονωμένες μονάδες. Στον πίνακα 2.7.1. παρουσιάζονται μερικές μικρού μεγέθους εφαρμογές φωτοβολταϊκών.

Τομέας	Εφαρμογές
Σήμανση	Φάροι, Δημόσιος φωτισμός, Πινακίδες οδικής σήμανσης, Σιδηροδρομικές διασταυρώσεις και διαβάσεις, σκάφοι αναψυχής
Τηλεπικοινωνίες	Τηλέφωνα ανάγκης σε αυτοκινητόδρομους, Αναμεταδότες, Τηλεπικοινωνίες, Ραδιόφωνα και τηλεοράσεις σε περιοχές χωρίς ηλεκτροδότηση, Ραδιοφωνικοί σταθμοί.
Κτίρια	Ηλεκτροδότηση κατοικιών, Φωτισμός, Αερισμός, Θέρμανση, Κλιματισμός
Αγροτικός τομέας	Αντλίες για άρδευση και ύδρευση, Ψυγεία γάλακτος, Ηλεκτροδότηση σε φράχτες, Επεξεργασία γεωργικών προϊόντων, Συστήματα προστασίας από παγετό δεξαμενών νερού, Αφαλάτωση, Επεξεργασία νερού.
Καταναλωτικά προϊόντα	Φορτιστής μπαταρίας για φακούς, Η/Υ, Αυτοκίνητα, Ρολόγια, Παιχνίδια, Ραδιόφωνα, Ηλεκτρικά αυτοκίνητα

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7.1.: Εφαρμογές φωτοβολταϊκών. Πηγή: ΜΠΑΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

### 2.7.1. Τοποθέτηση φωτοβολταϊκών

Τα φωτοβολταϊκά μπορεί να είναι τοποθετημένα σε :

- σταθερά πλαίσια
- να είναι προσαρμοσμένα σε ένα σύστημα κίνησης, ή
- με κατάλληλο εξοπλισμό (π.χ. πλευρικές ανακλαστικές επιφάνειες) να συγκεντρώνεται ηλιακή ακτινοβολία πάνω στην επιφάνεια τους.

Η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας αυξάνεται όσο πιο κάθετα προς τη διεύθυνση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι τοποθετημένη η επιφάνεια. Συνεπώς, μια επιφάνεια φωτοβολταϊκού που έχει ένα σύστημα κίνησης ώστε να προσανατολίζεται και να παρακολουθεί την κίνηση του ήλιου κατά την διάρκεια της ημέρας, έχει και την μέγιστη δυνατή απόδοση.

#### Συστήματα κίνησης

Η κίνηση των φωτοβολταϊκών επιφανειών μπορεί να γίνεται μέσω συστημάτων παρακολούθησης του ήλιου με :

- ένα άξονα ελευθερίας/κίνησης ή
- δυο άξονες ελευθερίας/κίνησης

Η συγκέντρωση της ηλιακής ακτινοβολίας με καθρέπτες και φακούς σε μια μικρή επιφάνεια, αυξάνει ακόμη περισσότερο την απόδοση του φωτοβολταϊκού. Οι



αποδόσεις πλησιάζουν το 30% και μειώνεται η απαιτούμενη επιφάνεια φωτοβολταϊκών. Τέτοιου είδους αυτοματισμοί και εξοπλισμός, αυξάνουν όμως το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας της μονάδας. Συνηθίζονται μόνο για μεγάλες κεντρικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, εφαρμογές των οποίων έχουν γίνει στις ΗΠΑ.

#### Σταθερή τοποθέτηση

Η πιο απλή εγκατάσταση είναι η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών επιφανειών με μια σταθερή κλίση και προσανατολισμό.

#### Τοποθέτηση στο κέλυφος των κτιρίων

Πρόσφατα, τα φωτοβολταϊκά έχουν αρχίσει να ενσωματώνονται στο κέλυφος κτιρίων. Αντιπροσωπεύει την πλέον οικονομική εφαρμογή φωτοβολταϊκών συνδεδεμένων με το ηλεκτρικό δίκτυο. Τα φωτοβολταϊκά είναι συνήθως της τάξεως 1-50 kW ανά εγκατάσταση.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια τοποθετούνται:

- στην οροφή (σχήμα 2.7.1.) ή χρησιμοποιούνται ως υλικά για φεγγίτες (σχήμα 2.7.2.), υψηλής αντοχής σε αντίξοες καιρικές συνθήκες και με συνήθη απόδοση 17 - 49 V συνεχές ρεύμα)



Φωτοβολταϊκό πλαίσιο σε κεκλιμένη στέγη κατοικίας. Πηγή: Parsons, Dave (NREEL).



Φωτοβολταϊκό πλαίσιο σε στέγη κατοικίας στην Ολλανδία. Πηγή: Photovoltaics in buildings, 1996.



Ολυμπιακό κολυμβητήριο στην Ατλάντα, ΗΠΑ (340 KW, 3070 τετ.μ, φωτοβολταϊκά στοιχεία από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο της Heliosol Inc, Ιούλιος 1996. Πηγή: UCEP, Georgia Tech.



Κατοικία στην Βερν, Ελβετία, μετά από την ανακαίνιση της στέγης (συνολική ισχύς 2,5kW) Πηγή: Atlantis Solar System AG).

Σχήμα 2.7.1.: Παραδείγματα εφαρμογών φωτοβολταϊκών σε στέγες. Πηγή: ΜΠΑΛΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.



α) εξωτερική όψη



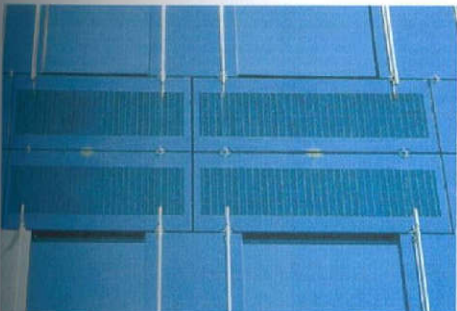
β) εσωτερική όψη

Σχήμα 2.7.2.: Φωτοβολταϊκά σαν φεγγίτες. Πηγή: ΜΠΑΛΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

- στις όψεις των κτιρίων και αποτελούν τμήμα του κελύφους (σχήμα 2.7.3.) ή λειτουργούν ταυτόχρονα και σαν σκίαστρα προσφέροντας ηλιοπροστασία (σχήμα 2.7.4.).



Κτίριο γραφείων στην Biel, Ελβετία. Εγκατεστημένη ισχύς 1KW (Πηγή: Atlantis Solar System AG).



Κτίριο γραφείων, Βερολίνο (Photovoltaics in buildings, 1996). Γενική όψη (δεξιά), λεπτομέρεια των στοιχείων (αριστερά). Συνολικό εμβαδόν  $64\text{m}^2$  από 44 στοιχεία, με συνολική ισχύ 4,2 KW.

Σχήμα 2.7.3.: Παραδείγματα εφαρμογών φωτοβολταϊκών σε όψεις κτιρίων. Πηγή: ΜΠΑΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.





Σχήμα 2.7.4.: Κτίριο γραφείων, Kirchberg, Ελβετία (Photovoltaics in buildings, 1996). Συνολικό εμβαδόν 170m<sup>2</sup>, με συνολική ισχύ 18KW. Τα φωτοβολταϊκά συνεισφέρουν και στην ηλιοπροστασία των ανοιγμάτων. Πηγή: ΜΠΑΛΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

### 2.7.2. Εφαρμογές στην Ελλάδα

Η μεγάλη ηλιοφάνεια στην Ελλάδα ευνοεί την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών, και ιδιαίτερα σε απομονωμένες περιοχές, όπως σε νησιά και ορεινές περιοχές, όπου το υπάρχον δίκτυο της ΔΕΗ είναι ελλιπές, υπάρχουν μικροί και διάσπαρτοι οικισμοί, με μικρά συνήθως φορτία.

#### Εγκαταστάσεις της ΔΕΗ

Την τελευταία δεκαετία, η ΔΕΗ έχει εγκαταστήσει, σε διάφορες νησιωτικές περιοχές της χώρας, φωτοβολταϊκούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα έργα αυτά πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια επιδεικτικών και ερευνητικών προγραμμάτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε συνεργασία με ξένους οίκους παραγωγής και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών.

Μικρές αυτόνομες μονάδες έχουν εγκατασταθεί σε διάφορα νησιά από την ΔΕΗ. Τα διαθέσιμα στοιχεία παρουσιάζονται στον πίνακα 2.7.2. σύμφωνα με στοιχεία της Διεύθυνσης Εναλλακτικών Μορφών Ενέργειας της ΔΕΗ του 1995.

Νομός/νησί	Μονάδες	Νομός/νησί	Μονάδες
Λέσβου/Λήμνου	4	Δωδεκανήσου/Λέβιθα	3
Λέσβου/Αγ. Ευστράτιος	3	Σάμου/Αγ. Μηνάς	1
Μαγνησίας/Περιστέρα	3	Σάμου/Σαμιοπούλα	3
Μαγνησία/Κυρά Παναγιά	3	Δωδεκανήσου/Μάραθος	5
Μαγνησίας/Γιούρα	3	Δωδεκανήσου/Σύρνα	2
Χίου/Πασάς	4	Δωδεκανήσου/Νίμος	3
Κνάδων/Δονούσα	5	Δωδεκανήσου/Αλίμια	1
Κυκλάδων/Κάτω κουφονήσι	8	Δωδεκανήσου/Σαρία	2
Κυκλάδων/Αντικέρι	2	Δωδεκανήσου/Ρω	1
Δωδεκανήσων/Κίναρος	1	Δωδεκανήσου/Στρογγύλη	1
Χίου/Οινούσες	1	Δωδεκανήσου/Σισκλί	1
Μαγνησίας/Αλόνησος	1	Χανίων/Γαύδος	9
Χανίων/Γαύδος	9	Πειραιάς/Αντικύθηρα	1

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.7.2.: Εγκατεστημένες φωτοβολταϊκές μονάδες στα Ελληνικά νησιά. Πηγή: ΜΠΑΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

Συνολικά έχουν εγκατασταθεί 69 αυτόνομες μονάδες ισχύος 750 W η κάθε μια, σε κατοικίες, χωριά, φάρους, και απομακρυσμένα φυλάκια του Ελληνικού στρατού, καθώς επίσης και μερικά φωτοβολταϊκά πάρκα συνολικής ισχύος 170 W.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών της ΔΕΗ πλησιάζει τα 230 kW, ενώ στο σύνολο της χώρας η εγκατεστημένη ισχύς πλησιάζει τα 900 kW.

Αν και οι εφαρμογές των φωτοβολταϊκών είναι περιορισμένες, η συνολική ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι περίπου 57000 kWh (εκ των οποίων 37000 kWh της ΔΕΗ) που αντιστοιχεί σε 5 Τόνους Ισοδυνάμου Πετρελαίου (ΤΙΠ).

#### Εγκαταστάσεις σε κτίρια και φωτισμό

Πιλοτικές εφαρμογές έχουν επίσης γίνει από διάφορους οργανισμούς, φορείς, ακόμη και ιδιώτες.

Οι εφαρμογές ποικίλουν. Αντιπροσωπευτικά παραδείγματα παρουσιάζονται στο σχήμα 2.7.5. και περιλαμβάνουν πιλοτικές εφαρμογές ηλεκτροδότησης φωτιστικών σε δημόσιους χώρους μέχρι μεγαλύτερες εφαρμογές σε κτίρια (π.χ. σχολεία, ξενοδοχεία, κατοικίες, πρατήριο καυσίμων) και ειδικές εφαρμογές (π.χ. ψυκτικό θάλαμο).

#### Ηλεκτροδότηση φάρων

Η υπηρεσία φάρων του πολεμικού ναυτικού έχει προχωρήσει στην εγκατάσταση 60 μονάδων για την ηλεκτροδότηση φάρων. Έχει αντικατασταθεί ένα μεγάλο ποσοστό



φάρων στις διάφορες βραχονησίδες, όπου υπήρχαν φάροι ασετιλίνης, γκαζιού. Τα συστήματα αυτά είναι συνήθως μικρά, 12V, 35-40W και 100W. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ένας αυτόνομος φωτοβολταϊκός-αιολικός φάρος στην Σαπιέντζα και διάφοροι αυτόνομοι φάροι όπως αυτός στο Λιθάρι Σκύρου.

#### Άντληση νερού

Η χρήση φωτοβολταϊκών για την άντληση νερού είναι από τις πλέον επιτυχείς εφαρμογές. Τέτοια συστήματα έχουν εγκατασταθεί και λειτουργήσει με επιτυχία σε διάφορες περιοχές. Υπολογίζεται ότι πάνω από 20000 ηλιακές αντλίες λειτουργούν σε όλο τον κόσμο.

Μια πρότυπη μονάδα άντλησης νερού για άρδευση γεωργικών εκτάσεων έχει γίνει στις Μενέτες Καρπάθου, ισχύος 8,85W που τροφοδοτεί υποβρύχια φυγοκεντρική αντλία δια μέσου ενός τριφασικού μετατροπέα DC/AC ονομαστικής ισχύος 10kVA.

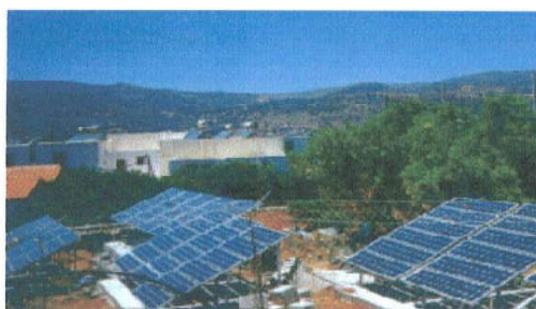
Το σύστημα άντλησης νερού με την βοήθεια φωτοβολταϊκών, είναι αρκετά απλό και μπορεί να καλύψει τις ανάγκες αγροτικών εφαρμογών. Οι αντλίες νερού λειτουργούν με κινητήρα συνεχούς τάσης, απλουστεύοντας έτσι την συνδεσμολογία μεταξύ των φωτοβολταϊκών και της τελικής κατανάλωσης.

#### Αναμεταδότες

Τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται και στις τηλεπικοινωνίες για την ηλεκτροδότηση ραδιοαναμεταδοτών που μεταφέρουν πληροφορίες (δεδομένα και φωνή), χωρητικότητας από 64kbps έως 34Mbps, ή για αναμεταδότες μετεωρολογικών σταθμών για την μετάδοση δεδομένων.



Επαγγελματικός ψυκτικός θάλαμος πολυκαταστήματος



Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα ηλεκτροδοτεί από το 1996 μικρό ξενοδοχειακό συγκρότημα 50 κλινών.

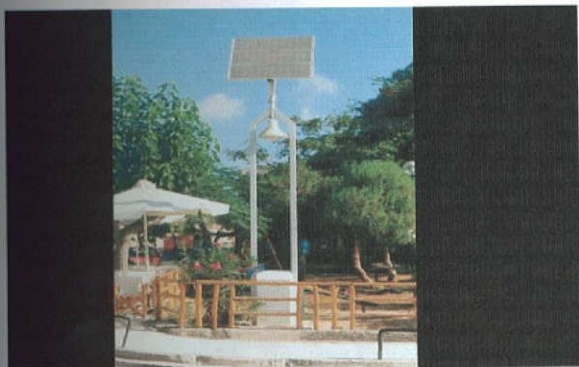




Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα σε κατοικία μόνιμης διαμονής στο Ρέθυμνο Κρήτης.



Εγκατάσταση φωτοβολταϊκού συστήματος στο 5<sup>ο</sup> Γυμνάσιο Νίκαιας. Καλύπτει όλες τις ανάγκες του σχολείου και λειτουργεί παράλληλα με το δίκτυο της ΔΕΗ. Συνολική ισχύς 4,5 KW, 60 πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου (75W το κάθε ένα), 6 ημιτονικούς αντιστροφείς για διασύνδεση με το δίκτυο. Συνολικό κόστος 15.000.000 δρχ.



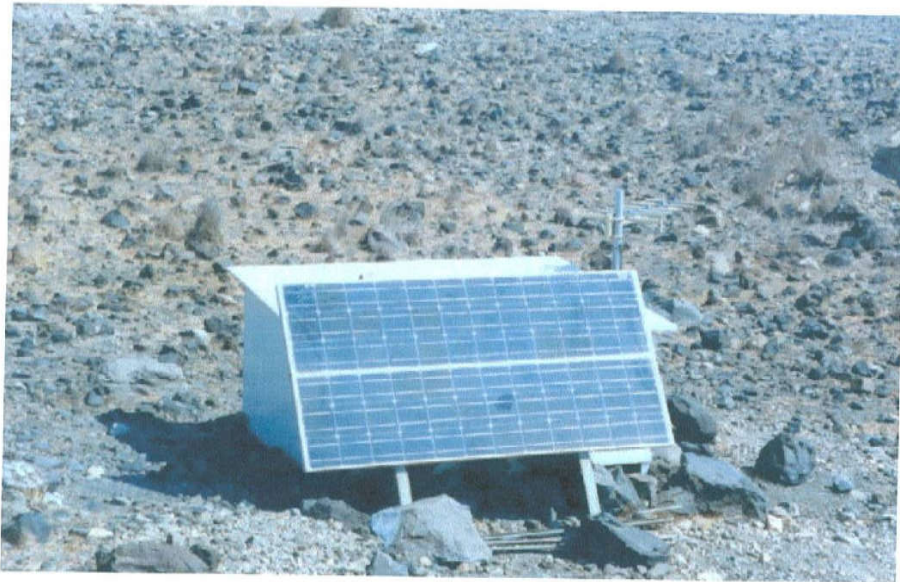
Δημόσιος φωτισμός στα Χανιά Κρήτης. 3 πλαίσια από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο (53W το κάθε ένα), 2 μπαταρίες 12V, 2 λαμπτήρες 9 W.

Σχήμα 2.7.5.: Αντιπροσωπευτικές μικρές εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών στην Ελλάδα. Πηγή: ΜΠΑΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.

Συνήθως χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις που βρίσκονται σε απομονωμένους σταθμούς, όπου το δίκτυο της ΔΕΗ είναι ελλιπές.

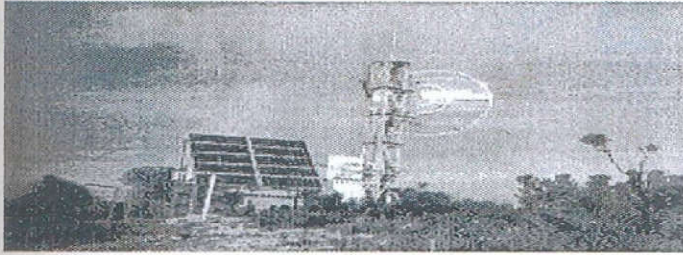
Για παράδειγμα, μερικές αντιπροσωπευτικές εφαρμογές έχουν γίνει στο ηφαίστειο της Σαντορίνης (σχήμα 2.7.6.) για την μετάδοση δεδομένων από τις μετρήσεις σχετικά με την ηφαιστειογενή δραστηριότητα και ραδιοαναμεταδότες του τηλεπικοινωνιακού δικτύου (σχήμα 2.7.7.). Όλες οι τηλεπικοινωνίες του Αγίου Όρους ηλεκτροδοτούνται από φωτοβολταϊκά (20 συνολικά συστήματα).

Ο ΟΤΕ έχει εγκαταστήσει διάφορα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα τηλεπικοινωνιών (π.χ. στο Άγιο Όρος και στο όρος Δίρφη). Τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα του ΟΤΕ συνδέονται μεταξύ τους μέσω ραδιοηλεκτρονικών ζεύξεων οπτικής επαφής με απόσταση ζεύξεως συνήθως μικρότερη από 50km. Κάθε σταθμός αναμετάδοσης τοποθετείται σε ύψωμα που να εξασφαλίζει τις οπτικές επαφές σε στεγασμένο ή υπαίθριο χώρο. Οι ραδιοαναμεταδότες έχουν τροφοδοσία συνήθως των 12VDC ή 48VDC και κατανάλωση από 40W έως 160W. Ο κεντρικός σταθμός απαιτεί τροφοδοσία που κυμαίνεται από 48VDC έως 60VDC ή 220VAC και έχει μέγιστη κατανάλωση 200W.



Σχήμα 2.7.6.: Αναμεταδότης στο ηφαίστειο της Σαντορίνης. Πηγή: ΜΠΑΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.





(α) Άγιο Όρος



(β) Όρος Δίρφη



(γ) Χελμός, Καλάβρυτα

Σχήμα 2.7.7.: Αναμεταδότες τηλεπικοινωνιών (ΣΕΝΕΡΣ ΕΠΕ). Πηγή: ΜΠΑΛΛΑΡΑΣ Κ.Α., 2002.



## 2.8. ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ



Σχήμα 2.8.1.: Τυπική διάταξη φωτοβολταϊκού συστήματος. Πηγή: ΜΑΛΑΜΗΣ Β. ,1999.

Πέραν του φωτοβολταϊκού πεδίου και των συσσωρευτών σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι απαραίτητο να υπάρχουν και ορισμένες άλλες διατάξεις και όργανα ελέγχου τα οποία έχουν σκοπό:

1. Να εξασφαλίζουν την απρόσκοπτη και ασφαλή λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος.
2. Να εξασφαλίζουν την απαραίτητη ποιότητα της παρεχόμενης στους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας.
3. Να μεγιστοποιήσουν την παρεχόμενη ενέργεια.

Τα συστήματα αυτά που υποστηρίζουν και βελτιστοποιούν την απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι ο μετατροπέας dc/dc, ο αντιστροφέας dc/ac, η διάταξη MPP και ο ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτών.

### Διάταξη MPP

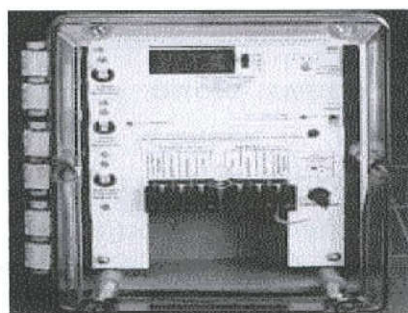
Ηλεκτρονικό κύκλωμα αυτοματισμού που ρυθμίζει τα φωτοβολταϊκά στοιχεία να εργάζονται στο μέγιστο σημείο της απόδοσής τους MPP (MAXIMUM POWER POINT). Συνήθως προσαρμόζεται στον μετατροπέα τάσης, ο οποίος με τη σειρά του επιβάλλει στην έξοδο του φωτοβολταϊκού πεδίου τη βέλτιστη κάθε φορά τάση

εξόδου ανάλογα με την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια ή μπορεί να αποτελεί μέρος του προγραμματισμού του συστήματος ελέγχου. Κατόπιν ο μετατροπέας τάσης μετατρέπει την τάση για να γίνει αυτή που απαιτείται για τη φόρτιση των συσσωρευτών. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε εγκαταστάσεις μεγάλου μεγέθους.

#### Μετατροπέας dc/dc

Πολλές φορές δεν είναι εύκολο να «ταιριάξουμε» την τάση των συσσωρευτών με αυτή του φωτοβολταϊκού πεδίου. Μέσω όμως, ενός μετατροπέα dc/dc (σχήμα 2.8.2.) η τάση φόρτισης των συσσωρευτών ανεξαρτητοποιείται εντελώς από την τάση εξόδου του φωτοβολταϊκού πεδίου. Ο μετατροπέας αυτός παραλαμβάνει τη συνεχή τάση του, η οποία αναγκαστικά είναι ασταθής λόγω μεταβλητότητας των καιρικών συνθηκών, και την μετατρέπει στην κατάλληλη συνεχή τάση για τη φόρτιση των συσσωρευτών. Παράλληλα την σταθεροποιεί, ώστε να εξασφαλίζονται οι βέλτιστες συνθήκες φόρτισης αυτών.

Μια δεύτερη περίπτωση στην οποία οι μετατροπέες dc/dc δίνουν τη λύση είναι όταν οι συσσωρευτές φορτιστούν. Τότε ο μετατροπέας αναλαμβάνει και διοχετεύει την περίσσεια ενέργειας προς φορτία απόρριψης (dump loads), ή προς άλλες χρήσεις όπως άντληση νερού. Έτσι προστατεύονται οι συσσωρευτές από τον κίνδυνο υπερφόρτισης.



Σχήμα 2.8.2.: Μετατροπέας dc/dc. Πηγή: ΑΡΓΥΡΟΥ Α. Κ.Α., 2002.

Ενας μετατροπέας dc/dc είναι μια συσκευή όπως ο αντιστροφείας dc/ac. Αποτελείται δηλαδή από το τμήμα ηλεκτρονικών και το τμήμα ισχύος και τα διακοπτικά του στοιχεία παρέχουν τη δυνατότητα ελέγχου της τάσης. Θα μπορούσε δηλαδή, να παρομοιαστεί με έναν φανταστικό «dc μετασχηματιστή».

### Αντιστροφείς συνεχούς-εναλλασσόμενου ρεύματος (dc to ac)



Σχήμα 2.8.3.: Αντιστροφείς dc/ac. Πηγή: ΑΡΓΥΡΟΥ Α. Κ.Α., 2002.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα σε τάση λίγων δεκάδων Volt DC. Λόγω του ότι οι περισσότερες εφαρμογές απαιτούν εναλλασσόμενο ρεύμα είναι απαραίτητος ο μετατροπέας ισχύος, ο οποίος μετατρέπει τη συνεχή ισχύ σε εναλλασσόμενη με την επιθυμητή τάση και συχνότητα.

Ετσι, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα που τροφοδοτεί εναλλασσόμενου τύπου φορτία ή που πρόκειται να συνδεθεί με το τοπικό δίκτυο πρέπει απαραίτητα να έχει έναν αντιστροφή dc/ac (inverter) (σχήμα 2.8.3.). Είναι συστήματα ηλεκτρονικών ισχύος που αποτελούνται από δύο μέρη:

1. Το μέρος του ηλεκτρονικού ελέγχου , όπου επιτυγχάνεται η δημιουργία των παλμών έναυσης των διακοπτικών στοιχείων.
2. Το μέρος της ισχύος, το οποίο είναι η γέφυρα των διακοπτικών στοιχείων (θυρίστορ κλπ).

Η είσοδος είναι συνεχής τάση, η οποία εφαρμόζεται στα άκρα της πλήρως ελεγχόμενης (συνήθως τριφασικής) γέφυρας 6, 12 ή 24 παλμών. Η γέφυρα (εάν πρόκειται για 6 παλμών) αποτελείται από έξι διακοπτικά στοιχεία, τα οποία ανά δύο δημιουργούν από μία φάση. Το τμήμα παραγωγής παλμών έναυσης καθοδηγεί την συνεχή τάση μέσα από τα διακοπτικά στοιχεία με εναύσεις και σβέσεις αυτών σε τέτοιο χρονισμό ώστε να παράγεται η επιθυμητή εναλλασσόμενη τάση των 50Hz – 220 V.

Υπάρχουν δύο τύποι αντιστροφών dc/ac:

1. Οι self-commutated. Είναι αντιστροφείς οι οποίοι από μόνοι τους παράγουν τη συχνότητα των 50Hz, αφού δεν είναι διασυνδεδεμένοι με το δίκτυο. Είναι



περισσότερο πολύπλοκοι, αλλά είναι φανερό ότι προσφέρουν την αυτοδυναμία που απαιτούν οι ανάλογες εφαρμογές των αυτοδύναμων φωτοβολταϊκών συστημάτων.

2. Οι line-commutated. Είναι αντιστροφείς που συγχρονίζονται με το δίκτυο και έτσι μπορούν απρόσκοπτα και με ασφάλεια να ρέει η φωτοβολταϊκή ενέργεια στο δίκτυο. Αυτοί χρησιμοποιούνται κυρίως σε φωτοβολταϊκά συστήματα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο, που όπως ειπώθηκε σκοπό έχουν να συνεισφέρουν ενεργειακά σ'αυτό.

Σημειώνεται ότι ο συντελεστής απόδοσης των αντιστροφέων είναι συνήθως 90% - 95%. Αυτό οφείλεται στις απώλειες λόγω των διακοπτικών στοιχείων.

#### Ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτών

Ηλεκτρονικός αυτοματισμός που φροντίζει για την ορθή φόρτιση και εκφόρτιση των συσσωρευτών. Αυτοματισμός απαραίτητος για τη μακροζωία των συσσωρευτών διότι προστατεύει από υπερφόρτιση ή από βαθιά εκφόρτιση τους συσσωρευτές.

