



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΣΤΟ
ΚΕΛΥΦΟΣ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ. ΜΕΛΕΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ
ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΚΟΤΖΑΜΠΙΓΙΚΗΣ ΦΩΤΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΗΛΙΑΣ ΣΤΑΘΑΤΟΣ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ:1783

ΠΑΤΡΑ 2022

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Αρχικά θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον καθηγητή μου , κύριο Ηλία Σταθάτο που όποτε τον χρειαζόμουν ήταν διαθέσιμος για να με βοηθήσει. Επίσης να του πω ένα ευχαριστώ για τις πολύτιμες γνώσεις που μου έδωσε πάνω στο αντικείμενο αλλά και στα μαθήματα που διδάχτηκα από αυτόν.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την μητέρα μου, που ήταν δίπλα μου και με ενθάρρυνε, ακόμα και ας μας χώριζαν αρκετά χιλιόμετρα.

Και τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και συναδέλφους , που σε αυτά τα χρόνια των σπουδών μας, ακόμα και με δυσκολίες, με στήριξαν και δεν σταμάτησαν να πιστεύουν σε μένα.

Περίληψη

Το θέμα της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας πραγματεύεται τη δυνατότητα εφαρμογής ημιδιαφανών φωτοβολταϊκών συστημάτων στο κέλυφος των θερμοκηπίων χωρίς να διαταράσσεται ο ρόλος τους στην ανάπτυξη των φυτών.

Ειδικότερα στην πτυχιακή εργασία θα γίνει αναφορά στις ενεργειακές απαιτήσεις που χρειάζεται ένα θερμοκήπιο για τον φωτισμό, τη διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας και την συντήρηση, η οποία τελικώς μπορεί να παραχθεί ή μέρος αυτής από φωτοβολταϊκά συστήματα τα οποία θα βρίσκονται πάνω στο κέλυφος του θερμοκηπίου.

Αναλυτικότερα, στην παρούσα πτυχιακή θα γνωρίσουμε αρχικά κάποια στοιχεία στην τεχνολογία ημιδιαφανών Φ/Β συστημάτων και τα οποία θα μας χρησιμεύσουν στη συνέχεια. Επίσης θα προστεθούν στοιχεία σχετικά με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και αυτής που ειδικά απορροφάται από τα φυτά καθώς και η αξιοποίησή της από τα Φ/Β συστήματα που θα χρησιμοποιηθούν. Στη συνέχεια θα γίνει μελέτη εφαρμογής των ημιδιαφανών ΦΒ συστημάτων και συγκεκριμένα του ενεργειακού τους αποτυπώματος ώστε να γίνει απολογισμός της παραγόμενης ενέργειας συγκρινόμενη με τις καταναλώσεις του θερμοκηπίου. Οικονομική βιωσιμότητα του εγχειρήματος θα γίνει στο τέλος της διπλωματικής εργασίας.

ABSTRACT

The subject of this dissertation deals with the possibility of applying translucent photovoltaic systems to the greenhouse shell without disrupting their role in plant growth.

In particular, the dissertation will refer to the energy requirements that a greenhouse needs for lighting, maintaining a constant temperature and maintenance, which can eventually be produced or part of it by photovoltaic systems that will be located on the greenhouse shell.

More specifically, in this dissertation we will first get acquainted with some elements in the technology of translucent PV systems and which will be useful to us later. Data on the intensity of solar radiation and that which is specifically absorbed by plants will be added as well as its utilization by the PV systems that will be used. Then a study of the application of the translucent PV systems and specifically their energy footprint will be done in order to make an account of the produced energy compared to the consumption of the greenhouse. Financial viability of the project will be done at the end of the dissertation.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα θερμοκήπια είναι συστήματα τα οποία βοηθούν στην καλλιέργεια των λαχανικών και των φυτών. Σκοπό έχουν η καλλιέργεια αυτών να μην διαταράσσεται από τους εξωγενείς παράγοντες . Μέσα στο θερμοκήπιο θα πρέπει να υπάρχουν καταστάσεις οι οποίες θα είναι έτοιμες για τις καλλιέργειες. Τέτοιοι παράγοντες είναι οι σωστή και σταθερή θερμοκρασία και ο κατάλληλος φωτισμός. Επίσης η παραγωγή των φυτών σε ένα θερμοκήπιο θα γνωρίσουμε ότι έχει υψηλότερη απόδοση σε σχέση με τις καλλιέργειες σε εξωτερικούς χώρους Όλα αυτά για να προσφερθούν στο θερμοκήπιο θέλει μεγάλο ποσό ενέργειας που πρέπει να δαπανηθεί για την σωστή ανάπτυξη των φυτών.

Στην συγκεκριμένη πτυχιακή θα ασχοληθούμε με την σύνδεση ημιδιάφανων φωτοβολταϊκών στο κέλυφος του θερμοκηπίου και θα παρατηρήσουμε πως η ενέργεια μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη των φυτών.

Στο τέλος θα δοθούν δύο παραδείγματα μελέτης εφαρμογής φωτοβολταϊκών συστημάτων στο κέλυφος θερμοκηπίου.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ABSTRACT	4
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	5
Κεφάλαιο 1: Ανανεώσιμες πηγές Ενέργειας	8
1.1: Γενικά	8
1.2: Είδη ενέργεια	9
1.2.1: Ενέργεια από την θάλασσα	9
1.2.2: Αιολική ενέργεια	9
1.2.3: Υδραυλική ενέργεια	10
1.2.4: Βιομάζα	11
1.2.5 : Γεωθερμική ενέργεια	11
1.2.6 : Ηλιακή ενέργεια	12
Κεφάλαιο 2: Θερμοκήπια	13
2.1: Γενικά	13
2.2: Ιστορική αναδρομή-τυπικές διαστάσεις	13
2.3: Επιπτώσεις στο περιβάλλον	15
2.4: Ενεργειακές απαιτήσεις θερμοκηπίων	15
2.5: Θερμοκήπια και φωτοβολταϊκά	16
Κεφάλαιο 3: Φωτοβολταϊκή τεχνολογία	17
3.1: Εισαγωγή	17
3.2: Βασικές αρχές	18
3.2.1: Θεωρία του ενεργειακού χάσματος	18
3.2.2: Αγωγοί , μονωτές και ημιαγωγοί	19
3.2.3: Μηχανισμοί αγωγιμότητας	20
3.2.4: Επαφή p-n	20
3.2.5: Φωτοβολταϊκό φαινόμενο	21
3.3: Φωτοβολταϊκό στοιχείο	21
3.4: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο	23
3.5: Φωτοβολταϊκό σύστημα	25

Κεφάλαιο 4: Φωτισμός των θερμοκηπίων	27
4.1: Φωτισμός στα θερμοκήπια	27
4.2: Χρήση φωτιστικών για φωτισμό στα θερμοκήπια	28
Κεφάλαιο 5: Θερμοκρασία των θερμοκηπίων	31
5.1: Εισαγωγή	31
5.2: Συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων	31
5.3: Συστήματα ψύξης θερμοκηπίων	33
Κεφάλαιο 6: Μελέτη	35
6.1: Εισαγωγή	35
6.2: Στοιχεία τεχνολογίας ημιδιάφανων Φ/Β	35
6.3: Ηλιακή ακτινοβολία και φυτά	37
6.3.1: Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας σε φυτά και καλλιέργειες	37
6.3.2 : Αντανάκλαση, διαπερατότητα και απορροφητικότητα των φύλλων	38
6.3.3 : Παράγοντες που επηρεάζουν την κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό της καλλιέργειας φυτών	38
6.4: Αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα Φ/Β	40
6.5: Γνωριμία με τα Φ/Β πλαίσια	40
6.6: Ενεργειακές απαιτήσεις θερμοκηπίου	44
6.7: Εφαρμογή φωτοβολταϊκού συστήματος στο θερμοκήπιο	47
Κεφάλαιο 7: Οικονομική βιωσιμότητα του θερμοκηπίου	51
7.1: Εισαγωγή	51
7.2: Κόστος εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος	51
7.3: Αποτελεσματικότητα εγκατάστασης	52
7.4: Οικονομικά αποτελέσματα	53
Βιβλιογραφία	55

Κεφάλαιο 1: Ανανεώσιμες πηγές ενέργεια

1.1: Γενικά

Γενικά οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μορφές οι οποίες εκμεταλλεύονται την ενέργεια που προέρχεται από διάφορες φυσικές διαδικασίες όπως είναι η ακτινοβολία του ήλιου , ο άνεμος , η ροή του νερού κ.α. .Με την πάροδο των χρόνων μετονομάστηκαν ως ήπιες μορφές ενέργειας. Με το όρο «ήπιες» αναφέρονται σε δύο βασικά χαρακτηριστικά τους. Πρώτον για την εκμετάλλευση αυτών δεν χρειάζεται καμία απολύτως άμεση παρέμβαση, όπως γίνεται στην καύση ή και στην εξόρυξη, αρκεί μόνο η εκμετάλλευση της υπάρχουσας ροής ενέργειας. Δεύτερον πρόκειται για «καθαρές» μορφές ενέργειας , φιλικές προς το περιβάλλον , διότι δεν εκκρίνουν υδρογονάνθρακες και τοξικά απόβλητα όπως οι πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται ήδη σε μεγάλη κλίμακα. Έτσι , σύμφωνα με το οικολογικό πρόβλημα που πλήττει την Γη, θεωρούνται ότι είναι η αρχή για την λύση του προβλήματος αυτού.

Ως «ανανεώσιμες πηγές» ονομάζονται η εξελιγμένες των παραδοσιακών πηγών, όπως η ηλιακή και η αιολική. Ο χαρακτηρισμός «ανανεώσιμες είναι κάπως υπερβολικός, μιας και ορισμένες από αυτές είναι αμετάλλακτες σε κλίμακα χιλιετιών. Σε κάθε περίπτωση οι ΑΠΕ φαίνεται ότι είναι η λύση για την μη εξάντληση των ορυκτών καυσίμων.

Ουσιαστικά οι ΑΠΕ βασίζονται κυρίως στην ηλιακή ακτινοβολία, εκτός από την γεωθερμική. Το καλό είναι ότι όσο υπάρχει ήλιος οι συγκεκριμένες δεν θα πάντουν να ανανεώνονται ποτέ. Χρησιμοποιούνται είτε άμεσα ,για την θέρμανση, είτε έμμεσα αλλάζοντας την μορφή της με κύρια παραδείγματα τον ηλεκτρισμό και την μηχανική ενέργεια.

Η στροφή και η επαφή με τις ΑΠΕ έγινε μεγαλύτερη την δεκαετία του 70 , όταν κατά την εποχή αυτή το πετρέλαιο βρισκόταν σε κρίση , αλλά και λόγω της καταστροφή του περιβάλλοντος εξαιτίας της χρήσης του.



Εικόνα 1: Είδη ορυκτών καυσίμων

1.2: Είδη ενέργειας

1.2.1 : Ενέργεια από την θάλασσα

Η ενέργεια από την θάλασσα χωρίζεται σε τρεις υποκατηγορίες , από τις παλίρροιες, από τα κύματα και από τους ωκεανούς. Η ενέργεια από παλίρροια εκμεταλλεύεται την βαρύτητα του ηλίου και του φεγγαριού, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της στάθμης του νερού. Η ενέργεια από τα κύματα εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας. Τέλος η ενέργεια από τους ωκεανούς εκμεταλλεύεται την διαφορετική θερμοκρασία ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού, κάνοντας χρήση θερμικών κύκλων.

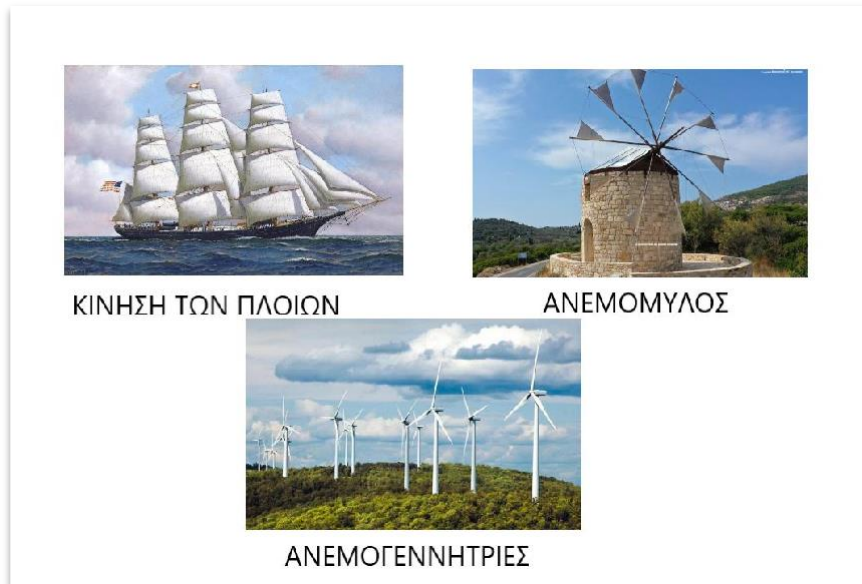


Εικόνα 2: Ενέργεια από κύματα

1.2.2 : Αιολική ενέργεια

Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου. Είναι μία βιώσιμη και ανανεώσιμη ενέργεια επειδή έχει ελάχιστο αντίκτυπο στο περιβάλλον σε σχέση με την καύση των ορυκτών. Επίσης το υλικό που χρησιμοποιεί είναι άφθονο αποκεντρωμένο και δωρεάν. Ακόμα, τα οικονομικά οφέλη των περιοχών όπου γίνεται εγκατάσταση για την εκμετάλλευση του ανέμου, είναι τεράστια.

Η αιολική ενέργεια έχει χρησιμοποιηθεί για την κίνηση των πλοίων με την βοήθεια των πανιών και την άντληση νερού με την βοήθεια ανεμόμυλων. Στην σύγχρονη ημέρα έχει επικρατήσει η χρήση των ανεμογεννητριών που μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική.



Εικόνα 3: Παραδείγματα εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας

1.2.3 : Υδραυλική ενέργεια

Υδραυλική ενέργεια, ή όπως ονομάζεται σήμερα υδροηλεκτρική , ουσιαστικά είναι η δυναμική ενέργεια μέσα στο βαρυντικό πεδίο με την συγκράτηση μεγάλων ποσοτήτων νερού σε υψομετρική διαφορά από την συνεχή ροή του νερού. Η κινητική ενέργεια που αποδίδεται μέσω της υδατόπτωσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα ή έμμεσα , δηλαδή σε άλλες μορφές ενέργειας έτσι ώστε να μπορεί να μεταφερθεί σε μεγάλη απόσταση.

Τα υδροηλεκτρικά έργα ταξινομούνται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας. Υπάρχουν αρκετές διαφορές σε ότι αφορά τις συνέπειες τους στο περιβάλλον. Οι μεγάλες υδροηλεκτρικές μονάδες απαιτούν την δημιουργία φραγμάτων κάτι που θα παραμορφώσει το περιβάλλον στο οποίο θα εδρεύει το έργο και θα καταστρέψει το οικοσύστημα. Αντίθετα τα έργα της τάξεως των 30 MW εγκαθίστανται δίπλα σε ποτάμια και δεν χρειάζεται να παρέμβει κάποιο τεχνητό στοιχείο το οποίο θα διαταράξει την ζωή στο συγκεκριμένο μέρος.



Εικόνα 4: Παραδείγματα υδροηλεκτρικών έργων

1.2.4 : Βιομάζα

Ως ορισμό για την βιομάζα μπορούμε να πούμε ότι είναι τα απόβλητα ή τα υπολείμματα βιολογικής προέλευσης της γεωργίας , της δασοπονίας κτλ. Στην περίπτωση όπου η βιομάζα χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας τότε αναφερόμαστε σε στερεά, υγρά και αέρια βιοκαύσιμα. Παραδείγματα στερεών είναι τα πέλλετ ξύλου όπως και τα ροκανίδια , και παραδείγματα υγρών είναι η βιοαιθανόλη και το βιοντίζελ που τα χρησιμοποιούμε συνήθως ως καύσιμα κίνησης. Η βιομάζα είναι η πιο παλιά και διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Ο πρωτόγονος άνθρωπος για να ζεσταθεί και να μαγειρέψει , χρησιμοποιούσε την ενέργεια που δημιουργούνταν από την καύση των ξύλων που είναι ένα είδος βιομάζας.



Εικόνα 5: Παραδείγματα βιομάζας

1.2.5 : Γεωθερμική ενέργεια

Γεωθερμική ενέργεια ή γεωθερμία ονομάζεται η θερμική ενέργεια που περνάει από το θερμό εσωτερικό του πλανήτη προς την επιφάνεια. Η μετάδοση θερμότητας πραγματοποιείται είτε με αγωγή από το εσωτερικό προς την επιφάνεια με ρυθμό $0,04-0,06 \text{ W/m}^2$, είτε με ρεύματα μεταφοράς, τα οποία περιορίζονται στις ζώνες κοντά στα όρια των λιθوسفαιρικών πλακών , εξαιτίας των ηφαιστειών και των υδροθερμικών φαινομένων.

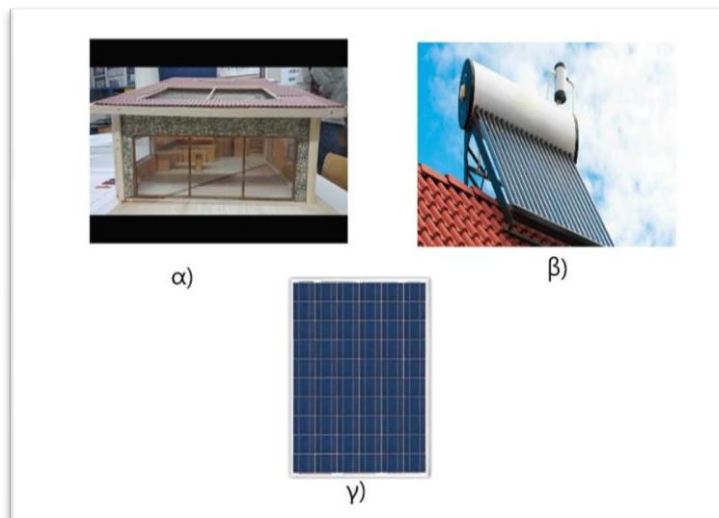
Υψηλής σημασίας για τον άνθρωπο είναι η αξιοποίηση της ενέργειας αυτής για την κάλυψη των αναγκών του, λόγω του ότι είναι ανεξάντλητη. Οι χρήσεις αυτής αλλάζουν ανάλογα με το θερμοκρασιακό επίπεδο. Σε περιοχές με θερμοκρασία άνω των 150 βαθμών κελσίου χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Σε περιοχές με θερμοκρασία από 80 μέχρι 150 θερμαίνει ή ξηραίνει αγροτικά προϊόντα, ενώ από 25 έως και 80 χρησιμοποιείται για την θέρμανση χώρων και θερμοκηπίων , αλλά και για ιχθυοκαλλιέργειες.



Εικόνα 6: Εκμετάλλευση γεωθερμικής ενέργειας

1.2.6 : Ηλιακή ενέργεια

Με τον όρο ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διάφορων μορφών ενέργειας που δημιουργούνται από τον ήλιο. Υπάρχουν πολλά είδη αλλά οι κυριότερες μορφές είναι το φως η θερμότητα και η ενέργεια ακτινοβολίας. Όπως θα συμπεράνατε , η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει περιορισμός χρόνου και χώρου για την εκμετάλλευση της. Για την εκμετάλλευση αυτής, υπάρχουν τρεις τρόποι εφαρμογών: τα παθητικά ενεργειακά συστήματα, τα ενεργητικά συστήματα και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Η διαφορά αυτών των τριών εφαρμογών είναι ότι τα παθητικά και ενεργητικά εκμεταλλεύονται την θερμότητα που εκπέμπεται λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ τα φωτοβολταϊκά μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρικό ρεύμα.



Εικόνα 7: Τρόποι εφαρμογών εκμετάλλευσης ηλιακής ενέργειας: α)παθητικό σύστημα, β) ενεργητικό σύστημα, γ) φωτοβολταϊκό σύστημα

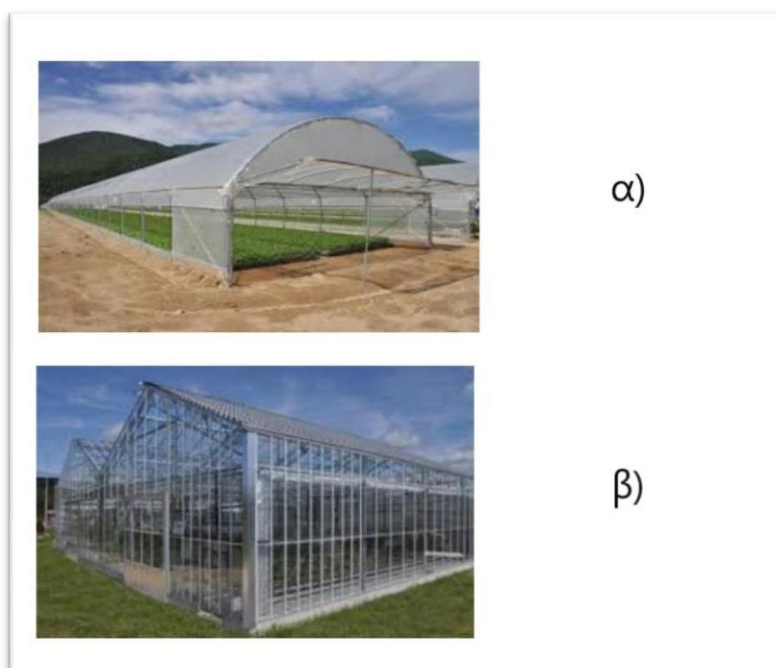
Κεφάλαιο 2: Θερμοκήπιο

2.1: Γενικά

Τα τελευταία χρόνια οι γεωργική τεχνολογία βρίσκεται σε μεγάλη ανάπτυξη. Πλέον μπορούμε την μελετήσουμε μέσα από πολλά προϊόντα και μηχανές τα οποία σχετίζονται με αυτή. Τέτοια προϊόντα είναι τα λιπάσματα, η εξελιγμένη φυτοπροστασία και οι συνεχώς ανεπτυγμένες τεχνικές καλλιέργειας. Η εισαγωγή της γεωργικής τεχνολογίας στην παραγωγή γίνεται με την μορφή χρήσης καινούριων παραγόντων και μεθόδων παραγωγής.

Τον τελευταίο αιώνα ο γεωργικός τομέας έχει δει μεγάλη ανάπτυξη. Ένα παράδειγμα με το οποίο θα ασχοληθούμε είναι το θερμοκήπιο. Αυτό αποτελεί ένα προϊόν γεωργικής τεχνολογίας που είναι κερδοφόρο σε χώρο και χρήμα.

Υπάρχουν πολλά είδη θερμοκηπίων, έτσι ώστε να μπορούν να ικανοποιηθούν όλες οι ανάγκες των παραγωγών. Εξωτερικά ο σκελετός του κάθε θερμοκηπίου μπορεί να διαφέρει στο υλικό. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι το ξύλο, ο σίδηρος, το πλεξιγκλάς και το αλουμίνιο. Μετά καλύπτεται από γυαλί, ή πλαστικό πλέγμα είτε από πλάκες. Οι δύο μεγάλες κατηγορίες που μπορούν να χωριστούν τα θερμοκήπια, είναι τα θερμοκήπια χωρικού τύπου, που δημιουργούνται από τον ίδιο τον παραγωγό, και τα τυποποιημένου τύπου, τα οποία κατασκευάζονται από κάποια βιομηχανία σε μεγάλες ποσότητες.



Εικόνα 8: Παραδείγματα θερμοκηπίων α)χωρικού τύπου, β) τυποποιημένου τύπου

2.2: Ιστορική αναδρομή – Τυπικές διαστάσεις

Οι πρώτοι που ξεκίνησαν την καλλιέργεια φυτών έξω από το φυσικό τους περιβάλλον ήταν οι Κινέζοι. Στην συνέχεια, φαίνεται ότι έκαναν παρόμοιες καλλιέργειες οι Πέρσες και οι

Αιγύπτιοι. Παρόλα αυτά, και στην χώρα μας σύμφωνα με την μυθολογία, στόλιζαν τα σπίτια τους με λουλούδια τα οποία καλλιεργούνταν σε κλειστούς χώρους. Στην ρωμαϊκή εποχή, δημιουργήθηκαν χώροι, που θερμαίνονταν και καλλιεργούσαν λαχανικά στο εσωτερικό τους.

Ένα από τα πρώτα θερμοκήπια που κατασκευάστηκαν στην Ευρώπη ήταν στην Βοημία το 1680. Μετά από κάποια χρόνια ο πρίγκιπας του Λιχτενστάιν δημιουργήθηκε το πρώτο μεγάλο και θερμαινόμενο θερμοκήπιο στην Τσεχία, εφόσον κανένας δεν το είχε κάνει μέχρι τότε. Τον 19^ο και 20^ο αιώνα εξελίχθηκαν και αναπτύχθηκαν κατά πολύ οι κατασκευές και οι τεχνικές του θερμοκηπίου, δημιουργώντας έναν νέο τύπο θερμοκηπίων, τα χημικά, τα οποία λεγόταν ότι θα λύσει το πρόβλημα της μαζικής καλλιέργειας των φυτών εκτός εποχής.

Οι διαστάσεις των θερμοκηπίων ποικίλουν ανάλογα με το είδος του θερμοκηπίου και την κατασκευή του, δηλαδή αν είναι φτιαγμένο από αυτόν που κάνει την καλλιέργεια ή το αγοράζει έτοιμο. Παρακάτω υπάρχουν 2 παραδείγματα θερμοκηπίων.

1. Αμφίρρικτο θερμοκήπιο απλό ή πολλαπλό

Το ελάχιστο ύψος της χαμηλής πλευρά στα θερμοκήπια είναι:

- ❖ Στου χωρικού τύπου 2,20 μέτρα
- ❖ Στα τυποποιημένα 2,60 μέτρα

Το ελάχιστο πλάτος είναι:

- ❖ Στου χωρικού τύπου μέχρι και 5 μέτρα (με δυνατή τοποθέτηση ενδιάμεσων στύλων για την στήριξη της οροφής με ελάχιστη απόσταση μεταξύ τους τα 2,50 μέτρα)
- ❖ Στα τυποποιημένα φτάνει τα 5 μέτρα

Η απόσταση των στύλων επί της γραμμής είναι:

- ❖ Στου χωρικού τύπου έως και 2 μέτρα
- ❖ Και στου τυποποιημένου τύπου 2,50 μέτρα

Τέλος, η κλίση της οροφής θα πρέπει να κυμαίνεται και στα χωρικά και στα τυποποιημένα από 20 έως 30 μοίρες.

2. Τροποποιημένα τοξωτά απλά ή πολλαπλά

Ύψος: Το ελάχιστο ύψος υδρορροής είναι:

- Για χωρικού τύπου 2,20 μέτρα
- Και για τα τυποποιημένα 2,60 μέτρα

Το ελάχιστο ύψος στην κορυφή είναι:

- Για χωρικού τύπου 3,10 μέτρα
- Για τυποποιημένα 3,50 μέτρα

Πλάτος: Το ελάχιστο ελεύθερο πλάτος στο έδαφος είναι 5 μέτρα

Απόσταση των στύλων: Το ελάχιστο μήκος κατασκευαστικής μονάδας είναι

- 2 μέτρα για του χωρικού τύπου
- 2 μέτρα για τα τυποποιημένα

2.3: Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Για την κατασκευή των θερμοκηπίων χρησιμοποιείται πλαστικό. Από την μια πλευρά το πλαστικό είναι υλικό που έχει μεγάλη αντοχή. Παρόλα αυτά ρυπαίνει το περιβάλλον, καθώς επίσης είναι και εύφλεκτο και τις περισσότερες φορές τοξικό. Μία εναλλακτική λύση είναι τα θερμοκήπια που χρησιμοποιούν γυαλί για την κάλυψη τους. Το θέμα με αυτό είναι ότι υπάρχουν λίγα στην αγορά λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής τους. Επίσης οι επιπτώσεις επηρεάζονται σημαντικά από τον τόπο του κάθε θερμοκηπίου. Δεν μπορούμε, παραδείγματος χάρι, να βάλουμε το ίδιο θερμοκήπιο σε μία χώρα της Βόρειας Ευρώπης και το ίδιο στην χώρα μας, διότι λόγω της ηλιοφάνειας και των θερμοκρασιών θεωρούμαστε αρκετά πιο ήπια.

2.4:Ενεργειακές απαιτήσεις θερμοκηπίων

Είναι γνωστό ότι τα θερμοκήπια έχουν πολλές ανάγκες οι οποίες χρειάζονται ενέργεια. Στην περίπτωση αυτή θα χρησιμοποιηθεί ηλεκτρική ενέργεια. Αν κάτσουμε και σκεφτούμε θα δούμε ότι για να λειτουργήσει ένα θερμοκήπιο σωστά χρειάζεται αερισμό, κατάλληλη θερμοκρασία, φωτισμό, αυτοματισμούς και φυσικά άφθονο νερό. Παρακάτω θα αναλυθούν οι απαιτήσεις αυτές.

1. **Αερισμός:** Για να μπορέσει να καλυφθεί η κάλυψη αυτής της ανάγκης, θα πρέπει στο θερμοκήπιο να υπάρχουν παράθυρα. Σε κάποια θερμοκήπια που λειτουργούν αυτόματα τα παράθυρα λειτουργούν μέσω ηλεκτρικών κινητήρων. Σε μεγαλύτερες ανάγκες χρησιμοποιούνται ηλεκτρικοί ανεμιστήρες.
2. **Κατάλληλη θερμοκρασία:** Εδώ θα παρατηρήσουμε δύο φαινόμενα, την θέρμανση και την ψύξη. Αυτό διότι τον χειμώνα χρειάζεται να ζεσταθεί το θερμοκήπιο, ενώ το καλοκαίρι να ψυχθεί σε υπερβολικά εξωτερικές υψηλές θερμοκρασίες.
 - I. **Θέρμανση:** Τους κρύους μήνες του χειμώνα τα θερμοκήπια δημιουργούν ζεστό κλίμα στο οποίο μπορεί να γίνει η καλλιέργεια των οπωροκηπευτικών. Σε περιοχές όπου οι θερμοκρασίες είναι υπερβολικά χαμηλές χρησιμοποιούνται αερόθερμα για να ζεστάνουν το θερμοκήπιο για να μπορέσει να επιτευχθεί η καλλιέργεια των κηπευτικών.
 - II. **Ψύξη :** Πολλές φορές και πιο συγκεκριμένα τους καλοκαιρινούς μήνες ειδικά στην χώρα μας υπάρχουν υπερβολικά μεγάλες θερμοκρασίες, κάτι που μπορεί να βλάψει την καλλιέργειες. Γι' αυτό τον λόγο μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανεμιστήρες που θα έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του θερμοκηπίου.
3. **Φωτισμός:** Πολλές φορές απαιτείται παροχή φωτός περισσότερες ώρες από τις ώρες που υπάρχει ήλιος. Για αυτό το σκοπό χρησιμοποιούνται λαμπτήρες. Στην σημερινή ημέρα έχουν εμφανιστεί συστήματα βασισμένα σε κρυσταλοδιόδους, τα λεγόμενα led.
4. **Αυτοματισμοί:** Όταν κάποιοι από τους μηχανισμούς θέλουμε να ελέγχονται αυτόματα τότε απαιτείται ενέργεια για την κίνηση των διάφορων χρονικών μηχανημάτων τα οποία θα είναι υπεύθυνα για την ομαλή λειτουργία των αντικειμένων που βοηθούν στην σωστή λειτουργία του θερμοκηπίου.
5. **Νερό:** Προφανέστατα για να μεγαλώσουν τα φυτά μας, χρειάζεται νερό. Τα παλαιότερα χρόνια το νερό προέρχονταν από γεώτρηση ή πηγάδι με χρήση αντλίας. Τα τελευταία χρόνια οι αντλίες είναι ηλεκτρικές.

Στο κεφάλαιο 4 και 5 θα γίνει μια αναλυτικότερη περιγραφή πάνω στον φωτισμό και την θερμότητα που πρέπει να έχει ένα θερμοκήπιο.

2.5: Θερμοκήπια και φωτοβολταϊκά

Τα τελευταία χρόνια, η χρήση ανανεώσιμης ενέργειας έχει αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Παρόλο που η φωτοβολταϊκή έχει μικρότερο ποσοστό χρήσης σε σχέση με την αιολική ενέργεια και την βιομάζα, η παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών παρουσιάζει δραστική αύξηση και συγκεκριμένα το βλέπουμε στην γεωργική παραγωγή.

Ωστόσο μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι, τα Φ/Β θερμοκήπια, που είναι ένας συνδυασμός ηλιακής ενέργειας και γεωργικής παραγωγής, μπορούν να χρησιμοποιήσουν αποτελεσματικά την ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή καθαρής και πράσινης ενέργειας και να αυξήσει την χρήση Φ/Β προϊόντων στην γεωργία, η οποία άνοιξε ένα νέο τρόπο σύγχρονης γεωργίας.

Βέβαια, για να φτάσουμε στην χρήση Φ/Β στα θερμοκήπια έπρεπε να ερευνηθούν κάποιοι παράγοντες που έμπαιναν εμπόδιο στην συνύπαρξη αυτών των δύο. Μερικοί από αυτούς τους παράγοντες είναι η συνέργεια παραγωγής δύο συστημάτων στην ίδια γη, η περιβαλλοντική αποδοχή, το αντίκτυπο των Φ/Β πάνελ στην ανάπτυξη των καλλιεργειών και το πόσο αποδοτικό θα είναι ένα Φ/Β σύστημα σε ένα τέτοιο εγχείρημα.

Στις μέρες μας, στην πρώτη θέση την συνολικής έκτασης των γεωργικών θερμοκηπίων είναι η Κίνα με έκταση που φτάνει τα 41090 Km². Ειδικά, το 12^ο πενταετές σχέδιο της φωτοβολταϊκής βιομηχανίας της Κίνας ορίζει ότι ο τρόπος παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που βασίζεται σε Φ/Β θερμοκήπια μπορεί να υποστηριχθεί από την κρατική χρηματοδότηση. Μέχρι το τέλος του 2013, τα έργα που εγκρίθηκαν από την Κινέζικη κυβέρνηση ήταν έως 2,9 GW.