#### Συσσωρευτής

Είναι δυνατόν κατά την περίοδο της ημέρας, όπου η λειτουργία του φωτοβολταϊκού πεδίου είναι σε υψηλά επίπεδα να προκύπτει περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή οδηγείται με κατάλληλες διατάξεις για τη φόρτιση των συσσωρευτών (σχήμα 2.8.4.). Εάν δεν προκύπτει περίσσεια μπορεί να υπάρχει και ένα ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος diesel που να αναλαμβάνει να τις φορτίζει όταν αυτές εκφορτίζονται. Η κύρια διάταξη που ελέγχει για υπερφόρτιση ή πλήρη εκφόρτιση ή από ποιο μέσο θα φορτιστούν οι συσσωρευτές είναι ο ρυθμιστής φόρτισης.



Σχήμα 2.8.4.: Συσσωρευτές. Πηγή: ΑΡΓΥΡΟΥ Α. Κ.Α., 2002.

Εν συνεχεία, η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί να αποδοθεί στο σύστημα όταν ζητηθεί. Κυρίως αποδίδεται όταν η φωτοβολταϊκή παραγωγή μειώνεται π.χ. σε περιόδους παρατεταμένης συννεφιάς ή όταν μηδενίζεται π.χ. κατά τη διάρκεια της νύχτας. Επίσης, ενέργεια από τους συσσωρευτές μπορεί να ρεύσει προς το σύστημα όταν παρατηρηθούν στιγμιαίες μεταβολές της απόδοσης του φωτοβολταϊκού συστήματος π.χ. όταν περάσει ένα και μόνο «σκούρο» σύννεφο, οπότε και παρατηρούνται μεταβολές συχνότητας και τάσης και το σύστημα μπορεί να πέσει σε αστάθεια. Η διάταξη που ελέγχει πόση ενέργεια και κυρίως πότε θα περάσει από τους συσσωρευτές προς το σύστημα είναι τμήμα του κεντρικού συστήματος ελέγχου της μονάδας.

#### Κύριοι τύποι συσσωρευτών

Οι συσσωρευτές παρουσιάζονται στο εμπόριο σε διαφορετικά μεγέθη, βάρη, χημικά συστατικά και σχήματα. Δύο είναι οι τύποι συσσωρευτών που χρησιμοποιούνται σε φωτοβολταϊκά συστήματα:

1. Οι τύποι οξειδίου μολύβδου (lead acid) που διακρίνονται σε ξηρούς ηλεκτρολυτικούς (μικρής χωρητικότητας) και χαμηλού αντιμονίου που έχουν υψηλή χωρητικότητα, μεγάλο χρόνο ζωής και πολλούς κύκλους φόρτισης εκφόρτισης. Οι τελευταίες είναι ιδανικές για φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις.
2. Οι τύποι νικελίου-καδμίου που με τη σειρά τους διακρίνονται σε ξηρούς και μη ξηρούς. Οι τελευταίοι είναι μεγάλου χρόνου ζωής (20-25 χρόνια), αντέχουν σε πλήρη εκφόρτιση χωρίς να καταστρέφονται και έχουν πολλούς κύκλους φόρτισης εκφόρτισης.

Η χρήση συσσωρευτών στις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις εγγυάται σταθερότερη τάση εξόδου. Χαρακτηριστικό γνώρισμα για την επιλογή ενός συσσωρευτή είναι ο κύκλος αυτού. Μία φόρτιση και μία εκφόρτιση ενός συσσωρευτή καλείται κύκλος. Διακρίνουμε βαθύ και αβαθή κύκλο. Βαθύς είναι ο κύκλος όταν ο συσσωρευτής εκφορτίζεται μέχρι το 80% της διαθέσιμης χωρητικότητας αυτού. Τέτοιου τύπου (deep cycle) προτιμούνται στα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Αντίθετα, στον αβαθή κύκλο το ποσοστό αυτό περιορίζεται στο 20-30%. Συσσωρευτές αβαθή κύκλου είναι αυτοί του αυτοκινήτου, οι οποίοι σχεδιάζονται να



δίνουν ένα έντονο αρχικό ξεκίνημα στον κινητήρα. Τέτοιου τύπου μπαταρία σε φωτοβολταϊκά σύστημα θα είχε πάρα πολύ μικρό χρόνο ζωής.

Για έναν σωστό σχεδιασμό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, οι συσσωρευτές πρέπει να είναι συνδεδεμένοι κατά τέτοιο τρόπο ώστε η τάση που θα αποδίδουν να είναι παρεμφερής με την τάση εξόδου του φωτοβολταϊκού πεδίου. Επίσης δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι ο συντελεστής απόδοσης αυτών κυμαίνεται από 80% – 90%.

#### Ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος

Συνδυασμός κινητήρα diesel και ηλεκτρογεννήτριας που προσφέρει το απαιτούμενο ηλεκτρικό ρεύμα, όταν για κάποια αιτία δεν μπορούν να εργαστούν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Διάταξη κατάλληλη για τις περιπτώσεις εκείνες που δεν πρέπει για κανένα λόγο να σταματήσει η παροχή του ηλεκτρικού ρεύματος.

#### Διάταξη ανόρθωσης

Μετατροπέας εναλλασσόμενου ρεύματος (ac) που προέρχεται από ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος ή από το δίκτυο της πόλης, σε συνεχές (dc) κατάλληλο για τη φόρτιση των συσσωρευτών.

#### Επιλογέας κατανάλωσης

Σε πολλές εγκαταστάσεις που τροφοδοτούνται με ηλεκτρική ενέργεια προερχόμενη από φωτοβολταϊκά στοιχεία, είναι απαραίτητο οι καταναλώσεις να ιεραρχούνται και να αποκτούν μια προτεραιότητα. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα, κάποιες καταναλώσεις να τεθούν εκτός δικτύου όταν υπάρχει υπερβολική ζήτηση ενέργειας και το σύστημα αδυνατεί να ανταποκριθεί. Έτσι για παράδειγμα σε αγροτικό ιατρείο θα τεθεί εκτός λειτουργίας η τηλεόραση αλλά ο καρδιογράφος θα συνεχίσει να εργάζεται κανονικά.

#### Πίνακας οργάνων και ελέγχου

Στον πίνακα αυτό είναι συγκεντρωμένα όλα τα όργανα μετρήσεων και ελέγχου που είναι απαραίτητα για την παρακολούθηση και τη σωστή λειτουργία του συστήματος. Εδώ συναντάμε ηλεκτρικές ασφάλειες, διακόπτες, βολτόμετρα, αμπερόμετρα μετρητές κατανάλωσης και διάφορα άλλα απαραίτητα όργανα.



### 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

#### 3.1. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Για το σχεδιασμό ενός ενεργειακού ηλιακού συστήματος, απαιτείται να γνωρίζουμε σε κάθε περίπτωση κάποια βασικά στοιχεία. Αυτά είναι:

##### 1. Μετεωρολογικά στοιχεία περιοχής

Ηλιοφάνεια, θερμοκρασία ημέρας, ένταση ηλιακής ακτινοβολίας.

##### 2. Καθορισμός του χρόνου λειτουργίας του συστήματος

Εδώ πρέπει να ορίσουμε το χρόνο λειτουργίας του συστήματος. Έτσι μπορεί να έχουμε συστήματα που λειτουργούν εποχιακά και συστήματα που λειτουργούν όλο το έτος.

Είναι αυτονόητο ότι ένα σύστημα που έχει υπολογισθεί να λειτουργεί τους θερινούς μήνες, κατά τη διάρκεια του χειμώνα θα δυσλειτουργεί.

##### 3. Προσδιορισμός των ηλεκτρικών καταναλωτών

Είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν ο αριθμός και τα χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών καταναλωτών που καλείται να εξυπηρετήσει το σύστημα.

##### 4. Συγκέντρωση τεχνικών στοιχείων

Μετά από διερεύνηση που γίνεται στην αγορά, συγκεντρώνονται έντυπα με τα τεχνικά στοιχεία, του εξοπλισμού που είναι απαραίτητος για την υλοποίηση του συστήματος.

Πρέπει να συγκεντρωθούν στοιχεία για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, συσσωρευτές, αντιστροφείς και λοιπούς αυτοματισμούς, καθώς επίσης και για τα κόστη τους.

Πληροφορίες απαραίτητες για την τελική επιλογή.

### 3.2. ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΕ ΚΕΚΛΙΜΕΝΟ ΕΠΙΠΕΔΟ, ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ.

Πέρα από τα στοιχεία που υπάρχουν σε πίνακες για την ηλιακή ακτινοβολία και αναφέρονται σε οριζόντιο επίπεδο, είναι απαραίτητο να υπολογισθεί η ακτινοβολία και σε κάποιο επίπεδο με κλίση.

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι γι' αυτόν τον υπολογισμό, η επικρατέστερη είναι η μέθοδος Liu και Jordan (Πηγή: ΜΑΛΑΜΗΣ, 1999) και βασίζεται σε δεδομένα για την ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο.

Η μέθοδος περιγράφεται από τις εξισώσεις:

$$H_T = R \cdot H \quad (1)$$

$$R = [(1 - (H_d/H)) \cdot R_b + ((H_d/H) \cdot (1 + \cos(\zeta))/2) + (\rho \cdot (1 - \cos(\zeta))/2)] \quad (2)$$

$$(H_d/H) = 1,3903 - 4,0273 \cdot K_T + 5,5215 \cdot K_T^2 - 3,108 \cdot K_T^3 \quad (3)$$

$$K_T = H/H_{0m} \quad (4)$$

$$R_b = C_T/C_Z \quad (5)$$

$$C_T = \cos(\varphi - \zeta) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_{\zeta \min}) + (\pi \cdot \omega_{\zeta \min} / 180) \cdot \sin(\varphi - \zeta) \cdot \sin(\delta) \quad (6)$$

$$C_Z = \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_{\zeta}) + (\pi \cdot \omega_{\zeta} / 180) \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) \quad (7)$$

$$\omega_{\zeta \min} = \min[\omega_{\zeta}, \cos^{-1}[-\tan(\varphi - \zeta) \cdot \tan(\delta)]] \quad (8)$$

$H_T$ : Η μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία στο επίπεδο κλίσης ( $\zeta$ ) στην επιφάνεια της γης.  
(kwh/m<sup>2</sup>\*μήνα)

$H$ : Η ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο στην επιφάνεια της γης.  
(kwh/m<sup>2</sup>\*μήνα) (πίνακας 2.2)

$H_d$ : Η διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο για κάθε μήνα. (Kwh/m<sup>2</sup>\*μήνα)

$H_{om}$ : Η μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο εκτός ατμόσφαιρας. (kwh/m<sup>2</sup>\*μήνα)

$\rho$ : Συντελεστής ανάκλασης του εδάφους προς το κεκλιμένο επίπεδο. Η τιμή του είναι 0,2 για κανονικό έδαφος και 0,7 για χιόνι. (συνήθως  $\rho=0,2$ )

$K_T$ : Ο συντελεστής αυτός λέγεται και δείκτης αιθριότητας.

$\omega_{\zeta min}$ : Η γωνία δύσης του ηλίου ως προς το κεκλιμένο επίπεδο.

Η ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο κατά τη διάρκεια μιας μέρας στα όρια της ατμόσφαιρας δίνεται από τον τύπο:

$$H_o = 24 * 3600 / \pi * J_{sc} * [(1 + 0,033 * \cos(360 * v / 365))] * [\cos(\varphi) * \cos(\delta) * \sin(\omega_{\zeta}) + (\pi * \omega_{\zeta} / 180) * \sin(\varphi) * \sin(\delta)] \quad (9)$$

$H_o$ : ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο επίπεδο (kwh/day\*m<sup>2</sup>)

$J_{sc}$ : μέση τιμή της ηλιακής σταθεράς, 1,353(kw/m<sup>2</sup>) , η οποία ισοδυναμεί με τη ποσότητα ηλιακής ενέργειας που δέχεται επιφάνεια 1m<sup>2</sup>, εκτός των ορίων της ατμόσφαιρας, προσανατολισμένη κάθετα στις ακτίνες του ηλίου, σε χρόνο 1 second.

$v$ : ο αύξων αριθμός της 15<sup>ης</sup> ημέρας του κάθε μήνα.

$\delta$ : απόκλιση του ηλίου, που είναι η γωνιακή θέση του ηλίου κατά την ηλιακή μεσημβρία σε σχέση με το επίπεδο του ισημερινού. Οι τιμές που παίρνει είναι:  $-23,45^\circ < \delta < 23,45^\circ$ .

Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\delta = 23,45 * \sin[360 * (284 + v) / 365] \quad (10)$$



$\omega_s$ : ωριαία γωνία δύσης του ηλίου σε οριζόντιο επίπεδο η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$\omega_s = \cos^{-1}[-\tan(\varphi) \cdot \tan(\delta)] \quad (11)$$

Η μηνιαία ενέργεια που προσπίπτει σε οριζόντιο επίπεδο δίνεται από τον τύπο:

$$H_{om} = H_o \cdot d_{om} \text{ (KJ/m}^2\text{day)} \quad (12)$$

$d_{om}$ : οι μέρες του κάθε μήνα

### 3.3. ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ ΕΠΙΠΕΔΟΥ

Η ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται μια επιφάνεια με κλίση εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος της, τη γωνία κλίσης της και τη χρονική περίοδο.

Αυτό σημαίνει ότι για κάποιο χρονικό διάστημα που σε μια επιφάνεια προσπίπτει ηλιακή ακτινοβολία, θα πρέπει να υπάρχει μια γωνία κλίσης ( $\zeta_o$ ) της επιφάνειας, τέτοια ώστε η ολική ακτινοβολία να είναι μέγιστη.

Η γωνία  $\zeta_o$  είναι πολύ σημαντική για τα ηλιακά συστήματα, διότι η συλλεκτική τους επιφάνεια τοποθετείται μ'αυτήν την κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο, για να δέχονται το μέγιστο της ηλιακής ακτινοβολίας και συνεπώς να έχουν τη μέγιστη απόδοση.

Από τον πίνακα 2.5 βρίσκεται η βέλτιστη γωνία (σε μοίρες) κλίσης επιφάνειας, για μέγιστη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας, για κάθε μήνα και όλο το έτος, για διάφορες περιοχές της χώρας.

Αν είναι απαραίτητο να υπολογισθεί η βέλτιστη γωνία, για κάποιους μήνες του έτους, χρησιμοποιούμε τη σχέση:

$$\zeta_{\text{opt}} = \sum(\zeta_o) / N \quad (13)$$

$\sum(\zeta_o)$ : Το άθροισμα των βέλτιστων γωνιών κλίσης της επιφάνειας για τους μήνες που μας ενδιαφέρει.

N: Ο αριθμός των μηνών.

### 3.4. ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Ένα ενεργειακό ηλιακό σύστημα πέραν των φωτοβολταϊκών στοιχείων που περιέχει, απαρτίζεται και από ένα πλήθος άλλων συσκευών και διατάξεων, που επιδρούν επάνω του και καθορίζουν το τελικό αποτέλεσμα. Ο συνολικός βαθμός απόδοσής του, εξαρτάται από τους επιμέρους βαθμούς απόδοσης των διαφόρων διατάξεων που περιέχει.

Αν  $n_1, n_2, n_3, n_4, \dots, n_x$  είναι οι επιμέρους βαθμοί απόδοσης των διατάξεων τότε ο συνολικός βαθμός του επιμέρους εξοπλισμού που περιέχει το ενεργειακό σύστημα (πλην των φωτοβολταϊκών πλαισίων) είναι:

$$n_o = n_1 * n_2 * n_3 * n_4 * \dots * n_x \quad (14)$$

Από τη σχέση 14 φαίνεται πόσο καθοριστικό ρόλο παίζει στο τελικό αποτέλεσμα η απόδοση του κάθε συστήματος. Γι'αυτό πρέπει πάντα να επιλέγονται προϊόντα υψηλής ποιότητας που καλύπτουν τις αντίστοιχες διεθνείς προδιαγραφές και τα οποία να συνοδεύονται με έντυπο οδηγιών που απαραίτητα αναγράφονται τα τεχνικά τους στοιχεία.

Στον πίνακα 3.4.1. δίνονται ενδεικτικές τιμές του βαθμού απόδοσης διαφόρων συσκευών.

ΣΥΣΚΕΥΗ-ΔΙΑΤΑΞΗ	ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ
ΔΙΑΤΑΞΗ MPP	0,9
ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ(DC TO DC)	0,9
ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ	0,85
ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ-ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ	0,92
ΕΠΙΛΟΓΕΑΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	0,98
ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΑΛΩΔΙΩΣΕΙΣ	0,97
ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	0,9

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4.1.: Βαθμοί απόδοσης συσκευών. Πηγή: Μαλαμής, 1999.

Ο συνολικός βαθμός απόδοσης του ενεργειακού συστήματος καθορίζεται από το συνδυασμό των φωτοβολταϊκών στοιχείων και του εξοπλισμού του. Δίνεται από τη σχέση:

$$\eta_s = \eta \cdot \eta_o \quad (15)$$

$\eta$ : ο βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου ο οποίος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\eta = P_m / E \cdot F_{\pi} \quad (16)$$

$$P_m = V_m \cdot I_m \quad (17)$$

$P_m$ : μέγιστη ισχύς φωτοβολταϊκού πλαισίου (W)

$V_m$ : τάση μέγιστης ισχύος φωτοβολταϊκού πλαισίου (V)

$I_m$ : ένταση μέγιστης ισχύος φωτοβολταϊκού πλαισίου (A)

$E$ : η μέγιστη ισχύς που παρέχεται από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία όταν αυτά εργάζονται στο σημείο MPP (Maximum Power Point) και η οποία είναι  $1000 \text{ W/m}^2$ .

$$F_{\pi} = L \cdot h \quad (18)$$

$F_{\pi}$ : επιφάνεια πλαισίου ( $\text{m}^2$ )

$L$ : μήκος επιφάνειας πλαισίου (m)

$h$ : πλάτος επιφάνειας πλαισίου (m)

Ο βαθμός απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων (ή πλαισίων) εξαρτάται από τη θερμοκρασία τους και από τη ρύπανση του περιβάλλοντος στο οποίο είναι εγκαταστημένα. Λαμβάνοντας υπόψη αυτά, η σχέση (16) γίνεται:

$$\eta = P_{\phi} / (E \cdot F \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\rho}) \quad (19)$$

$P_{\phi}$ : η ισχύς που αποδίδει το φωτοβολταϊκό στοιχείο στο φορτίο (watt)

$\sigma_{\theta}$ : αδιάστατος συντελεστής που έχει σχέση με τη θερμοκρασία λειτουργίας του πλαισίου, δίνεται από τον κατασκευαστή.



Στην περίπτωση που δεν είναι γνωστός ο συντελεστής  $\sigma_{\theta}$ , μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση:

$$\sigma_{\theta} = 1 - [(\theta_{\alpha} + 10) / 200] \quad (20)$$

$\theta_{\alpha}$ : μέση θερμοκρασία αέρα ( $^{\circ}\text{C}$ ) στη διάρκεια της ημέρας. (στοιχεία δίνονται στον πίνακα 2.6)

$\sigma_p$ : αδιάστατος συντελεστής που σχετίζεται με τη ρύπανση του περιβάλλοντος στο οποίο είναι τοποθετημένα τα φωτοβολταϊκά πλαίσια.

$\sigma_p = 1$  για περιβάλλον χωρίς ρύπανση

$\sigma_p = 0,9$  για περιβάλλον με μέτρια επίπεδα ρύπανσης

$\sigma_p = 0,8$  για περιβάλλον με υψηλά επίπεδα ρύπανσης

$$N = F / F_{\pi} \quad (21)$$

N: Αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων που περιέχει ο ενεργειακός σταθμός.

### 3.5. ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΑΥΤΟΔΥΝΑΜΙΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ( $S_p$ )

Με τον όρο αυτοδυναμία εννοούμε το χρονικό διάστημα (πόσες ημέρες) για το οποίο το σύστημά μας είναι ικανό να παρέχει ηλεκτρική ενέργεια σε περίπτωση νέφωσης.

Αυτή η παράμετρος ορίζεται ανάλογα με το σκοπό που εξυπηρετεί το σύστημα, τα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής εγκατάστασης, τις επιπτώσεις από τη διακοπή στην παροχή ενέργειας καθώς επίσης και τη δυνατότητα πρόσβασης που έχουμε σε άλλη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας αν παραστεί ανάγκη.

Η επιλογή που θα κάνουμε έχει επιπτώσεις στο σύστημα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας (χωρητικότητα συσσωρευτών).

Λέγοντας για παράδειγμα ότι το σύστημά μας έχει αυτοδυναμία 6 ημερών ( $S_p = 6$ ),

εννοούμε ότι έχει τη δυνατότητα να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες 6 εικοσιτετραώρων χωρίς να υπάρχει ηλιοφάνεια, με ενέργεια που προέρχεται από το σύστημα αποθήκευσης.

Ο συντελεστής  $S_p$  έχει τιμή μεγαλύτερη ή ίση της μονάδας και αν δεν υπάρχει λόγος να οριστεί διαφορετικά, προκύπτει από τη σχέση:

$$S_p = (5/17) * [(N_s * d_{om} - N_{so}) / N_s] + (12/17) \quad (22)$$

$$N_s = 2\omega_c / 15 \quad (23)$$

$N_s$ : ο ημερήσιος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας για τελείως ανέφελο ουρανό της 15<sup>ης</sup> ημέρας του μήνα.

$N_{so}$ : ο πραγματικός αριθμός ωρών ηλιοφάνειας του μήνα. (πίνακας 2.3)

$d_{om}$ : οι ημέρες που έχει ο αντίστοιχος μήνας.

### 3.6. ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗΣ

Θεωρητικά η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στον συσσωρευτή δίνεται από το γινόμενο της τάσης επί τη χωρητικότητά του.

Στην πράξη όμως δίνεται από τον τύπο:

$$Q = E_{\sigma} / V_{\sigma} * \beta * n_{\sigma} \quad (24)$$

$\beta$ : ορίζει το ποσοστό της αποθηκευμένης ενέργειας στο συσσωρευτή, που μπορούμε να ανακτήσουμε. Αποκαλείται δε και βάθος κάθε εκφόρτισης. Η τιμή του κυμαίνεται από 0,1 για τους φθηνούς συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται στο αυτοκίνητο και 0,8 για ειδικούς συσσωρευτές κλειστού τύπου. Για εγκαταστάσεις με λίγες απαιτήσεις, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κοινούς συσσωρευτές αυτοκινήτου.

$V_{\sigma}$ : Η ονομαστική τάση του συσσωρευτή. Μετράται σε V.

$n_{\sigma}$ : Ο συντελεστής απόδοσης του συσσωρευτή. Κυμαίνεται μεταξύ 0,8 και 0,9.

$E_{\sigma}$ : Η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη (ή που θέλουμε να αποθηκεύσουμε) στο συσσωρευτή και η οποία θα καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες κατά τις ημέρες αυτοδυναμίας ( $S_p$ ). Μετράται σε Wh.

$Q$ : Χωρητικότητα συσσωρευτή (Ah).

Η μέση ισχύς ( $P_{\phi}$ ) που καλείται να παράσχει ο συσσωρευτής για να καλύψει απαιτήσεις φορτίου  $S_p$  ημερών, συνδέεται με τη χωρητικότητά του σύμφωνα με τη σχέση:

$$P_{\phi} = Q \cdot n_{\sigma} \cdot V_{\sigma} / 24 \cdot S_p. \quad (25)$$

### 3.7. ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

Ο υπολογισμός του αριθμού των φωτοβολταϊκών πλαισίων που απαιτεί ο ενεργειακός σταθμός, είναι ο τελευταίος κρίκος μιας αλυσίδας από σειρά υπολογισμών και επιλογών που πρέπει να γίνουν.

Πρέπει προηγουμένως να έχουν προηγηθεί:

- Ο καθορισμός των ενεργειακών αναγκών που καλείται να καλύψει ο ενεργειακός σταθμός.
- Η χρονική περίοδος της λειτουργίας του.
- Οι ημέρες αυτοδυναμίας του συστήματος.
- Να έχει καθοριστεί η γωνία κλίσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων.
- Να έχουν υπολογισθεί τα μετεωρολογικά στοιχεία που απαιτούνται.
- Να έχει γίνει επιλογή του επιμέρους εξοπλισμού που απαιτείται και να έχει προσδιορισθεί ο συνολικός βαθμός απόδοσής του ( $\eta_{\sigma}$ ).
- Να έχει γίνει η επιλογή του τύπου των φωτοβολταϊκών πλαισίων που θα χρησιμοποιήσουμε και να γνωρίζουμε τα τεχνικά τους στοιχεία. Να υπολογισθεί ο βαθμός απόδοσής τους αν αυτός δε δίνεται.

Η συνολική επιφάνεια που πρέπει να έχουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, δίνεται από τη σχέση:



$$F = Q_{\phi} / H_T \cdot n_c \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\rho} \quad (26)$$

- F: Η συνολική επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων ( $m^2$ )  
 $Q_{\phi}$ : Οι μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις από το φωτοβολταϊκό σταθμό ( $kwh/m_o$ )  
 $H_T$ : Η ολική μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο με κλίση ( $\zeta$ ), ( $kwh/m^2 m_o$ ). Δίνεται από τη σχέση (1).  
 $n_c$ : Ο συνολικός βαθμός απόδοσης του ενεργειακού συστήματος.

Για να βάλλουμε μια τάξη στους υπολογισμούς μας και να διευκολυνθούμε, κατασκευάζουμε τον παρακάτω πίνακα.

A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I	K	Λ
ΜΗΝΕ Σ	$\zeta$ ( $^{\circ}$ )	$H_T$ $kwh/m^2$	$\theta_{\alpha}$ ( $^{\circ}C$ )	$\sigma_{\theta}$	$\sigma_{\rho}$	$Q_{\phi}$ $kwh$	$H_T \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\rho} \cdot n_c$ $Kwh/m^2$	$Q_{\phi} / H_T \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\rho} \cdot n_c$ ( $m^2$ )	$S_p$ ημέρες	$Q_{\phi} \cdot S_p / 30$ ( $kwh$ )
ΙΑΝ										
ΦΕΒ										
ΜΑΡ										
ΑΠΡ										
ΜΙΑ										
ΙΟΥΝ										
ΙΟΥΛ										
ΑΥΓ										
ΣΕΠ										
ΟΚΤ										
ΝΟΕ										
ΔΕΚ										

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.7.1.: Συνολικός πίνακας. Πηγή: Μαλαμής, 1999.

Επεξήγηση-Συμπλήρωση του πίνακα

**Στήλη (Α) του πίνακα:**

Αναγράφονται οι μήνες κατά τους οποίους θα λειτουργεί ο ενεργειακός σταθμός. Αν λειτουργεί όλο το έτος αναγράφονται και οι δώδεκα.

**Στήλη (Β) του πίνακα:**

Αναγράφεται η γωνία κλίσης ( $\zeta$ ) σε μοίρες των φωτοβολταϊκών πλαισίων για κάθε μήνα.

**Στήλη (Γ) του πίνακα:**

Αναγράφεται η ολική μηνιαία ηλιακή ακτινοβολία, που προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο με κλίση ( $\zeta$ ), ( $kwh/m^2 \cdot \mu\eta\nu\alpha$ ). Υπολογίζεται από τη σχέση (1).

**Στήλη (Δ) του πίνακα:**

Αναγράφεται η μέση θερμοκρασία του αέρα ( $\theta_a$  °C) κατά τη διάρκεια της ημέρας. Στοιχεία από τον πίνακα 2.6.

**Στήλη (Ε) του πίνακα:**

Αναγράφεται ο συντελεστής  $s_\theta$  που δίνεται από τη σχέση (20).

**Στήλη (Ζ) του πίνακα:**

Αναγράφεται ο συντελεστής  $s_p$  που σχετίζεται με τη ρύπανση του περιβάλλοντος στο οποίο θα είναι τοποθετημένα τα φωτοβολταϊκά πλαίσια.

**Στήλη (Η) του πίνακα:**

Αναγράφονται οι συνολικές μηνιαίες ενεργειακές ανάγκες του συστήματος.

**Στήλη (Θ) του πίνακα:**

Αναγράφεται το γινόμενο των στηλών (Γ),(Ε),(Ζ) και του συνολικού βαθμού απόδοσης ( $\eta_c$ ) του ενεργειακού σταθμού. Είναι η συνολικά διαθέσιμη προς εκμετάλλευση ενέργεια που διαθέτει το σύστημα ανά μονάδα επιφάνειας, αφού έχουν ληφθεί υπ'όψη και οι απώλειες.

**Στήλη (Ι) του πίνακα:**

Αναγράφεται το πηλίκο της διαίρεσης της στήλης (Η) δια της στήλης (Θ). Είναι το πηλίκο των ενεργειακών αναγκών προς τη συνολικά διαθέσιμη ενέργεια ανά  $m^2$ . Το αποτέλεσμα είναι η απαιτούμενη συνολική επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων που καλύπτουν τις ενεργειακές απαιτήσεις του συγκεκριμένου μήνα.