Τα θερμοκήπια αυτά μπορούν να αποφέρουν κέρδος από την Φ/Β ενέργεια εκτός από το εισόδημα της γεωργικής φύτευσης, μειώνοντας παράλληλα την πίεση στους πόρους της γης για τον Φ/Β σταθμό.

Κεφάλαιο 3: Φωτοβολταϊκή τεχνολογία

3.1: Εισαγωγή

Φωτοβολταϊκή τεχνολογία ονομάζεται η απευθείας αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας μετατρέποντας την σε ηλεκτρική με την βοήθεια του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, είναι η φυσική διαδικασία που συμβαίνει στο φωτοβολταϊκό στοιχείο.

Αν παρατηρήσουμε, ο όρος φωτοβολταϊκός είναι σύνθετη λέξη και προέρχεται από το φως και βολτ που δείχνει την μετατροπή του φωτός σε τάση και εν κατακλείδι ηλεκτρικό ρεύμα. Η ανακάλυψη του φωτοβολταϊκού φαινομένου προέρχεται από τον φυσικό Edmond Becquerel, σε μια εργασία του, που δημοσιεύτηκε το 1839, περιέγραφε την αύξηση της τάσης ανάμεσα στα πλακίδια αργύρου όπου αυτά φωτίζοντας άμεσα από το ηλιακό φως. Την δεκαετία του 1950 έγινε η μεγάλη επανάσταση επάνω στην δημιουργία των Φ/Β στοιχείων, όταν μια ομάδα από ερευνητές, κατάφερε να δημιουργήσει ημιαγωγούς πρόσμειξης πυριτίου με μεγαλύτερη αποδοτικότητα μετατροπής του φωτός σε ηλεκτρική ενέργεια εκείνη την εποχή, βασιζόμενοι σε παλαιότερη έρευνα που είχε γίνει πάνω στην δημιουργία των τρανζίστορ από ημιαγωγούς.

Η τεράστια ανάπτυξη της Φ/Β τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια οφείλεται αναμφισβήτητα σε ορισμένα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών συστημάτων που δεν τα βρίσκουμε σε άλλες ΑΠΕ. Κάποια από τα χαρακτηριστικά είναι τα παρακάτω:

- Κατά την λειτουργία τους δεν παράγουν αέρια του θερμοκηπίου και δεν κάνουν θόρυβο, κάτι που κάνει την εγκατάστασή τους, ακόμα και μέσα σε ένα αστικό κέντρο, επιθυμητή. Τα τελευταία χρόνια έχει καθιερωθεί η εγκατάστασή τους πάνω σε οροφές κτισμάτων ή ακόμα και η ενσωμάτωσή τους σε δομές κτηρίων, με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της αισθητικής δυσλειτουργίας.
- Μπορούν να λειτουργήσουν ως αυτόνομα συστήματα (stand alone) αλλά και σαν συστήματα συνδεδεμένα σε δίκτυο (grid connected).
- Έχουν την δυνατότητα να τοποθετηθούν με διάφορους τρόπους μεταξύ τους δίνοντας έτσι ποικιλία ισχύος από λίγα mW έως δεκάδες MW, κάτι το οποίο αυξάνει σημαντικά το εύρος των εφαρμογών τους.
- Τέλος μπορούν να συνδυαστούν και με άλλες ΑΠΕ, όπως για παράδειγμα με ανεμογεννήτριες, και να λειτουργήσουν ως υβριδικά συστήματα.

Μια λογική ακολουθία Φ/Β όρων που θα βοηθήσει στην κατανόηση της Φ/Β τεχνολογίας και θα την δούμε στην συνέχεια είναι η παρακάτω: ημιαγωγοί πρόσμειξης, επαφή p-n, Φ/β στοιχείο, Φ/β πλαίσιο και τέλος το ολοκληρωμένο Φ/β σύστημα.

Οι ημιαγωγοί πρόσμειξης, παραδείγματος χάρη πυρίτιο – αρσενικό (Si-As), είναι το υλικό από το οποίο κατασκευάζονται τα Φ/Β στοιχεία. Η επαφή p-n, που είναι η καρδιά του Φ/Β στοιχείου, είναι δημιούργημα των ημιαγωγών πρόσμειξης. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο δημιουργείται στο φωτοβολταϊκό στοιχείο όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει επάνω του και έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση διαφοράς δυναμικού στις άκρες του στοιχείου ίσης σχεδόν με 0,6 V. Λόγω αυτής της πολύ μικρής τάσης στις εφαρμογές, τα Φ/Β στοιχεία μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους δημιουργώντας το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, το οποίο

μπορεί να δώσει ηλεκτρικές τάσεις πολύ μεγαλύτερες και σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερη ηλεκτρική ισχύ. Πολλά Φ/Β πλαίσια μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους και να δημιουργήσουν φωτοβολταϊκά συστήματα της τάξεως των kW, ενώ πολλά ενώ πολλά Φ/Β συστήματα δημιουργούν φωτοβολταϊκά πάρκα της τάξης των MW.

Στις ενότητες που ακολουθούν θα περιγράφονται τα στοιχεία της Φ/Β τεχνολογίας. Αρχικά θα αναφερθούν οι βασικές φυσικές αρχές που δείχνουν την λειτουργία των ημιαγωγών και των ημιαγωγών πρόσμειξης. Παρακάτω θα αναλυθεί η λειτουργία της επαφής p-n και του Φ/Β φαινομένου. Στην συνέχεια ακολουθεί η περιγραφή του ίδιου του Φ/Β στοιχείου. Μετά από το Φ/Β στοιχείο σειρά έχει το Φ/Β πλαίσιο και τέλος θα δούμε το Φ/Β σύστημα ή Φ/Β συστοιχία.

3.2: Βασικές αρχές

Τα Φ/Β στοιχεία βασίζονται εξ ολοκλήρου στον μηχανισμό επαφής p-n που δημιουργείται μεταξύ δύο στρωμάτων ημιαγωγικών υλικών που είναι δύο διαφορετικοί ημιαγωγοί πρόσμειξης ο ένας τύπου p (positive) και ο άλλος τύπου n (negative). Το συνηθέστερο ημιαγωγικό στοιχείο, που χρησιμοποιείται στις περισσότερες εμπορικές εφαρμογές Φ/Β στοιχείων, είναι το πυρίτιο (Το 85-90 % των Φ/Β είναι κατασκευασμένα με πρώτη ύλη το πυρίτιο) που είναι από τα πιο απεριόριστα αγωγιμα υλικά στην γη και με καλές φυσικοχημικές ιδιότητες . Επίσης το πυρίτιο είναι εύκολα κατεργάσιμο και έχει μελετηθεί από τους επιστήμονες σε βάθος πάνω στην δομή και την συμπεριφορά του.

3.2.1: Θεωρία του ενεργειακού χάσματος

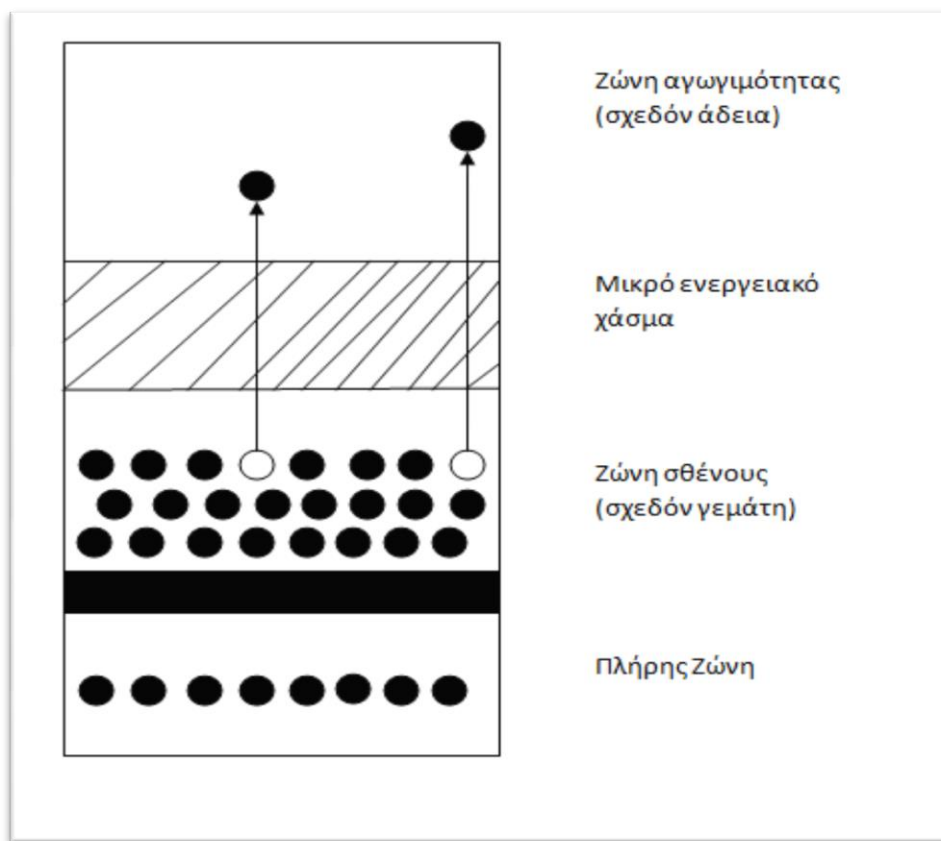
Είναι γνωστό σε όλους ότι τα άτομα των στοιχείων αποτελούνται από το θετικό φορτισμένο πυρήνα , που περιέχει τα πρωτόνια και τα νετρόνια, και τα αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια, τα οποία μπορούν να βρίσκονται σε συγκεκριμένες ενεργειακές τροχιές. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων που μπορεί να καλύψει κάθε ενεργειακή στάθμη είναι καθορισμένος από απαγορευτικές αρχές, όπως η απαγορευτική αρχή του Pauli. Όταν ένας κρύσταλλος δημιουργείται από πολλά άτομα σε έναν ημιαγωγό , όπως για παράδειγμα το πυρίτιο, τότε οι ενεργειακές στάθμες κάθε ξεχωριστού ατόμου επικαλύπτονται με αυτές των άλλων λόγω αλληλεπιδράσεων , και σαν αποτέλεσμα να έχει την δημιουργία των ενεργειακών ζωνών. Μέσα σε αυτές τις ζώνες υπάρχουν κάποιες στις οποίες δεν μπορούν να βρίσκονται τα ηλεκτρόνια κρυστάλλου όπως στις άλλες. Για να καταφέρει ένα ηλεκτρόνιο να περάσει από μια επιτρεπτή ζώνη σε μια άλλη ανώτερης ενέργειας πρέπει να δώσει ενέργεια ίση με την διαφορά αυτών των ενεργειακών ζωνών, που είναι ουσιαστικά η ενέργεια του χάσματος.

$$E_g = E_f - E_i$$

Όπου E_f : Τελική ενεργειακή ζώνη και E_i : Αρχική ενεργειακή ζώνη

Το εύρος αυτών εξαρτάται από το υλικό που είναι φτιαγμένος ο κρύσταλλος. Σε κάθε κρύσταλλο δύο βασικές διακριτές επιτρεπτές ενεργειακές ζώνες. Μια κατώτερη ενεργειακά ζώνη που ονομάζεται ζώνη σθένους και μια ανώτερη που ονομάζεται ζώνη αγωγιμότητας. Η διαφορά ανάμεσα στις ενέργειες αυτών των δύο ζωνών είναι η ενέργεια χάσματος και για κάθε στοιχείο έχει συγκεκριμένες τιμές . Συμπερασματικά , μπορούμε να πούμε ότι η

ενέργεια χάσματος είναι η ελάχιστη ενέργεια που χρειάζεται ένα ηλεκτρόνιο για να περάσει από την μια ζώνη στην άλλη(εικόνα 9).



Εικόνα 9:Διάγραμμα ενεργειακών ζωνών ενός ημιαγωγού.

3.2.2: Αγωγοί, μονωτές και ημιαγωγοί

Σύμφωνα με το υπόδειγμα του ενεργειακού χάσματος που παρουσιάστηκε παραπάνω , μας δίνεται η δυνατότητα να ορίσουμε με συντομία τρεις βασικές κατηγορίες υλικών ανάλογα με την αγωγιμότητα τους. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι αγωγοί, οι μονωτές και οι ημιαγωγοί.

Αγωγοί: ονομάζονται τα υλικά που έχουν υψηλή αγωγιμότητα. Τέτοια υλικά είναι συνήθως τα μέταλλα. Σε αυτά τα υλικά η ζώνη αγωγιμότητας περιέχει μεγάλο πλήθος ηλεκτρονίων και το ενεργειακό χάσμα είναι πολύ μικρό. Σαν αποτέλεσμα, η ζώνη σθένους επικαλύπτει την ζώνη αγωγιμότητα και το αντίστροφο.

Μονωτές: Είναι τα υλικά τα οποία στην ζώνη αγωγιμότητας είναι κενά (ή σχεδόν άδεια) και το ενεργειακό χάσμα είναι πολύ μεγάλο. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα , τα ηλεκτρόνια της ζώνης σθένους να χρειάζονται τεράστια ποσά ενέργειας για να αλλάξουν ενεργειακή ζώνη.

Ημιαγωγοί: είναι τα υλικά με σχετικά μικρό ενεργειακό χάσμα και σχεδόν καθόλου ηλεκτρόνια στην ζώνη αγωγιμότητας. Ως αποτέλεσμα, σε χαμηλές θερμοκρασίες, τα υλικά αυτά λειτουργούν ως μονωτές . Όταν όμως βρίσκονται σε υψηλές θερμοκρασίες μπορούν αρκετά ηλεκτρόνια να μεταφερθούν από την ζώνη σθένους στην ζώνη αγωγιμότητας, καθώς το ενεργειακό χάσμα είναι μικρό σε αυτή την περίπτωση, και έτσι να παρουσιάσουν αυξημένη αγωγιμότητα.

3.2.3: Μηχανισμοί αγωγιμότητας

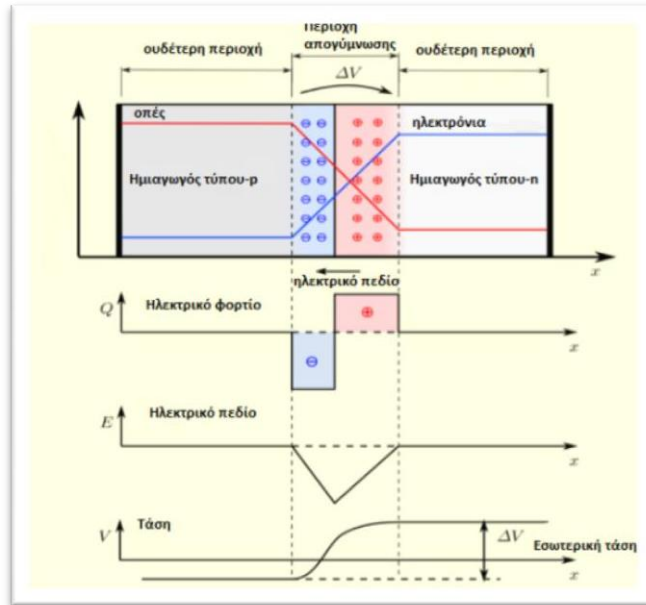
Σε καθαρό ημιαγωγό παρατηρούμε δύο μηχανισμούς αύξησης της αγωγιμότητας του. Στον πρώτο, δημιουργείται με την αύξηση της θερμοκρασίας και τότε η αγωγιμότητα ονομάζεται ενδογενής. Στην περίπτωση του άλλου μηχανισμού, που έχει περισσότερο ενδιαφέρον για τα Φ/Β στοιχεία, δημιουργείται με την πρόσμειξη καθαρών ημιαγωγών, με αποτέλεσμα την δημιουργία ημιαγωγών πρόσμειξης. Αυτή η διαδικασία αναφέρεται ως εξωγενής αγωγιμότητα.

Όπως αναφέραμε παραπάνω η ενδογενής αγωγιμότητα δημιουργείται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Αυτή η αύξηση έχει σαν αποτέλεσμα την απελευθέρωση ορισμένων ηλεκτρονίων του κρυστάλλου λόγω της μεταπήδησης από την ζώνη σθένους στη ζώνη αγωγιμότητας και την ελευθέρωση κυκλοφορία τους μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα. Κάθε αρνητικό φορτίο που φεύγει από την ζώνη σθένους δημιουργεί μια κενή θέση που ονομάζεται οπή που ισοδυναμεί με ένα θετικό φορτίο. Έτσι, μαζί με την αγωγιμότητα λόγω των ελεύθερων ηλεκτρονίων, δημιουργείται και αγωγιμότητα που οφείλεται στις οπές. Εάν σε αυτό το υλικό εφαρμοστεί εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο, θα εμφανιστεί ηλεκτρικό ρεύμα στο οποίο συνεισφέρουν τόσο τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, όσο και οι οπές.

Αντίθετα οι εξωγενής αγωγιμότητα δημιουργείται με την πρόσμειξη ελάχιστης ποσότητας ατόμων ενός άλλου ημιαγωγού στο κρυσταλλικό πλέγμα του πρώτου ημιαγωγού. Οι ημιαγωγοί κρύσταλλοι που δημιουργούνται με αυτόν τον τρόπο ονομάζονται ημιαγωγοί πρόσμειξης και αποτελούν την βάση για την δημιουργία της επαφής p-n και της δημιουργίας του Φ/Β στοιχείου.

3.2.4: Επαφή p-n

Μια επαφή p-n δημιουργείται από την πρόσμειξη 2 ημιαγωγών τύπου-p και τύπου-n. Με το που γίνει η πρόσμειξη αρκετά από τα πλεονάζοντα ηλεκτρόνια του ημιαγωγού τύπου-n θα κινηθούν προς την πλευρά του τύπου-p με αποτέλεσμα να γεμίσουν κάποιες από τις πλεονάζουσες οπές που βρίσκονται κοντά στην επαφή. Ταυτόχρονα κάποιες οπές θα κινηθούν αντίθετα και θα επανασυνδεθούν με κάποια από τα ηλεκτρόνια που υπερτερούν στην επαφή-n. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται διάχυση των φορέων, σαν αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια περιοχή αριστερά και δεξιά της επαφής p-n στην οποία δεν υπάρχουν ελεύθερα φορτία, η οποία ονομάζεται περιοχή απογύμνωσης. Σε αυτήν την περιοχή θα δημιουργηθεί ηλεκτρικό πεδίο και μια διαφορά δυναμικού, αφού στην πλευρά του τύπου-n η πολικότητα θα γίνει ελαφρώς θετική, εν στην τύπου-p θα γίνει το αντίθετο. Η διαφορά δυναμικού που δημιουργείται στα άκρα του ηλεκτρικού πεδίου ονομάζεται εσωτερική τάση.



Εικόνα 10: Επαφή p-n

3.2.5: Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Αν μια επαφή p-n φωτιστεί από μια οποιαδήποτε φωτεινή πηγή, τότε ένα μέρος των φωτονίων της ακτινοβολίας θα απορροφηθούν από τα άτομα του υλικού των ημιαγωγών πρόσμειξης, που βρίσκονται στην περιοχή απογύμνωσης, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν ζεύγη ηλεκτρονίου-οπής. Αυτά τα ζεύγη δημιουργούνται με την μεταφορά των οπών και των ελεύθερων ηλεκτρονίων στις αντίθετες ζώνες. Αυτή η κίνηση συνιστά ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο ονομάζεται φωτόρευμα και είναι αποτέλεσμα του φωτισμού της επαφής p-n. Αυτό σημαίνει ότι όταν προσπίπτει φως πάνω σε μια τέτοια επαφή, αυτή λειτουργεί σαν μπαταρία, δηλαδή λειτουργεί ως Φ/Β γεννήτρια. Αυτή η διαδικασία είναι το Φ/Β φαινόμενο.

3.3: Φωτοβολταϊκό στοιχείο

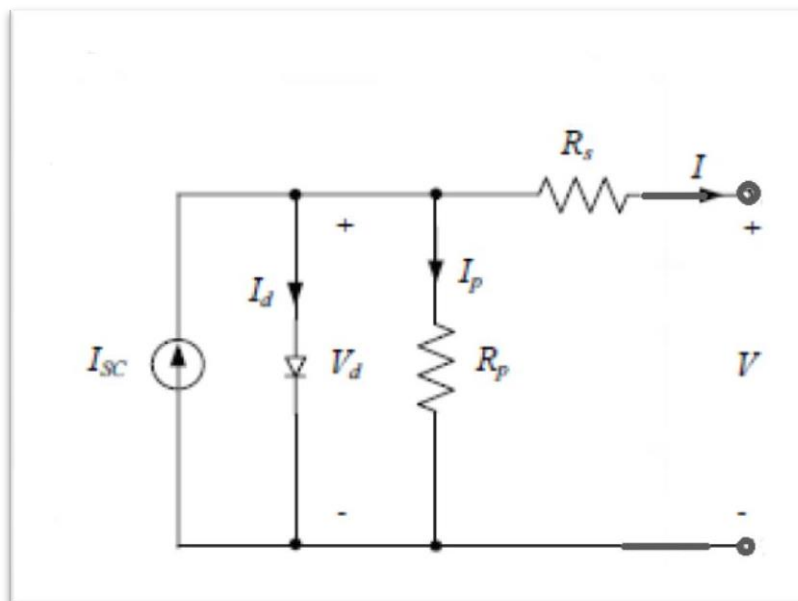
Η καρδιά του φωτοβολταϊκού στοιχείου, όπως αναφέραμε και στην προηγούμενη παράγραφο, είναι μια επαφή p-n στην οποία δημιουργείται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο όταν προσπίπτει επάνω του ηλιακή ενέργεια. Το βασικό υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο το Φ/Β στοιχείο είναι το πυρίτιο. Υπάρχουν αρκετές τεχνικές με τις οποίες κατασκευάζεται ο τελικό ημιαγωγός πρόσμειξης του κρυσταλλικού πυριτίου και δημιουργείται η επαφή p-n.

Τα βασικά στάδια κατασκευής ενός Φ/Β στοιχείου κρυσταλλικού πυριτίου είναι τέσσερα. Αρχικά γίνεται η συλλογή και η επεξεργασία του πυριτίου. Στην συνέχεια γίνεται ο τεμαχισμός του επεξεργασμένου πυριτίου. Μετά από τα τεμάχια του πυριτίου δημιουργούμε φύλλα αυτού και το τελικό στάδιο είναι το Φ/Β στοιχείο (εικόνα 11).



Εικόνα 11:Π Παράδειγμα Φ/Β στοιχείου.

Ένα φωτιζόμενο Φ/Β στοιχείο μπορεί να θεωρηθεί ως μια πηγή ρεύματος, συνδεδεμένη παράλληλα με μία δίοδο . Παρακάτω υπάρχει το ηλεκτρικό κύκλωμα που αντιστοιχεί σε αυτήν την περιγραφή(εικόνα 12).



Εικόνα12: Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα Φ/Β στοιχείου

Στο παραπάνω κύκλωμα υπάρχουν 3 ρεύματα:

- Το I_{sc} που είναι το ρεύμα κλειστού κυκλώματος και παράγεται από το φωτιζόμενο Φ/Β στοιχείο.
- Το ρεύμα τη δίοδου I_d που περιγράφεται από την εξίσωση του Shockley:

$$I_d = I_0 * (e^{\frac{eV_d}{kT}} - 1)$$

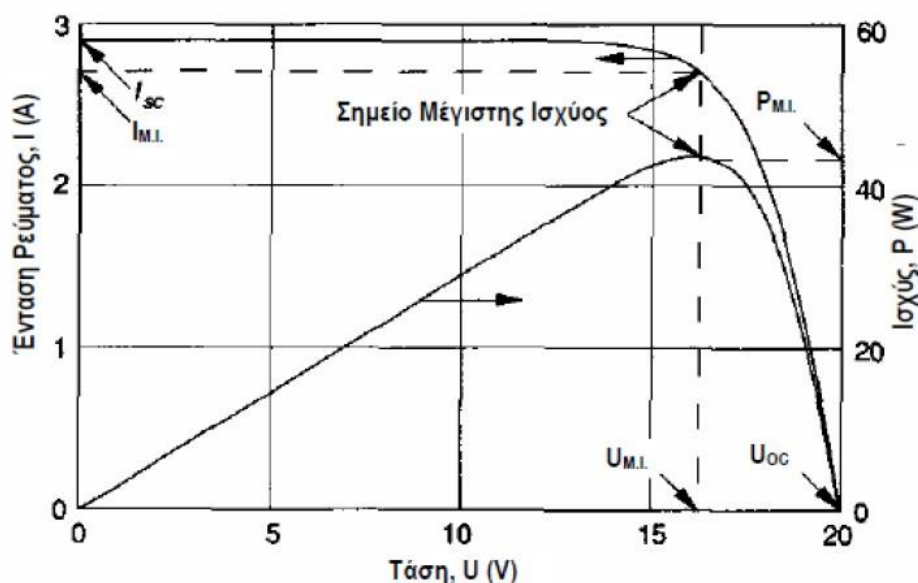
Και

- Το ρεύμα I που κυκλοφορεί στο κύκλωμα και το βρίσκουμε από την σχέση:

$$I = I_{sc} - I_d$$

Στο ηλεκτρικό κύκλωμα που φαίνεται παραπάνω , η δίοδο έχει συνδεθεί παράλληλα έτσι ώστε όταν δεν φωτίζεται το Φ/Β στοιχείο να λειτουργεί σαν απλή δίοδος, ενώ, όταν φωτίζεται, να λειτουργεί ταυτόχρονα και σαν πηγή ρεύματος. Η εσωτερική αντίσταση που είναι σε σειρά με το κύκλωμα αφορά την αντίσταση που έχει η δίοδος καθώς και τις αντιστάσεις των μεταλλικών επαφών και των καλωδίων. Η αντίσταση που είναι παράλληλα συνδεδεμένη αφορά τα ρεύματα διαρροής ανάμεσα στα άκρα της δίοδου.

Τέλος μια ακόμα σημαντική παράμετρος του Φ/Β στοιχείου είναι η χαρακτηριστική καμπύλη - καμπύλη ισχύος του . Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η εξάρτηση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα ενός Φ/Β στοιχείου σε συνάρτηση με την τάση που δημιουργείται στα άκρα του. Αυτή η καμπύλη αποτελεί την ταυτότητα του Φ/Β στοιχείου.



Εικόνα 13: Χαρακτηριστική καμπύλη I-V και καμπύλη ισχύος Φ/Β στοιχείου

Όπως φαίνεται από την γραφική παράσταση , το ρεύμα ξεκινά από μια μέγιστη τιμή και παραμένει σχεδόν σταθερό με μικρή συνεχόμενη ελάττωση μέχρι το σημείο μέγιστης ισχύος , όπου αρχίζει και μειώνεται απότομα μέχρι η τάση του ανοιχτού κυκλώματος να αποκτήσει την μέγιστη τιμή. Εκεί το ρεύμα μηδενίζεται. Το σημείο μέγιστης ισχύος βρίσκεται εκεί που το γινόμενο μεταξύ της τάσης και του ρεύματος θα παίρνει την μέγιστη τιμή της.

3.4: Φωτοβολταϊκό πλαίσιο

Ένα Φ/Β στοιχείο από μόνο του δεν μπορεί να κάνει και πολλά διότι λόγω της μικρής τάσης (της τάξης των 0,6V)-θα έχει σαν αποτέλεσμα η ηλεκτρική ισχύς να είναι πολύ μικρή. Για να έχουμε μεγαλύτερη ισχύς θα μπορούσαμε να συνδέσουμε πολλά Φ/Β στοιχεία με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί το Φ/Β πλαίσιο που είναι η βασική μονάδα ενός Φ/Β συστήματος. Αυτό που γίνεται ουσιαστικά είναι η ηλεκτρική σύνδεση ξεχωριστών Φ/Β στοιχείων μεταξύ τους σε σειρά και οι σειρές μεταξύ τους παράλληλα, δημιουργώντας έτσι την επιθυμητή τάση, ισχύ, και ρεύμα. Η ολοκλήρωση ενός πλαισίου γίνεται με την κάλυψη του από μεταλλικό ή πλαστικό περίβλημα, που στ πάνω μέρος του προστατεύεται από

γυάλινη επιφάνεια. Παρόλα αυτά κάποια Φ/Β πλαίσια δεν έχουν περίβλημα. Σε εκείνη την περίπτωση γίνεται τοποθέτηση μονωτικών ραφών στις άκρες τους.



Εικόνα 14: Φ/Β σύστημα\

Στην παραπάνω εικόνα παρατηρούμε πολλά συνδεδεμένα φωτοβολταϊκά πλαίσια συνδεδεμένα σε σειρά και παράλληλα, τα οποία αποτελούν ένα Φ/Β σύστημα που θα το δούμε στην επόμενη παράγραφο.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω το Φ/Β πλαίσιο δημιουργείται για να δώσει μεγαλύτερη τάση, ισχύ και ρεύμα. Τυπικές τιμές ισχύος για Φ/Β πλαίσια είναι από μερικά Watt μέχρι και 150 Watt. Η τάση λειτουργίας, που αντιστοιχεί σε συστήματα που βρίσκονται εκτός δικτύου, είναι της τάξεως των 20V, καθώς είναι αρκετή η τάση αυτή έτσι ώστε να φορτίσει μια μπαταρία(συσσωρευτής) των 12V που συνήθων χρησιμοποιούνται για να αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια. Να τονίσουμε κάπου εδώ ότι για πλαίσια εντός δικτύου οι τιμές της τάσης είναι μεγαλύτερες.

Τα πιο διαδεδομένα συστήματα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας που δημιουργείται μέσω των Φ/Β πλαισίων είναι οι συσσωρευτές. Οι συσσωρευτές είναι αναγκαίοι για συστήματα που είναι εκτός του δικτύου και χρειάζεται αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας για τυχόν συννεφιάς ή της έλλειψης φωτός(είτε φυσικού είτε τεχνητού).

Τέλος για να μπορεί ένα πλαίσιο να συνδεθεί και να λειτουργήσει χρειάζεται ορισμένα συμπληρωματικά στοιχεία Αυτά τα στοιχεία καθορίζονται από την περιοχή που βρίσκονται τα πλαίσια σε σχέση με το δίκτυο. Αν τα Φ/Β πλαίσια βρίσκονται σε περιοχή εκτός δικτύου θα πρέπει να εγκατασταθούν εκτός από τα Φ/Β πλαίσια και σύστημα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Επίσης χρειάζεται μηχανισμός στήριξης και κατεύθυνσης του Φ/Β πλαισίου, στον οποίο μπορεί να τοποθετηθεί πομπός ο οποίος θα δίνει σήμα στο πλαίσιο να ακολουθεί τον ήλιο. Τέλος χρειάζεται αντιστροφείας τάσης για την μετατροπή του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο, σε περίπτωση που η συγκεκριμένη εγκατάσταση έχει ανάγκη από εναλλασσόμενο ρεύμα. Στην περίπτωση όπου η εγκατάσταση είναι εντός δικτύου δεν χρειάζεται σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας αλλά χρειάζεται τα υπόλοιπα μέρη.

3.5: Φωτοβολταϊκό σύστημα

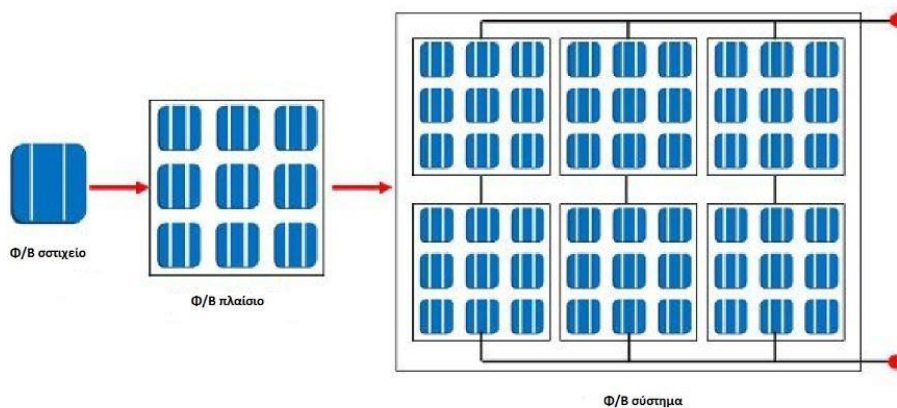
Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν την δυνατότητα να συνδεθούν μεταξύ τους είτε σε σειρά είτε παράλληλα (ανάλογα με τις ανάγκες που χρειάζεται το κάθε σύστημα) δημιουργώντας την φωτοβολταϊκή συστοιχία. Σε μια συστοιχία τα Φ/Β πλαίσια που συνδέονται σε σειρά δημιουργούν έναν κλάδο, ενώ οι κλάδοι συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα, δίνοντας έτσι στο σύστημα την τελική του μορφή. Ένα παράδειγμα μικρής Φ/Β συστοιχίας είναι της τάξεως των 50W – 2kW.

Στις μέρες μας έχουν κατασκευαστεί Φ/Β πάρκα της τάξεως δεκάδων MW. Αν συμπεριλάβουμε και όλες τις υπόλοιπες διατάξεις που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας, έτσι ώστε α μπορεί α μεταφερθεί προς κατανάλωση , τότε αναφερόμαστε σε Φ/Β σταθμό.

Στις δύο παρακάτω εικόνες βλέπουμε μια φωτοβολταϊκή συστοιχία και πως από ένα Φ/Β στοιχείο φτάνουμε σε ένα Φ/Β σύστημα.



Εικόνα 15: Φ/Β συστοιχία



Εικόνα 16: Φ/Β στοιχείο, Φ/Β πλαίσιο, Φ/Β σύστημα

Να θυμίσουμε σε αυτό το σημείο ότι τα Φ/Β συστήματα ξεχωρίζουν έναντι των άλλων Α.Π.Ε. σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά που βρίσκονται στον παρακάτω πίνακα.