**Στήλη (Κ) του πίνακα:**

Αναγράφονται οι απαιτούμενες ημέρες αυτοδυναμίας, για κάθε μήνα, που θέλουμε να έχει ο ενεργειακός σταθμός. Αν αυτές δεν ορίζονται διαφορετικά, τις υπολογίζουμε με τη βοήθεια της σχέσης 23.

**Στήλη (Λ) του πίνακα:**

Αναγράφεται το γινόμενο των στηλών (Η) επί (Κ) διαιρεμένο με τον αριθμό 30. Το αποτέλεσμα (kwh) είναι οι απαιτούμενες ενεργειακές ανάγκες που καλούνται να καλύψουν οι συσσωρευτές στο διάστημα των ημερών αυτοδυναμίας.

Αφού συμπληρώσουμε τον πίνακα, κοιτάμε τα αποτελέσματα της στήλης (Ι) και εκλέγουμε αυτό με τη μεγαλύτερη τιμή. Είναι η μέγιστη συνολική επιφάνεια (σε  $m^2$ ) των φωτοβολταϊκών πλαισίων που απαιτείται για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες της χρονικής περιόδου για την οποία έχει σχεδιαστεί.

Γνωρίζοντας την επιφάνεια ( $F_{\pi}$ ) ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου και με τη βοήθεια της σχέσης 21, υπολογίζουμε τον απαιτούμενο αριθμό πλαισίων ( $N$ ).

Ομοίως, από τη στήλη ( $\Lambda$ ) εκλέγουμε τη μεγαλύτερη τιμή. Είναι οι ενεργειακές απαιτήσεις  $E_{\sigma}$  (σε kWh) που καλείται να καλύψει η μονάδα των συσσωρευτών.

Στο σημείο αυτό που έχει υπολογιστεί η συνολική επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων, μπορούμε να υπολογίσουμε τη συνολική μηνιαία ενέργεια που έχουν τη δυνατότητα να συλλέξουν. Για τον υπολογισμό, χρησιμοποιούμε τη σχέση:

$$Q_{\phi} = F \cdot H_T \cdot n_c \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\rho} \quad \text{ή} \quad Q_{\phi} = N \cdot F_{\pi} \cdot H_T \cdot n_c \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_{\rho} \quad (27)$$

Στον πίνακα 3.7.2. φαίνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών. Στη στήλη (B) του πίνακα φαίνονται οι μηνιαίες ενεργειακές ανάγκες του ενεργειακού συστήματος, ενώ στη στήλη (Γ) καταγράφεται η ενέργεια που έχει τη δυνατότητα να συλλέξει το σύστημα. Στη στήλη (Δ) φαίνεται η ποσοστιαία διαφορά αυτών των δύο μεγεθών.

A	B	Γ	Δ
ΜΗΝΕΣ	Ενεργειακές ανάγκες σε Kwh/m <sub>0</sub>	Συλλεγόμενη μηνιαία ενέργεια σε Kwh/m <sub>0</sub>	ποσοστό επί τις % επιπλέον συλλεγόμενη ενέργεια
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ			
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ			
ΜΑΡΤΙΟΣ			
ΑΠΡΙΛΙΟΣ			
ΜΑΙΟΣ			
ΙΟΥΝΙΟΣ			
ΙΟΥΛΙΟΣ			
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ			
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ			
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ			
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ			
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ			
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>			

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.7.2.: Ενεργειακές ανάγκες, συλλεγόμενη ενέργεια, επιπλέον συλλεγόμενης ενέργειας. Πηγή: Μαλαμής, 1999.

### 3.8. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ –ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

Η ισχύς αιχμής του φωτοβολταϊκού σταθμού βρίσκεται ως εξής:



$N(\text{φωτοβολταϊκά πλαίσια}) \cdot P(\text{watt, ισχύς πλαισίου}) = P_{\text{ολικό}} (\text{watt})$

Με βάση αυτή την ισχύ, εκλέγουμε τους αντιστροφείς συνεχούς-εναλλασσόμενου ρεύματος.

### 3.9. ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Η επιλογή ενός ρυθμιστή φόρτισης γίνεται βάση της έντασης του ρεύματος του φωτοβολταϊκού που χρησιμοποιείται σε κάθε εφαρμογή, γνωρίζοντας την ισχύ και την τάση του.

#### Σημείωση:

Μαλαμής, 1999.

Στο σημείο αυτό μπορούν να αναφερθούν κάποιες άλλες μέθοδοι υπολογισμού ηλιακής ακτινοβολίας και γενικότερα εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος, οι οποίες όμως δε χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία. Αυτές οι μέθοδοι έχουν κάποια διαφορετικά σημεία όσον αφορά τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας, αλλά η βάση της, όπως λογικά μπορεί να διαπιστώσει κανείς, παραμένει η ίδια.

Ονομαστικά αναφέρονται:

- η μέθοδος Retscreen του Καναδά
- η μέθοδος που προτείνουν οι ΑΡΓΥΡΟΥ Α. Κ.Α., 2002.

#### 4. ΕΡΕΥΝΑ ΑΓΟΡΑΣ

Με στόχο την υλοποίηση των τριών μελετών απαιτήθηκε η έρευνα αγοράς για την συλλογή των απαραίτητων φωτοβολταϊκών πλαισίων, συσσωρευτών, αντιστροφών και ρυθμιστών. Έτσι οι μελέτες αναφέρονται σε πραγματικά στοιχεία και μπορούν άμεσα να εφαρμοστούν.

Η έρευνα αγοράς προέκυψε μετά από επικοινωνία με επτά εταιρείες, οι οποίες έχουν έδρα στην Ελλάδα. Απάντηση για τα προϊόντα και τα τεχνικά χαρακτηριστικά που περιλαμβάνει η κάθε εταιρεία, δόθηκε από πέντε εταιρείες, οι οποίες παραθέτονται παρακάτω. Απάντηση δε δόθηκε από τις εταιρίες: "Solarwatt" και "Ηλιοδομή". Η επικοινωνία με τις εταιρείες έγινε τηλεφωνικώς, μέσω FAX, μέσω του διαδικτύου και ταχυδρομικώς.

Σε αυτήν την ενότητα δεν γίνεται σύγκριση μεταξύ των στοιχείων της κάθε εταιρείας γιατί αυτό συμπεριλαμβάνεται στις παραμετρικές μελέτες της κάθε αρχικής μελέτης. Παρατηρούνται κάποιες διαφορές στις τιμές, μεταξύ των εταιρειών, για ίδια προϊόντα, οι οποίες όμως δεν είναι μεγάλες.

Περιγραφή των φωτοβολταϊκών πλαισίων γίνεται στην παράγραφο 2.3 ενώ περιγραφή για τους συσσωρευτές, τους ρυθμιστές Φόρτισης συσσωρευτών και τους αντιστροφείς συνεχούς-εναλλασσόμενου ρεύματος γίνεται στην παράγραφο 2.8 που αφορά τον περιφερειακό εξοπλισμό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος..

Οι συγκεκριμένες εταιρείες εισάγουν τα προϊόντα από το εξωτερικό. Κάποια από τα προϊόντα είναι άμεσα διαθέσιμα σε αποθήκες, ενώ αν την χρονική περίοδο που ζητούνται δεν υπάρχουν έτοιμα στην εκάστοτε εταιρεία, γίνεται παραγγελία και είναι διαθέσιμα το πολύ σε ένα μήνα. Γεγονός το οποίο επιβεβαιώνεται από τις εταιρείες.

## Εταιρείες

### 1. "ECO//SUN Ltd", ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Βούλγαρη 75, 542 48, Θεσσαλονίκη

τηλ: 2310-327914 Fax: 2310-325693

E-Mail: [geo@ecosun.gr](mailto:geo@ecosun.gr) Website: [www.ecosun.gr](http://www.ecosun.gr)

### 2. "SENERS Ltd", ΣΟΥΡΣΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΕ

Κλεοβούλου 16, 117 44, Αθήνα

τηλ: 210-9270940, 9270204 Fax: 210-9270857

E-Mail: [seners@otenet.gr](mailto:seners@otenet.gr) Website: [www.seners.gr](http://www.seners.gr)

### 3. "ΗΛΙΑΚΟΣ ΦΟΥΡΝΟΣ", Ηλιακά συστήματα-Γιάννης Μπαλαφούτης

Εμμ. Μπενάκη 1 & Σταδίου, 30ς όροφος, 105 64, Αθήνα

τηλ: 210-3243010, 3243102 Fax: 210-6217548

E-Mail: [balafout@otenet.gr](mailto:balafout@otenet.gr) Website: [www.solarcooking.com](http://www.solarcooking.com)

### 4. "SOLION", ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ-ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Μυκάλης 1-Γλυφάδα (Τερψιθέα), 165 62, Αθήνα

τηλ: 210-9626110 Fax: 210-9626139

E-Mail: [info@solion.com.gr](mailto:info@solion.com.gr) Website: [www.solion.com.gr](http://www.solion.com.gr)

### 5. "PHOTOVOLTAIC", τεχνική-εμπορική εταιρεία ενεργειακών εφαρμογών, μελέτες- τεχνικές συμβουλές-πωλήσεις

Πολεμοκράτους 9&12, 116 35, Αθήνα

τηλ: 210-7225471, 440 Fax: 2107220637

E-mail: [photovol@acci.gr](mailto:photovol@acci.gr) Website: [www.photovoltaic.gr](http://www.photovoltaic.gr)



## ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΠΛΑΙΣΙΑ

### > Εταιρεία ECOSUN

#### Συλλέκτες με κυψέλες μονοκρυσταλλικού πυριτίου ASE

- Γερές ενότητες για να αντέχει το φωτοβολταϊκό στο πιο σκληρό περιβάλλον.
- Πιστοποίηση από οργανώσεις παγκοσμίων προτύπων.
- Γρήγορη και εύκολη εγκατάσταση.
- Αυξανόμενη αξιοπιστία.
- Υψηλή τάση ανά ενότητα.
- Ανθεκτική κατασκευή για να προστατεύσει την ενότητα από πυρκαγιά, υγρασία, διείσδυση, ηλεκτρική αγωγιμότητα.
- Εγγύηση 20 χρόνια.

ΤΥΠΟΣ	ΙΣΧΥΣ (W)	ΤΑΣΗ (V)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
ASE-50-ETF/17 EFG	50	12	975x452x34,5	6,1	370
ASE-100-GT-FT/24 EFG	100	24	1282x644x35	8,5	740,01
ASE-300DGFT/17 EFG	300	12	1892x1283x50,8	50	2269,21
ASE-300DGFT/50 EFG	300	50	1892,3x1282,7x50	48,2	2249,97
ASE-300DGFT-MC/50 MULTI	330	50	1892x1283x50,8	50	2510,89

#### Συλλέκτες με κυψέλες thin-film

Οι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες του τύπου ASI-F βασίζονται στην τεχνολογία λεπτού στρώματος πυριτίου (thin-film) και χαρακτηρίζονται σαν κυψέλες ASI. Οι συλλέκτες κατασκευάζονται για μικρές εφαρμογές φόρτισης συσσωρευτών σε συστήματα 12-24V.

#### Χαρακτηριστικά:

- Όλα τα δεδομένα ισχύος είναι σταθερά και εγγυώνται μεγάλο βαθμό απόδοσης.
- Υψηλή τάση εξόδου ακόμη και με περιορισμένη φωτεινότητα έως και 10W/m<sup>2</sup>.
- Πολύ μικρή θερμοκρασιακή απόκλιση εγγυάται πλήρη απόδοση ισχύος ακόμη και σε μεγάλες θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

- Στιβαρό πλαίσιο αλουμινίου για οποιαδήποτε μορφή εγκατάστασης. Η ενθουλάκωση ασφαλίζει το συλλέκτη και αυξάνει τη διάρκεια ζωής του.
- Βιομηχανοποιημένη παραγωγή εγγυάται την σταθερή ποιότητα.
- Προστασία από χαλαζόπτωση κατά IEC 61646.
- Πιστοποίηση ποιότητας κατά IEC 61646.
- Πολύ χαμηλή ενέργεια παραγωγής και υλικών κατά την κατασκευή των κυψελών.
- Δεν περιλαμβάνουν βαρέα μέταλλα και είναι απόλυτα συμβατικά και φιλικά προς το περιβάλλον.

ΤΥΠΟΣ	ΙΣΧΥΣ (W)	ΤΑΣΗ (V)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
ASI-F 2/12	2	12	144x293x21	0,6	32,01
ASI-F 5/12	5	12	330x293x21	1,2	59,44
ASI-F 10/12	10	12	330x581x21	2,1	102,88
ASI-F 32/12	32	12	1005x605x21	6,2	222,43

#### Είκαμπτοι φωτοβολταϊκοί συλλέκτες SOLARA

- Μικρό μέγεθος.
- Χαμηλό βάρος.
- Δυνατότητα κάμψης 3%.
- Μπορούν να βιδωθούν ή να κολληθούν.
- Υψηλός βαθμός απόδοσης.
- Ανθεκτική κατασκευή σε άσχημες καιρικές συνθήκες.
- Έτοιμη καλωδίωση.
- Εξαιρετικά λεπτοί (2mm).
- Εύκολη εγκατάσταση.
- Γερμανικής προέλευσης.
- Είναι ειδικοί για εφαρμογές σε σκάφη και τροχόσπιτα.

ΤΥΠΟΣ	ΙΣΧΥΣ (W)	ΤΑΣΗ (V)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
SOLARA SM60M	15	12	620x250x2	1,95	293,91
SOLARA SM80M	20	12	430x450x2	2,4	377,88
SOLARA SM120M	30	12	590x450x2	3,15	461,85
SOLARA SM160M	40	12	740x450x2	3,9	587,81
SOLARA SM4225M	56	12	750x610x2	4,9	787,25

## Εταιρεία **SENERS**

### Φωτοβολταϊκά NR της φιλανδικής εταιρείας Naps

- Υψηλή αποδοτικότητα.
- Διάρκεια ζωής τουλάχιστον 25 χρόνια.
- Εργαστηριακά δοκιμασμένα για ένα ευρύ φάσμα των συνθηκών λειτουργίας (-40°C + 85°C).
- Ανθεκτικά σε άσχημες καιρικές συνθήκες(χιόνι, χαλάζι) και στην υγρασία.
- Το μεγαλύτερο μέρος του ακατέργαστου υλικού πυριτίου υποβάλλεται σε επεξεργασία χρησιμοποιώντας τον υδροηλεκτρισμό, ο οποίος οδηγεί σε λιγότερες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα κατά τη διάρκεια κατασκευής.
- Οι ενότητες NAP εξετάζονται για να συναντήσουν ή να υπερβούν διεθνή πρότυπα, ποιότητα και απαιτήσεις απόδοσης.

ΤΥΠΟΣ	ΙΣΧΥΣ (W)	ΤΑΣΗ (V)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
NR50G	50	12	1293*330*34	5	418,9
NR50GK	50	12	985*440*34	5	418,9
NP75GK	75	12	1200*532*34	7,2	607,7
NR100/24	100	24	1293*650*34	9,1	808,3
TE 850	80	12	1231*556*45	7,8	566,4
TE 500	50	12	1002*462*39	5,5	365,8
PWX 500	50	12	1042*462*39	9,2	383,5

Οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες TE είναι της γαλλικής εταιρείας TOTAL ENERGIE Είναι ειδικής κατασκευής για θαλάσσιο περιβάλλον. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι ενσωματωμένα και στις δύο πλευρές μέσα σε γυαλί.

## Εταιρεία **Ηλιακός φούρνος**

### Φωτοβολταϊκά πλαίσια TE της εταιρείας TOTAL ENERGIE

ΤΥΠΟΣ	ΙΣΧΥΣ (W)	ΤΑΣΗ (W)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (cm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
TE 200	20	12	2,5*46,5*54,5	3	195
TE 500	50	12	2,5*46,5*100	5,5	395



► Εταιρεία **Photovoltaic**

Αλουμινένιο

Σειρά SM και SP μονοκρυσταλλικού πυριτίου

- Αλουμινένιο πλαίσιο.
- Τεχνολογία Powermax η οποία αυξάνει την ενεργειακή απόδοση ακόμη και σε συνθήκες μειωμένης ηλιοφάνειας.
- 25 χρόνια εγγύηση.
- η επιφάνεια των κελιών έχει πυραμιδική μορφή, η οποία πολλαπλασιάζει το βαθμό απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Τύπος	Ισχύς	Τάση συστήματος	Διαστάσεις (mm)	Βάρος (kg)	Τιμή (€)
SM 110	110 W	24 V	1321x660x40	11,5	859,04
SM 100	100 W	24 V	1321x660x40	11,5	745,76
SM 55	55 W	12 V	1293x329x34	5,5	413
SM 50	50 W	12 V	1293x329x34	5,5	370,52

Τύπος	Ισχύς	Τάση συστήματος	Διαστάσεις (mm)	Βάρος (kg)	Τιμή (€)
SP 150	150 W	24 V	1619,4x814x40	14,8	1116,28
SP 140	140 W	24 V	1619,4x814x40	14,8	1014,8
SP 75	75 W	12 V	1200x527x34	7,6	531
SP 70	70 W	12 V	1200x527x34	7,6	483,8

Αλουμινένιο

Πλαστό

Φωτοβολταϊκές γεννήτριες Shell Solar (πρώην Siemens Solar)

- Ινδιοδισελινιούχου χαλκού, τεχνολογία (CIS). Δίνει τη δυνατότητα για λεπτή κατασκευή.
- Αλουμινένιο πλαίσιο, λεπτό φιλμ.
- 10 χρόνια εγγύηση.

Τύπος	Ισχύς	Τάση συστήματος	Διαστάσεις (mm)	Βάρος (kg)	Τιμή (€)
ST 40	40 W	12 V	1264x329x36	7,02	276,12
ST 20	20 W	12 V	747x328x36	4,1	182,44
ST 10	10 W	12 V	387x328x36	2,4	110,92
ST 5	5 W	12 V	328x206x36	1,4	75,52

### Φωτοβολταϊκές γεννήτριες Shell Solar πολυκρυσταλλικού πυριτίου

- Αλουμινένιο πλαίσιο.
- 20 χρόνια εγγύηση.

Τύπος	Ισχύς	Τάση συστήματος	Διαστάσεις (mm)	Βάρος (kg)	Τιμή (€)
*S 115	115 W	12 V	1220x850x25	14	814,2
*S 105	105 W	12 V	1220x850x25	14	717,44
S 75	75 W	12 V	1220x580x25	10	531
S 70	70 W	12 V	1220x580x25	10	483,8
S 65	65 W	12 V	1220x580x25	10	443,68
S 36	36 W	12 V	635x550x38	4,4	292,64
S 25	24 W	12 V	550x449x38	3,4	219,48
S 10	9 W	12 V	430x255x38	1,5	125,08

ΜΟΝΟ ΓΙΑ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ Δ.Ε.Η.

#### > Εταιρεία Solion

##### Solar Fabrik

Τα φωτοβολταϊκά SF 50A και SF 120-115A είναι υψηλής κατηγορίας μοντέλα, υψηλής αποδοτικότητας, εύκολα και γρήγορα να μετακινηθούν.

Οι πολυκρυσταλλικές κυψέλες έχουν μία ανακλαστική επίστρωση και φθάνουν σε επίπεδα αποδοτικότητας πάνω από 13%.

Οι κυψέλες είναι εμπλουτισμένες με ένα αιθυλοβινύλιο οξικό εστέρα προσφέροντας αξιόπιστη προστασία από θερμική διαστολή και διείδυση υγρασίας. Το υπερβολικά διαφανές και ειδικά μετρημένο κάλυμμα από γυαλί εξασφαλίζει τη μέγιστη φωτεινή απομπή και προστατεύει το μοντέλο από μηχανικές καταπονήσεις όλων των ειδών.

Το κάθε μοντέλο διακρίνεται για την υψηλή του ποιότητα. Είναι εξοπλισμένο με δύο πυρηνικές ηλεκτρικές διόδους και έχει ελεγχθεί και πιστοποιηθεί από διεθνείς κανονισμούς.

Τύπος	Ισχύς	Τάση συστήματος	Διαστάσεις (mm)	Βάρος (kg)	Τιμή (€)
SF 50 A	50 W	12 V	976x440x35	6,5	337,10
SF 120-115 A	115 W	12 V	1470x660x35	11,5	766,70

## SOLARA TYPE

Οι σειρές SM μπορούν να κολληθούν ή να βιδωθούν. Είναι η εναλλακτική λύση σε σχέση με τους άλλους άκαμπτους τύπους. Τα μοντέλα Solara, κατασκευασμένα από χάλυβα υψηλής ποιότητας, είναι μικρότερα, εύκαμπτα, πολύ λεπτά και ελαφριά. Όταν κολληθούν ή βιδωθούν πάνω σε μια επίπεδη επιφάνεια, τα μοντέλα μπορούν να παίξουν ρόλο και να σχηματιστούν μόνα τους σε ελαφρά καμπυλωτές οροφές. Εξαιτίας της συνθετικής επιφάνειας, δεν υπάρχει κίνδυνος να σπάσει το γυαλί. Αυτά τα μοντέλα, με τις υψηλής απόδοσης κυψέλες, είναι ιδιαίτερα οικονομικά και έχουν 1,5 m καλώδιο. Για τα φωτοβολταϊκά SM υπάρχει μια επιπρόσθετη μαύρη πλευρά προστασίας, κατασκευασμένη από συνθετικό ανθεκτικό στην ακτινοβολία UV με ενίσχυση υψηλής απόδοσης χάλυβα.

Τύπος	Ισχύς	Τάση συστήματος	Διαστάσεις (mm)	Βάρος (kg)	Τιμή (€)
SM 40M	10 W	12 V	450x270x2	1,3	279,50
SM 60M	15 W	13 V	620x450x2	2	283,50
SM 80M	20 W	14 V	430x450x2	2,4	383,20
SM 120M	30 W	15 V	590x450x2	3,2	473,70
SM160M	40 W	16 V	740x450x2	3,9	592,17
SM 225M	56 W	17 V	750x610x2	4,9	741,38

## Conergy

- Ειδικά για ενσωματώματός τους σε οροφές κτιρίων.
- Κυψέλες εμπλουτισμένες σε αιθυλοβινύλιο οξικό εστέρα.
- Υψηλή αποδοτικότητα.
- Υψηλή επίπεδα ποιότητας.
- Οπτικά, μηχανικά και ηλεκτρονικά ελέγχονται κατά τη διάρκεια και μετά την παραγωγή.
- Προστατευτικό γυαλί στην μπροστινή επιφάνεια.
- Αδιάβροχη μεταλλική επίστρωση στην πίσω επιφάνεια.
- 25 χρόνια εγγύηση.

Τύπος	Ισχύς	Τάση συστήματος	Διαστάσεις (mm)	Βάρος (kg)	Τιμή (€)
C 106 profiline	106	12	1304x648x37	11	733,35
N 125 P	125	12	1431x640x36	14	851,27
C 160 profiline	160	12	1310x969x39	16,5	1089,63
A 165 P	165	24	1237x1082x38	18	1112,98



## ΕΥΣΣΩΡΕΥΤΕΣ

### Εταιρεία ECOSUN

#### Ψασωρευτές τύπου αυτοκινήτου ανοιχτού τύπου με υγρά

ΤΥΠΟΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (Ah)	ΤΑΣΗ (V)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
ROK N60R	60	12	270x172x223	7	59,74
ROK N100R	100	12	413x175x215	12	99,56
ROK N150R	150	12	513x221x223	20	149,34
ROK N200R	200	12	517x273x239	28	199,13

#### Ψασωρευτές GEL Sonnenschein Solar, Gel χωρίς υγρά

- Μπαταρίες βαθύ κύκλου.
- Εμπλουτισμένοι με όξινο ηλεκτρολύτη.
- Ανθεκτική κατασκευή.
- Αδιάβροχες.

ΤΥΠΟΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (Ah)	ΤΑΣΗ (V)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
SL 25	24	12	176x167x126	7	89,35
SL 40	38	12	210x175x175	12,3	115,38
SL 55	55	12	293x175x175	19	176,13
SL 80	80	12	330x171x236	30	226,91
SL 110	112	12	286x267x236	38	327,83
SL 120	120	12	345x174x283	45	343,9
SL 135	135	12	513x223x225	47,5	392,11
SL 200	200	12	518x291x242	70	491,75

#### Ψασωρευτές Varta Solar

ΤΥΠΟΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (Ah)	ΤΑΣΗ (V)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
VARTA 82070	100	12	350x170x190	24,9	123,9

### Συσσωρευτές βιομηχανικού τύπου PzS και OpzS

Κατασκευάζονται σύμφωνα με τις σχετικές προδιαγραφές κατά DIN. Η ξεχωριστή κατασκευή τους οφείλεται στην κατασκευή της θετικής πλάκας. Αποτελούμενες από μια σειρά σωλήνων με πορώδη τοιχώματα από πλαστική ύλη, περικλείουν την ενεργό μάζα. Έτσι η ενεργός μάζα, προστατευμένη, συμμετέχει στην εκτέλεση των ηλεκτροχημικών δράσεων χωρίς κίνδυνο να αποσπαστεί από την πλάκα και να προκαλέσει βραχυκυκλώματα. Επιπλέον η θετική πλάκα είναι χαμηλού αντιμονίου, σύμφωνα με τις προδιαγραφές κατά DIN. Η χρησιμοποίηση κραμάτων με ειδική σύνθεση των θετικών πλακών ελαχιστοποιεί την αυτοεκφόρτιση των στοιχείων καθώς επίσης και την κατανάλωση νερού, οπότε επιτυγχάνονται μεγαλύτερα διαστήματα χωρίς ανάγκη συντήρησης και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των μπαταριών.

Οι αρνητικές πλάκες αποτελούνται από μία σκάρα από κράμα μολύβδου, στην οποία συγκρατείται η ενεργός μάζα, με ποιότητα και ανθεκτικότητα παρόμοιας αυτής των θετικών πλακών. Τα χρησιμοποιούμενα από την ECO//SUN Ltd δευτερεύοντα υλικά για την κατασκευή των συσσωρευτών όπως οι χωριστές, δοχείο και πώμα έχουν τύχει των απαραίτητων εγκρίσεων. Πιο αναλυτικά οι μονώσεις (χωριστές) αποτελούνται από μικροπορώδη συνθετική ύλη δοκιμασμένης αντοχής, το δοχείο αποτελείται από υλικό μεγάλης χημικής και μηχανικής αντοχής, ενώ το πώμα είναι κατασκευασμένο από πλαστική ύλη ανθεκτική στο θειικό οξύ και επιτρέπει την έξοδο των αερίων που δημιουργούνται μέσα στο στοιχείο ενώ ταυτόχρονα εμποδίζει την έξοδο της ομίχλης του θειικού οξέος. Ο ηλεκτρολύτης είναι διάλυμα θειικού οξέος.

### PzS με σωληνωτές θετικές πλάκες, χαμηλού αντιμονίου και χαμηλής συντήρησης.

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

ΤΥΠΟΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	ΤΑΣΗ (V)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΜxΠxΥ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
2 PzS 160	160Ah/5h	2	198x47x(465/495)	11,4	49,56
3 PzS 240	240Ah/5h	2	198x65x(465/495)	15,9	66,08
4 PzS 320	320Ah/5h	2	198x83x(465/495)	20,5	83,63
5 PzS 400	400Ah/5h	2	198x101x(465/495)	25	101,19
6 PzS 480	480Ah/5h	2	198x119x(465/495)	29,6	117,71
7 PzS 560	560Ah/5h	2	198x137x(465/495)	34,2	134,23
8 PzS 640	640Ah/5h	2	198x155x(465/495)	39,2	152,81
9 PzS 720	720Ah/5h	2	198x173x(465/495)	44	171,4
10 PzS 800	800Ah/5h	2	198x191x(465/495)	48,9	185,85

OPzS με σωληνωτές θετικές πλάκες, χαμηλού αντιμονίου και χαμηλής συντήρησης.

Οι συσσωρευτές OPzS είναι κατασκευασμένοι ελαφρώς πιο ενισχυμένοι από ότι οι αντίστοιχοι PzS σε διαφανή δοχείο και χρησιμοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών σταθμάτος ενέργειας σε τηλεπικοινωνιακούς σταθμούς, βιομηχανικά συγκροτήματα, συστήματα ασφαλείας καθώς επίσης και αυτόνομες φωτοβολταϊκές μονάδες.

ΤΥΠΟΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	ΤΑΣΗ (V)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΜxΠxΥ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
4 OPzS 200	200Ah/10h	2	103x206x(350/395)	16	84,67
5 OPzS 250	250Ah/10h	2	124x206x(350/395)	21	101,19
5 OPzS 350	350Ah/10h	2	124x206x(465/515)	27,3	117,71
6 OPzS 420	420Ah/10h	2	145x206x(465/515)	32,1	142,49
7 OPzS 490	490Ah/10h	2	166x206x(465/515)	36,8	156,94
6 OPzS 600	600Ah/10h	2	145x206x(640/695)	45,3	177,59
8 OPzS 800	800Ah/10h	2	210x191x(640/695)	61,2	239,54
10 OPzS 1000	1000Ah/10h	2	210x233x(640/695)	74,8	291,17
12 OPzS 1500	1500Ah/10h	2	210x275x(790/845)	112,6	415,07
16 OPzS 2000	2000Ah/10h	2	212x399x(770/825)	155,8	547,23

#### ► Εταιρεία **SENNERS**

Συσσωρευτές τύπου αυτοκινήτου ΠΑΚ-CF/12V Professional-ανοιχτού τύπου με

υγρά

ΤΥΠΟΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (Ah)	ΤΑΣΗ (V)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
50100	110	12	413x175x216	30	100,3
50101	140	12	513x190x223	35	136,88
50102	175	12	513x223x223	40	147,5
50110	210	12	517x273x239	45	193,52
50120	240	12	517x273x239	50	223,02



#### Αποθηκευτές βιομηχανικοί (στοιχεία) Solar-ανοιχτοί

- Στοιχείο Solar 2 volts, τύπου OpzS με θετικές σωληνωτές πλάκες χαμηλού αντιμονίου.
- Συνοδεύονται με τον αντίστοιχο ηλεκτρολύτη, αντιεκρηκτικά πώματα και συνδέσεις.
- Η διάρκεια ζωής τους ξεπερνά τα 12 χρόνια.

ΤΥΠΟΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (Ah)	ΤΑΣΗ (V)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
Solar 550	550	2	126x208x520	26,7	153,4
Solar 985	985	2	147x208x695	44	221,84
Solar 1650	1650	2	215x235x695	73,2	338,66

#### Αποθηκευτές βιομηχανικοί (στοιχεία) Solar-κλειστοί Gel

- Στοιχείο Solar 2 volts, τύπου OpzV με θετικές σωληνωτές πλάκες και ηλεκτρολύτη σε μορφή ζελέ, χαμηλού αντιμονίου.
- Η διάρκεια ζωής τους ξεπερνά τα 12 χρόνια.
- Μηδενική συντήρηση για όλη τη διάρκεια της ζωής τους.

ΤΥΠΟΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (Ah)	ΤΑΣΗ (V)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
OpzV 500	500	2	147x208x513	36,5	228,92
OpzV 600	600	2	168x208x513	42	254,88
OpzV 720	720	2	168x208x688	50	277,3
OpzV 960	960	2	215x193x688	68	372,88
OpzV 1200	1200	2	215x235x688	82	442,5

#### Εταιρεία Ηλιακός φούρνος

Winner

ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ A (Ah)	ΤΑΣΗ (V)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (Ah)
80	12	290x180x190	20	130	80
100	12	360x180x190	27	157	100
140	12	520x190x220	40	217	140
180	12	320x220x220	47	285	180

► Εταιρεία Photovoltaic

Συσσωρευτές BANNER (Αυστρίας)

- Συσσωρευτές Solar ανοιχτού τύπου (χρειάζονται συντήρηση, γέμισμα των υγρών που ξοδεύονται)
- αργής εκφόρτισης
- μεγάλης βύθισης

ΤΥΠΟΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (Ah)	ΤΑΣΗ (V)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
SOLAR 230	230	12	242x518x291	65	311,52
SOLAR100	100	12	190x381x175	33	148,68

Συσσωρευτές DELCO (Γαλλίας)

- Συσσωρευτές Solar κλειστού τύπου (δε χρειάζονται συντήρηση, δηλαδή αντικατάσταση των υγρών που ξοδεύονται, κάτι το οποίο γίνεται στους συσσωρευτές ανοικτού τύπου)
- αργής εκφόρτισης
- μεγάλης βύθισης

ΤΥΠΟΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (Ah)	ΤΑΣΗ (V)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
Delphi Freedom2000	115	12	243x330x172	35	220,66

Συσσωρευτές CEAC-FULMEN (Γαλλίας)

- Συσσωρευτές Solar ανοιχτού τύπου σε διαφανή δοχεία
- χαμηλής συγκέντρωσης αντιμονίου
- αργής εκφόρτισης
- μεγάλης βύθισης και πολλών κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης
- 3 χρόνια εγγύηση

ΤΥΠΟΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (Ah)	ΤΑΣΗ (V)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
Solar 400 Opzs	390/395	2	403x124x206	22,5	155,88
Solar 550 Opzs	530/540	2	519x124x206	31,5	184,79
Solar 650 Opzs	630/650	2	519x145x206	35,5	212,4
Solar 750 Opzs	725/735	2	519x166x206	40,5	233,64
Solar 900 Opzs	880/900	2	519x166x206	40,5	257,86
Solar 1500 Opzs	1485/1525	2	694x210x233	61	417,25
Solar 1850 Opzs	1800/1840	2	694x210x275	72	476,25

#### Συσσωρευτές τύπου ErzS

- Συσσωρευτές Solar ανοιχτού τύπου σε αδιαφανή δοχεία
- χαμηλής συγκέντρωσης αντιμονίου (μεγάλη διάρκεια ζωής)
- αργής εκφόρτισης
- μεγάλης βύθισης και πολλών κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης (μεγάλη διάρκεια ζωής)

ΤΥΠΟΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (Ah)	ΤΑΣΗ (V)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
MCB5	336/360	2	370x100x198	20,1	102,66
MCC5	448/480	2	433x100x198	29,9	112,1
MCD5	504/540	2	500x100x198	34,2	130,98
MCK5	672/720	2	605x100x198	38,7	153,4
MCG5	840/900	2	750x100x198	47,5	186

#### Συσσωρευτές τύπου VARTA OpzS

- Συσσωρευτές Solar ανοιχτού τύπου σε διαφανή δοχεία
- χαμηλής συγκέντρωσης αντιμονίου
- αργής εκφόρτισης
- μεγάλης βύθισης και πολλών κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης



ΤΥΠΟΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (Ah)	ΤΑΣΗ (V)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
OpzS 200	280	2	430x103x206	18,5	99,7
OpzS 350	501	2	530x124x206	30,2	138,06
OpzS 420	601	2	530x145x206	35,5	159,7
OpzS 600	842	2	710x145x206	48	207,68
OpzS 800	1123	2	710x210x191	65,5	280,84
OpzS 1000	1404	2	710x210x233	80	337,48
OpzS 1500	2106	2	860x210x275	115	416,2
OpzS 2000	2808	2	485x191x198	151	633,66

### > Εταιρεία **SOLION**

#### Συσσωρευτές Winner MF Calcium, κλειστού τύπου, 12V

ΤΥΠΟΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	ΤΑΣΗ (V)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
MD-55457	54Ah/20h	12	242x175x190	15	73
MD-57539	75Ah/20h	12	302x175x190	19,2	142,78
MD-60038	100Ah/20h	12	352x175x190	23,8	131,22
MD-63513	135Ah/20h	12	509x215x234	39,2	213,92
MD-71014	210Ah/20h	12	512x277x241	60	251,01

#### Συσσωρευτές PzS Solar (βιομηχανικού/σωληνωτού τύπου)

Είναι κατάλληλοι για ηλιακές εφαρμογές και αυτό είναι αποδεδειγμένο σε πολλές εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών, όπου αυτοί είναι ανθεκτικοί ακόμη και σε εκφορτίσεις βάθους C-100h (χωρητικότητα 3 ημερών), το οποίο τυχαίνει σε αυτόνομες εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών. Χαρακτηριστικά:

- συσσωρευτές σε αδιαφανή μαύρα δοχεία
- Χαμηλή συγκέντρωση αντιμονίου
- μεγάλη βύθιση
- πολλοί κύκλοι φόρτισης-εκφόρτισης
- χαμηλή συντήρηση, μεγάλη διάρκεια ζωής
- υψηλή σχετικά με τη λειτουργία ασφάλεια
- πολύ υψηλή μηχανική κατασκευή και ανθεκτικότητα κατά της διάβρωσης χάρη στο σωληνοειδή τύπο τους.

ΤΥΠΟΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	ΤΑΣΗ (V)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΜxΠxΥ(mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
2 PzS 160 Solar	160Ah/5h	2	47x198x495	11,4	87,58
3 PzS 240 Solar	240Ah/5h	2	65x198x495	15,8	89,16
4 PzS 320 Solar	320Ah/5h	2	83x198x495	20,5	90,74
5 PzS 400 Solar	400Ah/5h	2	101x198x495	25	109,37
6 PzS 480 Solar	480Ah/5h	2	119x198x495	29,6	127,9
7 PzS 560 Solar	560Ah/5h	2	137x198x495	34,2	146,76
8 PzS 640 Solar	640Ah/5h	2	155x198x495	39,2	165,65
9 PzS 720 Solar	720Ah/5h	2	173x198x495	44	187,17
10 PzS 800 Solar	800Ah/5h	2	191x198x495	48,9	202,5

#### Συσσωρευτές-OPzS Solar (βιομηχανικού/σωληνωτού τύπου)

Είναι κατάλληλοι για ηλιακές εφαρμογές και αυτό είναι αποδεδειγμένο σε πολλές εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών, όπου αυτοί είναι ανθεκτικοί ακόμη και σε εκφορτίσεις βάρους C-120h,C-200h (χωρητικότητα 5 ημερών), το οποίο τυχαίνει σε αυτόνομες εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών. Χαρακτηριστικά:

- συσσωρευτές σε διαφανή δοχεία
- χαμηλή συγκέντρωση αντιμονίου
- μεγάλη βύθιση
- πολλοί κύκλοι φόρτισης-εκφόρτισης
- χαμηλή συντήρηση, διάρκεια ζωής στα 15 χρόνια στους 20°C
- υψηλή σχετικά με τη λειτουργία ασφάλεια
- πολύ υψηλή μηχανική κατασκευή και ανθεκτικότητα κατά της διάβρωσης χάρη στο σωληνοειδή τύπο τους.

ΤΥΠΟΣ	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ	ΤΑΣΗ (V)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΜxΠxΥ(mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
4 OpzS 200	200Ah/10h	2	103x206x430	18,5	92,78
5 OpzS 250	250Ah/10h	2	124x206x430	21,5	109,58
6 OpzS 300	300Ah/10h	2	145x206x430	25,8	126,04
5 OpzS 350	350Ah/10h	2	124x206x530	30,2	128,14
6 OpzS 420	420Ah/10h	2	145x206x530	35,5	148,34
7 OpzS 490	490Ah/10h	2	166x206x530	40,5	168,45
6 OpzS 600	600Ah/10h	2	145x206x710	48	193,9
7 OpzS 700	700Ah/10h	2	210x191x710	62	236,89
8 OpzS 800	800Ah/10h	2	210x191x710	65,5	261,65
12 OpzS 1200	1200Ah/10h	2	210x275x710	94	360,24
15 OpzS 1500	1500Ah/10h	2	210x275x860	115	449,6
16 OpzS 2000	2000Ah/10h	2	214x399x830	151	590,43
20 OpzS 2500	2500Ah/10h	2	214x487x830	189	736,69
24 OpzS 3000	3000Ah/10h	2	214x576x830	227	868,37

## ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

### ➤ Εταιρεία ECOSUN

#### Solarix

- Προστασία από τη λάθος πόλωση και το σύντομο κύκλο φόρτισης
- Εξαιρετικά χαμηλή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία
- Εξωτερικός αισθητήρας θερμοκρασίας

#### Σειρά Solsum

- Ένδειξη LED (ειδικές λυχνίες οι οποίες δείχνουν αν οι συσσωρευτές είναι φορτισμένοι π.χ. πράσινη λυχνία ή όχι π.χ. κόκκινη λυχνία)
- Προστασία υπερφόρτισης συσσωρευτών
- Προστασία υπερεκφόρτισης συσσωρευτών

ΤΥΠΟΣ	ΤΑΣΗ (V)	ΕΝΤΑΣΗ (A)	ΤΙΜΗ (€)
Solara SR5OUL	12	3	23,6
Solara SR6OUL	12	4	25,96
Solara SR10OUL	12	6	37,43
Solara SR13OUL	12	8	47,2
Solsum 6A Solar/6A Last	12/24	6	49,65
Solsum 8A Solar/8A Last	12/24	8	68,67
Solarix SLX6A NIGHT με χρονοδιακόπτη	12/24	6	103,43
Solarix Alpha	12/24	8	84,82
Solarix Zeta με LCD	12/24	8	138,6
Solarix Gamma	12/24	12	101,37
Solarix Jota με LCD	12/24	12	153,08
Solarix Sigma	12/24	30	126,19
Solarix Delta με LCD	12/24	20	181,01
Solarix Omega	12/24	30	160,32
Solarix Theta με LCD	12/24	30	217,21
Solarix Tarom 235 με LCD	12/24	35	292,72
Solarix Tarom 245 με LCD	12/24	45	335,13
Solarix Tarom 430 με LCD	48	45	385,35
Trace C40 DVM	12/24/48	40	196,39



➤ **Εταιρεία SENERS**

ΤΥΠΟΣ	ΤΑΣΗ (V)	ΕΝΤΑΣΗ (A)	ΟΘΟΝΗ	ΤΙΜΗ (€)
Steca 8/8	12/24	8	ΌΧΙ	86,14
Steca 12/12	12/24	12	ΌΧΙ	100,3
Steca 20/20	12/24	20	ΌΧΙ	130,98
Steca 30/30	12/24	30	ΌΧΙ	155,70
Steca 30/30	12/24	30	ΝΑΙ	205,32

Εταιρεία Tarom

- Διαδοχική ένδειξη όλων των χαρακτηριστικών μεγεθών του συστήματος σε οθόνη υγρών κρυστάλλων 2 γραμμών
- Προστασία υπερφόρτισης & υπερεκφόρτισης συσσωρευτών
- Δυνατότητα καθορισμού παραμέτρων του συστήματος και προγραμματισμού πλήθους αυτόματων λειτουργιών
- Με χρήση επιπλέον εξοπλισμού μπορεί και διαχειρίζεται τμήμα ή το σύνολο της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, του φορτίου και των βοηθητικών γεννητριών (H/Z, A/Γ).

ΤΥΠΟΣ	ΤΑΣΗ (V)	ΕΝΤΑΣΗ (A)	ΟΘΟΝΗ	ΤΙΜΗ (€)
Tarom 35/35	12/24	35	ΝΑΙ	316,24
Tarom 30/30	48	30	ΜΙΑ	446,04

ΤΥΠΟΣ	ΤΑΣΗ (V)	ΕΝΤΑΣΗ (A)	ΟΘΟΝΗ	ΤΙΜΗ (€)
NCC-7	12/24	30	ΠΟΛΥΜΕΤΡΟ	300,9

➤ **Εταιρεία Ηλιακός φούρνος**

Εταιρεία Solsum

- Ένδειξη LED (ειδικές λυχνίες οι οποίες δείχνουν αν οι συσσωρευτές είναι φορτισμένοι π.χ. πράσινη λυχνία ή όχι π.χ. κόκκινη λυχνία)
- Προστασία υπερφόρτισης συσσωρευτών
- Προστασία υπερεκφόρτισης συσσωρευτών

Τύπος	Τάση συστήματος (V)	Μέγιστη ένταση φόρτισης (A)	Τιμή (€)
Solsum 6.6	12/24	6	70
Solsum 8.8	12/24	8	85

#### ► Εταιρεία Photovoltaic

Ρυθμιστές φόρτισης Siemens-Steca. Εξασφαλίζουν την βέλτιστη φόρτιση και την ασφάλεια των συσσωρευτών. 1 χρόνος εγγύηση.

#### Σειρά Solsum

- Ένδειξη LED (ειδικές λυχνίες οι οποίες δείχνουν αν οι συσσωρευτές είναι φορτισμένοι π.χ. πράσινη λυχνία ή όχι π.χ. κόκκινη λυχνία)
- Προστασία υπερφόρτισης συσσωρευτών
- Προστασία υπερεκφόρτισης συσσωρευτών

Τύπος	Τάση συστήματος (V)	Μέγιστη ένταση φόρτισης (A)	Τιμή (€)
Solsum 6.6	12/24	6	38,94
Solsum 8.8	12/24	8	55,46

#### Σειρά SLX

- Ένδειξη LED (ειδικές λυχνίες οι οποίες δείχνουν αν οι συσσωρευτές είναι φορτισμένοι π.χ. πράσινη λυχνία ή όχι π.χ. κόκκινη λυχνία)
- Προστασία υπερφόρτισης συσσωρευτών
- Προστασία υπερεκφόρτισης συσσωρευτών
- Προγραμματιζόμενη νυχτερινή λειτουργία

Τύπος	Τάση συστήματος (V)	Μέγιστη ένταση Φ/Β, φορτίου (A)	Τιμή (€)
SLX 0606	12/24	6	100,3
SLX 1010	12/24	10	113,28

#### Σειρά SR

- Ένδειξη LED (ειδικές λυχνίες οι οποίες δείχνουν αν οι συσσωρευτές είναι φορτισμένοι π.χ. πράσινη λυχνία ή όχι π.χ. κόκκινη λυχνία)

- Προστασία υπερφόρτισης συσσωρευτών
- Προστασία υπερεκφόρτισης συσσωρευτών
- Δυνατότητα νυχτερινής λειτουργίας

Τύπος	Τάση συστήματος (V)	Μέγιστη ένταση Φ/Β, φορτίου (A)	Οθόνη υγρών κρυστάλλων	Τιμή (€)
SR 08	12/24	8		64,9
SR 08 M	12/24	8	•	107,38
SR 12	12/24	12		76,7
SR 12 M	12/24	12	•	118
SR 20	12/24	20		100,3
SR 20 M	12/24	20	•	142,78
SR 30	12/24	30		197,06
SR 30 M	12/24	30	•	169,92

#### Ταρό Tarom

- Διαδοχική ένδειξη όλων των χαρακτηριστικών μεγεθών του συστήματος σε οθόνη υγρών κρυστάλλων 2 γραμμών
- Προστασία υπερφόρτισης & υπερεκφόρτισης συσσωρευτών
- Δυνατότητα καθορισμού παραμέτρων του συστήματος και προγραμματισμού πλήθους αυτόματων λειτουργιών
- Με χρήση επιπλέον εξοπλισμού μπορεί και διαχειρίζεται τμήμα ή το σύνολο της φωτοβολταϊκής συστοιχίας, του φορτίου και των βοηθητικών γεννητριών (H/Z, A/Γ).

Τύπος	Τάση συστήματος (V)	Μέγιστη ένταση Φ/Β, φορτίου (A)	Τιμή (€)
Tarom 235	12/24	35	269,04
Tarom 245	12/24	45	311,52
Tarom 430	48	30	364,62

#### Εταιρεία Solion

##### Solarix

- Προστασία από τη λάθος πόλωση και το σύντομο κύκλο φόρτισης
- Εξαιρετικά χαμηλή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία
- Εξωτερικός αισθητήρας θερμοκρασίας



ΤΥΠΟΣ	ΤΑΣΗ (V)	ΕΝΤΑΣΗ (A)	ΟΘΟΝΗ	ΤΙΜΗ (€)
Solarix ALPHA	12/24	8	LED	60,43
Solarix ZETA	12/24	8	LCD/LED	108,33
Solarix Gamma	12/24	12	LED	75
Solarix Jota	12/24	12	LCD/LED	127,1
Solarix SIGMA	12/24	20	LED	102,09
Solarix Delta	12/24	20	LCD/LED	156,26
Solarix Omega	12/24	30	LED	133,34
Solarix THETA	12/24	30	LCD/LED	189,61
SLR 1010S	12/24	10	LED	126,35
SLR 1010D	12/24	10	LCD/LED	181,1
SLR 2020S	12/24	20	LED	176,89
SLR 2020D	12/24	20	LCD/LED	229,55
Solsum 6.6	12/24	6	LED	41,7
Solsum 8.8	12/24	8	LED	54,16

ΤΥΠΟΣ	ΤΑΣΗ (V)	ΕΝΤΑΣΗ (A)	ΟΘΟΝΗ	ΤΙΜΗ (€)
Isoler 10	12/24	10	LED	71,84
Isoler 20	12/24	20	LED	98,47
Isoler 30	12/24	30	LED	119,3
Isoler D 10	12/24	10	LCD/LED	136,4
Isoler D 20	12/24	20	LCD/LED	163,17
Isoler D 30	12/24	30	LCD/LED	183,47
Isoler 40 SD	12/24	40	LCD/LED	577,32
Isoler 40 SD/48	48	40	LCD/LED	632,96

#### ProStar

- Διάρκεια ζωής 15 χρόνια
- 100% συμπαγής κατασκευή
- ανιστάθμιση θερμοκρασίας

ΤΥΠΟΣ	ΤΑΣΗ (V)	ΕΝΤΑΣΗ (A)	ΟΘΟΝΗ	ΤΙΜΗ (€)
ProStar PS-15	12/24	15	LED	125,04
ProStar PS-15M	12/24	15	LCD/LED	201,25
ProStar PS-15M-48V	12/24	15	LCD/LED	250,09
ProStar PS-15M-48VPG	12/24	15	LCD/LED	267,67
ProStar PS-30	12/24	30	LED	171,94
ProStar PS-30M	12/24	30	LCD/LED	248,14
ProStar PS-30M-48V	48	15	LCD/LED	263,76

#### SunSaver

- εξαιρετική αξιοπιστία, υψηλή ποιότητα
- 100% συμπαγής κατασκευή
- ανιστάθμιση θερμοκρασίας

- 0,23 Kg

ΤΥΠΟΣ	ΤΑΣΗ (V)	ΕΝΤΑΣΗ (A)	ΟΘΟΝΗ	ΤΙΜΗ (€)
SunSaver SS-6-12V	12	7	LED	52,76
SunSaver SS-6L-12V	12	7	LED	66,43
SunSaver SS-10-12V	12	10	LED	62,52
SunSaver SS-10L-12V	12	10	LED	80,11
SunSaver SS-10L-24V	24	10	LED	85,96
SunSaver SS-20L-12V	12	20	LED	107,46
SunSaver SS-20L-24V	24	20	LED	113,33

#### SunLight

- αποδεδειγμένη αξιοπιστία
- 10 διαθέσιμες επιλογές της φωτεινής ενδειξης
- περιστροφικός ψηφιακός διακόπτης που επιλέγει ανάμεσα στις 10 δυνατότητες φωτεινότητας
- 0,26 Kg
- 5 χρόνια περίοδος εγγύησης
- κατάλληλο για όλες τις 12/24Vdc λάμπες

ΤΥΠΟΣ	ΤΑΣΗ (V)	ΕΝΤΑΣΗ (A)	ΟΘΟΝΗ	ΤΙΜΗ (€)
SunLight SL-10L-12V	12	10	LED	121,14
SunLight SL-10L-24V	24	10	LED	128,95
SunLight SL-20L-12V	12	20	LED	158,26
SunLight SL-20L-24V	24	20	LED	166,07

#### SunGuard

- εξαιρετική αξιοπιστία, υψηλή ποιότητα
- χαμηλό κόστος
- 100% συμπαγής κατασκευή
- 0,09 Kg

ΤΥΠΟΣ	ΤΑΣΗ (V)	ΕΝΤΑΣΗ (A)	ΟΘΟΝΗ	ΤΙΜΗ (€)
SunGuard	12	5	LED	39,08
SHS-6L	12	7	LED	52,76
SHS-10L	12	10	LED	64,47

## ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΙΣ ΣΥΝΕΧΟΥΣ-ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

### Εταιρεία ECOSUN

ΤΥΠΟΣ	ΤΑΣΗ (V)	ΙΣΧΥΣ (W)	ΤΙΜΗ (€)
Piccolo	12	150	186,99
Piccolo	24	250	240,63
Domino III	12	500	549,58
Domino III	24	700	768,18
TC 08/12 Alergo	12	800	1027,85
TC 10/24 Alergo	24	1000	1027,85
TC 10/48 Alergo	48	1000	1178,81
TC 13/12	12	1300	1520,58
TC 15/24	24	1500	1490,72
TC 20/12	12	2000	1888,59
TC 22/24	24	2200	1681,76
TC 22/48	48	2200	2050,94
TC 30/24	24	3000	2508,79
TC 35/48	48	3500	3080,36
TC 35/60	60	3500	3696,41
TC 105/48 (τριφασικός)	48	500	11202,63

### Εταιρεία SENERS

ΤΥΠΟΣ	ΙΣΧΥΣ(W)	ΤΑΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ DC (V)	ΤΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ AC	ΤΙΜΗ (€)
TC 1,5/12	150	12	230 V,50 Hz	194,7
TC 2,5/14	250	24	230 V,50 Hz	247,8
TC 05/12	500	12	230 V,50 Hz	571,12
TC 07/24	700	24	230 V,50 Hz	817,74
TC 10/24	1000	24	230 V,50 Hz	1056,1
TC 08/12	800	12	230 V,50 Hz	1050,2
TC 13/12	1300	12	230 V,50 Hz	1410,1
TC 15/24	1500	24	230 V,50 Hz	1525,74
TC 20/12	2000	12	230 V,50 Hz	1888
TC 22/24	2200	24	230 V,50 Hz	2003,64
TC 30/24	3000	24	230 V,50 Hz	2566,5
TC 22/48	2200	48	230 V,50 Hz	2790,7
TC 10/48	1000	48	230 V,50 Hz	1970,6

### Εταιρεία Photovoltaic

#### Αντιστροφείς SIEMENS-EUROTEC (αυτόνομων Φ/Β συστημάτων)

- Πλήρως ημιτοννοειδής κυματομορφή τάσης εξόδου.
- Ψύξη αποκλειστικά με φυσική ροή αέρα (χωρίς ανεμιστήρα).



- Ενδείξεις: LED.
- Λειτουργία αναμονής.
- Δυνατότητα τηλεενεργοποίησης.

Τύπος	Ισχύς	Τάση εισόδου (DC)	Τάση εξόδου (AC)	Διαστάσεις (ΥxΠxB)mm	Βάρος (Kg)	Τιμή (€)
ESW 3024	1500 W 3000W/30min 5000W/5sec	24 V	230 V 50 Hz	640x300x210	30	2124
ESW 1024	600 W 1200W/30min 1800W/2sec	24 V	230 V 50 Hz	350x220x140	11	997,1
ESW 512	400W 800W/30min 900W/2sec	12V	230V 50Hz	350x220x140	11	590

#### Απιστροφείς STECA (αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων)

- Πλήρως ημιτονοειδής κυματομορφή τάσης εξόδου.
- \*Ενσωματωμένος ρυθμιστής φόρτισης 25A
- \*Ενδείξεις: Οθόνη υγρών κρυστάλλων (απεικόνιση όλων των χαρακτηριστικών μεγεθών).
- Λειτουργία αναμονής.

Τύπος	Ισχύς	Τάση εισόδου (DC)	Τάση εξόδου (AC)	Διαστάσεις (ΥxΠxB)mm	Βάρος (Kg)	Τιμή (€)
*Fronius 900 RI	900 W 2250W/3sec	24 V	230 V 50 Hz	320x244x120	7,5	815,38
Fronius 900 I	900 W 2250W/3sec	24 V	230 V 50 Hz	320x244x120	7,5	720,98
*Fronius 550 RI	550 W 1650W/3sec	12 V	230 V 50 Hz	320x244x120	5,5	664,34
Fronius 550 I	550 W 1650W/3sec	12 V	230 V 50 Hz	320x244x120	5,5	594,72

#### Απιστροφείς STUDER (αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων)

##### Σειρά Compact

- Πλήρως ημιτονοειδής κυματομορφή τάσης εξόδου.
- Ενσωματωμένος φορτιστής συσσωρευτών(0-55 A).
- Ενδείξεις: LED.

- Δυνατότητα τηλεχειρισμού.

Τύπος	Ισχύς	Τάση εισόδου (DC)	Τάση εξόδου (AC)	Διαστάσεις (ΥxΠxB)mm	Βάρος (Kg)	Τιμή (€)
C1312	1300 W 1600W/30min 4800W/5sec	12 V	230 V 50 Hz	480x215x124	16	2236,1
C2324	2300W	24 V	230 V 50 Hz	480x215x124	20	2539,3 6

#### Σερί HP-Compact

- Πλήρως ημιτονοειδής κυματομορφή τάσης εξόδου.
- Ενσωματωμένος φορτιστής συσσωρευτών (0-100A).
- Ενδείξεις: LED.
- Δυνατότητα τηλεχειρισμού.