Θετικά	Αρνητικά
<ul style="list-style-type: none">• Άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, σε μικρή ή μεγάλη ισχύ.• Δυνατότητα σταδιακής υλοποίησης του συστήματος.• Μηδενικές εκπομπές ρύπων κατά την λειτουργία τους.• Αθόρυβη λειτουργία• Ελάχιστη συντήρηση• Μεγάλη αξιοπιστία	<p>Στην ουσία δεν υπάρχουν αρνητικά. Το κόστος της Φ/Β kWh, που ήταν στο παρελθόν υψηλό, είναι πλέον ανταγωνιστικό όχι μόνο με τις λοιπές ΑΠΕ αλλά και με τις συμβατικές πηγές ενέργειας.</p>

Πίνακας 1: Θετικά και αρνητικά των φωτοβολταϊκών συστημάτων

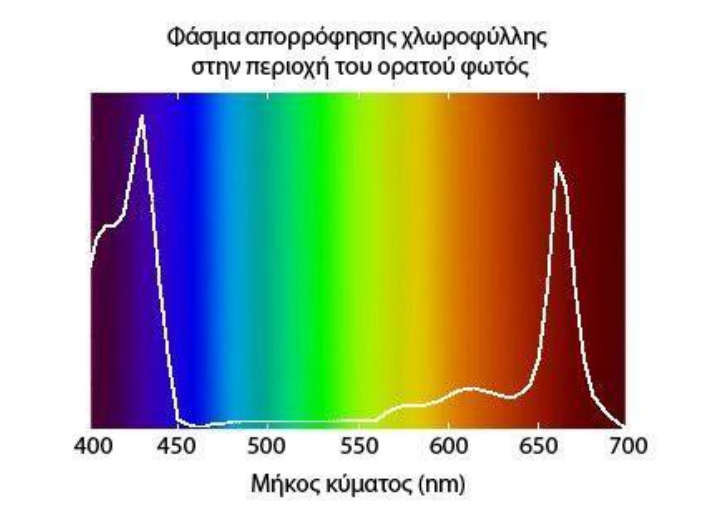
Κεφάλαιο 4 : Φωτισμός των θερμοκηπίων

4.1: Φωτισμός στα θερμοκήπια

Ο στόχος των Φ/Β στο κέλυφος των θερμοκηπίων ,έχει σκοπό να δημιουργήσει έναν νέο τρόπο για την ανάπτυξη των φυτών , ο οποίος είναι διαφανής στο φως του ήλιου και είναι κατάλληλος για να μειωθεί η απώλεια της θερμότητας. Ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, που διέρχεται μέσα από το υλικό, γίνεται θερμότητα εκ του οποίου ένα μέρος χρησιμοποιείται για την φωτοσύνθεση του φωτός και οδηγεί στην παραγωγή της χρήσιμης βιομάζας.

Το φως σχηματίζεται από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που είναι ορατή στον άνθρωπο. Αυτή η ακτινοβολία ή το ορατό φάσμα αποτελεί ένα μικρό μέρος του συνολικού ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, διότι σε αυτό συμπεριλαμβάνονται και οι ακτίνες γ, οι ακτίνες Χ και τα ραδιοκύματα. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στη παρακάτω εικόνα, το μικρότερο μήκος κύματος το έχουν οι μωβ ακτίνες και το μεγαλύτερο το ερυθρό χρώμα. Η ηλιακή ακτινοβολία όταν διαπερνάει ένα πρίσμα ή ένα σύνολο σταγόνων νερού στην ατμόσφαιρα τα φωτεινότερα κύματα οργανώνονται σε ορατά φάσματα χρώματος δημιουργώντας έτσι το γνωστό ουράνιο τόξο.

Η απορρόφηση του φωτός από τα φυτά γίνεται με διαφορετικό τρόπο σε σχέση με τον άνθρωπο. Για να γίνει η φωτοσύνθεση, τα φυτά ανταποκρίνονται στο φως με το μπλε και το κόκκινο του φάσματος καθώς και στο υπέρυθρο μήκος κύματος για την περίοδο της ανάπτυξης και τον έλεγχο της βλάστησης. Η πυκνότητα, η διάρκεια, και η ποιότητα του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας που παίρνουν τα φυτά , επιδρούν στην φωτοσύνθεση, στην ανάπτυξη, στις κλιματικές μεταβολές και το σχήμα των φυτών.



Εικόνα 17: Η διαδικασία της φωτοσύνθεσης.

Παρόλο το γεγονός ότι τα φυτά θεωρούνται ακίνητοι και παθητικοί οργανισμοί που εξαρτώνται από το περιβάλλον, στην πραγματικότητα είναι πολύ ενεργοί οργανισμοί που αντιδρούν στις περιβαλλοντικές αλλαγές. Με δεδομένο ότι το φυσικό ηλιακό φως είναι ένα μέγεθος με συνεχείς διαφοροποιήσεις, τα φυτά λειτουργούν ως μηχανισμοί που επιτρέπουν την μέτρηση της αντίδρασης σε διαφορετικές ροές και κύκλους του φυσικού φωτός. Ως αντίδραση στις συνθήκες φωτισμού μπορούν να ελέγξουν τον ρυθμό κατά τον οποίο γίνεται ταυτόχρονα η απευθείας εξάτμιση από το έδαφος και η διαπνοή στη φύση και είναι δύσκολο να διαχωριστούν οι υδρατμοί που παράγονται με τις δύο διεργασίες. Επίσης μπορούν να ελέγξουν τον ρυθμό λήψης νερού, το μήκος των κόμβων τους, το μέγεθος των φύλλων, τον προσανατολισμό όπως ακόμα και να καθορίζουν τον βέλτιστο χρόνο βλάστησης και τις υπόλοιπες διαδικασίες.

Είναι προφανές ότι τα φυτά που αναπτύσσονται στα θερμοκήπια παρουσιάζουν διαφορές σε σχέση με τα φυτά που αναπτύσσονται σε εξωτερικούς χώρους με συνθήκες οι οποίες δεν θα είναι ίδιες, για τον λόγο ότι στο θερμοκήπιο δεν επηρεάζεται η ποσότητα, η ποιότητα και η διάρκεια του φωτός που λαμβάνουν.

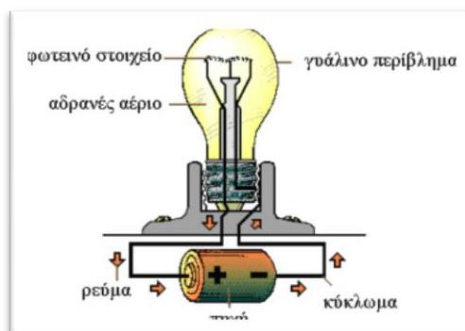
4.2: Χρήση φωτιστικών για φωτισμό στα θερμοκήπια

Το φως παίζει σημαντικό ρόλο σε κάθε θερμοκήπιο από την θέρμανση μέχρι και τον φωτισμό. Σε αυτή την παράγραφο θα αναφερθούμε στην χρήση φωτιστικών στα θερμοκήπια. Ο τεχνητός φωτισμός μέσα στα θερμοκήπια επιτυγχάνεται με την βοήθεια λαμπτήρων. Σε ένα θερμοκήπιο, όπως και σε ένα σπίτι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα συστήματα λαμπτήρων για τον φωτισμό ενός θερμοκηπίου, και αυτό είναι το θέμα που θα αναλύσουμε εδώ. Να τονίσουμε σε αυτό το σημείο ότι και ο καρπός ο οποίος καλλιεργείται σε ένα θερμοκήπιο παίζει μεγάλο ρόλο στο φως που θα χρειαστεί.

Οι πιο συνηθέστεροι λαμπτήρες που χρησιμοποιούνται χωρίζονται σε 4 κατηγορίες:

- **Λαμπτήρες πυρακτώσεως:** Είναι λαμπτήρες οι οποίοι εκπέμπουν φως με αποτέλεσμα να θερμανθεί το νήμα βολφραμίου στους 2500 °C. Χάρης αυτό το φάσμα εκπομπής από το νήμα περιλαμβάνει ένα σημαντικό ποσοστό ορατής ακτινοβολίας. Στην ενεργή ακτινοβολία της φωτοσύνθεσης ακτινοβολείται μόνο το 15% της ενέργειας του λαμπτήρα. Ένα μεγάλο ποσοστό γίνεται υπέρυθη και το πιο μικρό ποσοστό γίνεται θερμική ακτινοβολία.

Παρόλο που είναι μια κατηγορία χρήσης, οι λαμπτήρες αυτοί δεν είναι καλή επιλογή διότι έχουν σχετικά μικρή διάρκεια ζωής και επειδή δεν είναι λειτουργικές για την φωτοσύνθεση των φυτών. Επίσης σε σχέση με άλλες κατηγορίες επειδή είναι παλιά τεχνολογία χρειάζονται περισσότερη ισχύς για την λειτουργία τους.



Εικόνα 18: παράδειγμα λάμπας πυρακτώσεως

- **Λαμπτήρας φθορισμού:** Είναι λαμπτήρες που παράγουν φως μέσω της διέγερσης ατμού υδραργύρου σε μικρή πίεση σε ένα μείγμα αερίων. Το μείγμα αυτό σε συνδυασμό με το τόξο που παράγεται διεγείρει τα ηλεκτρόνια του υδραργύρου που με την σειρά τους εκπέμπονται σε μικρά μήκη κύματος καθώς πέφτουν σε κατάσταση γείωσης.

Είναι πιο ισχυρές από τις λάμπες πυρακτώσεως και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια λειτουργίας. Η σωστή λειτουργία γίνεται σε σχετικά ψηλές θερμοκρασίες, για την Ελλάδα, στα τοιχώματα του και έτσι μπορεί να αποδώσει το μέγιστο φως. Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα είναι ο όγκος του, η θραύση του, καθώς περιέχει υδράργυρο στο εσωτερικό, και η μεγάλη ισχύ που καταναλώνει.



Εικόνα 19: παράδειγμα λάμπας φθορισμού

- **Λαμπτήρες νατρίου υψηλής πίεσης:** Οι συγκεκριμένοι λαμπτήρες είναι οι πιο συνηθισμένοι για την χρήση σε θερμοκήπιο. Είναι οι πιο αποτελεσματικοί στο κομμάτι του φάσματος της φωτοσύνθεσης παρά το γεγονός ότι έχουν μια ορατή κατανομή φάσματος που δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε φυτά. Η χρήση ενός αγώγιμου τόξου και η εκπομπή του σε ένα μίγμα ατμού από νάτριο και υδρογόνου έχει σαν αποτέλεσμα την παραγωγή φωτός. Παρόλα αυτά και αυτοί έχουν μεγάλη ισχύ.



Εικόνα 20: παράδειγμα λαμπτήρα νατρίου υψηλής πίεσης

- **Λαμπτήρες Led:** Η πλέον χρησιμοποιούμενη και πιο οικονομική μέθοδος φωτισμού, στις μέρες μας, είναι οι λαμπτήρες led(Light Emission Diode). Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στην ικανότητα που έχουν , να παράγουν φως υψηλής έντασης με χαμηλή θερμότητα ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα να έχουν χαμηλή ισχύ και μεγαλύτερη ζωή λειτουργίας σε σχέση με τις λάμπες πυρακτώσεως και λάμπες φθορισμού. Τέλος με αυτές τις λάμπες συνδεδεμένες στο θερμοκήπιο το θερμοκήπιο θα έχει υψηλότερη απόδοση κατά πολύ μεγαλύτερη από τις παραδοσιακές πηγές φωτισμού.



Εικόνα 21: παράδειγμα λαμπτήρα LED

Κεφάλαιο 5 : Θερμοκρασία στα θερμοκήπια

5.1:Εισαγωγή

Όπως αναφερθήκαμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο τα θερμοκήπια δεν μπορούν να συντηρούν σταθερή θερμοκρασία καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Τον χειμώνα θέλουν θέρμανση, λόγω χαμηλών θερμοκρασιών, και το καλοκαίρι ψύξη. Τις θερμοκρασίες που θα πρέπει να έχει ένα θερμοκήπιο τις καθορίζει ο παραγωγός ανάλογα με το προϊόν που παράγει. Γενικά τα θερμοκήπια έχουν χαρακτηριστεί ως αυτόνομα, δηλαδή μπορούν να καλύψουν μόνο τους τις ανάγκες , παρόλα αυτά για τον παραπάνω λόγο που αναφερθήκαμε χρειάζεται και κάποια ηλεκτρική ενέργεια για να επιτευχθεί η σωστή καλλιέργεια των φυτών όσο των δυνατόν περισσότερες φορές. Για να γίνει αυτό πρέπει να υπάρχουν συστήματα θέρμανσης και ψύξης, τα οποία θα τα δούμε παρακάτω για να συντηρούν την καλλιέργεια σε ομαλά επίπεδα.

5.2: Συστήματα θέρμανσης θερμοκηπίων

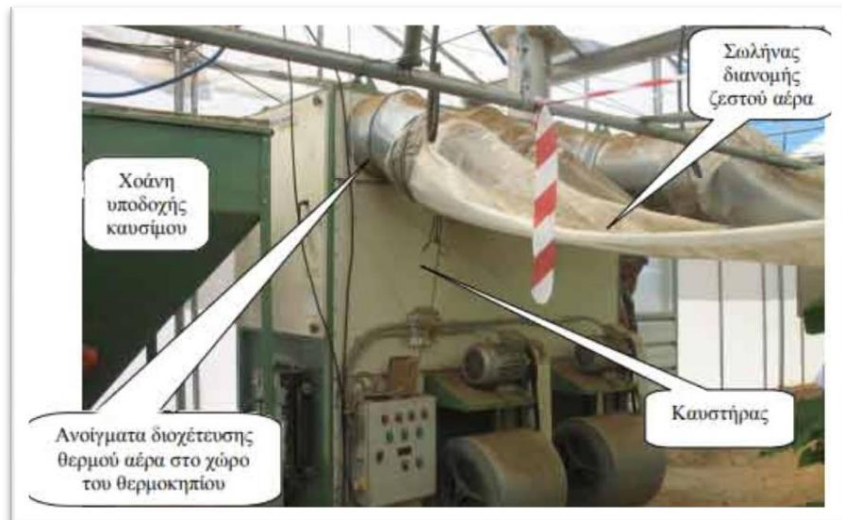
Για την θέρμανση των θερμοκηπίων υπάρχουν πολλοί τρόποι οι οποίοι μπορούν να βοηθήσουν στην σωστή λειτουργία αυτών. Μερικοί από αυτούς είναι τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης, τα συστήματα που μεταδίδουν την θερμότητα μέσω σωληνώσεων, τα συστήματα που μεταδίδουν την θερμότητα με εξαναγκασμένο τρόπο και φυσικά τα συστήματα θέρμανσης μέσω ανανεώσιμων πηγών ενέργειας .

- I. Τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης είναι τα πιο γνωστά στο ευρύ κοινό και καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος της θέρμανσης του θερμοκηπίου. Ο λόγος για τον οποίο δεν χρησιμοποιείται αυτός ο τρόπος θέρμανσης , παρόλο που έχει υψηλή απόδοση, είναι η χρήση των καυσίμων , που έχει σαν αποτέλεσμα το υψηλό κόστος.



Εικόνα 22: Συμβατικό σύστημα θέρμανσης

- II. Τα συστήματα που μεταδίδουν την θερμότητα μέσω σωληνώσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εκτάσεις. Σε θερμοκήπια μικρής εκτάσεως χρησιμοποιούνται αερόθερμα για την κατανομή του θερμού αέρα στο θερμοκήπιο . Από την άλλη σε θερμοκήπια μεγάλης έκτασης , για να μην χρησιμοποιηθούν πολλά αερόθερμα, γίνεται χρήση λεπτών διάφανων σωλήνων για να κατανομηθεί σωστά ο θερμός αέρας. Οι σωλήνες αυτοί μπορούν να τοποθετηθούν στο επίπεδο του εδάφους ή ακόμα και πάνω από τα φυτά.



Εικόνα 23: Σύστημα σωληνώσεων

- III. Τα συστήματα που μεταδίδουν την θερμότητα με εξαναγκασμένο τρόπο ποικίλουν ανάλογα με την πηγή ενέργειας. Παράδειγμα, τα αερόθερμα μπορεί να είναι ηλεκτρικά, ατμού, ζεστού νερού, φυσικού αερίου ή και πετρελαίου. Δείχνουν άριστη απόδοση, είναι πολύ εύκολα στην εφαρμογή ενός συστήματος αυτόματου ελέγχου. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα που έχουν , είναι ότι σε περίπτωση βλάβης η θερμοκρασία μειώνεται πολύ γρήγορα , ιδιαίτερα σε περιοχές που έχουν πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.



Εικόνα 24: Σύστημα θέρμανσης με αερόθερμο

- IV. Τα συστήματα θέρμανσης μέσω ΑΠΕ έχουν αρχίσει και κάνουν την εμφάνισή τους όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια. Τα συστήματα αυτά έρχονται για να εξοικονομήσουν και χρήματα , αλλά και για να μην επιβαρύνουν το περιβάλλον. Με ποιο απλά λόγια τα συστήματα αυτά έρχονται για να διευκολύνουν τους αγρότες από την χρήση των καυσίμων , που στις μέρες μας η τιμή τους όλο κι περισσότερο ανεβαίνει αλλά τείνουν και να μην είναι διαθέσιμα, γιατί οι ΑΠΕ είναι πρακτικά ανεξάντλητες. Ακόμα ένας σημαντικός παράγοντας είναι το κόστος λειτουργίας που είναι πολύ χαμηλό και δεν στηρίζεται στις μετατροπές της διεθνούς οικονομίας και με σημαντικότερο όλων την τιμή των καυσίμων.

Ο παράγοντας που παίζει μεγάλο ρόλο στην λειτουργία αυτών των συστημάτων είναι οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν στον χώρο εγκατάσταση. Το θερμοκήπιο μπορεί να χρησιμοποιήσει όλες τις μορφές ενέργειας , όπως για παράδειγμα την ηλιακή και την αιολική , οι οποίες μπορούν να αξιοποιηθούν για την θέρμανση του.

5.3: Συστήματα ψύξης θερμοκηπίων

Κατά τους θερινούς μήνες του χρόνου το θερμοκήπιο θερμαίνεται υπερβολικά και τα φυτά ξεραίνονται ευκολότερα. Δύο από τους σημαντικότερους λόγους που συμβάλλουν στην επιτυχή καλλιέργεια των φυτών είναι η υγρασία και ο δροσισμός. Πολύ χαμηλές τιμές της υγρασίας προκαλούν την υπερβολική διαπνοή των καλλιεργειών , με αποτέλεσμα την καταστροφή τους. Αντίθετα σε θερμοκήπια που έχουν υψηλές τιμές υγρασίας, τα φυτά είναι επιρρεπή σε μυκητιάσεις και σοβαρές ασθένειες. Οπότε ο δροσισμός των θερμοκηπίων είναι απαραίτητος. Παρακάτω θα αναλυθούν μερικοί από τους τρόπους δροσισμού και υγρασίας.

Σύστημα δροσισμού Υγρής παρειάς

Η χρήση αυτού του συστήματος είναι αρκετά αποτελεσματική στις περιβαλλοντικές συνθήκες της χώρας μας, αφού η απόδοση του συστήματος σχετίζεται άμεσα με την σχετική υγρασία. Όσο χαμηλότερη είναι η σχετική υγρασία τόσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός απόδοσης. Στις περιοχές τις Ελλάδας που τους καλοκαιρινούς μήνες η θερμοκρασία είναι υψηλή και η υγρασία πολύ χαμηλή, η λειτουργία αυτού του συστήματος είναι αναγκαία για την ομαλή και αποτελεσματική συνέχιση των καλλιεργειών κατά τους μήνες αυτούς. Η δυνατότητα που έχουν τα θερμοκήπια, χάρης αυτών των συστημάτων, τους καλοκαιρινούς μήνες, τους δίνει την δυνατότητα να μικρύνει το διάστημα αδράνειας της καλλιέργειας αλλά ταυτόχρονα να αυξάνει την παραγωγή σε περιόδους όπου οι εξωτερικές καιρικές συνθήκες δεν το επιτρέπουν. Το συγκεκριμένο σύστημα προσφέρει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Ύγρανση, δροσισμό και ομοιόμορφη κατανομή στο θερμοκήπιο
- Γρηγορότερο ρυθμό ανάπτυξης και παραγωγής των φυτών
- Βελτίωση της ποιότητας των παραγόμενων προϊόντων

Σύστημα δροσισμού τεχνητής ομίχλης

Κατά την λειτουργία αυτού του συστήματος, δημιουργείται ομίχλη με σταγονίδια, τα οποία απορροφούνται εύκολα μέσω του θερμού αέρα του θερμοκηπίου, μειώνοντας την θερμοκρασία και αυξάνοντας την υγρασία στο εσωτερικό του χώρου. Το σύστημα είναι κατασκευασμένο από ανοξείδωτο αγωγό και ειδικά συστήματα που δημιουργούν το φαινόμενο αυτό. Λειτουργεί υπό πίεση 60-70 bar και τροφοδοτείται από αντλίες υψηλής πίεσης. Το σύστημα είναι εξοπλισμένο με φίλτρα υψηλής ποιότητας και ελέγχεται από το κεντρικό υπολογιστή ελέγχου κλίματος.

Σύστημα υδρονέφωσης

Είναι ένα σύστημα χαμηλής πίεσης και αποτελεί μια από τις οικονομικότερες λύσεις για τον δροσισμό των θερμοκηπίων. Η εγκατάσταση του συστήματος συνήθως γίνεται στην κορυφή του θερμοκηπίου, με σωληνώσεις στις οποίες είναι τοποθετημένα πλαστικά ακροφύσια που παράγουν σταγονίδια. Το σύστημα αυτό λειτουργεί σε πίεση 4-6 bar στα ακροφύσια ενώ ο έλεγχος του γίνεται από ένα controler, που επιτρέπει την λειτουργία του συστήματος με πολύ σύντομους κύκλους αποφεύγοντας το βρέξιμο των φυτών.

Κεφάλαιο 6 : Μελέτη

6.1: Εισαγωγή

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με την μελέτη εφαρμογής των ημιδιαφανών ΦΒ συστημάτων σε ένα θερμοκήπιο και συγκεκριμένα του ενεργειακού τους αποτυπώματος ώστε να γίνει απολογισμός της παραγόμενης ενέργειας συγκρινόμενη με τις καταναλώσεις του θερμοκηπίου. Πριν κάνουμε την μελέτη θα γνωρίσουμε κάποια στοιχεία της νέας τεχνολογίας των ημιδιάφανων Φ/Β πλαισίων. Στην συνέχεια θα δούμε κάποια στοιχεία σχετικά με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και αυτής που ειδικά απορροφάται από τα φυτά καθώς και η αξιοποίησή της από τα Φ/Β συστήματα που θα χρησιμοποιηθούν. Επίσης θα δούμε τις ενεργειακές απαιτήσεις που θα χρειαστεί τον συγκεκριμένο θερμοκήπιο.

Για την μελέτη θα χρησιμοποιηθούν δύο διαφορετικά πλαίσια για να δούμε τις αποδόσεις που έχει το καθένα πάνω σε ένα θερμοκήπιο. Τα συγκεκριμένα πλαίσια ανήκουν στην εταιρία Brité Solar. Πιο συγκεκριμένα, θα δούμε ένα Φ/Β πλαίσιο το οποίο καλύπτει ένα μέρος του πάνελ και ένα Φ/Β πλαίσιο που καλύπτει μεγαλύτερη έκταση του πάνελ. Τέλος, θα δούμε ποια περίπτωση μας καλύπτει και θα κάνουμε την ολοκληρωμένη μελέτη.

6.2: Στοιχεία τεχνολογίας ημιδιάφανων Φ/Β

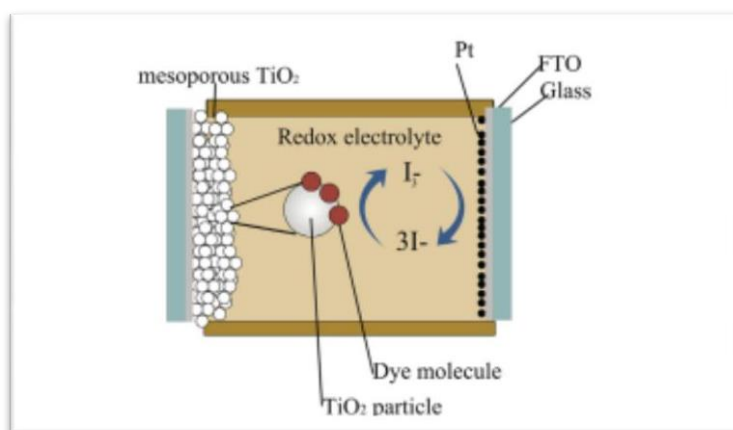
Η τεχνολογία των ημιδιάφανων Φ/Β είναι η συνέχεια των διάφανων Φ/Β. Τα διάφανα Φ/Β είναι η τρίτη γενιά η οποία έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια σε μεγαλύτερο ποσοστό. Τα συμβατικά Φ/Β στοιχεία που στηρίζονται στο πυρίτιο είναι αδιαφανή. Η διαφορά μεταξύ των δύο τεχνολογιών, είναι ότι τα στοιχεία ενός διάφανου πάνελ είναι απόλυτα διαφανή με ποσοστό μέχρι και 70%. Η μεγάλη ικανότητα που έχουν είναι να δουλεύουν με διάχυτο φως. Το σημαντικό είναι το κόστος σε σχέση με τα συμβατικά, διότι είναι πιο φθηνό χάρη τη μη χρήση πυριτίου, για την κατασκευή του, που χρειάζεται ακριβές μεθόδους παρασκευής σε σχέση με τα διαφανή και εν συνεχεία ημιδιαφανή , τα οποία μπορούν να δημιουργηθούν ακόμα και μέσα σε ένα εργαστήριο χωρίς ακριβές τεχνικές.

Ένα ακόμα μεγάλο πλεονέκτημα των διαφανών συστημάτων είναι ότι εκτός από το διάχυτο φως, μπορούν να εργαστούν και με τεχνητό φως το οποίο μπορούν να εκμεταλλευτούν . Ένα παράδειγμα, σε ένα θερμοκήπιο όταν τα φυτά χρειάζονται επιπλέον φως τις μέρες του χειμώνα, ταυτόχρονα τα πλαίσια αυτά εκμεταλλεύονται το τεχνητό φως . Αυτό αναφέρεται , διότι τα συμβατικά Φ/Β δουλεύουν μόνο με διάχυτο φως.

Στην συνέχεια θα δούμε την ιστορική αναδρομή των ημιδιάφανων Φ/Β συστημάτων και τα υποστρώματα για την δημιουργία του

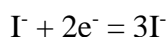
Το 1991 οι επιστήμονες O'Regan και Grätzell ήταν οι πρώτοι που ανέφεραν για την κατασκευή των ημιδιάφανων πάνελ, με απόδοση 7 – 8%,. Εκείνο τον καιρό ήταν κάτι πρωτόκουστο και έγινε μια πολλά υποσχόμενη συσκευή παραγωγής ενέργειας. Το χαμηλό κόστος κατασκευής που αναφέρθηκε προηγουμένως αλλά και η υψηλή ισχύ που προσελκύουν την προσοχή των επιστημόνων και των ερευνητών. Ένα τέτοιο ηλιακό κύτταρο περιέχει έναν συνδυασμό διαφανούς αγωγίμου υποστρώματος ευαισθητοποιημένου με βαφή, φιλμ ημιαγωγών (όπως διοξείδιο του τιτανίου, οξείδιο ψευδαργύρου, διοξείδιο κασσίτερου, πεντοξείδιο του νιόβιου (Nb₂O₅)), ηλεκτρολύτη και αντίθετο ηλεκτρόδιο. Τα στοιχεία του

είναι ξεκάθαρα στο Σχήμα . Η καρδιά του είναι το μεσοπορώδες οξείδιο που περιέχει νανοσωματίδια διοξειδίου τιτανίου ως δρόμος για τη διέλευση των ηλεκτρονίων από την κάθοδο στην άνοδο, το μέγεθος της διαμέτρου των σωματιδίων κυμαίνεται μεταξύ 10 και 30 nm, ενώ το πάχος της μεμβράνης είναι περίπου 10 μm , και είναι γεμάτο με χρωστική για την απορρόφηση των φωτονίων. Το στρώμα TiO₂ εναποτίθεται σε γυαλί επικαλυμμένο με διαφανές αγώγιμο οξείδιο (TCO) ή οξείδιο κασσίτερου με πρόσμειξη φθορίου. Αυτά είναι τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα υποστρώματα. Η χρωστική ουσία εκτοξεύει ηλεκτρόνια από τα φωτόνια στη ζώνη αγωγιμότητας που έχουν ως αποτέλεσμα την οξείδωση της χρωστικής. Η βαφή ανακτά τα χαμένα ηλεκτρόνια από τον ηλεκτρολύτη. αυτή η λειτουργία ονομάζεται οξειδοαναγωγικό σύστημα ιωδιδίου/τριιωδιδίου. Το I⁻ χάνει ηλεκτρόνια στη χρωστική και σχηματίζει 3I³ τριιωδίδιο. Το τριιωδίδιο επιστρέφει σε ιωδίδιο λαμβάνοντας ηλεκτρόνιο από την κάθοδο, η οποία καλύπτεται με πλατίνα ως καταλύτη, και στη συνέχεια τα ηλεκτρόνια ρέουν από την πλευρά του ημιαγωγού προς την πλευρά του αντίθετου ηλεκτροδίου σχηματίζοντας μια ροή ρεύματος.



Εικόνα 26: Ανάλυση των στοιχείων ενός ημιδιάφανου πάνελ.

Τα στοιχεία του πάνελ συνδέονται μεταξύ τους με τον παρακάτω τύπο:



Μια από τις πιο επιθυμητές ιδιότητες του πάνελ , είναι η αύξηση του διακένου ζώνης του υλικού, γεγονός που αναδεικνύει τη σημασία της βαφής ως ουσιαστικό μέρος αυτού. Η σύνθεση βαφής μπορεί να το ικανοποιήσει αυτό αυξάνοντας την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας διέγερσης και επεκτείνοντας το εύρος του μήκους κύματος διέγερσης. Αυτό βοηθά στην απορρόφηση των φωτονίων του ηλιακού φωτός και στην παραγωγή ηλεκτρονίων και οπών. Η βαφή συνδέεται χημικά με την πορώδη επιφάνεια του ημιαγωγού. Η απόδοση του πάνελ εξαρτάται από τις ιδιότητες του υλικού βαφής, όπως η υψηλή απορρόφηση και η καλή μετατροπή των φωτονίων στην τελική συσκευή. Ωστόσο, η βαφή πρέπει να πληροί ορισμένες προϋποθέσεις για να είναι έγκυρη για χρήση. Κάποιες από αυτές είναι οι εξής :

1. Το φάσμα απορρόφησης πρέπει να καλύπτει ολόκληρη την ορατή περιοχή συμπεριλαμβανομένης της περιοχής εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας.
2. Η βαφή πρέπει να έχει ομάδες αγκύρωσης για να τη δεσμεύει στην επιφάνεια του ημιαγωγού.

3. Το φωτοευαίσθητοποιημένο σώμα πρέπει να έχει υψηλότερο επίπεδο ενέργειας στο επίπεδο διεγερμένης κατάστασης από τη ζώνη αγωγιμότητας στον ημιαγωγό τύπου n και μια πιο θετική οξειδωμένη κατάσταση από το δυναμικό οξειδοαναγωγής του ηλεκτρολύτη και θα πρέπει επίσης να είναι σταθερό.

6.3: Ηλιακή ακτινοβολία και φυτά

6.3.1 Επίδραση της ηλιακής ακτινοβολίας σε φυτά και καλλιέργειες

Η ηλιακή ακτινοβολία είναι η πηγή ενέργειας που στηρίζει την οργανική ζωή στη γη. Η φυτική παραγωγή είναι στην πραγματικότητα η εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Οι τρεις φασματικές περιοχές της ηλιακής ενέργειας που είναι σημαντικά για τη ζωή των φυτών περιγράφονται σε αυτή την υποπαράγραφο. Το μικρότερο φάσμα της ακτινοβολίας μήκους κύματος (UV) σε σχέση με το ορατό τμήμα ηλιακού φάσματος (<380nm) είναι χημικά πολύ ενεργό. Όταν τα φυτά έρχονται σε επαφή με πολύ μεγάλες ποσότητες αυτής της ακτινοβολίας, οι επιπτώσεις είναι συνήθως αρνητικές. Ωστόσο, η ατμόσφαιρα λειτουργεί ως ρυθμιστής σε αυτό το είδος της ηλιακής ακτινοβολίας, και κανένα φάσμα από τις κοσμικές ακτίνες γάμα (γ) και ακτίνες X δε φτάνει στην Γη (Evans, 1973). Η υπεριώδης ακτινοβολία (UV) του συγκεκριμένου τμήματος που φθάνει στην επιφάνεια της γης είναι πολύ χαμηλή και συνήθως σε επίπεδα για τα φυτά, τα οποία δεν είναι επικίνδυνα.

Η ηλιακή ακτινοβολία στο υψηλότερο τμήμα του ορατού μήκους κύματος, που αναφέρεται ως υπέρυθρη ακτινοβολία, έχει θερμικές επιδράσεις στα φυτά. Λόγω της παρουσίας των υδρατμών, αυτή η ακτινοβολία δεν καταστρέφει τα φυτά, και προμηθεύει την απαραίτητη θερμική ενέργεια για το περιβάλλον.

Η τρίτη φασματική περιοχή, που εκτείνεται μεταξύ της υπεριώδους και της υπέρυθρης ακτινοβολίας, είναι το ορατό μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας και αναφέρεται ως φως. Αυτό το τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των φυτών και την ανάπτυξη μέσω των διαδικασιών της σύνθεσης της χλωροφύλλης της φωτοσύνθεσης και μέσω των φωτοευαίσθητων ρυθμιστικών μηχανισμών όπως φωτοτροπισμός και η φωτοπεριοδική δραστηριότητα. Φως με τη σωστή ένταση, την κατάλληλη ποιότητα και την απαιτούμενη διάρκεια είναι απαραίτητο για τη φυσιολογική ανάπτυξη των φυτών. Η ελάχιστη διαθέσιμη ακτινοβολία είναι συχνά υπεύθυνη για ανωμαλίες και άλλες διαταραχές των φυτών. Στη πραγματικότητα όλα τα τμήματα των φυτών, άμεσα ή έμμεσα επηρεάζονται από αυτό το τμήμα του φάσματος. Επηρεάζεται η παραγωγή της καλλιέργειας, η σταθερότητα, η δύναμη, και το μήκος του φυτού, η απόδοση και το συνολικό βάρος του φυτού, το μέγεθος των φύλλων και η ανάπτυξη ρίζας (Rodríguez et al, 1999.). Το μήκος της ημέρας ή η διάρκεια της περιόδου του φωτός καθορίζει την άνθηση και έχει μια βαθιά επίδραση στο περιεχόμενο των διαλυτών υδατανθράκων που περιέχονται στα φυτά. Η πλειοψηφία των ανθέων των φυτών αναπτύσσεται φυσιολογικά μόνο όταν εκτίθενται σε ορισμένες ειδικές φωτοπεριόδους. Έτσι με βάση αυτό το κριτήριο τα φυτά έχουν ταξινομηθεί ως μικρής ημέρας, μεγάλης ημέρας και ουδέτερα φυτά. Όταν οι άλλοι περιβαλλοντικοί παράγοντες δεν είναι περιοριστικοί, η φωτοσύνθεση αυξάνεται με την μεγαλύτερη διάρκεια της περιόδου του φωτός (Salisbury, 1981).