Τύπος	Ισχύς	Τάση εισόδου (DC)	Τάση εξόδου (AC)	Διαστάσεις (ΥxΠxB)mm	Βάρος (Kg)	Τιμή (€)
HPC4024	4000 W	24 V	230 V 50 Hz	480x290x230	24	4472.2
HPC5048	5000 W	48 V	230 V 50 Hz	480x290x230	28	5215,6

#### Πιστροφείς TrippLite (αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων)

- Κυματομορφή τάσης εξόδου: Διαμορφωμένο ημίτονο.
- Ενσωματωμένος φορτιστής συσσωρευτών, με αυτόματη εναλλαγή από το δίκτυο της Δ.Ε.Η.

Τύπος	Ισχύς	Τάση εισόδου	Τάση εξόδου	Διαστάσεις (ΥxΠxB)mm	Τιμή (€)
APS INT 1012	1000 W	12 V	230 V AC	18x21,25x41,25	792,96
APS INT 2012	2000 W	12 V	230 V AC	18x21,25x41,25	1298
APS INT 2424	2400 W	24 V	230 V AC	18x21,25x41,25	1642,56

#### Πιστροφείς RESPECT (αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων)

- Κυματομορφή τάσης εξόδου: Διαμορφωμένο ημίτονο.
- Ενδείξεις: αμπερόμετρο, βολτόμετρο, LED.
- Διακόπτης σύνδεσης/αποσύνδεσης με τους συσσωρευτές.

Τύπος	Ισχύς	Τάση εισόδου	Τάση εξόδου	Διαστάσεις (ΥxΠxB)mm	Βάρος (Kg)	Τιμή (€)
RESPECT 3000	3000 W 6000W/2s	24 V DC	230 V AC 50 Hz	703x275x203	24 κ	1754,6 6

ΗΛΙΑΣΤΡΟΦΕΙΣ **FRONIUS** (διασυνδεδεμένων με τη Δ.Ε.Η φωτοβολταϊκών συστημάτων)

- Ενδείξεις: Οθόνη υγρών κρυστάλλων
- απεικόνιση όλων των χαρακτηριστικών μεγεθών, δυνατότητα μετάδοσης και μεταφοράς σε Η/Υ μέσω data logger ή σε μεγάλη εσωτερική-εξωτερική οθόνη.
- καταγραφή και αποθήκευση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ημερήσια-ετήσια-συνολική (Kwh).
- συνδυασμός πολλαπλών Fronius IG για εγκαταστάσεις μεγαλύτερης ισχύος και 3Φ
- προαιρετικά δύνανται και η εγκατάστασή τους σε εξωτερικό χώρο

Τύπος	Ισχύς Φ/Β γεν.	Ισχύς Εξόδου	Τάση εισόδου	Διαστάσεις (ΥxΠxB)mm	Βάρος (kg)	Τιμή (€)
IG 15	1300-1850W	1300 W 1400 W max	150-400 V 500V max	366x338x220	9	2230,2
IG 30	2500-3500W	2500 W 2600 W max	150-400 V 500V max	366x338x220	9	3047,9 4
Data Logger Box, κάρτα σύνδεσης με Η/Υ και software						959,34

#### ➤ Εταιρεία Solion

**SOFOTON**

ΤΥΠΟΣ	ΤΑΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ (DC)	ΤΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ (AC) 50 H z	ΙΣΧΥΣ (W)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
500/12	12	230	500	315x192x118	7	817,2
600/24	24	230	600	315x192x118	7	947,5
1500/24	24	230	1500	460x255x130	15	1279,65
3000/24	24	230	3000	535x285x178	25	2052,4



## INVERTER ENERGY PHOENIX

- Υψηλή ποιότητα και αποδοτικότητα
- Αντιστροφέας ελαφρύς στο βάρος
- Αντιστροφέας κατάλληλος για να δώσει ισχύ σε δύσκολα φορτία όπως καταψύκτες, ηλεκτρικούς κινητήρες και παρόμοιες εφαρμογές

ΤΥΠΟΣ	ΤΑΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ (DC)	ΤΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ (AC) 50 H z	ΙΣΧΥΣ (W)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
12/200	12	230	175	73x150x210	2,1	238,44
12/300	12	230	225	90x150x176	3,1	363,85
12/600	12	230	500	107x187x227	6,2	570,8
12/1000	12	230	850	110x210x385	10,5	1195,75
12/1600	12	230	1300	362x258x218	12	1740,74
12/2500	12	230	2000	362x258x218	18	2225,88
24/220	24	230	175	73x110x210	2,1	238,44
24/350	24	230	300	90x150x176	3,5	376,27
24/800	24	230	650	107x187x227	6,5	595,4
24/900	24	230	900	283x200x187	8,7	1127,4
24/1600	24	230	1300	362x258x218	12	1740,74
24/2500	24	230	2500	362x258x218	18	2225,88

## STUDER AJ SERIES (μονοφασικό)

- Υψηλής απόδοσης 100% ημιτονικοί αντιστροφείς
- Βαθμός απόδοσης >93%
- Δυνατότητα υπερφόρτισης >300% για εκκίνηση δύσκολων καταναλώσεων
- Χαμηλή αυτοκατανάλωση
- Αθόρυβη λειτουργία, μικρός όγκος, μεγάλη διάρκεια ζωής
- Περιέχονται εσωτερικά φίλτρα για τα τμήματα DC και AC αυξάνοντας την αξιοπιστία του συστήματος

ΤΥΠΟΣ	ΤΑΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ (DC)	ΤΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ (AC) 50 H z	ΙΣΧΥΣ (W)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΤΙΜΗ (€)
AJ 2002	24	230	2000	-	-	1784,4
AJ 2002S	24	230	2000	-	-	1925,16
SI 12XX	12/24/48	230	1200	276	13,2	2395,1
SI 1624	24	230	1600	276	15,2	2627,02
SI 23XX	24/48	230	2300	591	22,8	3039,41
SI 3324	24	230	3300	636	29	3529,12
SI 3548	48	230	3500	791	31	3955,41

**TECA (Μετατροπείς με ενσωματωμένο ρυθμιστή φόρτισης και ψηφιακή οθόνη LCD)**

- Μέγιστος βαθμός απόδοσης 92%
- Τέλεια σχεδίαση, εύκολη εγκατάσταση
- Ταυτόχρονη λειτουργία από AC και DC φορτία
- Υψηλή οικονομία και αξιοπιστία

ΤΥΠΟΣ	ΤΑΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ (DC)	ΤΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ (AC) 50 H z	ΙΣΧΥΣ (W)	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ (Kg)	ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	ΤΙΜΗ (€)
550 I	12	230	550	320x244x120	5,5	-	643,44
550 RI	12	230	550	320x244x120	5,5	25 A	717,82
900 I	24	230	900	320x244x120	7,5	-	780,039
900 RI	24	230	900	320x244x120	7,5	25A	882,24

**STUDER AJ SERIES (τριφασικό)**

ΤΥΠΟΣ	ΤΑΣΗ ΕΙΣΟΔΟΥ (DC)	ΤΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ (AC) 50 H z	ΙΣΧΥΣ (W)	ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ	ΤΙΜΗ (€)
SI 40XX	12/24/48	400	3600	-	8797,05
SI 5024	24	400	4800	30	9492,95
SI 70XX	24/48	400	6900	-	10730,15
SI 10548	48	400	10500	-	13482,09

Όλες οι τιμές περιλαμβάνουν 18% Φ.Π.Α.

## 5. ΜΕΛΕΤΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται τρεις μελέτες εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων. Στην παράγραφο 5.1 παρουσιάζεται η μελέτη λάμπας δημόσιου φωτισμού, η οποία συνοδεύεται από 2 παραμετρικές μελέτες. Η πρώτη ασχολείται με τη διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκού συστήματος για άλλου τύπου φωτοβολταϊκό ενώ η δεύτερη για άλλου τύπου συσσωρευτές. Στην παράγραφο 5.2. παρουσιάζεται η μελέτη καντίνας, για θερινή περίοδο, με 2 παραμετρικές μελέτες, η μία από τις οποίες βασίζεται στην διαστασιολόγηση φωτοβολταϊκού συστήματος με βάση άλλη περιοχή ενώ η δεύτερη με βάση λιγότερες ενεργειακές ανάγκες. Στην παράγραφο 5.3 παρουσιάζεται η μελέτη φορητού φωτοβολταϊκού με 3 παραμετρικές μελέτες: για άλλη περιοχή, για άλλου τύπου φωτοβολταϊκό, για περισσότερες ενεργειακές ανάγκες.

Αναφερόμενοι στις παρακάτω μελέτες, για τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης του εξοπλισμού, οι τιμές των βαθμών απόδοσης του συσσωρευτή, του ρυθμιστή φόρτισης και του αντιστροφέα επιλέγονται αντίστοιχα 0,85-0,90-0,92 από τον πίνακα 3.4.1.. Επιλέγονται αυτές οι τιμές γιατί στα τεχνικά χαρακτηριστικά των διαφημιστικών, που δόθηκαν από τις εταιρείες, δεν υπήρχαν βαθμοί απόδοσης για αυτά τα προϊόντα. Για τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης του φωτοβολταϊκού χρησιμοποιείται συγκεκριμένη σχέση, σχέση 16, από την τρίτη ενότητα, όπως αναφέρεται σε κάθε μελέτη, χρησιμοποιώντας τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κάθε φωτοβολταϊκού που επιλέγεται κάθε φορά.



### 5.1. Μελέτη λάμπας δημόσιου φωτισμού:

Υπολογισμός του αριθμού των φωτοβολταϊκών πλαισίων που απαιτούνται για να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες μιας λάμπας δημόσιου φωτισμού για δρόμο, μονοπάτι (γενικότερα σημεία που δεν βρίσκονται στο κεντρικό δίκτυο φωτισμού.)

Ο υπολογισμός γίνεται λαμβάνοντας υπόψη, ως τοποθεσία ενδεχόμενης εφαρμογής της μελέτης, την πόλη της Κοζάνης. Το γεωγραφικό πλάτος είναι  $\varphi=40,28^\circ$ . Η βέλτιστη γωνία κλίσης της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού πλαισίου, για μέγιστη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας, είναι  $\zeta=40,28^\circ$  (πίνακας 2.5 «βέλτιστη γωνία κλίσης επιφάνειας, για μέγιστη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας, για κάθε μήνα και όλο το έτος, για διάφορες περιοχές της χώρας»). Η επιφάνειά του είναι στραμμένη προς το νότο. Το φωτοβολταϊκό σύστημα θα λειτουργεί όλο το χρόνο, εκτιθέμενο στις καιρικές συνθήκες. Η κατανάλωση θα είναι μικρή άρα θα αρκεί φωτοβολταϊκό πλαίσιο μικρής ισχύος και μικρής επιφάνειας, ενώ το βάρος του δεν αποτελεί βασικό κριτήριο, μια και το φωτοβολταϊκό θα είναι σταθερά τοποθετημένο σε μεταλλικό πάσσαλο.

Για το συγκεκριμένο υπολογισμό επιλέγεται λάμπα εξοικονόμησης ενέργειας τύπου: Lumina 11 CFL, 11W, 12V, λευκού χρώματος, 34€. (internet)

Η λάμπα θα λειτουργεί με φωτοκύτταρο, για 3 λεπτά, όταν θα αντιλαμβάνεται κίνηση. Λαμβάνοντας υπόψη ότι το χειμώνα βραδιάζει περίπου από τις 5 η ώρα και το καλοκαίρι περίπου από τις 9 η ώρα, επιλέγουμε ο χρόνος λειτουργίας της λάμπας να είναι από Οκτώβριο μέχρι Μάρτιο 5 ώρες την ημέρα (για διέλευση 100 ατόμων) και από Απρίλιο μέχρι Σεπτέμβριο 4 ώρες την ημέρα (για διέλευση 80 ατόμων).

Επομένως οι απαιτήσεις σε ηλεκτρική ενέργεια της λάμπας υπολογίζονται ως εξής:

Για τους μήνες από Οκτώβριο μέχρι Μάρτιο έχουμε:

$$11W \cdot 5h/\text{ημέρα} \cdot 30\text{μέρες}/\text{μήνα} = 1650\text{wh}/\text{μήνα} = \mathbf{1,65kwh}/\text{μήνα}$$

Για τους μήνες από Απρίλιο μέχρι Σεπτέμβριο έχουμε:

$$11W \cdot 4h/\text{ημέρα} \cdot 30\text{μέρες}/\text{μήνα} = 1320\text{wh}/\text{μήνα} = \mathbf{1,32kwh}/\text{μήνα}$$

Στον πίνακα 5.1.1. φαίνεται πως κατανέμονται οι ενεργειακές ανάγκες της λάμπας κάθε μήνα.

ΜΗΝΕΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒΡ	ΜΑΡΤ	ΑΠΡΙΛ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤΩΒ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚΕΜ
$Q_{\phi}$ kwh	1,65	1,65	1,65	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,32	1,65	1,65	1,65

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.1.: Ενεργειακές ανάγκες

Οι ενεργειακές ανάγκες της λάμπας είναι μικρές άρα μπορούν να καλυφθούν από φωτοβολταϊκό με μικρή ισχύ. Με φωτοβολταϊκό πλαίσιο μεγαλύτερης ισχύος, θα προέκυπτε μεγάλο ποσοστό επιπλέον συλλεγόμενης ενέργειας και το συνολικό κόστος θα αυξανόταν λόγω αύξησης της τιμής του πλαισίου.

Έτσι μετά από έρευνα αγοράς επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε το φωτοβολταϊκό τύπου: SF 50 A, 50W, 12V, 6,5Kg,  $F_{\pi}=0,429m^2$ , 337,09€ (εταιρεία Solion).

Ο βαθμός απόδοσης του συστήματος είναι  $\eta_s=0,089$  (σχέση 15), λαμβάνοντας υπόψη το βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού  $\eta=0,116$  (σχέση 16) και του εξοπλισμού  $\eta_o=0,765$  (σχέση 14). Ο βαθμός απόδοσης του συσσωρευτή είναι 0,85 και του ρυθμιστή φόρτισης είναι 0,90.

Μετά από υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας (σχέση 1) προκύπτει ο πίνακας 5.1.2.

ΜΗΝΕΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒΡ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΙ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤΩΒ	ΝΟΕΜ	ΔΕΚ
$H_T$ kwh/m <sup>2</sup>	79	80,81	113,6	125,5	149	151,1	170,55	172,07	145,3	124,17	90,612	71,84

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.2.: Ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας

Υπολογίζοντας το συντελεστή θερμοκρασίας πλαισίου  $\sigma_{\theta}$  (σχέση 20), λαμβάνοντας υπόψη τη θερμοκρασία περιβάλλοντος (πίνακας 2.6) προκύπτει ο πίνακας 5.1.3. Επιλέγοντας κατάλληλο συντελεστή ρύπανσης  $\sigma_p=0,8$ , για υψηλά επίπεδα ρύπανσης προκύπτει ο πίνακας 5.1.4..

ΜΗΝΕΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒΡ	ΜΑΡΤ	ΑΠΡ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤΩΒ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
$\sigma_{\theta}$	0,92	0,91	0,9	0,88	0,855	0,83	0,815	0,82	0,835	0,865	0,89	0,91

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.3.: Συντελεστής  $\sigma_{\theta}$

ΜΗΝΕΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒΡ	ΜΑΡΤ	ΑΠΡ	ΜΑ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
$\sigma_p$	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.4.: Συντελεστής  $\sigma_p$



Οι ημέρες αυτοδυναμίας  $S_p$  (σχέση 22) υπολογίστηκαν και προέκυψε ο πίνακας 5.1.5..

ΜΗΝΕΣ	ΙΑΝ	ΦΕΒΡ	ΜΑΡΤ	ΑΠΡΙΛ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠΤ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
$S_p$	7	6	6	5	5	4	3	3	4	5	6	7

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1..5: Ημέρες αυτοδυναμίας  $S_p$

Τα αποτελέσματα των παραπάνω υπολογισμών καταχωρούνται συνολικά στον πίνακα 5.1.6..

A	B	Γ	Δ	Ε	Z	H	Θ	I	K	Λ
ΜΗΝΕΣ	$\zeta$ ( $^\circ$ )	$H_T$ kwh/m <sup>2</sup>	$\theta_a$ ( $^\circ$ C)	$\sigma_\theta$	$\sigma_p$	$Q_\phi$ kwh	$H_T \cdot \sigma_\theta \cdot \sigma_p \cdot n_s$ Kwh/m <sup>2</sup>	$Q_\phi / H_T \cdot \sigma_\theta \cdot \sigma_p \cdot n_s$ (m <sup>2</sup> )	$S_p$ ημέρες	$Q_\phi \cdot S_p / 30$ (kwh)
ΙΑΝ	40,28	79	7	0,92	0,8	1,65	5,14669	0,3206	7	0,385
ΦΕΒΡ	40,28	80,81	8	0,91	0,8	1,65	5,23584	0,3151	6	0,33
ΜΑΡΤ	40,28	113,601	10	0,9	0,8	1,65	7,27955	0,2267	6	0,33
ΑΠΡ	40,28	125,5	15	0,88	0,8	1,32	7,81865	0,1688	5	0,22
ΜΑ	40,28	149,18	19	0,86	0,8	1,32	9,08148	0,1454	5	0,22
ΙΟΥΝ	40,28	151,1	24	0,83	0,8	1,32	8,92941	0,1478	4	0,176
ΙΟΥΛ	40,28	170,55	27	0,82	0,8	1,32	9,89668	0,1334	3	0,132
ΑΥΓ	40,28	172,07	27	0,82	0,8	1,32	9,98488	0,1322	3	0,132
ΣΕΠΤ	40,28	145,31	23	0,84	0,8	1,32	8,63897	0,1528	4	0,176
ΟΚΤ	40,28	124,17	17	0,87	0,8	1,65	7,64738	0,2158	5	0,275
ΝΟΕ	40,28	90,612	12	0,89	0,8	1,65	5,7419	0,2874	6	0,33
ΔΕΚ	40,28	71,84	8	0,91	0,8	1,65	4,65466	0,3545	7	0,385

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.6.: Συνολικός πίνακας

### Φωτοβολταϊκά

Από τη στήλη I του πίνακα 5.1.6. επιλέγουμε τη μεγαλύτερη τιμή, η οποία δείχνει την συνολική απαιτούμενη επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Έτσι έχουμε  $F=0,3545m^2$ .

Άρα ο απαιτούμενος αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι  $N=0,8$  (σχέση 21). Επομένως επιλέγουμε 1 φωτοβολταϊκό.

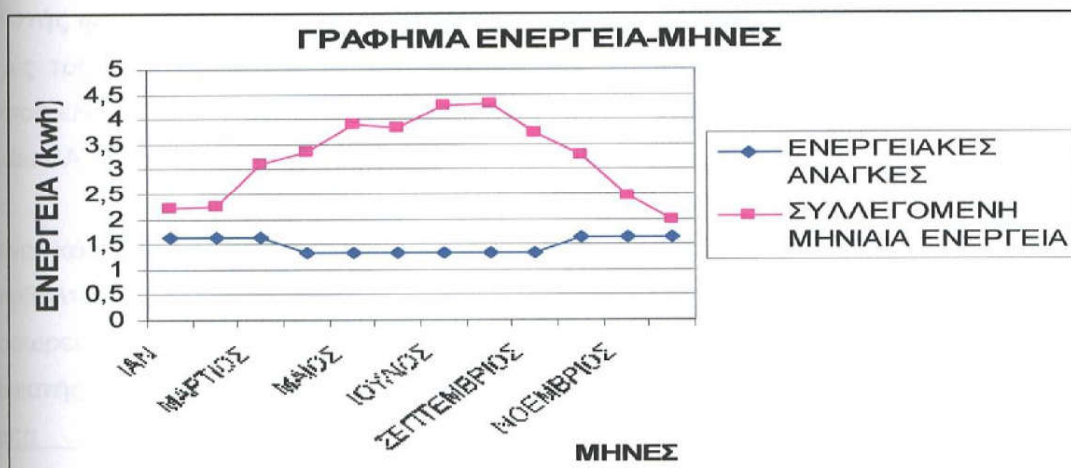
Στο σημείο αυτό που έχει υπολογιστεί η συνολική επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου, μπορούμε να υπολογίσουμε τη συνολική μηνιαία ενέργεια που έχει τη δυνατότητα να συλλέξει (σχέση 27). Στον πίνακα 5.1.7. φαίνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών.

Στη στήλη (B) φαίνονται οι ενεργειακές ανάγκες της λάμπας, ενώ στη στήλη (Γ) καταγράφεται η ενέργεια που έχει τη δυνατότητα να συλλέξει το σύστημά μας.



A	B	Γ	Δ
ΜΗΝΕΣ	Ενεργειακές ανάγκες σε Kwh/mo	Συλλεγόμενη μηνιαία ενέργεια σε Kwh/mo	ποσοστό επί τις % επιπλέον συλλεγόμενη ενέργεια
ΙΑΝ	1,65	2,219	25,64
ΦΕΒΡ	1,65	2,246	26,53
ΜΑΡΤΙΟΣ	1,65	3,123	47,16
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	1,32	3,373	60,86
ΜΑΙΟΣ	1,32	3,918	66,3
ΙΟΥΝΙΟΣ	1,32	3,83	65,53
ΙΟΥΛΙΟΣ	1,32	4,271	69,09
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	1,32	4,309	69,36
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	1,32	3,728	64,59
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	1,65	3,299	49,98
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	1,65	2,463	33
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	1,65	1,996	17,3
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>17,82</b>	<b>38,775</b>	<b>54,04</b>

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.7.: Ενεργειακές ανάγκες, συλλεγόμενη μηνιαία ενέργεια, επιπλέον συλλεγόμενη ενέργεια



Σχήμα 5.1.1.: Ενεργειακές ανάγκες, συλλεγόμενη ενέργεια

Από ότι προκύπτει από τον πίνακα 5.1.7. και το σχήμα 5.1.1., βλέπουμε ότι για κάποιους μήνες, το σύστημά μας έχει τη δυνατότητα να συλλέξει επιπλέον ενέργεια. Αυτή την ενέργεια μπορούμε να την εκμεταλλευτούμε πουλώντας την στη ΔΕΗ. Αυτό βέβαια σημαίνει ότι θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί συγχρονισμένος αντιστροφάς, οπότε θα αυξηθεί και το συνολικό κόστος. Αν παρόλα αυτά, το σύστημα είναι σε απομακρυσμένη περιοχή, μακριά από το δίκτυο, αυτή η επιπλέον ενέργεια δεν μπορεί να εκμεταλλευθεί και απορρίπτεται, εκτός και αν αποθηκευτεί σε συσσωρευτές.

### Συσσωρευτές

Από τη στήλη Λ επιλέγουμε τη μεγαλύτερη τιμή, η οποία δείχνει τη συνολική απαιτούμενη ενέργεια και η οποία θα καλύψει τις ενεργειακές μας ανάγκες κατά τις ημέρες τις αυτοδυναμίας. Έτσι έχουμε  $E_o=0,385kwh=385Wh$ .

Υπολογίζοντας τη χωρητικότητα των συσσωρευτών βρίσκουμε:  $Q=377,5Ah$  (σχέση 24),  $\beta=0,1$  για ανοικτού τύπου και  $\eta_o=0,85$ .

Τη χωρητικότητα αυτή την πετυχαίνουμε συνδέοντας παράλληλα 2 συσσωρευτές τύπου: ROK N200R, 200Ah, 12V, ανοικτού τύπου με υγρά 517/273/239, 199,13€, (εταιρεία Ecosun). Έτσι πετυχαίνουμε τάση 12V όση και του φωτοβολταϊκού και χωρητικότητα 400Ah η οποία καλύπτει τις 377,5Ah.

Η ισχύς που παρέχουν οι συσσωρευτές κατά τη χρονική περίοδο που καλούνται να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες είναι:  $P_\phi=22,889W$  (σχέση 25).

### Ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτών

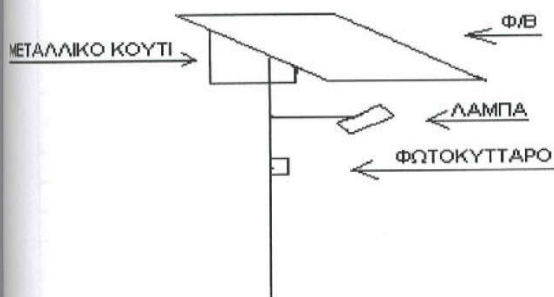
Η ισχύς του φωτοβολταϊκού είναι 50W και η τάση του 12V άρα η ένταση του ρεύματος είναι  $50/12=4,16A$ . Οπότε επιλέγουμε ρυθμιστή φόρτισης τύπου: Solsum 6A Solar/6A Last 12/24V, 6A, 38,94€, (εταιρεία Photovoltaic).

Το συνολικό κόστος της εγκατάστασης είναι:

1 φωτοβολταϊκό πλαίσιο	=337,09 €
2 συσσωρευτές*199,13€	=398,26 €
1 ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτή	=38,94 €
1 λάμπα	=34 €
Σύνολο	=808,29 €

### Μορφή συστήματος

Η λάμπα βρίσκεται σε μεταλλικό πάσαλο. Πάνω από τη λάμπα, στην κορυφή του πασάλου με προσανατολισμό προς νότο στερεώνεται το φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Σε κουτί, κάτω από το φωτοβολταϊκό, τοποθετούνται οι 2 συσσωρευτές και ο ρυθμιστής φόρτισης. Αυτό γίνεται για την προστασία τους από τα καιρικά φαινόμενα. Η συνδεσμολογία ευκολύνεται, αφού δεν υπάρχει μεγάλη απόσταση μεταξύ του φωτοβολταϊκού και των συσσωρευτών. Περίπου στα 2m του πασάλου τοποθετείται το φωτοκύτταρο έτσι ώστε να αντιλαμβάνεται την κίνηση (σχήμα 5.1.2.).



Σχήμα 5.1.2.: Φωτοβολταϊκό σύστημα λάμπας δημόσιου φωτισμού

## ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

### 1. Υπολογισμός με άλλο φωτοβολταϊκό

Εφόσον η αρχική μελέτη έγινε με φωτοβολταϊκό ισχύος 50W, η παραμετρική μελέτη γίνεται με μικρότερης ισχύος και πιο φθινό φωτοβολταϊκό έτσι ώστε να διαπιστωθεί αν επαρκεί για να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες και αν μεταβληθεί το συνολικό κόστος της εγκατάστασης.

Επιλέγουμε: ASI-F 32/12 thin-film (λεπτού πυριτίου), 32W, 12V, 6,1KG,  $F_{\pi}=0,608\text{m}^2$ , 222,43€, (εταιρεία Ecosun).

Ο βαθμός απόδοσης του συστήματος είναι  $\eta_s=0,04$  (σχέση 15) λαμβάνοντας υπόψη το βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού  $\eta=0,053$  (σχέση 16) και του εξοπλισμού  $\eta_o=0,765$  (σχέση 14). Ο βαθμός απόδοσης του συσσωρευτή είναι 0,85 και του ρυθμιστή φόρτισης είναι 0,90.