6.3.2 Αντανάκλαση, διαπερατότητα και απορροφητικότητα των φύλλων

Η αντανάκλαση και η διαπερατότητα από τα φύλλα έχουν παρόμοια φασματική κατανομή. Τα μέγιστα και για τις δύο είναι το πράσινο φως, καθώς και η υπέρυθη περιοχή. Η εντύπωση του πράσινου χρώματος των φυτών εξαρτάται από την υψηλή ανακλαστικότητα, τη σχετικά υψηλή ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, και τη μεγαλύτερη ευαισθησία του ανθρώπινου ματιού στο πράσινο φως. Η ισχυρή υπέρυθη ανάκλαση από τα φυτά αποτελεί σημαντική φυσική άμυνα για την προστασία της ζωής των φυτών από τα καταστροφικά αποτελέσματα λόγω υπερθέρμανσης. Κατά μέσο όρο, η επιστημονική καλλιέργεια των φυτών απορροφά περίπου το 75% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, με το 15% περίπου να αντανακλάται και 10% να διαπερνάται από το φύλλωμα.

Τα φυτά λόγω των χημικών συστατικών τους και των φυσικών δομών τους, απορροφούν επιλεκτικά και σε συγκεκριμένα μήκη κύματος την ηλιακή ακτινοβολία. Η διαφανής επιδερμίδα που τα περιβάλλει επιτρέπει στο φως του ήλιου να εισχωρήσει στο μεσόφυλλο που βρίσκεται ανάμεσα στην επιδερμίδα του, το οποίο αποτελείται από δύο στρώματα, το παρέγχυμα και το σπογγώδες παρέγχυμα των παράτυπων κύτταρων με το άφθονο διάκενα που γεμίζουν με αέρα. Και οι δύο τύποι κυττάρων του μεσόφυλλου περιέχουν χλωροφύλλη, η οποία αντανακλά μέρος του πράσινου μήκος κύματος το οποίο απορροφά όλο το μπλε και το κόκκινο (σε ενέργεια) για τη φωτοσύνθεση (Sabins, 1997). Η απορρόφηση χλωροφύλλης είναι μέγιστη στο μπλε (0,45 μm.) και στις περιοχές κόκκινου (0,65 μm). Τα μεγαλύτερα μήκη κύματος της ενέργειας IR διεισδύουν στο σπογγώδες παρέγχυμα, όπου η ενέργεια διασκορπίζεται έντονα και εκφράζονται τα όρια μεταξύ του κυτταρικού τοιχώματος και χώρους του αέρα.

Μπορεί να συνοψιστεί ότι το φύλλο των φυτών απορροφά έντονα στο μπλε και κόκκινο μήκος κύματος, λιγότερο έντονα απορροφά στο πράσινο, απορροφά πολύ ασθενώς στο εγγύς υπέρυθρο, και απορροφά έντονα και στο μακρινό-υπέρυθρο μήκος κύματος.

6.3.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την κατανομή της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό της καλλιέργειας φυτών.

Η κατανομή της ακτινοβολίας σε μια κοινότητα φυτών καθορίζεται από διάφορους παράγοντες, όπως: η απορροφητικότητα των φύλλων, η διάταξη των φύλλων, η κλίση, η πυκνότητα των φυτών, το ύψος των φυτών, και η γωνία του ήλιου (Vorasoort, Tienroj, και Arinakarong, 1996 Cohen et al, 1999, Courbaud, Coligny, και Cordonnier, 2003). Φύλλα από φυλλοβόλα δέντρα, βότανα και χόρτα (συμπεριλαμβανομένων των δημητριακών), έχουν απορροφητικότητα που κυμαίνονται από 5 έως 10 %. Τα πλατιά φύλλα των αειθαλών φυτών έχουν μια τιμή από 2 έως 8 %. Η απορροφητικότητα ποικίλει ελαφρώς με την γήρανση του φύλλου. Η απορροφητικότητα ενός νεαρού φύλλου είναι σχετικά υψηλή, με την ωρίμανση του φύλλου δεν μειώνεται αλλά αυξάνεται στη συνέχεια όταν το φύλλο γίνεται κίτρινο.

Η διαπερατότητα ενός φύλλου είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη περιεκτικότητα του σε χλωροφύλλη. Ο λογάριθμος της διαπερατότητας μειώνεται γραμμικά με την αύξηση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη. Αν τα φύλλα που μεταδίδουν το 10 % της ακτινοβολίας ήταν οριζόντια και εμφανίζονταν σε συνεχή στρώματα, μόνο το 1 % του φωτός, με λίγα λόγια στην πράσινη περιοχή, θα μπορούσε να διαπεράσει τη δεύτερη στρώση. Ωστόσο, τα φύλλα σπάνια εμφανίζονται σε οριζόντια διάταξη. Η σχετική παρακράτηση φωτός της οριζόντιας σε σχέση με την όρθια κατανομή φυλλώματος υπολογίζεται σε αναλογία 1 προς 0,44. Ως εκ τούτου, η πραγματική κλίση φωτός στη καλλιέργεια δεν είναι τόσο απότομη, όπως η

διαπερατότητα. Κατά μέσο όρο, όταν η συνολική επιφάνεια των φύλλων ισούται με την έκταση του εδάφους, η μέση διαπερατότητα είναι περίπου 75 % για τα κατακόρυφα φύλλα και 50 % για τα οριζόντια φύλλα. Σε ασθενής φωτισμό, οποιαδήποτε απόκλιση των φύλλων από την οριζόντια θέση μειώνει την φωτοσύνθεση. Σε πλήρη ηλιοφάνεια, η βέλτιστη κλίση του φυλλώματος για την αποτελεσματική χρήση φωτός είναι 81°. Σε πλήρη ηλιοφάνεια, ένα φύλλο που τοποθετείται στη βέλτιστη κλίση είναι 4,5 φορές πιο αποδοτικό σε σχέση με τη χρήση φωτός σε οριζόντια φύλλα. Για την πιο αποτελεσματική χρήση του φωτός, το ανώτερο φύλλο σε μια καλλιέργεια φυτών πρέπει να έχει ένα σχεδόν κατακόρυφο προσανατολισμό, ενώ το κατώτερο φύλλωμα θα πρέπει να είναι σχεδόν οριζόντιο. Μια ιδανική διάταξη των φυτών σε μια καλλιέργεια, είναι το λιγότερο 13% των φύλλων να προσανατολίζεται σε γωνία 0° έως το 30, 37% των φύλλων θα πρέπει να είναι στις 30° έως 60°, και περισσότερο από το 50% πρέπει να είναι 60° – 90° με την οριζόντια (Chang, 1968.).

Σε περίπτωση νέων ηλικιακά φυτών, το ποσοστό του φωτός που απαιτείται δεν είναι μόνο μικρό αλλά επίσης μεταβάλλεται με την ώρα της ημέρας. Πιο συγκεκριμένα είναι το ελάχιστο το μεσημέρι σε σχέση με το μέγιστο κατά τις πρωινές ώρες και το βράδυ. Όταν το φυτό αυξάνει σε ύψος, η ανάγκη του φωτός από τη καλλιέργεια αυξάνει επίσης, με μόνο μια μικρή παραλλαγή στις διαφορετικές χρονικές στιγμές της ημέρας.

Πολυάριθμοι ερευνητές έχουν μελετήσει την κατανομή ακτινοβολίας σε μια καλλιέργεια φυτών και έχουν προτείνει εξισώσεις για τον προσδιορισμό του φωτός σε ένα συγκεκριμένο ύψος σε μια καλλιέργεια, (Monteith σε σχέση με το Elston, 1983, Kull σε σχέση με το Kruijt 1998, Mariscal, Orgaz σε σχέση με το Villalobos, 2000, Marques, Φίλιο, σε σχέση με το Dallarosa, 2000). Μέχρι στιγμής, η εξίσωση για τον νόμο του Beer πιστεύεται ότι είναι η πλέον πιο ενδεδειγμένη. Η εξίσωση του νόμου γράφεται ως

$$R = R_0 * e^{-k * LAI}$$

όπου:

R: είναι η ένταση του φωτός σε ένα συγκεκριμένο ύψος στη καλλιέργεια

R₀: είναι η ένταση του φωτός σε ένα συγκεκριμένο ύψος στη καλλιέργεια

E : είναι η ένταση στην κορυφή

k: είναι ο συντελεστής απόσβεσης του φύλλου,

και

LAI: είναι ο δείκτης επιφάνειας του φύλλου (LAI),. Ο συντελεστής απόσβεσης μπορεί να οριστεί ως ο λόγος μεταξύ του φωτός που χάνεται από το φύλλωμα και του φωτός στο πάνω μέρος του φύλλου. Ο συντελεστής απόσβεσης ποικίλλει ανάλογα με τον προσανατολισμό του φύλλου.

Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία διαπερνά τη φυτοκόμη, η ποιότητα της υποβάλλεται σε μετασχηματισμό σε διαφορετικά επίπεδα (Baumgartner, 1973). Μετά από κάθε ανάκλαση και μετάδοση, η ερυθρή και υπέρυθη ακτινοβολία αυξάνεται σε σχέση με τα άλλα μήκη κύματος. Στο εσωτερικό του θόλου υπάρχει μια σχετικά μεγαλύτερη μείωση του φωτός στις ζώνες απορρόφησης της χλωροφύλλης σε 0,45 m και 0,65 m, και μια σχετικά μικρή μείωση του πράσινου σε 0,55 m και το υπέρυθρο σε 0,80m.

6.4: Αξιοποίηση ηλιακής ακτινοβολίας από τα Φ/Β

Η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στα φ/β πλαίσια με την μορφή πακέτων ενέργειας. Όταν τα φωτόνια προσπίπτουν σε μια τέτοια διάταξη παίρνουν χωρίς καμία διατάραξη την επαφή τύπου n και συγκρούουν την επαφή τύπου p. Τα ηλεκτρόνια της δεύτερης περιοχής ξεκινούν και κινούνται σε συνδυασμό με τις οπές μέχρι να φτάσουν στην περιοχή της διόδου, όπου και έλκονται από το θετικό πεδίου εκείνης. Αφού αποφύγουν το ενεργειακό χάσμα των διόδων μπορούν να επιστρέψουν. Στο κομμάτι της επαφής n, υπάρχει πλέον μία αφθονία από περιττά ηλεκτρόνια τα οποία μπορούν να χρησιμεύσουν. Αυτά τα ηλεκτρόνια μπορούν να παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα, αν τοποθετηθεί μια σειρά από μεταλλικούς αγωγούς πάνω από την επαφή n και κάτω από την επαφή p και ένα φορτίο ενδιάμεσα με τέτοιο τρόπο ώστε να κλείσει κύκλωμα για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Το μεγάλο πρόβλημα που εντοπίζεται στην εκμετάλλευση ολόκληρης της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας από τα Φ/Β οφείλεται στα ημιαγωγικά στοιχεία που υπάρχουν πάνω στο πλαίσιο, χάρη τις διαφορετικές αντιδράσεις των υλικών στα διάφορα φάσματα ακτινοβολίας. Για αυτό το λόγο ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιούμε μπορούμε να εκμεταλλευτούμε το συγκεκριμένο φάσμα ακτινοβολίας που αντιδρά με το αντίστοιχο υλικό.

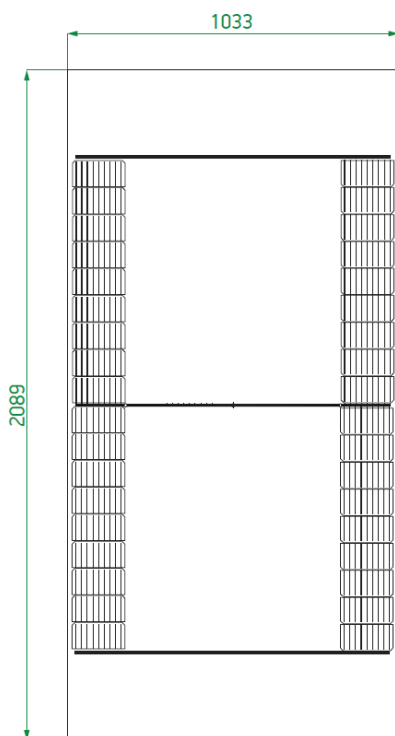
Τέλος σημαντικό σημείο αναφοράς είναι ότι το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που θα παραχθεί σε σχέση με την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια συμβολίζει τον βαθμό απόδοσης του υλικού. Για τον λόγο αυτό οι δύο βασικοί παράγοντες για την απόδοση του κάθε Φ/Β υλικού είναι το ενεργειακό χάσμα και ο συντελεστής μετατροπής

6.5: Γνωριμία με τα Φ/Β πλαίσια

Όπως είπαμε στην εισαγωγή τα πλαίσια που θα χρησιμοποιήσουμε στο θερμοκήπιο ανήκουν στην Ελληνική εταιρία Brite Solar. Τα πλαίσια αυτά είναι 2 , το ένα έχει ισχύ 115W και διαφάνεια 77% και το άλλο έχει ισχύ 250W και διαφάνεια 49%. Πάμε όμως να τα δούμε λίγο πιο συγκεκριμένα:

BSG 115W-77%:

Εδώ θα δούμε τα χαρακτηριστικά του πλαισίου σε πίνακες και κάποια πλεονεκτήματα



Εικόνα 27: Φωτογραφία πλαισίου BSG115/77

Αρχικά θα δούμε τις μηχανικές προδιαγραφές του , στην συνέχεια τις ηλεκτρικές προδιαγραφές και τέλος την ηλεκτρική εκτίμηση.

Μηχανικές προδιαγραφές	
Στοιχείο	Τιμή
Μήκος	2089mm
πλάτος	1033mm
πάχος	5,5mm
βάρος	28,6 κιλά
Ηλιακό στοιχείο	166*83mm διπλό μονοκρυσταλλικό
Έκταση πλαισίου	0,496m ²
καλωδίωση	TUV πιστοποιημένο 4mm ²
Κουτί διακλάδωσης	IP68 - 2 δίοδοι παράκαμψης
Βύσματα	MC4
σκίαση	23%
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40 έως +85

Πίνακας 2 : Μηχανικές προδιαγραφές πλαισίου

Ηλεκτρικές προδιαγραφές	
Στοιχείο	Τιμή
Αριθμός στοιχείων σε κάθε πλαίσιο	36
Ρεύμα κλειστού κυκλώματος (I_{sc})	11,28A
Ρεύμα μέγιστης ισχύος (I_{mpp})	10,71A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος (V_{oc})	12,97V
Τάση μέγιστης ισχύος (V_{mpp})	10,77V
Ονομαστική μέγιστη ισχύ	115Wp

Πίνακας 3 : ηλεκτρικές προδιαγραφές πλαισίου

Ηλεκτρική εκτίμηση	
Στοιχείο	Τιμή
Θερμοκρασιακός συντελεστής P_{max} (%/°C)	-0.3904
Θερμοκρασιακός συντελεστής V_{oc} (%/°C)	-0.286
Θερμοκρασιακός συντελεστής I_{sc} (%/°C)	0.0268
Μέγιστο σύστημα τάσης	1500
Μέγιστη σειρά ηλεκτρικών ασφαλειών	20A

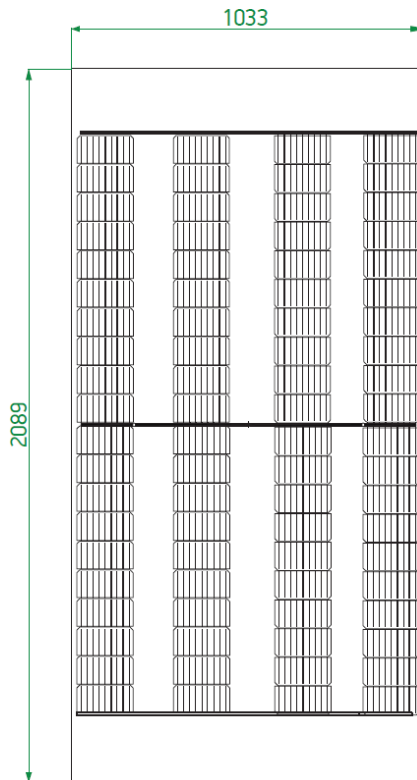
Πίνακας 4 : ηλεκτρικές εκτιμήσεις πλαισίου

Τα πλεονεκτήματα του είναι τα εξής:

- ❖ Υψηλή διαπερατότητα φωτός
- ❖ υψηλός βαθμός διάχυσης φωτός
- ❖ Κατάλληλο για νέες εφαρμογές ή εφαρμογές σε θερμοκήπια
- ❖ Διατίθεται σε εξατομικευμένα μεγέθη

BSG 250W-49%:

Επίσης για αυτό το πλαίσιο θα δούμε ακριβώς τα ίδια πράγματα εκτός από τα πλεονεκτήματα εφόσον είναι τα ίδια.