A	B	Γ	Δ	Ε	Ζ	Η	Θ	Ι	Κ	Λ
ΜΗΝΕΣ	$\zeta$ ( $^\circ$ )	$H_T$ kwh/m <sup>2</sup>	$\theta_a$ ( $^\circ$ C)	$\sigma_\theta$	$\sigma_p$	$Q_\phi$ kwh	$H_T \cdot \sigma_\theta \cdot \sigma_p$ $\cdot n_c$ Kwh/m <sup>2</sup>	$Q_\phi / H_T \cdot \sigma_\theta$ $\cdot \sigma_p \cdot n_c$ (m <sup>2</sup> )	$S_p$ ημέρες	$Q_\phi \cdot S_p / 30$ (kwh)
ΙΑΝ	40,28	79	7	0,915	0,8	1,65	2,31312	0,71332	7	0,385
ΦΕΒΡ	40,28	80,81	8	0,91	0,8	1,65	2,35319	0,70118	6	0,33
ΜΑΡΤ	40,28	113,601	10	0,9	0,8	1,65	3,27171	0,50432	6	0,33
ΑΠΡ	40,28	125,5	15	0,875	0,8	1,32	3,514	0,37564	5	0,22
ΜΑ	40,28	149,18	19	0,855	0,8	1,32	4,08156	0,32341	5	0,22
ΙΟΥΝ	40,28	151,1	24	0,83	0,8	1,32	4,01322	0,32891	4	0,176
ΙΟΥΛ	40,28	170,55	27	0,815	0,8	1,32	4,44794	0,29677	3	0,132
ΑΥΓ	40,28	172,07	27	0,815	0,8	1,32	4,48759	0,29414	3	0,132
ΣΕΠΤ	40,28	145,31	23	0,835	0,8	1,32	3,88268	0,33997	4	0,176
ΟΚΤ	40,28	124,17	17	0,865	0,8	1,65	3,43703	0,48007	5	0,275
ΝΟΕ	40,28	90,612	12	0,89	0,8	1,65	2,58063	0,63938	6	0,33
ΔΕΚ	40,28	71,84	8	0,91	0,8	1,65	2,09198	0,78873	7	0,385

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.8.: Συνολικός πίνακας

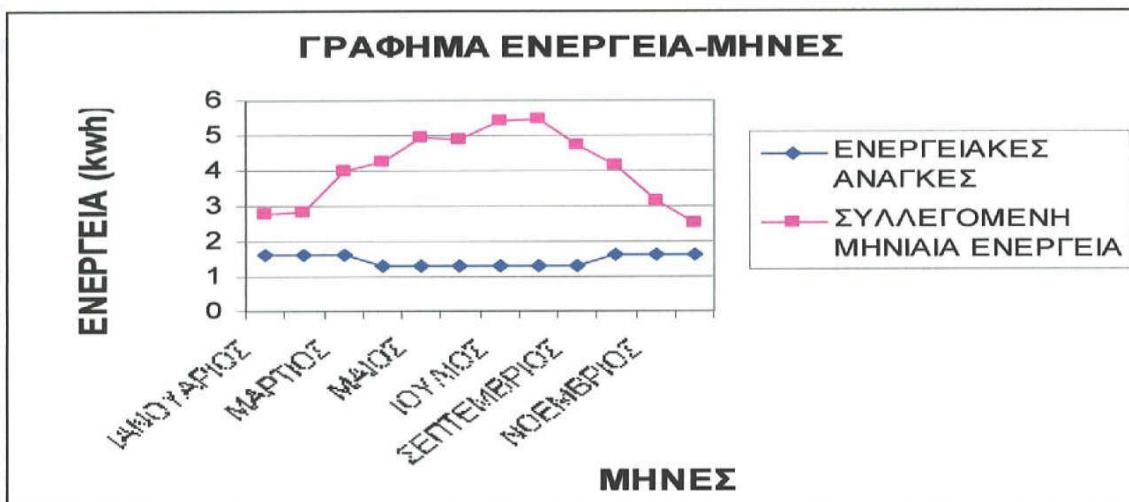
### Φωτοβολταϊκά

Από τη στήλη Ι του πίνακα 5.1.8. επιλέγουμε τη μεγαλύτερη τιμή, η οποία δείχνει την συνολική απαιτούμενη επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Έτσι έχουμε  $F=0,78873m^2$ .

Άρα ο απαιτούμενος αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι  $N=1,3$  (σχέση 21). Επομένως επιλέγουμε 2 φωτοβολταϊκά και όχι 1, τα οποία τοποθετούνται παράλληλα έτσι ώστε να πετύχουμε τάση 12V. Αν επιλεγεί 1 φωτοβολταϊκό στην ουσία επιλέγεται μικρότερη επιφάνεια φωτοβολταϊκού από την απαιτούμενη, άρα και μικρότερη συλλεγόμενη ενέργεια από την απαιτούμενη.

A	B	Γ	Δ
ΜΗΝΕΣ	Ενεργειακές ανάγκες $Q_\phi$ Kwh/μήνα	Συλλεγόμενη μηνιαία ενέργεια Kwh/μήνα	ποσοστό επί τις % επιπλέον συλλεγόμενη ενέργεια
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ	1,65	2,813	41,34
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ	1,65	2,86	42,3
ΜΑΡΤΙΟΣ	1,65	3,978	58,52
ΑΠΡΙΛΙΟΣ	1,32	4,273	69,1
ΜΑΙΟΣ	1,32	4,963	73,4
ΙΟΥΝΙΟΣ	1,32	4,88	72,95
ΙΟΥΛΙΟΣ	1,32	5,408	75,59
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	1,32	5,457	75,81
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ	1,32	4,721	72
ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ	1,65	4,179	60,2
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ	1,65	3,138	47,41
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ	1,65	2,543	35,1
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>17,82</b>	<b>49,213</b>	<b>44,17</b>

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1.9.: Ενεργειακές ανάγκες, συλλεγόμενη μηνιαία ενέργεια, επιπλέον συλλεγόμενη ενέργεια



ΣΧΗΜΑ 5.1.3.: Ενεργειακές ανάγκες-συλλεγόμενη μηνιαία ενέργεια

### Συσσωρευτής

Διαπιστώνεται ότι η συνολική απαιτούμενη ενέργεια, η οποία θα καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες κατά τις ημέρες τις αυτοδυναμίας, παραμένει σταθερή, αφού οι ενεργειακές ανάγκες είναι ίδιες. Άρα επιλέγουμε τον ίδιο τύπο συσσωρευτή.

### Ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτών

Η ισχύς του φωτοβολταϊκού είναι 32W και η τάση του 12V άρα η ένταση του ρεύματος είναι  $32/12=2,67A$ . Οπότε επιλέγουμε ρυθμιστή φόρτισης τύπου Solara SR50UL, 3A Solar, 12V, 23,60€, (εταιρεία Ecosun).

Το συνολικό κόστος είναι 900,72€

### Συμπέρασμα

Παρατηρούμε ότι με μικρότερης ισχύος φωτοβολταϊκό πλαίσιο οι ενεργειακές ανάγκες καλύπτονται με τον διπλάσιο αριθμό πλαισίων και το συνολικό κόστος αυξάνεται. Επίσης από τον πίνακα 5.1.9. και τα σχήμα 5.1.3., παρατηρείται ότι το ποσοστό της επιπλέον συλλεγόμενης ενέργειας ανά μήνα είναι μεγαλύτερο από την αρχική μελέτη, το οποίο όμως είναι δύσκολο να εκμεταλλευθεί εκτός αν είναι κοντά στο δίκτυο με αποτέλεσμα να διοχετευθεί σ'αυτό. Για να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες

απαιτούνται 1,3 φωτοβολταϊκά άρα το 70% της επιφάνειας του δεύτερου φωτοβολταϊκού δε χρειάζεται πραγματικά. Το γεγονός ότι περισσεύει επιφάνεια πλαισίου και η οποία δεν χρησιμοποιείται, σημαίνει ότι και το κόστος αυξάνεται κατά 155,701, όπως έχει υπολογιστεί. Αυτό το κόστος αντιστοιχεί στο 70% της επιφάνειας του πλαισίου, η οποία αναγκαστικά πληρώνεται. Σε αντίθεση, στην αρχική μελέτη μόνο το 20% του πλαισίου περισσεύει. Η μελέτη όμως αναφέρεται σε μικρή εφαρμογή άρα απαιτείται μικρή επιφάνεια πλαισίου. Άρα στην περίπτωση απομακρυσμένης περιοχής τέτοιου είδους εφαρμογή δε συμφέρει ιδιαίτερα, ενώ η ίδια εφαρμογή σε περιοχή κοντά στο δίκτυο μπορεί να γίνει συμφέρουσα, καθώς η επιπλέον ενέργεια δε θα απορρίπτεται αλλά θα αξιοποιείται. Με τη προϋπόθεση βέβαια ότι θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί συγχρονισμένος αντιστροφείας και κατά συνέπεια θα αυξηθεί το συνολικό κόστος.

Στην προσπάθεια να μειωθεί η επιφάνεια του πλαισίου που περισσεύει, έγινε υπολογισμός με μικρότερης ισχύος φωτοβολταϊκό ASI-F 10/12, 10W, 12V από τον οποίο όμως προέκυψε ότι τα απαιτούμενα φωτοβολταϊκά είναι 4,3 άρα θα επιλεγόταν για την μελέτη 5 φωτοβολταϊκά. Αυτό σημαίνει ότι πάλι περισσεύει το 70% του πέμπτου φωτοβολταϊκού. Επίσης παρατηρήθηκε ότι το κόστος αυξήθηκε με τα πέντε φωτοβολταϊκά. Άρα μπορεί να ειπωθεί ως συμπέρασμα, ότι θα είχε ενδιαφέρον η ανάπτυξη ενός επαναληπτικού αλγορίθμου που να επιλέγει από διαθέσιμα φωτοβολταϊκά και να βελτιστοποιεί τον αριθμό των φωτοβολταϊκών σχετικά με τις ενεργειακές απαιτήσεις και το κόστος.

## 2. Υπολογισμός με άλλο συσσωρευτή

Αναφερόμενοι πάλι στην αρχική μελέτη και κρατώντας τα δεδομένα της και τα αποτελέσματα που έχουν εξαχθεί για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, γίνεται μια προσπάθεια επιλογής άλλων συσσωρευτών, πιο φθηνών από τους συσσωρευτές της αρχικής μελέτης, αλλά με διαφορετική χωρητικότητα ώστε να διαπιστωθεί αν μπορούν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες και κατά πόσο θα αυξηθεί το συνολικό κόστος.

Η συνολική απαιτούμενη ενέργεια, η οποία θα καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες κατά τις ημέρες τις αυτοδυναμίας είναι πάλι  $E_0=0,385\text{kwh}=385\text{Wh}$  και η χωρητικότητα των



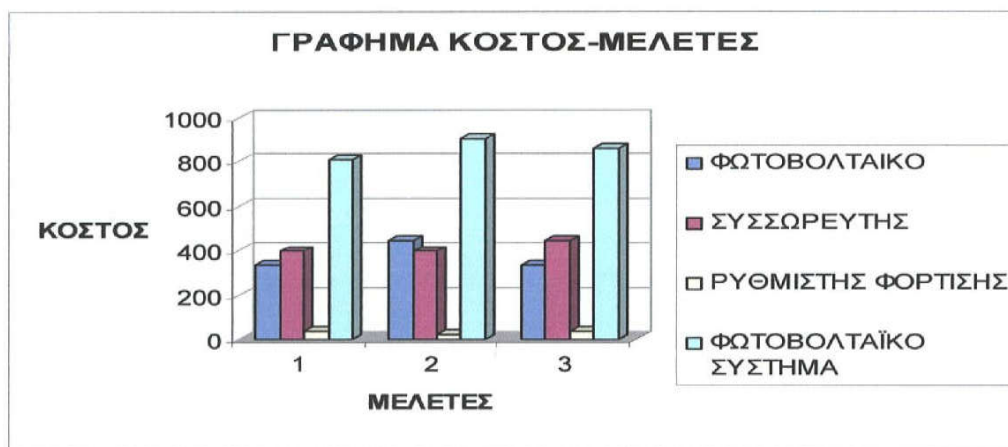
συσσωρευτών υπολογίζεται:  $Q=377,5Ah$  (σχέση 24),  $\beta=0,1$  για ανοικτού τύπου και  $\eta_0=0,85$ .

Τη χωρητικότητα αυτή την πετυχαίνουμε συνδέοντας παράλληλα 3 συσσωρευτές τύπου: ROK N150R, 150Ah, 12V, ανοιχτού τύπου με υγρά, 149,34€, (εταιρεία Ecosun). Έτσι πετυχαίνουμε τάση 12V όση και του φωτοβολταϊκού και χωρητικότητα 450Ah, η οποία καλύπτει τις 377,5Ah.

Το συνολικό κόστος είναι 858,05€

### Συμπέρασμα

Παρατηρούμε ότι χρησιμοποιώντας 3 συσσωρευτές το συνολικό κόστος δεν αυξάνεται ιδιαίτερα και υπάρχει περίσσεια δυνατότητας αποθήκευσης ενέργειας στους συσσωρευτές μια και έχουν μεγαλύτερη συνολική χωρητικότητα.. Παρόλα αυτά η χωροθέτηση και στήριξη 3 συσσωρευτών στην κολώνα είναι δύσκολη. Πρόβλημα σημαντικό για μικρού μεγέθους εφαρμογή και ιδιαίτερα για τη συγκεκριμένη, τη λάμπα δημόσιου φωτισμού.



ΣΧΗΜΑ 5.1.4.: Σύγκριση κόστους μελετών

Στο σχήμα 5.1.4. παρουσιάζεται το συνολικό κόστος για την αρχική μελέτη (1), την πρώτη παραμετρική μελέτη (2) και την δεύτερη παραμετρική μελέτη (3). Επίσης φαίνεται το κόστος των φωτοβολταϊκών και του επιμέρους εξοπλισμού (συσσωρευτής, ρυθμιστής φόρτισης) για την αρχική μελέτη και τις δύο παραμετρικές μελέτες.

Το συνολικό κόστος της αρχικής μελέτης είναι 808,29€ ενώ το κόστος της πρώτης παραμετρικής μελέτης, η οποία έγινε για άλλο φωτοβολταϊκό, ανέρχεται στα 900,72€. Το κόστος της δεύτερης παραμετρικής μελέτης είναι 858,05€ και η αύξησή του οφείλεται στην αλλαγή τύπου συσσωρευτή.

Οι πίνακες που χρησιμοποιήθηκαν είναι από το βιβλίο <<Αυτόνομες εφαρμογές ηλιακής ενέργειας μικρού και μεσαίου μεγέθους>>, Βασίλης Μαλαμής, Εκδόσεις ΙΩΝ, 1999.

## 5.2. Μελέτη καντίνας:

Υπολογισμός του αριθμού των φωτοβολταϊκών πλαισίων που απαιτούνται για να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες μιας καντίνας, για θερινή περίοδο, σε τουριστική περιοχή.

Ο υπολογισμός γίνεται λαμβάνοντας υπόψη, ως τοποθεσία ενδεχόμενης εφαρμογής της μελέτης, την πόλη των Χανίων στην Κρήτη. Το γεωγραφικό πλάτος είναι  $\varphi=35,5^\circ$ . Η βέλτιστη γωνία κλίσης της επιφάνειας του φωτοβολταϊκού πλαισίου, για μέγιστη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας, για τους μήνες Μάιος-Σεπτέμβριος, είναι  $\zeta=11,2^\circ$  (σχέση 13 και πίνακας 2.5 «βέλτιστη γωνία κλίσης επιφάνειας, για μέγιστη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας, για κάθε μήνα και όλο το έτος, για διάφορες περιοχές της χώρας»). Η επιφάνειά του είναι στραμμένη προς το νότο. Το φωτοβολταϊκό σύστημα της καντίνας θα λειτουργεί τη θερινή περίοδο, Μάιος-Σεπτέμβριος. Η κατανάλωση είναι μεγάλη άρα θα πρέπει να επιλεγούν φωτοβολταϊκά μεγάλης επιφάνειας και ισχύος, τα οποία θα είναι σταθερά τοποθετημένα στην οροφή, με τη συγκεκριμένη κλίση, ή θα αποτελούν σκίαστρα για την καντίνα.

Μετά από συνάντηση με ιδιοκτήτη καντίνας στη Βέροια, έγινε εκτίμηση του χώρου της καντίνας και των συσκευών που λειτουργούν σ'αυτήν. Στην συγκεκριμένη, της οποίας το εμβαδόν βάσης είναι περίπου  $12\text{m}^2$ , υπάρχουν 2 καταψύκτες, φραπεδιέρα, ραδιόφωνο. Έτσι βάση αυτής της καντίνας, μετά από μία έρευνα αγοράς σε διάφορες ηλεκτρικές συσκευές, διαφορετικών εταιρειών, επιλέχθηκαν οι παρακάτω, με βασικό κριτήριο την καταλληλότητά τους (ως προς τις διαστάσεις), να λειτουργούν σε μια καντίνα:

### Ηλεκτρικές συσκευές:

1. ΚΑΤΑΨΥΚΤΗΣ: 2 καταψύκτες

Τύπος: Siemens GT 11 A 900

Τεχνικές προδιαγραφές

- ημερήσια κατανάλωση ενέργειας: 0,56kwh
- ετήσια κατανάλωση ενέργειας: 204kwh
- ονομαστική ισχύς: 75W



- αυτονομία: 26h
- τάση: 220-240V
- συχνότητα: 50Hz

#### Χαρακτηριστικά

- ύψοςxπλάτοςxβάθος: 83x55x59cm
- χωρητικότητα ολική μικτή: 105lt
- βάρος: 33Kg
- ικανότητα κατάψυξης σε 24 ώρες: 8kg
- απόψυξη θαλάμου κατάψυξης: με το χέρι

## 2. ΨΥΓΕΙΟ

Τύπος: Siemens KT 14 G 40

Τεχνικές προδιαγραφές:

- ημερήσια κατανάλωση ενέργειας: 0,55kwh
- ετήσια κατανάλωση ενέργειας: 200kwh
- τάση: 220-230V
- συχνότητα: 50Hz
- ονομαστική ισχύς: 100W

#### Χαρακτηριστικά

- ύψοςxπλάτοςxβάθος: 85x50x60cm
- αριθμός θυρών: 1
- αριθμός θυρών δεξιά/αριστερά: NAI
- βάρος: 34kg
- χωρητικότητα ολική μικτή: 144lt
- ωφέλιμη χωρητικότητα συντήρησης: 116lt
- ωφέλιμη χωρητικότητα κατάψυξης: 14lt
- απόψυξη θαλάμου συντήρησης: αυτόματη
- απόψυξη θαλάμου κατάψυξης: με το χέρι

## 3. ΤΟΣΤΙΕΡΑ

Τύπος: Kelvin XP 100 750W, 220V, 50Hz

#### 4. ΦΡΑΠΕΔΙΕΡΑ

Τύπος: TONY'C CLASSIC 40W, 220V, 50Hz

#### 5. CD-RADIO-CASSETTE

Τύπος: SONY CFD 151 20W, 220V, 50Hz

#### 6. ΛΑΜΠΑ ΦΩΤΙΣΜΟΥ: 25W, 220V, 50Hz

Οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια δίνονται παρακάτω:

##### 1. Καταψύκτης

Χρησιμοποιούνται 2 καταψύκτες και η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας είναι 0,56kwh. Άρα η ημερήσια κατανάλωση και των δύο είναι 1,12kwh. Η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας είναι  $1,12 \cdot 30 = 33,6$  kwh.

##### 2. Ψυγείο

Η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας είναι 0,55kwh άρα η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας είναι  $0,55 \cdot 30 = 16,5$  kwh.

##### 3. Τοστιέρα

Λειτουργεί 1 ώρα (σε χρόνο 3 λεπτών έχουμε έτοιμο τοστ, στην τοστιέρα χωράνε 2 τοστ, άρα ο χρόνος μας αντιστοιχεί σε 40 τοστ) την ημέρα και η ισχύς είναι 750W. Άρα η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας είναι 0,75kwh και η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας είναι  $0,75 \cdot 30 = 22,5$  kwh.

##### 4. Φραπεδιέρα

Λειτουργεί μισή ώρα (σε χρόνο 5 δευτερολέπτων έχουμε έτοιμο φραπέ, άρα ο χρόνος μας αντιστοιχεί σε 360 φραπέ) την ημέρα και η ισχύς είναι 40W. Άρα η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας είναι  $40 \cdot 0,5 = 0,02$  kwh και η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας είναι  $0,02 \cdot 30 = 0,6$  kwh.

##### 5. CD-RADIO-CASSETTE

Λειτουργεί 14 ώρες την ημέρα και η ισχύς είναι 20W. Άρα η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας είναι 0,28kwh και η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας είναι  $0,28 \cdot 30 = 8,4$  kwh.

## 6. Φωτισμός

Χρησιμοποιούνται 2 λάμπες των 25W άρα  $2 \cdot 25 = 0,05 \text{KW}$ .

Από τον Μάιο μέχρι και τον Αύγουστο λειτουργούν για 4,5 ώρες την ημέρα και η κατανάλωση είναι 0,225kwh/ημέρα ή 6,75kwh/μήνα.

Τον Σεπτέμβριο λειτουργούν για 5,5 ώρες την ημέρα και η κατανάλωση είναι 0,275kwh/ημέρα ή 8,25kwh/μήνα.

Στον πίνακα 5.2.1. φαίνεται πως κατανέμονται οι ενεργειακές ανάγκες της καντίνας σε κάθε μήνα.

ΜΗΝΑΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ
ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ [kwh]	88,35	88,35	88,35	88,35	89,85

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.1.: Ενεργειακές ανάγκες

Στη συγκεκριμένη μελέτη απαιτούνται φωτοβολταϊκά μεγάλης ισχύος και μεγάλης επιφάνειας, έτσι ώστε να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες. Το βάρος του συστήματος δεν μας ενδιαφέρει γιατί θα είναι σταθερά τοποθετημένα. Έτσι μετά από έρευνα αγοράς επιλέγουμε να χρησιμοποιήσουμε το φωτοβολταϊκό τύπου: ASE-300-DG-FT/17, 300W, 12V, 50Kg,  $F_{\pi} = 2,43 \text{m}^2$ , 2269,21€, (εταιρεία Ecosun).

Ο βαθμός απόδοσης του συστήματος είναι  $\eta_s = 0,0868$  (σχέση 15) λαμβάνοντας υπόψη το βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού  $\eta = 0,124$  (σχέση 16) και του εξοπλισμού  $\eta_o = 0,7038$  (σχέση 14). Ο βαθμός απόδοσης του συσσωρευτή είναι 0,85 και του ρυθμιστή φόρτισης είναι 0,90 και του αντιστροφέα 0,92.

Μετά από υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας (σχέση 1) προκύπτει ο πίνακας 5.2.2. .

ΜΗΝΕΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ
$H_T \text{ kwh/m}^2$	206,28	226,989	242,16	224,82	167,87

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.2.: Ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας

Υπολογίζοντας το συντελεστή θερμοκρασίας πλαισίου  $\sigma_{\theta}$  (σχέση 20), λαμβάνοντας υπόψη τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, προκύπτει ο πίνακας 5.2.3.. Επιλέγοντας κατάλληλο συντελεστή ρύπανσης  $\sigma_p = 1$ , για χαμηλά επίπεδα ρύπανσης και  $\sigma_p = 0,9$  για μέτρια επίπεδα ρύπανσης προκύπτει ο πίνακας 5.2.4..



ΜΗΝΑΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ
$\sigma_{\theta}$	0,84	0,82	0,81	0,81	0,825

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.3.: Συντελεστής  $\sigma_{\theta}$

ΜΗΝΑΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ
$\sigma_{\rho}$	1	0,9	0,9	0,9	0,9

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.4.: Συντελεστής  $\sigma_{\rho}$

Οι ημέρες αυτοδυναμίας  $S_p$  (σχέση 22) υπολογίστηκαν και προέκυψε ο πίνακας 5.2.5..

ΜΗΝΑΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ
$S_p$	3	2	2	2	3

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.5.: Ημέρες αυτοδυναμίας  $S_p$

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών καταχωρούνται στον πίνακα 5.2.6..

A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I	K	Λ
ΜΗΝΕΣ	$\xi$ ( $^{\circ}$ )	$H_T$ kwh/m <sup>2</sup>	$\theta_a$ ( $^{\circ}$ C)	$\sigma_{\theta}$	$\sigma_{\rho}$	$Q_{\phi}$ kwh	$H_T^* \sigma_{\theta}^* \sigma_{\rho}^*$ $n_c$ Kwh/m <sup>2</sup>	$Q_{\phi}/H_T^*$ $\sigma_{\theta}^* \sigma_{\rho}^*$ $n_c$ (m <sup>2</sup> )	$S_p$ ημέρες	$Q_{\phi}^* S_p / 30$ (kwh)
ΜΑΙΟΣ	11,2	206,28	22	0,84	1	88,35	15,04029	5,87	3	8,835
ΙΟΥΝ	11,2	226,989	26	0,82	0,9	88,35	14,54055	6,076	2	5,89
ΙΟΥΛ	11,2	242,16	28	0,81	0,9	88,35	15,32321	5,7657	2	5,89
ΑΥΓ	11,2	224,82	28	0,81	0,9	88,35	14,22598	6,2104	2	5,89
ΣΕΠΤ	11,2	167,87	25	0,83	0,9	89,85	10,81905	8,3048	3	8,985

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.6.: Συνολικός πίνακας

### Φωτοβολταϊκά

Από τη στήλη I του πίνακα 5.2.6. επιλέγουμε τη μεγαλύτερη τιμή, η οποία δείχνει την συνολική απαιτούμενη επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Έτσι έχουμε  $F=8,3048m^2$ .

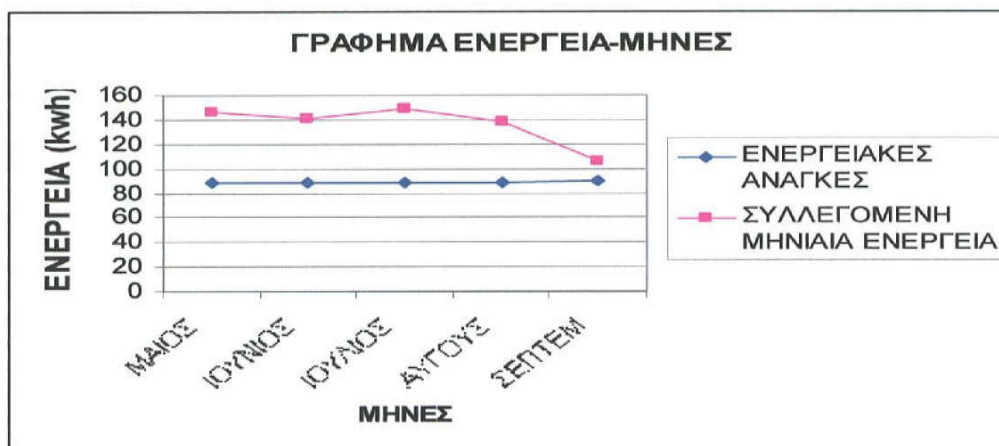
Άρα ο απαιτούμενος αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι  $N=3,4$  (σχέση 21). Επομένως επιλέγουμε 4 φωτοβολταϊκά και όχι 3, τα οποία τοποθετούνται παράλληλα έτσι ώστε να πετύχουμε τάση 12 V. Αν επιλεγθούν 3 φωτοβολταϊκά στην ουσία επιλέγεται μικρότερη επιφάνεια φωτοβολταϊκού από την απαιτούμενη, άρα και μικρότερη συλλεγόμενη ενέργεια από την απαιτούμενη. Έτσι, βέβαια, το 60% της επιφάνειας του τέταρτου φωτοβολταϊκού πλαισίου περισσεύει.

Στο σημείο αυτό που έχει υπολογιστεί η συνολική επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων, μπορούμε να υπολογίσουμε τη συνολική μηνιαία ενέργεια που έχουν τη δυνατότητα να συλλέξουν (σχέση 27). Στον πίνακα 5.2.7. φαίνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών.

Στη στήλη (B) φαίνονται οι ενεργειακές ανάγκες της καντίνας, ενώ στη στήλη (Γ) καταγράφεται η ενέργεια που έχει τη δυνατότητα να συλλέξει το σύστημά μας.

A	B	Γ	Δ
ΜΗΝΕΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ [kwh]	ΣΥΛΛΕΓΟΜΕΝΗ ΜΗΝΙΑΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ [kwh]	ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙ ΤΗΣ % ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΣΥΛΛΕΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ
ΜΑΙΟΣ	88,35	146,191	39,56
ΙΟΥΝΙΟΣ	88,35	141,334	37,48
ΙΟΥΛΙΟΣ	88,35	148,942	40,68
ΑΥΓΟΥΣ	88,35	138,276	49,926
ΣΕΠΤΕΜ	89,85	105,798	15,07
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>443,25</b>	<b>680,541</b>	<b>34,86</b>

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.2.7.: Ενεργειακές ανάγκες, Συλλεγόμενη ενέργεια, επιπλέον συλλεγόμενη ενέργεια



ΣΧΗΜΑ 5.2.1.: Ενεργειακές ανάγκες, συλλεγόμενη ενέργεια

Από ότι προκύπτει από τον πίνακα 5.2.7. και το σχήμα 5.2.1., βλέπουμε ότι για κάποιους μήνες, το σύστημά μας έχει τη δυνατότητα να συλλέξει επιπλέον ενέργεια. Αυτή την ενέργεια μπορούμε να την εκμεταλλευτούμε πουλώντας την στη ΔΕΗ. Σε αυτήν την περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί αντιστροφείας συγχρονισμένος με το δίκτυο, ο οποίος θα αυξήσει το συνολικό κόστος της εγκατάστασης.

### **Συσσωρευτές**

Από τη στήλη Λ επιλέγουμε τη μεγαλύτερη τιμή, η οποία δείχνει τη συνολική απαιτούμενη ενέργεια και η οποία θα καλύψει τις ενεργειακές μας ανάγκες κατά τις ημέρες τις αυτοδυναμίας. Έτσι έχουμε  $E_o=8,985kwh=8985Wh$ .

Υπολογίζοντας τη χωρητικότητα των συσσωρευτών, βρίσκουμε:  $Q=6606,6Ah$  (σχέση 24), με  $\beta=0,8$  για βιομηχανικού τύπου και  $\eta_o=0,85$ .

Τη χωρητικότητα αυτή την πετυχαίνουμε συνδέοντας σε σειρά 6 συσσωρευτές τύπου: 12 OpzS, 1200Ah/10h, 2V, 94kg, 369,25€, (εταιρεία Solion). Έτσι πετυχαίνουμε τάση  $6*2=12V$ , όση και των φωτοβολταϊκών και χωρητικότητα 7200Ah η οποία καλύπτει τα 6606,6Ah.

Η ισχύς που παρέχουν οι συσσωρευτές κατά τη χρονική περίοδο που καλούνται να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες είναι:  $P_\phi=158,5W$  (σχέση 25).

### **Αντιστροφέας συνεχούς-εναλλασσόμενου ρεύματος**

Η ισχύς του φωτοβολταϊκού σταθμού είναι:

$$4 \Phi/B*300(W, \text{ισχύς πλαισίου})=1200W$$

Με βάση αυτή την ισχύ εκλέγουμε έναν αντιστροφέα συνεχούς-εναλλασσόμενου ρεύματος τύπου: TC 20/12, 12V/2000W 1888€ (εταιρεία Seners).

### **Ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτών**

Η ισχύς του φωτοβολταϊκού είναι 300W και η τάση του 12V άρα η ένταση του ρεύματος είναι  $300/12=25A$ . Οπότε επιλέγουμε ρυθμιστή φόρτισης τύπου SR 30, 12/24V, 30A, 126,26€, (εταιρεία Photovoltaic).

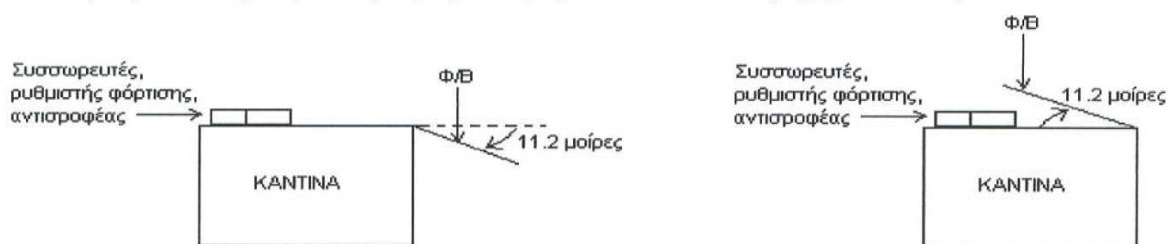
Το συνολικό κόστος της εγκατάστασης είναι:

4Φ/B*2269,21€	=9076,84 €
6 συσσωρευτές*369,25€	=2215,5 €
1 ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτή	=126,26 €
<u>1αντιστροφέας dc to ac</u>	<u>=1888 €</u>
Σύνολο	=13306,6 €



## Μορφή συστήματος

Τα 4 φωτοβολταϊκά, πλάτους 5,132m συνολικά, τοποθετούνται στην οροφή της καντίνας με κλίση προς το νότο. Κάτω από τα φωτοβολταϊκά τοποθετούνται μέσα σε κουτί οι συσσωρευτές, ο ρυθμιστής φόρτισης και ο αντιστροφέας. Μία εναλλακτική λύση που υπάρχει είναι να τοποθετηθούν τα φωτοβολταϊκά στην καντίνα ως σκίαστρα με κλίση  $11,2^\circ$  ως προς το οριζόντιο επίπεδο (σχήμα 5.2.2.).



Σχήμα 5.2.2.: Προτάσεις για το φωτοβολταϊκό σύστημα καντίνας: ως σκίαστρο και τοποθετημένο στην οροφή

## ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

### 1. Υπολογισμός για Χαλκιδική

Για να δούμε τις διαφορές στο σύστημα κάνουμε την ίδια μελέτη, κρατώντας σταθερές τις ενεργειακές ανάγκες, για την περιοχή της Χαλκιδικής.

Δεδομένα: γεωγραφικό πλάτος  $\varphi=40,55^\circ$  ,  $H_T$  ( $Kwh/m^2 \cdot m_o$ ): ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας (σχέση 1),  $\theta_a$  ( $^\circ C$ ): μέση θερμοκρασία (πίνακας 2.6).

Μετά τους υπολογισμούς προκύπτει ο παρακάτω πίνακας 5.2.8. .

A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I	K	Λ
ΜΗΝΕΣ	$\zeta$ ( $^\circ$ )	$H_T$ $kwh/m^2$	$\theta_a$ ( $^\circ C$ )	$\sigma_\theta$	$\sigma_p$	$Q_\phi$ kwh	$H_T \cdot \sigma_\theta \cdot \sigma_p \cdot \eta_s$ $Kwh/m^2$	$Q_\phi / H_T \cdot \sigma_\theta \cdot \sigma_p \cdot \eta_s$ ( $m^2$ )	$S_p$ ημέρες	$Q_\phi \cdot S_p / 30$ (kwh)
ΜΑΙΟΣ	15,4	173,62	21	0,85	1	88,35	12,73433	6,937938	4	11,78
ΙΟΥΝ	15,4	181,75	26	0,82	0,9	88,35	11,64261	7,588504	4	11,78
ΙΟΥΛ	15,4	201,22	28	0,81	0,9	88,35	12,73264	6,938859	3	8,835
ΑΥΓ	15,4	182,509	28	0,81	0,9	88,35	11,54866	7,650238	3	8,835
ΣΕΠΤ	15,4	143,86	24	0,83	0,9	89,85	9,327825	9,632471	4	11,98

Πίνακας 5.2.8.: Συνολικός πίνακας

### **Φωτοβολταϊκά**

Από τη στήλη I του πίνακα 5.2.8. επιλέγουμε τη μεγαλύτερη τιμή, η οποία δείχνει την συνολική απαιτούμενη επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Έτσι έχουμε  $F=9,632471m^2$ .

Άρα ο απαιτούμενος αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι  $N=3,96$  (σχέση 21). Επομένως επιλέγουμε 4 φωτοβολταϊκά, τα οποία τοποθετούνται παράλληλα έτσι ώστε να πετύχουμε τάση 12V.

### **Συσσωρευτές**

Από τη στήλη Λ επιλέγουμε τη μεγαλύτερη τιμή, η οποία δείχνει τη συνολική απαιτούμενη ενέργεια και η οποία θα καλύψει τις ενεργειακές μας ανάγκες κατά τις ημέρες τις αυτοδυναμίας. Έτσι έχουμε  $E_o=11,98kwh=11980Wh$ .

Υπολογίζοντας τη χωρητικότητα των συσσωρευτών, βρίσκουμε:  $Q=8808,82Ah$  (σχέση 24), με  $\beta=0,8$  για βιομηχανικού τύπου και  $\eta_o=0,85$ .

Τη χωρητικότητα αυτή την πετυχαίνουμε συνδέοντας σε σειρά 6 συσσωρευτές τύπου: 12 OpzS, 1500Ah/5h, 2V, 32,6kg, 415,07€, (εταιρεία Ecosun). Έτσι πετυχαίνουμε τάση  $6*2=12V$ , όση και των φωτοβολταϊκών και χωρητικότητα 9000Ah η οποία καλύπτει τα 8808,82Ah.

### **Αντιστροφέας συνεχούς-εναλλασσόμενου ρεύματος**

Η ισχύς του φωτοβολταϊκού σταθμού είναι:

$$4 \Phi/B*300(W, \text{ ισχύς πλαισίου})=1200W$$

Με βάση αυτή την ισχύ εκλέγουμε έναν αντιστροφέα συνεχούς-εναλλασσόμενου ρεύματος τύπου TC 20/12, 12V, 2000W, 1888 € (εταιρεία Ecosun).

### **Ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτών**

Παραμένει ο ίδιος.

Το συνολικό κόστος είναι 13581,52€

### **Συμπέρασμα**

Παρατηρούμε ότι με την αλλαγή της περιοχής εφαρμογής της μελέτης, αυξήθηκε η συνολική απαιτούμενη επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων, αλλά ο αριθμός των πλαισίων παρέμεινε ο ίδιος. Σε αυτήν την περίπτωση εκμεταλλεύεται η συνολική

επιφάνεια των φωτοβολταϊκών και δεν μένει κάποιο ποσοστό ανεκμετάλλευτο όπως στην αρχική μελέτη. Η αύξηση της συνολικής απαιτούμενης επιφάνειας των πλαισίων οφείλεται στην μείωση της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς μελετάται περιοχή της βόρειας χώρας.

Επίσης η αλλαγή της ηλιακής ακτινοβολίας και των ημερών αυτοδυναμίας προκάλεσαν αύξηση της συνολικής απαιτούμενης ενέργειας, η οποία θα καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες κατά τις ημέρες αυτοδυναμίας, με αποτέλεσμα επιλογή συσσωρευτών με μεγαλύτερη χωρητικότητα. Αυτή η επιλογή προκαλεί και μια μικρή αύξηση του συνολικού κόστους.

## 2.Υπολογισμός με λιγότερες ενεργειακές ανάγκες

Σε αυτήν την παραμετρική μελέτη μειώνονται οι ηλεκτρικές συσκευές (αφαιρείται ένας καταψύκτης) άρα και οι ενεργειακές ανάγκες έτσι ώστε να διαπιστωθεί πως θα ανταποκριθεί το φωτοβολταϊκό σύστημα. Δηλαδή πόσα φωτοβολταϊκά, συσσωρευτές θα χρησιμοποιηθούν για να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες. Έτσι θα διαπιστωθεί κατά πόσο θα μεταβληθεί το συνολικό κόστος.

### **Ηλεκτρικές συσκευές:**

#### 1.ΚΑΤΑΨΥΚΤΗΣ

Τύπος: Siemens GT 11 A 900

#### 2.ΨΥΓΕΙΟ

Τύπος: Siemens KT 14 G 40

#### 3.ΤΟΣΤΙΕΡΑ

Τύπος: Kelvin XP 100 750W, 220V, 50Hz

#### 4.ΦΡΑΠΕΔΙΕΡΑ

Τύπος: TONY'C CLASSIC 40W, 220V, 50Hz

#### 5.CD-RADIO-CASSETTE

Τύπος: SONY CFD 151 20W, 220V, 50Hz



## 6.ΛΑΜΠΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟΥ (2): 25W, 220V, 50Hz

Μετά τους υπολογισμούς προκύπτει ο παρακάτω πίνακας 5.2.9. .

A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I	K	Λ
ΜΗΝΕΣ	$\zeta$ ( $^\circ$ )	$H_T$ kwh/m <sup>2</sup>	$\theta_a$ ( $^\circ$ C)	$\sigma_\theta$	$\sigma_p$	$Q_\phi$ kwh	$H_T^* \sigma_\theta^* \sigma_p^* n_c$ Kwh/m <sup>2</sup>	$Q_\phi / H_T^* \sigma_\theta^* \sigma_p^* n_c$ (m <sup>2</sup> )	$S_p$ ημέρες	$Q_\phi^* S_p / 30$ (kwh)
ΜΑΙΟΣ	11,2	206,28	22	0,84	1	71,55	15,04029	4,757222	3	7,155
ΙΟΥΝ	11,2	226,989	26	0,82	0,9	71,55	14,54055	4,920722	2	4,77
ΙΟΥΛ	11,2	242,16	28	0,81	0,9	71,55	15,32321	4,669387	2	4,77
ΑΥΓ	11,2	224,82	28	0,81	0,9	71,55	14,22598	5,02953	2	4,77
ΣΕΠΤ	11,2	167,87	25	0,83	0,9	73,05	10,81905	6,751979	3	7,305

Πίνακας 5.2.9.: Συνολικός πίνακας

### Φωτοβολταϊκά

Από τη στήλη I του πίνακα 5.2.9. επιλέγουμε τη μεγαλύτερη τιμή , η οποία δείχνει την συνολική απαιτούμενη επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Έτσι έχουμε  $F=6,751979m^2$ .

Άρα ο απαιτούμενος αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι  $N=2,77$  (σχέση 21). Επομένως επιλέγουμε 3 φωτοβολταϊκά, τα οποία τοποθετούνται παράλληλα έτσι ώστε να πετύχουμε τάση 12V.

### Συσσωρευτές

Από τη στήλη Λ επιλέγουμε τη μεγαλύτερη τιμή, η οποία δείχνει τη συνολική απαιτούμενη ενέργεια και η οποία θα καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες κατά τις ημέρες τις αυτοδυναμίας. Έτσι έχουμε  $E_o=7,305kwh=7305Wh$ .

Υπολογίζοντας τη χωρητικότητα των συσσωρευτών βρίσκουμε:  $Q=5371,3Ah$  (σχέση 24) με  $\beta=0,8$  για βιομηχανικού τύπου και  $n_o=0,85$ .

Τη χωρητικότητα αυτή την πετυχαίνουμε συνδέοντας σε σειρά 6 συσσωρευτές τύπου: MCG5, 840/900Ah, 2V, 47,5kg, 186€, (εταιρεία Photovoltaic). Έτσι πετυχαίνουμε τάση  $6*2=12V$ , όση και των φωτοβολταϊκών και χωρητικότητα 5400Ah η οποία καλύπτει τα 5371,3Ah.

### Αντιστροφές συνεχούς-εναλλασσόμενου ρεύματος

Η ισχύς του φωτοβολταϊκού σταθμού είναι:

$$3 \Phi/B*300(W, \text{ισχύς πλαισίου})=900W$$

Με βάση αυτή την ισχύ εκλέγουμε έναν αντιστροφέα συνεχούς-εναλλασσόμενου ρεύματος τύπου TC 13/12, 12V, 1300W, 1410,1€ (εταιρεία Seners).

### Ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτών

Παραμένει ο ίδιος τύπος.

Το συνολικό κόστος είναι 9459,99€.

### Συμπέρασμα

Μειώνοντας τις ενεργειακές ανάγκες μειώθηκε η συνολική απαιτούμενη ενέργεια, η οποία μπορεί να τις καλύψει. Ο αριθμός των φωτοβολταϊκών πλαισίων μειώθηκε και επιλέχθηκαν συσσωρευτές με μικρότερη χωρητικότητα. Συνέπεια αυτού είναι η μείωση του συνολικού κόστους (από 13306,6 σε 9459,99€) δηλαδή κέρδος 3846,61€.

### Γενικά συμπεράσματα



Σχήμα 5.2.3.: Σύγκριση κόστους μελετών

Στο σχήμα 5.2.3. παρουσιάζεται το συνολικό κόστος για την αρχική μελέτη (1), την πρώτη παραμετρική μελέτη (2) και τη δεύτερη παραμετρική μελέτη (3). Επίσης φαίνεται το κόστος των φωτοβολταϊκών και του επιμέρους εξοπλισμού

(συσσωρευτής, ρυθμιστής φόρτισης, αντιστροφέας) για την αρχική μελέτη και τις δύο παραμετρικές.

Το συνολικό κόστος της αρχικής μελέτης είναι 13306,6€ ενώ το κόστος της πρώτης παραμετρικής, η οποία βασίστηκε σε άλλη περιοχή, ανέρχεται στα 13581,52€. Η αύξηση του κόστους προήλθε, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, από την επιλογή συσσωρευτών με μεγαλύτερη χωρητικότητα οι οποίοι θα καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες κατά τις ημέρες αυτοδυναμίας. Μετακινούμενοι λοιπόν σε πιο βόρεια μέρη της χώρας μειώνεται η ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας και οι ημέρες αυτοδυναμίας αυξάνονται, με αποτέλεσμα την ανάγκη περισσότερων φωτοβολταϊκών και συσσωρευτών με μεγαλύτερη χωρητικότητα. Συνέπεια αυτού βέβαια είναι και η αύξηση του συνολικού κόστους εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Το κόστος της δεύτερης παραμετρικής είναι 9459,99€ και η μείωσή του οφείλεται στη μείωση των ενεργειακών αναγκών. Η μείωση είναι σημαντική αλλά προήλθε από μείωση του αριθμού των φωτοβολταϊκών κατά ένα, και της χωρητικότητας των συσσωρευτών, με συνέπεια μείωση της δυνατότητας παροχής ενέργειας σε περίπτωση που θελήσει ο ιδιοκτήτης να προσθέσει κάτι.

#### **Σημείωση:**

Μετά από έναν πρόχειρο υπολογισμό σχετικά με το κόστος από τη λειτουργία της καντίνας με γεννήτρια βενζίνης, προέκυψε ότι η απόσβεση γίνεται σε κάποιες δεκαετίες, οπότε δεν κρίνεται πάντα οικονομικά συμφέρουσα η επιλογή των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Οι πίνακες που χρησιμοποιήθηκαν είναι από το βιβλίο <<Αυτόνομες εφαρμογές ηλιακής ενέργειας μικρού και μεσαίου μεγέθους>>, Βασίλης Μαλαμής, Εκδόσεις ΙΩΝ, 1999.



### 5.3. Μελέτη φορητού φωτοβολταϊκού:

Υπολογισμός του αριθμού των φωτοβολταϊκών πλαισίων που απαιτούνται για να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες ενός φορητού φωτοβολταϊκού πλαισίου για χρήση σε σκάφη, τροχόσπιτα, οχήματα και για camping.

Ο υπολογισμός γίνεται λαμβάνοντας υπόψη, ως τοποθεσία ενδεχόμενης εφαρμογής της μελέτης, την πόλη των Χανίων στην Κρήτη. Το γεωγραφικό πλάτος είναι  $\varphi=35,5^\circ$ . Επιλέγεται το φωτοβολταϊκό πλαίσιο να είναι σε οριζόντιο επίπεδο. Δεν επιλέγεται συγκεκριμένη κλίση, γιατί έχει τη δυνατότητα να μεταφέρεται σε περιοχές με διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη, οπότε είναι δύσκολη η ρύθμιση της κλίσης από το χρήστη. Εφόσον το φωτοβολταϊκό σύστημα θα μεταφέρεται, απαιτείται να είναι ελαφρύ, με αποτέλεσμα η επιλογή του φωτοβολταϊκού και του εξοπλισμού να γίνει με βασικό κριτήριο το βάρος.

Το φορητό φωτοβολταϊκό πλαίσιο καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες ενός ψυγείου και μιας λάμπας.

Τύπος ψυγείου: οικονομικό ψυγείο Waeco Coolmatic RPD-65, 65lt, 12-24V, 45W την ώρα, 15kg, 550€. (εταιρεία ECOSUN)

Λάμπα: Lumina 7, CFL, 7W, 12-24V, λευκού χρώματος, 34 €. (internet)

Οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια δίνονται παρακάτω:

**Ψυγείο:** Λειτουργεί 5,5 ώρες την ημέρα και η ισχύς είναι 45W. Άρα η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας είναι 0,25kwh και η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας είναι  $0,25 \cdot 30 = 7,5kwh$ .

**Λάμπα:** Λειτουργεί 5,5 ώρες την ημέρα και η ισχύς είναι 7W. Άρα η ημερήσια κατανάλωση ενέργειας είναι 0,0385kwh και η μηνιαία κατανάλωση ενέργειας είναι 1,155kwh.

Στον πίνακα 5.3.1. φαίνεται πως κατανέμονται οι ενεργειακές ανάγκες του φορητού φωτοβολταϊκού σε κάθε μήνα.

ΜΗΝΕΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ
Qφ kwh	8,655	8,655	8,655	8,655	8,655

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3.1.: Ενεργειακές ανάγκες

Το βασικό κριτήριο επιλογής φωτοβολταϊκού είναι τα κιλά. Εφόσον το σύστημα είναι φορητό πρέπει να είναι ελαφρύ. Άρα επιλέγουμε ελαφρύ φωτοβολταϊκό το οποίο όμως έχει την απαραίτητη ισχύ και επιφάνεια ώστε να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες. Με δεδομένα τα παραπάνω έγινε και μια επιπλέον έρευνα αγοράς έτσι ώστε το φωτοβολταϊκό να έχει τη δυνατή προσιτή τιμή.

Έτσι επιλέχτηκε να χρησιμοποιηθεί το φωτοβολταϊκό τύπου: ASE-100-GT-FT/K. 100W, 24V, 8,5Kg,  $F_{\pi}=0,825m^2$ , 740,01€ (εταιρεία Ecosun).

Ο βαθμός απόδοσης του συστήματος είναι  $\eta_s=0,0918$  (σχέση 15) λαμβάνοντας υπόψη το βαθμός απόδοσης του φωτοβολταϊκού  $\eta=0,12$  (σχέση 16) και του εξοπλισμού  $\eta_o=0,765$  (σχέση 14). Ο βαθμός του συσσωρευτή είναι 0,85 και του ρυθμιστή φόρτισης 0,90.

Μετά από υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας (σχέση 1) προκύπτει ο πίνακας 5.3.2..

ΜΗΝΕΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ
$H_T$ kwh/m <sup>2</sup>	196	215	229	210	154

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3.2.: Ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας

Υπολογίζοντας το συντελεστή θερμοκρασίας πλαισίου  $\sigma_{\theta}$  (σχέση 20), λαμβάνοντας υπόψη τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, προκύπτει ο πίνακας 5.3.3.. Επιλέγοντας κατάλληλο συντελεστή ρύπανσης  $\sigma_p=1$ , για χαμηλά επίπεδα ρύπανσης και  $\sigma_p=0,9$  για μέτρια επίπεδα ρύπανσης προκύπτει ο πίνακας 5.3.4..

ΜΗΝΕΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ
$\sigma_{\theta}$	0,84	0,82	0,81	0,81	0,825

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3.3.: Συντελεστής  $\sigma_{\theta}$

ΜΗΝΕΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ
$\sigma_p$	1	0,9	0,9	0,9	0,9

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3.4.: Συντελεστής  $\sigma_p$

Επιλέχτηκε μία ημέρα αυτοδυναμίας  $S_p$  γιατί το φορητό σύστημα δε θα λειτουργεί καθημερινά αλλά κατ'επιλογήν του χρήστη. Έτσι προέκυψε ο πίνακας 5.3.5..

ΜΗΝΕΣ	ΜΑΙΟΣ	ΙΟΥΝΙΟΣ	ΙΟΥΛΙΟΣ	ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ
$S_p$	1	1	1	1	1

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3.5.: Ημέρες αυτοδυναμίας  $S_p$

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών καταχωρούνται στον πίνακα 5.3.6..

A	B	Γ	Δ	Ε	Z	Η	Θ	Ι	Κ	Λ
ΜΗΝΕΣ	$\zeta$ ( $^\circ$ )	$H_T$ kwh/m <sup>2</sup>	$\theta_a$ ( $^\circ$ C)	$\sigma_\theta$	$\sigma_p$	$Q_\phi$ kwh	$H_T \cdot \sigma_\theta \cdot \sigma_p \cdot \eta_c$ Kwh/m <sup>2</sup>	$Q_\phi / H_T \cdot \sigma_\theta \cdot \sigma_p \cdot \eta_c$ $n_c$ (m <sup>2</sup> )	$S_p$ ημέρες	$Q_\phi \cdot S_p / 30$ (kwh)
ΜΑΙΟΣ	0	196	22	0,84	1	8,655	15,11395	0,5726497	1	0,2885
ΙΟΥΝ	0	215	26	0,82	0,9	8,655	14,56591	0,5941958	1	0,2885
ΙΟΥΛ	0	229	28	0,81	0,9	8,655	15,32518	0,5647567	1	0,2885
ΑΥΓ	0	210	28	0,81	0,9	8,655	14,05366	0,6158537	1	0,2885
ΣΕΠΤ	0	154	25	0,825	0,9	8,655	10,49687	0,8245314	1	0,2885

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3.6.: Συνολικός πίνακας

### Φωτοβολταϊκά

Από τη στήλη Ι του πίνακα 5.3.6. επιλέγουμε τη μεγαλύτερη τιμή, η οποία δείχνει την συνολική απαιτούμενη επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Έτσι έχουμε  $F=0,8245314m^2$ .

Άρα ο απαιτούμενος αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι  $N=0,999$  (σχέση 21). Επομένως επιλέγουμε 1 φωτοβολταϊκό. Σε αυτό το σημείο παρατηρείται ότι ο αριθμός των φωτοβολταϊκών είναι πάρα πολύ κοντά στις ανάγκες χωρίς να περισσεύει επιφάνεια.

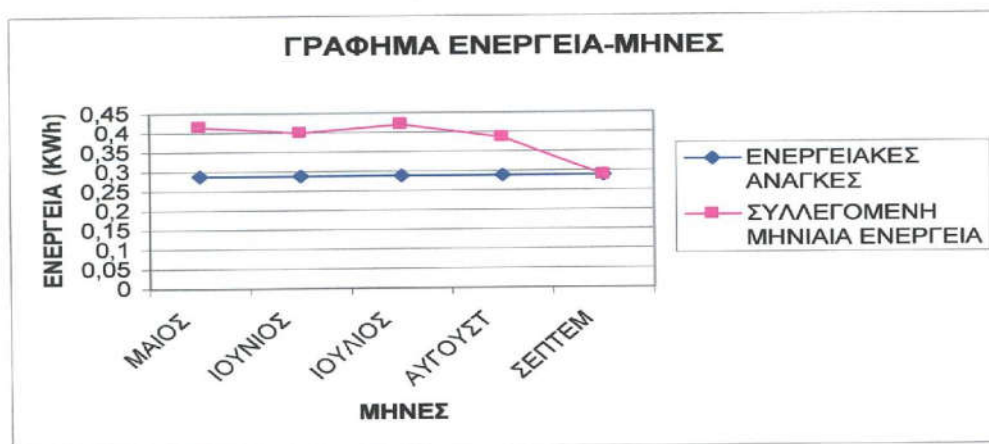
Στο σημείο αυτό που έχει υπολογιστεί η συνολική επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου, μπορούμε να υπολογίσουμε τη συνολική μηνιαία ενέργεια που έχει τη δυνατότητα να συλλέξει (σχέση 27). Στον πίνακα 5.3.7. φαίνονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών.

Στη στήλη (B) φαίνονται οι ενεργειακές ανάγκες του ψυγείου και της λάμπας, ενώ στη στήλη (Γ) καταγράφεται η ενέργεια που έχει τη δυνατότητα να συλλέξει το σύστημά μας.



A	B	Γ	Δ
ΜΗΝΕΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΝΑΓΚΕΣ kwh	ΣΥΛΛΕΓΟΜΕΝΗ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑ kwh	ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΠΙ ΤΗΣ % ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΣΥΛΛΕΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ
ΜΑΙΟΣ	0,2885	0,415	30,5
ΙΟΥΝΙΟΣ	0,2885	0,4	27,9
ΙΟΥΛΙΟΣ	0,2885	0,421	31,5
ΑΥΓΟΥΣΤ	0,2885	0,386	11,55
ΣΕΠΤΕΜ	0,2885	0,288	0
ΣΥΝΟΛΟ	1,4425	1,91	24,5

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.3.7.: Ενεργειακές ανάγκες, συλλεγόμενη ενέργεια, επιπλέον συλλεγόμενη ενέργεια



ΣΧΗΜΑ 5.3.1.: Ενεργειακές ανάγκες, συλλεγόμενη ενέργεια

Από ότι προκύπτει από τον πίνακα 5.3.7. και το σχήμα 5.3.1., βλέπουμε ότι για κάποιες μέρες του μήνα, το σύστημα έχει τη δυνατότητα να συλλέξει επιπλέον ενέργεια. Ενέργεια η οποία δεν μπορεί να εκμεταλλευτεί.

### Συσσωρευτές

Από τη στήλη Α επιλέγουμε τη μεγαλύτερη τιμή, η οποία δείχνει τη συνολική απαιτούμενη ενέργεια και η οποία θα καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες κατά τις ημέρες τις αυτοδυναμίας. Έτσι έχουμε  $E_{\sigma}=0,2885\text{kwh}=288,5\text{Wh}$ .

Υπολογίζοντας τη χωρητικότητα των συσσωρευτών, βρίσκουμε:  $Q=282,84\text{Ah}$  (σχέση 24) με  $\beta=0,1$  και  $\eta_{\sigma}=0,85$ .

Τη χωρητικότητα αυτή την πετυχαίνουμε συνδέοντας σε σειρά 2 συσσωρευτές τύπου: ROK N150R, 150Ah, 12V, ανοιχτού τύπου με υγρά, 20 kg, 149,34€, (εταιρεία Ecosun). Έτσι πετυχαίνουμε τάση  $2*12=24\text{V}$ , όση και του φωτοβολταϊκού.

Η ισχύς που παρέχουν οι συσσωρευτές κατά τη χρονική περίοδο που καλούνται να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες είναι:  $P_{\phi}=120,21W$  (σχέση 25).

#### **Ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτών**

Η ισχύς του φωτοβολταϊκού είναι 100W και η τάση του 24V άρα η ένταση του ρεύματος είναι  $100/24=4,16A$ . Οπότε επιλέγουμε ρυθμιστή φόρτισης τύπου Solsum 6A Solar/6A Last 12/24V, 6A, 38,94€, (εταιρεία Photovoltaic).

Το συνολικό κόστος της εγκατάστασης είναι:

1 φωτοβολταϊκό πλαίσιο	=740,01	€
2 συσσωρευτές*149,34€	=298,68	€
1 ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτή	=38,94	€
1 ψυγείο	=550	€
1 λάμπα	=34	€
Σύνολο	=1661,63	€

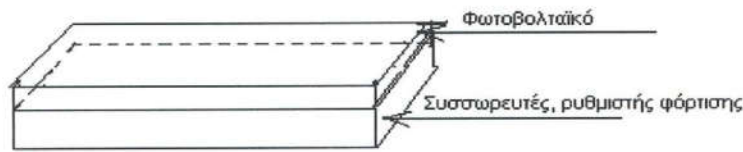
Το συνολικό βάρος της εγκατάστασης είναι:

1 φωτοβολταϊκό πλαίσιο	=8,5	kg
2 συσσωρευτές*20 kg	=40	kg
1 ψυγείο	=15	kg
Σύνολο	=63,5	kg

Το βάρος του ρυθμιστή φόρτισης είναι πάρα πολύ μικρό, μικρότερο του μισού κιλού, γι'αυτό και δεν υπολογίζεται.

#### **Μορφή συστήματος**

Για τη μεταφορά του φορητού συστήματος χρησιμοποιείται μεταλλικό κουτί όπου τοποθετούνται οι συσσωρευτές και ο ρυθμιστής φόρτισης. Πάνω από το κουτί μπορεί να τοποθετηθεί οριζόντια το φωτοβολταϊκό. Στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιείται το σύστημα, το φωτοβολταϊκό μένει προστατευμένο μέσα σε βαλιτσάκι (σχήμα 5.3.2.).



Σχήμα 5.3.2. Φορητό φωτοβολταϊκό

## ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ

### 1. Υπολογισμός για Κομοτηνή

Για να δούμε τις διαφορές στο φωτοβολταϊκό σύστημα κάνουμε την ίδια μελέτη, κρατώντας σταθερές τις ενεργειακές ανάγκες, για την περιοχή της Κομοτηνής. Τίθεται το ερώτημα αν θα παίξει ρόλο στην επιλογή φωτοβολταϊκού και συσσωρευτών η αλλαγή περιοχής ενδεχόμενης εφαρμογής της μελέτης.

Δεδομένα: γεωγραφικό πλάτος  $\varphi=41,012^\circ$  , ηλιακή ακτινοβολία  $H_T(Kwh/m^2*m_o)$  (πίνακας 2.2), μέση θερμοκρασία  $\theta_a(^{\circ}C)$  (πίνακας 2.6).

Μετά τους υπολογισμούς προκύπτει ο παρακάτω πίνακας 5.3.8. .

A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I	K	Λ
ΜΗΝΕΣ	$\zeta$ ( $^\circ$ )	$H_T$ $kwh/m^2$	$\theta_a$ ( $^\circ C$ )	$\sigma_\theta$	$\sigma_p$	$Q_\varphi$ kwh	$H_T * \sigma_\theta * \sigma_p * n_c$ $Kwh/m^2$	$Q_\varphi / H_T * \sigma_\theta * \sigma_p * n_c$ $(m^2)$	$S_p$ ημέρες	$Q_\theta * S_p / 30$ (kwh)
ΜΑΙΟΣ	0	165	20	0,85	1	8,655	12,87495	0,672236	1	0,2855
ΙΟΥΝ	0	183	25	0,83	0,9	8,655	12,54915	0,689688	1	0,2855
ΙΟΥΛ	0	194	28	0,81	0,9	8,655	12,98291	0,666646	1	0,2855
ΑΥΓ	0	177	27	0,82	0,9	8,655	11,99147	0,721763	1	0,2855
ΣΕΠΤ	0	130	23	0,84	0,9	8,655	9,022104	0,959311	1	0,2855

Πίνακας 5.3.8.: Συνολικός πίνακας

### Φωτοβολταϊκά

Από τη στήλη I του πίνακα 5.3.8. επιλέγουμε τη μεγαλύτερη τιμή , η οποία δείχνει την συνολική απαιτούμενη επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Έτσι έχουμε  $F=0,959311m^2$ .

Άρα ο απαιτούμενος αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι  $N=1,16$  (σχέση 21). Επομένως επιλέγουμε 1 φωτοβολταϊκό. Δεν είναι απαραίτητο να επιλέξουμε 2



φωτοβολταϊκά γιατί το σύστημα θα λειτουργεί κατ'επιλογήν του χρήστη και όχι οπωσδήποτε καθημερινά.

### Συσσωρευτής

Από την παραμετρική μελέτη που έγινε διαπιστώνεται ότι η συνολική απαιτούμενη ενέργεια, η οποία θα καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες κατά τις ημέρες τις αυτοδυναμίας, παραμένει σταθερή, αφού οι ενεργειακές ανάγκες είναι ίδιες. Άρα επιλέγουμε τον ίδιο τύπο συσσωρευτή.

### Ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτών

Παραμένει ο ίδιος τύπος.

Το συνολικό βάρος είναι 63,5Kg και το συνολικό κόστος 1661,63 €.

### Συμπέρασμα

Η διαφορά της ηλιακής ακτινοβολίας δεν επηρέασε την επιλογή τύπου φωτοβολταϊκού και γενικότερα του φωτοβολταϊκού συστήματος.

## 2. Υπολογισμός για αλλού τύπου φωτοβολταϊκό

Επιλέγουμε τον τύπο: SF 50A, 50W, 12V, 6,5Kg,  $F_{\pi}=0,429m^2$ , 337,09€ (εταιρεία Solion).

A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I	K	Λ
ΜΗΝΕΣ	$\zeta$ ( $^{\circ}$ )	$H_T$ kwh/m <sup>2</sup>	$\theta_a$ ( $^{\circ}$ C)	$\sigma_{\theta}$	$\sigma_p$	$Q_{\phi}$ kwh	$H_T \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_p \cdot n_s$ Kwh/m <sup>2</sup>	$Q_{\phi}/H_T \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_p \cdot n_s$ (m <sup>2</sup> )	Sp ημέρες	$Q_{\phi} \cdot S_p / 30$ (kwh)
ΜΑΙΟΣ	0	196	22	0,84	1	8,655	14,65296	0,590666	1	0,2885
ΙΟΥΝ	0	215	26	0,82	0,9	8,655	14,12163	0,61289	1	0,2885
ΙΟΥΛ	0	229	28	0,81	0,9	8,655	14,85775	0,582524	1	0,2885
ΑΥΓ	0	210	28	0,81	0,9	8,655	13,62501	0,635229	1	0,2885
ΣΕΠΤ	0	154	25	0,83	0,9	8,655	10,17671	0,850472	1	0,2885

Πίνακας 5.3.9.: Συνολικός πίνακας

### **Φωτοβολταϊκά**

Από τη στήλη I του πίνακα 5.3.9. επιλέγουμε τη μεγαλύτερη τιμή , η οποία δείχνει την συνολική απαιτούμενη επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Έτσι έχουμε  $F=0,850472m^2$ .

Άρα ο απαιτούμενος αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι  $N=1,98$  (σχέση 21). Επομένως επιλέγουμε 2 φωτοβολταϊκά (πολύ κοντά στις ανάγκες χωρίς να περισσεύει επιφάνεια).

### **Συσσωρευτής**

Από την παραμετρική μελέτη που έγινε διαπιστώνεται ότι η συνολική απαιτούμενη ενέργεια, η οποία θα καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες κατά τις ημέρες τις αυτοδυναμίας, παραμένει σταθερή, αφού οι ενεργειακές ανάγκες είναι ίδιες. Άρα επιλέγουμε τον ίδιο τύπο συσσωρευτή.

### **Ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτών**

Η ισχύς του φωτοβολταϊκού είναι 50W και η τάση του 12V άρα η ένταση του ρεύματος είναι  $50/12=4,16A$ . Οπότε επιλέγουμε τον ίδιο ρυθμιστή φόρτισης.

Το συνολικό βάρος είναι 68Kg και το συνολικό κόστος 1595,8€.

### **Συμπέρασμα**

Εναλλακτική λύση για τη μελέτη προτείνεται η πιο πάνω παραδοχή. Αν και το σύστημα αυξάνεται κατά 4,5Kg, η τιμή μειώνεται κατά 65,83€.

### **3. Υπολογισμός για περισσότερες ενεργειακές ανάγκες**

Σε αυτήν την παραμετρική μελέτη θα εξεταστεί πως θα ανταποκριθεί το φωτοβολταϊκό σύστημα αν αυξηθούν οι ώρες λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών δηλαδή αυξηθούν οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια. Θα διαπιστωθεί αν επαρκούν οι συσσωρευτές και το φωτοβολταϊκό της αρχικής μελέτης ή αν πρέπει να επιλεγούν άλλα προϊόντα με αποτέλεσμα να αλλάξει και το συνολικό κόστος.

Οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια δίνονται παρακάτω:

Ψυγείο: Για 8 ώρες λειτουργίας έχουμε 10,8Kwh/μήνα

Λάμπα: Για 8 ώρες λειτουργίας έχουμε 1,68Kwh/μήνα

A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I	K	Λ
ΜΗΝΕΣ	$\zeta$ ( $^{\circ}$ )	$H_T$ kwh/m <sup>2</sup>	$\theta_a$ ( $^{\circ}$ C)	$\sigma_{\theta}$	$\sigma_p$	$Q_{\phi}$ kwh	$H_T \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_p \cdot n_c$ Kwh/m <sup>2</sup>	$Q_{\phi} / H_T \cdot \sigma_{\theta} \cdot \sigma_p \cdot n_c$ (m <sup>2</sup> )	$S_p$ ημέρες	$Q_{\phi} \cdot S_p / 30$ (kwh)
ΜΑΙΟΣ	0	196	22	0,84	1	12,48	15,11395	0,825727	1	0,416
ΙΟΥΝ	0	215	26	0,82	0,9	12,48	14,56591	0,856795	1	0,416
ΙΟΥΛ	0	229	28	0,81	0,9	12,48	15,32518	0,814346	1	0,416
ΑΥΓ	0	210	28	0,81	0,9	12,48	14,05366	0,888025	1	0,416
ΣΕΠΤ	0	154	25	0,83	0,9	12,48	10,49687	1,188926	1	0,416

Πίνακας 5.3.10.: Συνολικός πίνακας

### Φωτοβολταϊκά

Από τη στήλη I του πίνακα 5.3.10. επιλέγουμε τη μεγαλύτερη τιμή, η οποία δείχνει την συνολική απαιτούμενη επιφάνεια των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Έτσι έχουμε  $F=1,188926m^2$ .

Άρα ο απαιτούμενος αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι  $N=1,5$  (σχέση 21). Επομένως επιλέγουμε 2 φωτοβολταϊκά τα οποία τοποθετούνται παράλληλα για να επιτευχθεί τάση 24V. Με αυτήν την επιλογή περισσεύει το 50% της επιφάνειας του δεύτερου φωτοβολταϊκού.

### Συσσωρευτές

Από τη στήλη Λ επιλέγουμε τη μεγαλύτερη τιμή, η οποία δείχνει τη συνολική απαιτούμενη ενέργεια και η οποία θα καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες κατά τις ημέρες τις αυτοδυναμίας. Έτσι έχουμε  $E_o=0,416kwh=416Wh$ .

Υπολογίζοντας τη χωρητικότητα των συσσωρευτών βρίσκουμε:  $Q=407,84Ah$  (σχέση 24) με  $\beta=0,1$  για ανοικτού τύπου και  $n_o=0,85$ .

Τη χωρητικότητα αυτή την πετυχαίνουμε συνδέοντας σε σειρά 2 συσσωρευτές τύπου: ROK N200R, 200Ah, 12V, ανοιχτού τύπου με υγρά, 28 kg, 199,13€, (εταιρεία Ecosun). Έτσι πετυχαίνουμε τάση  $2 \cdot 12=24V$ , όση και των φωτοβολταϊκών.

Η ισχύς που παρέχουν οι συσσωρευτές κατά τη χρονική περίοδο που καλούνται να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες είναι:  $P_{\phi}=176,8W$  (σχέση 25).



### Ρυθμιστής φόρτισης συσσωρευτών

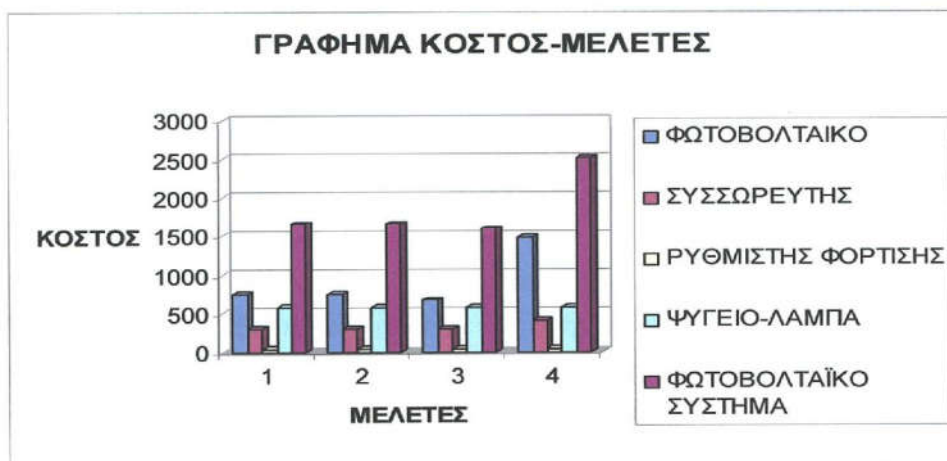
Παραμένει ο ίδιος.

Το συνολικό βάρος είναι 88Kg και το συνολικό κόστος 2501,22€.

### Συμπέρασμα

Παρατηρούμε ότι με αυξημένες ενεργειακές ανάγκες απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός φωτοβολταϊκών πλαισίων και συσσωρευτών. Έτσι το σύστημα γίνεται πολύ βαρύ με αποτέλεσμα να απορρίπτεται, μια και το βασικό κριτήριο είναι το σύστημα να είναι ελαφρύ.

### Γενικά συμπεράσματα



ΣΧΗΜΑ 5.3.3.: Σύγκριση κόστους μελετών

Στο σχήμα 5.3.3. παρουσιάζεται το συνολικό κόστος για την αρχική μελέτη (1), την πρώτη παραμετρική μελέτη (2), τη δεύτερη παραμετρική μελέτη (3) και την τρίτη παραμετρική (4). Επίσης φαίνεται το κόστος των φωτοβολταϊκών και του επιμέρους εξοπλισμού (συσσωρευτής, ρυθμιστής φόρτισης) για την αρχική μελέτη και τις τρεις παραμετρικές.

Το συνολικό κόστος της αρχικής μελέτης είναι 1661,63€ όπως επίσης και το κόστος της πρώτης παραμετρικής μελέτης, η οποία βασίστηκε σε άλλη περιοχή. Το κόστος της δεύτερης παραμετρικής είναι 1595,8€ και η μείωσή του οφείλεται στην επιλογή

άλλου τύπου φωτοβολταϊκού. Βέβαια η μείωση του κόστους συνοδεύτηκε από μία μικρή αύξηση του βάρους, κάτι το οποίο είναι πολύ σημαντικό για αυτήν την μελέτη. Το κόστος της τρίτης παραμετρικής μελέτης είναι 2501,22€ και η αύξησή του οφείλεται στην αύξηση των ενεργειακών αναγκών.



ΣΧΗΜΑ 5.3.4.: Σύγκριση κιλών μελετών

Στο σχήμα 5.3.4. παρουσιάζεται το συνολικό βάρος για την αρχική μελέτη και τις τρεις παραμετρικές. Στην αρχική μελέτη και στην πρώτη παραμετρική το συνολικό βάρος παραμένει το ίδιο, 63,5Kg. Στην δεύτερη παραμετρική το βάρος αυξάνεται στα 68kg, λόγω άλλου τύπου φωτοβολταϊκού και στην τρίτη το συνολικό βάρος, 88kg, αυξάνεται αισθητά λόγω αύξησης των ενεργειακών αναγκών.

Οι πίνακες που χρησιμοποιήθηκαν είναι από το βιβλίο <<Αυτόνομες εφαρμογές ηλιακής ενέργειας μικρού και μεσαίου μεγέθους>>, Βασίλης Μαλαμής, Εκδόσεις ΙΩΝ, 1999.

## 6. ΚΡΙΤΙΚΗ, ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Επενδύσεις γίνονται συνεχώς για έρευνα και για ανάπτυξη τεχνογνωσίας, πάνω στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Δαπανούνται σημαντικά κονδύλια με σκοπό τόσο την αύξηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πλαισίων όσο και τη μείωση του κόστους παραγωγής αυτών. Το αποτέλεσμα είναι η μείωση της τιμής των φωτοβολταϊκών τα τελευταία χρόνια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα όλο και περισσότεροι να στρέφονται στην παραγωγή ενέργειας με φωτοβολταϊκά, μια και είναι φιλικά προς το περιβάλλον και δεν εκπέμπουν καθόλου ρύπους. Παρά ταύτα το κόστος τους παραμένει ακόμα υψηλό!

Στην Ελλάδα οι τιμές είναι ακόμα σε υψηλά επίπεδα και οι εφαρμογές των φωτοβολταϊκών σε αρχικό στάδιο. Γεγονός το οποίο έρχεται σε αντίθεση με τις δυνατότητες οι οποίες θεωρητικά υπάρχουν λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών της. Ως μεσογειακή χώρα εξασφαλίζει μεγάλη ηλιοφάνεια με κανονικές τιμές υγρασίας και σχετικά ήπιους χειμώνες.

Η συγκεκριμένη εργασία επικεντρώθηκε σε μικρού και μεσαίου μεγέθους μελέτες. Αφού έγινε μία έρευνα, στην εγχώρια αγορά, σε προϊόντα και συσκευές απαραίτητα για να εφαρμοστούν οι μελέτες, προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα.

- Η εγχώρια αγορά μπορεί να μας προσφέρει τα προϊόντα και τις συσκευές που χρειάζονται, μια και υπάρχουν εταιρείες που τα εισάγουν από το εξωτερικό.
- Τα κριτήρια για τις μελέτες ήταν: η ισχύς του φωτοβολταϊκού για την μελέτη λάμπας δημόσιου φωτισμού, η οποία έπρεπε να είναι μικρή, τα κιλά του συνολικού συστήματος για την μελέτη φορητού φωτοβολταϊκού, τα οποία έπρεπε να είναι όσο γίνεται λιγότερα και οι διαστάσεις μαζί με την ισχύ των φωτοβολταϊκών για την μελέτη καντίνας που έπρεπε να είναι μεγάλες. Βασικό κριτήριο για όλες της μελέτες ήταν η τιμή που πρέπει να είναι προσιτή.
- Σημασία έχει, ανάλογα με την μελέτη, η σωστή επιλογή φωτοβολταϊκών, σε σχέση με την ισχύ και την επιφάνεια, συσσωρευτών, σε σχέση με την χωρητικότητα,



ρυθμιστών φόρτισης και αντιστροφών, έτσι ώστε να καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες και το σύστημα να λειτουργεί σωστά αλλά και το κόστος να είναι προσιτό.

- Στοιχεία που αλλάζουν τη δομή του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι, όπως δείχνουν και οι παραμετρικές μελέτες, η αλλαγή περιοχής εφαρμογής της μελέτης, η αυξομείωση των ενεργειακών αναγκών και η επιλογή άλλων τύπων φωτοβολταϊκών και των υπολοίπων συσκευών.
- Στις μελέτες παρατηρήθηκε, σε κάποια σημεία, ότι οι επιφάνειες των φωτοβολταϊκών υπερκάλυπταν τις ενεργειακές ανάγκες και ένα ποσοστό της επιφάνειας των πλαισίων έμενε έτσι ανεκμετάλλευτο. Αποτέλεσμα αυτού ήταν η άσκοπη αύξηση του αρχικού απαιτούμενου κεφαλαίου.
- Στην τρίτη μελέτη, του φορητού φωτοβολταϊκού, αντιμετωπίστηκε η δυσκολία εύρεσης συσσωρευτών με όσο το δυνατόν μικρό βάρος καθώς και η εύρεση ψυγείου συνεχούς ρεύματος με μικρό βάρος αλλά και φθηνή τιμή. Τα ψυγεία συνεχούς ρεύματος τώρα αρχίζουν να κυκλοφορούν στην αγορά και οι επιλογές είναι περιορισμένες. Με τη συγκεκριμένη έρευνα αγοράς δε βρέθηκαν ελαφρύτεροι συσσωρευτές.
- Οι παραμετρικές μελέτες που προτάθηκαν δεν αποκλείονται απαραίτητα, εκτός και αν δεν πληρούν τα βασικά κριτήρια των επιλογών για την κάθε μελέτη. Τα κριτήρια αυτά αναφέρονται στην κάθε μελέτη.

Η συγκεκριμένη εργασία μπορεί να αποτελέσει βάση για περαιτέρω ανάπτυξη στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Υπάρχουν πολλά σημεία με ενδιαφέρον που θα μπορούσε κάποιος να ασχοληθεί, όπως, για μελέτες ηλιακών εφαρμογών μεγαλύτερου μεγέθους, π.χ. για κατοικίες, για ξενοδοχειακές μονάδες, για φωτοβολταϊκά πάρκα. Ενδιαφέρον επίσης έχουν οι μελέτες πάνω σε υβριδικά συστήματα, φωτοβολταϊκά - ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά - υδροηλεκτρικά.

Ένα άλλο σημείο που έχει ενδιαφέρον είναι η επέκταση της έρευνας αγοράς πέρα από τα ελληνικά σύνορα και φυσικά κυρίως στις χώρες οι οποίες είναι αναπτυσσόμενες σε αυτόν τον τομέα και έχουν να επιδείξουν αξιόλογη βιομηχανική δραστηριότητα στα φωτοβολταϊκά. Ενδιαφέρον έχει και η λεπτομερέστερη έρευνα στις προχωρημένες, σε σχέση με την Ελλάδα, εφαρμογές φωτοβολταϊκών αυτών των χωρών. Όσον αφορά την έρευνα αγοράς αλλά και γενικότερα, αξίζει να δοθεί προσοχή και να γίνει

μεγαλύτερη εμβάθυνση και πάνω στα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των προϊόντων.

Περισσότερη διερεύνηση θα μπορούσε να γίνει και στην εύρεση ελαφρύτερου ψυγείου συνεχούς ρεύματος και συσσωρευτή κάτι το οποίο αποτέλεσε πρόβλημα όπως και αναφέρθηκε πιο πάνω.

Τα φωτοβολταϊκά παράγουν συνεχές ρεύμα και έτσι απαιτείται η χρήση αντιστροφέα συνεχούς-εναλλασσόμενου ρεύματος για τη λειτουργία των περισσότερων συσκευών, οι οποίες λειτουργούν σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Για την μελέτη καντίνας θα μπορούσε να διερευνηθεί η δυνατότητα ολοκληρωτικής χρήσης συσκευών συνεχούς ρεύματος με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους.

Θα είχε ενδιαφέρον, όπως ειπώθηκε και στην παράγραφο 5.1. η ανάπτυξη ενός επαναληπτικού αλγορίθμου που να επιλέγει από διαθέσιμα φωτοβολταϊκά και να βελτιστοποιεί τον αριθμό των φωτοβολταϊκών σχετικά με τις ενεργειακές απαιτήσεις και το κόστος. Με αυτόν τον τρόπο θα επιλέγεται επιφάνεια φωτοβολταϊκού ίση με την απαιτούμενη ή με πολύ μικρή απόκλιση ως προς την απαιτούμενη επιφάνεια για να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες, με αποτέλεσμα να μην περισσεύει μεγάλο ποσοστό επιφάνειας.

Το κεφάλαιο φωτοβολταϊκά είναι ένα κεφάλαιο με μεγάλη ανάπτυξη και μεγάλο ενδιαφέρον για κάποιον που θέλει να ασχοληθεί με αυτό. Εκτός των ειδικευμένων γνώσεων που αποκτιούνται πάνω στα φωτοβολταϊκά, ο αναγνώστης ευαισθητοποιείται όσον αφορά το θέμα “προστασία του περιβάλλοντος”, εφόσον με τα φωτοβολταϊκά παράγεται ηλεκτρική ενέργεια με μηδενικές επιπτώσεις στο περιβάλλον, σε αντίθεση με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω συμβατικών καυσίμων. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να κατακτήσουν μακροπρόθεσμα ένα μεγάλο κομμάτι της αγοράς ενέργειας.

## 7. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Το ένα τρίτο του πληθυσμού της γης, περίπου 1,8 δισεκατομμύρια άνθρωποι, δεν έχουν ηλεκτρισμό. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι η μόνη υπάρχουσα τεχνολογία που μπορεί να υλοποιήσει το στόχο "μικρή ισχύ για όλους". Ήδη τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι η πιο οικονομική λύση για την τροφοδοσία συστημάτων πάνω από μερικά KW. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα δίνουν την δυνατότητα κάλυψης των αναγκών για ηλεκτρική ενέργεια των κατοίκων των αγροτικών περιοχών και γενικότερα απομακρυσμένων περιοχών, για ανάγκες όπως: φωτισμός, υγεία, μόνωση, επικοινωνία.

Σημαντικό είναι ότι αρχίζουν να γίνονται γνωστές τόσο οι δυνατότητες και τα οικολογικά πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων όσο και τα πλεονεκτήματα της αποκεντρωμένης παροχής ισχύος.

Ο στόχος για τα επόμενα χρόνια είναι η μείωση του κόστους των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Αυτός θα πρέπει όχι μόνο να διατηρηθεί αλλά και να ενταθεί η τεράστια προσπάθεια που καταβάλλεται παγκόσμια. Επιβάλλεται η χρηματοδότηση για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα να προέρχεται από κρατικές πηγές ή μη κερδοσκοπικούς οργανισμούς. Έτσι οι επενδύσεις του ιδιωτικού τομέα θα οδηγηθούν στα αποκεντρωμένα συστήματα και στα μεγάλα φωτοβολταϊκά συστήματα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο, που αυτή τη στιγμή είναι οικονομικά ελκυστικά. Με αυτόν τον τρόπο θα πραγματοποιηθεί η μεγάλη αγορά που είναι απαραίτητη για την περαιτέρω ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Αυτή η αγορά θα στηριχθεί αρχικά στην τροφοδοσία απομακρυσμένων οικιών στις βιομηχανικές χώρες και στις αγροτικές εφαρμογές, καθώς και στην τροφοδοσία οικισμών με ηλεκτρική ενέργεια στις λιγότερο αναπτυγμένες χώρες. Αυτή η ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων θα οδηγήσει στη δραστική μείωση του κόστους, μέσω του ανταγωνισμού και της τεχνολογικής προόδου.



## 8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αυτόνομες εφαρμογές ηλιακής ενέργειας μικρού και μεσαίου μεγέθους, ΒΑΣΙΛΗΣ ΜΑΛΑΜΗΣ, Εκδόσεις "ΙΩΝ", 1999.
2. Συμβατικές και ήπιες μορφές ενέργειας, ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΑΡΓΥΡΟΥ, Κ.Α. ΜΠΑΛΑΡΑΣ, ΦΩΤΙΟΣ ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗΣ, ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑΣ, 7 ΕΚΔΟΣΗ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2002.
3. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Διδακτικές σημειώσεις τμήματος Μηχανικών Διαχείρισης Ενεργειακών Πόρων, Δρ. Ν. ΑΝΔΡΙΤΣΟΣ, 2001.
4. Αποθήκευση και εξοικονόμηση ενέργειας, ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΑΡΓΥΡΟΥ, ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΒΟΚΑΣ, ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΘΕΟΦΥΛΑΚΤΟΣ, ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑΣ, 4 έκδοση, Μάρτιος 2002.
5. Εταιρείες: ECOSUN, SOLION, PHOTOVOLTAIC, SENERS, "ΗΛΙΑΚΟΣ ΦΟΥΡΝΟΣ".
6. Πληροφορίες από το Internet:  
[www.ecosun.gr](http://www.ecosun.gr)  
[www.seners.gr](http://www.seners.gr)  
[www.solarcooking.com](http://www.solarcooking.com)  
[www.solion.com.gr](http://www.solion.com.gr)  
[www.photovoltaic.gr](http://www.photovoltaic.gr)  
και γενικότερα: [www.google.com](http://www.google.com)