Εικόνα 28: πλαίσιο με ισχύ 250W

Μηχανικές προδιαγραφές	
Στοιχείο	Τιμή
Μήκος	2089mm
πλάτος	1033mm
πάχος	5,5mm
βάρος	28,6 κιλά
Ηλιακό στοιχείο	166*83mm διπλό μονοκρυσταλλικό
Έκταση πλαισίου	1,102 m ²
καλωδίωση	TUV πιστοποιημένο 4mm ²
Κουτί διακλάδωσης	IP68 - 2 δίοδοι παράκαμψης
Βύσματα	MC4
σκίαση	51%
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40 έως +85

Πίνακας 5 : Μηχανικές προδιαγραφές πλαισίου

Ηλεκτρικές προδιαγραφές	
Στοιχείο	Τιμή
Αριθμός στοιχείων σε κάθε πλαίσιο	80
Ρεύμα κλειστού κυκλώματος (I_{sc})	11,38A
Ρεύμα μέγιστης ισχύος (I_{mpp})	10,81A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος (V_{oc})	27,32V
Τάση μέγιστης ισχύος (V_{mpp})	23,13V
Ονομαστική μέγιστη ισχύ	250 Wp

Πίνακας 6 : ηλεκτρικές προδιαγραφές πλαισίου

Ηλεκτρική εκτίμηση	
Στοιχείο	Τιμή
Θερμοκρασιακός συντελεστής P_{max} (%/°C)	-0.3904
Θερμοκρασιακός συντελεστής V_{oc} (%/°C)	-0.286
Θερμοκρασιακός συντελεστής I_{sc} (%/°C)	0.0268
Μέγιστο σύστημα τάσης	1500
Μέγιστη σειρά ηλεκτρικών ασφαλειών	20A

Πίνακας 7 : ηλεκτρικές εκτιμήσεις πλαισίου

6.6: Ενεργειακές απαιτήσεις θερμοκηπίου

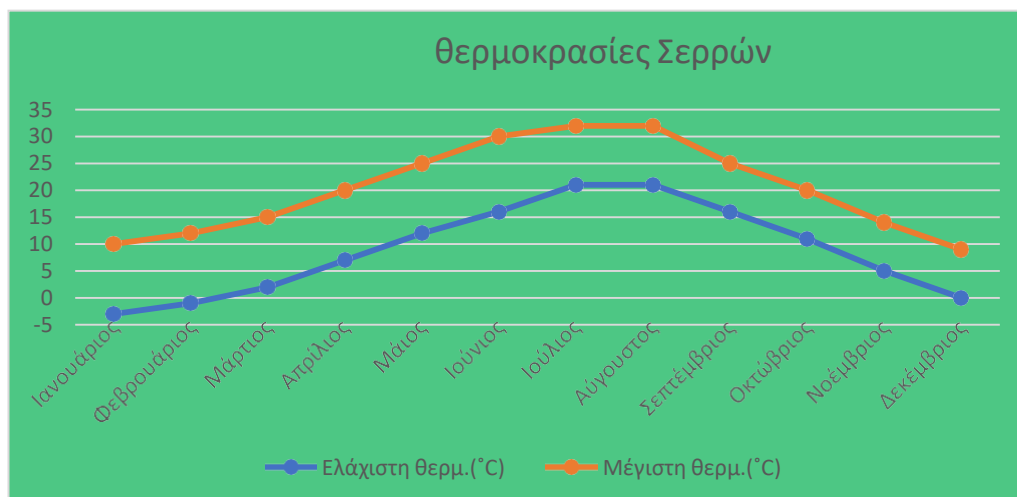
Σε αυτήν την παράγραφο θα δούμε ποιες είναι οι ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου που θα χρησιμοποιήσουμε στην μελέτη . Έτσι θα δούμε και την ισχύ των φωτοβολταϊκών που θα χρειαστεί το θερμοκήπιο. Οι ενεργειακές ανάγκες θα βγουν με βάση την έκταση του θερμοκηπίου. Το θερμοκήπιο θα έχει έκταση 300m² . Επίσης θα χρειαστεί και η τοποθεσία, που είναι οι Σέρρες, που θα γίνει η εγκατάσταση γιατί μας βοηθάει να βγάλουμε συμπέρασμα για τις ανάγκες. Το θερμοκήπιο θα καλλιεργεί σταφύλια.

Θέρμανση του χώρου

Πρώτα θα δούμε τις θερμικές ανάγκες. Για τις καλλιέργειες μέσα στο θερμοκήπιο χρειάζεται μια σταθερή θερμοκρασία. Κατά τους χειμερινούς μήνες η θερμοκρασία πέφτει ακόμα και υπό το μηδέν, κάτι το οποίο θα έχει ως αποτέλεσμα την καταστροφή των φυτών. Για αυτόν τον λόγο τους μήνες όπου έχει κρύο, χρειάζεται θέρμανση για να φτάσει στην κατάλληλη θερμοκρασία καλλιέργειας. Η θέρμανση του θερμοκηπίου γίνεται κατά τους χειμερινούς μήνες. Πρέπει όμως να δούμε τις θερμοκρασίες κατά τους μήνες αυτούς στις Σέρρες. Παρακάτω υπάρχει ο πίνακας και το γράφημα που δείχνει την υψηλότερη και χαμηλότερη θερμοκρασία ενός έτους.

Μήνας	Ελάχιστη θερμοκρασία(°C)	Μέγιστη θερμοκρασία(°C)
Ιανουάριος	-3	10
Φεβρουάριος	-1	12
Μάρτιος	2	15
Απρίλιος	7	20
Μάιος	12	25
Ιούνιος	16	30
Ιούλιος	21	32
Αύγουστος	21	32
Σεπτέμβριος	16	25
Οκτώβριος	11	20
Νοέμβριος	5	14
Δεκέμβριος	0	9

Πίνακας 8: Μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία στις Σέρρες κατά μήνα



Γράφημα1: Θερμοκρασιακές συνθήκες στις Σέρρες

Όπως παρατηρείτε στο γράφημα και στον πίνακα , οι μήνες που έχει περισσότερο κρύο είναι από τον Νοέμβριο μέχρι και τον Απρίλιο. Άρα θέρμανση θα χρειαστεί αυτούς τους 6 μήνες. Για την επιφάνεια του θερμοκηπίου μας υπολογίζεται ότι χρειάζεται 16kW ηλεκτρική ενέργεια. Για να παραμένει ζεστό το θερμοκήπιο κατά αυτούς τους μήνες , χρειάζεται καθημερινή χρήση περίπου 7 ώρες. Οπότε με έναν υπολογισμό είμαστε στις 112kWh κάθε μέρα. Αυτό που θα καταφέρουμε με την σταθερή θερμοκρασία τον χειμώνα είναι να αυξήσουμε και την καλλιέργεια και εκτός από τον τρύγο του Σεπτεμβρίου να καταφέρουμε να κάνουμε και έναν τρύγο τον χειμώνα. Στον παρακάτω πίνακα θα δούμε πόσες kWh χρειάζεται ανά μήνα και την συνολική ενέργεια.

Μήνας	Ημερήσιες kWh	Μέρες λειτουργίας	Μηνιαία ενέργεια (kWh)
Νοέμβριος	112	30	3360
Δεκέμβριος	112	31	3472
Ιανουάριος	112	31	3472
Φεβρουάριος	112	28	3136
Μάρτιος	112	31	3472
Απρίλιος	112	30	3360
Σύνολο			20272

Πίνακας 9: Θερμική κατανάλωση σε kWh

Άρα οι συνολικές απαιτήσεις για την θέρμανση του Θερμοκηπίου είναι 20272 kWh/έτος και τους 6 μήνες.

Ψύξη θερμοκηπίου

Κατά τους θερινούς μήνες επειδή το θερμοκήπιο είναι κλειστό αναπτύσσονται μεγάλες και υψηλότερες θερμοκρασίες από τον εξωτερικό χώρο. Για τις θερμοκρασιακές μεταβολές μπορούμε να ρίξουμε μια ματιά στον πίνακα. Τα θερμοκήπια θέλουν και πρέπει να είναι σε επιθυμητές θερμοκρασίες για την καλλιέργεια μας. Είναι λογικό το καλοκαίρι να είναι πιο δύσκολο να ψυχθεί αυτό από το να ζεσταθεί τον χειμώνα. Για να ψυχθεί ένα θερμοκήπιο θέλει μηχανήματα τα οποία είναι πολύ ακριβά και επίσης καταναλώνουν πολύ

ενέργεια Για αυτό το λόγο, θα χρησιμοποιηθεί ο εξαερισμός με φυσικό και δυναμικό τρόπο, για να ανακυκλώνεται και ο αέρας του θερμοκηπίου.

Ο φυσικός τρόπος εξαερισμού γίνεται με παράθυρα τα οποία ανοίγουν και κλείνουν για να ανανεώνεται ο φυσικός αέρας. Ο δυναμικός εξαερισμός θα γίνει με την χρήση ανεμιστήρων σε μία από τις πλευρές του θερμοκηπίου που δεν καλύπτεται από πάνελ. Ο δυναμικός αέρας χρησιμοποιείται κατά τους οχτώ μήνες με την μεγαλύτερη υψηλή θερμοκρασία. Η μέση ετήσια κατανάλωση κατά μέσο όρο είναι 40 MJ/m^2 . Εφόσον γνωρίζουμε ότι η έκταση του θερμοκηπίου είναι 300m^2 , η συνολική απαιτούμενη ενέργεια θα είναι 12000MJ . Επειδή γνωρίζουμε ότι $1\text{kWh} = 3,6\text{MJ}$ η κατανάλωση θα είναι [3333,3kWh/έτος](#).

Δροσισμός θερμοκηπίου

Ο δροσισμός του θερμοκηπίου θα γίνει με πάνελ δροσιάς προς τα αμπέλια. Για να γίνει αυτό θα χρειαστούμε υγρά τοιχώματα, τους τέσσερις ανεμιστήρες και μια δεξαμενή νερού. Η διαδικασία είναι η εξής: Μέσω της αντλίας θα βρέχονται με νερό τα υγρά τοιχώματα. Απέναντι υπάρχουν οι τρεις ανεμιστήρες που η δουλειά τους είναι να αντλούν τον αέρα από το θερμοκήπιο και να το στέλνουν στο εξωτερικό περιβάλλον. Επειδή ο μέσος όρος που χρειάζεται για τον δροσισμό είναι 5W/m^2 , το δικό μας θερμοκήπιο θα είναι 1500W . Αφού θα χρησιμοποιήσουμε τέσσερις άρα η συνολική ισχύς είναι 6kW . Η μέση ημερήσια κατανάλωση θα είναι δύο ώρες για τους έξι πιο θερμούς μήνες. Άρα αν κάνουμε τους υπολογισμούς η συνολική ενέργεια που θα χρειαστεί το θερμοκήπιο για τον δροσισμό αυτού τους μήνες θα είναι [2196kWh/έτος](#) ($2\text{ώρες} * 183\text{μέρες} * 6\text{kW}$).

Φωτισμός θερμοκηπίου

Το θερμοκήπιο κατά την διάρκεια της ημέρας μπορεί να χρειαστεί παραπάνω φωτισμό από αυτόν που δέχεται από τον ήλιο, λόγω συννεφιάς. Για αυτό τον λόγο θα τοποθετηθούν λάμπες οι οποίες θα συμβάλουν στην σωστή λειτουργία. Άλλωστε εκτός από την σωστή λειτουργία, το φως από τις λάμπες μπορούν να το χρησιμοποιήσουν ακόμα και τα φωτοβολταϊκά, εφόσον η τεχνολογία των ημιδιαφανών πάνελ χρησιμοποιεί και τον τεχνητό φωτισμό εκτός από τον διάχυτο όπως προαναφέραμε σε προηγούμενη παράγραφο. Οι λάμπες που θα χρησιμοποιήσουμε για την έκταση του θερμοκηπίου είναι 40. Θα είναι της νέας τεχνολογίας LED, και η ισχύ της κάθε μιας θα είναι 15W . Στον παρακάτω πίνακα θα δούμε πόσες ώρες χρειάζεται για κάθε μήνα και θα δούμε ότι η συνολική απαιτούμενη ενέργεια που χρειάζεται το θερμοκήπιο για τον φωτισμό είναι [453,6 kWh/έτος](#).

Μήνας	Ώρες λειτουργίας/μέρες	Μέρες λειτουργίας	Ενέργεια σε kWh
Ιανουάριος	4	31	74,4
Φεβρουάριος	4	28	67,2
Μάρτιος	3	31	55,8
Απρίλιος	2	30	36
Σεπτέμβριος	2	30	36
Οκτώβριος	3	31	55,8
Νοέμβριος	3	30	54
Δεκέμβριος	4	31	74,4
Σύνολο			453,6

Πίνακας 10: Συνολική και επιμέρους ενέργεια φωτισμού

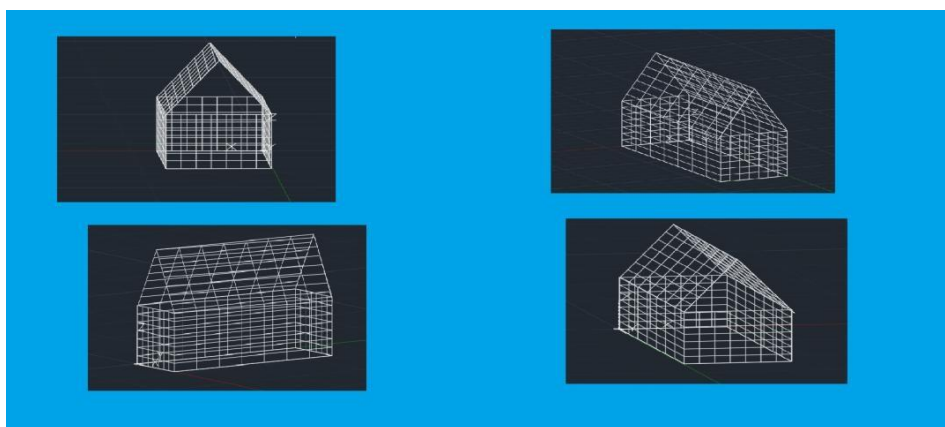
Επομένως, μετά από την ολοκλήρωση των ενεργειακών απαιτήσεων που βρήκαμε, θα δούμε πόσο είναι η συνολική ενέργεια που χρειάζεται το θερμοκήπιο, για να περάσουμε στην σωστότερη κι οικονομικότερη εφαρμογή των φωτοβολταϊκών πλαισίων.

$$\Sigma.Ε.: 20.272+3.333,3+2.196+453,6=26.254,8 \text{ kWh/έτος}$$

Στην επόμενη παράγραφο θα γίνει η εφαρμογή της κατάλληλης περίπτωσης που θα καλύπτει όλες τις ανάγκες του θερμοκηπίου και δεν θα έχει υψηλό κόστος.

6.7: Εφαρμογή φωτοβολταϊκού συστήματος στο θερμοκήπιο

Πριν αναφερθούμε στις μελέτες που γίνανε για την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών επάνω στο θερμοκήπιο πρέπει να δούμε λίγα πράγματα για το θερμοκήπιο. Η έκταση του θερμοκηπίου θα είναι 300m^2 ($10*30$). Ο όγκος του θερμοκηπίου θα είναι 2100m^3 ($10*30*7$). Το θερμοκήπιο θα είναι γυάλινο με δικλινή στέγη, με συνολική έκταση 420m^2 , για την σωστή τοποθέτηση των πλαισίων. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η σχεδίαση του θερμοκηπίου από διάφορες γωνίες:



Εικόνα 29: Σχεδίαση θερμοκηπίου υπό διαφορετική γωνία

Επίσης στην προηγούμενη παράγραφο αναφέρθηκαν οι ενεργειακές απαιτήσεις που θα χρειαστεί το θερμοκήπιο, με βάση τις οποίες έγινε και η μελέτη των φωτοβολταϊκών

Για τα φωτοβολταϊκά έγιναν 4 διαφορετικές μελέτες από τις οποίες θα δούμε ποιά είναι αυτή που μας είναι πιο χρήσιμη και αποδοτική. Στην συνέχεια αφού βρούμε την καλύτερη θα δούμε τι ακόμα χρειάζεται για να λειτουργήσει σωστά το θερμοκήπιο.

Αρχικά όπως είδαμε και σε προηγούμενη παράγραφο, έχουμε 2 πάνελ που θα χρησιμοποιήσουμε για την εφαρμογή τους. Η μελέτες που θα γίνουν και για τα δύο θα έχουν διαφορά στην γωνία κλίσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου και του σημείου τοποθέτησης. Στις 2 περιπτώσεις θα γίνει εγκατάσταση στην στέγη του θερμοκηπίου σε γωνία με κλίση 45 μοίρες και στην άλλη, στα πλάγια του θερμοκηπίου σε γωνία με κλίση 90 μοίρες, για το κάθε πλαίσιο.

Ας αρχίσουμε με τις 2 περιπτώσεις του πλαισίου BSG-115/77:

Στην πρώτη εφαρμογή για την τοποθέτηση των πλαισίων πάνω στην στέγη, σε γωνία 45 μοίρες, με βάση την επιφάνεια του θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκαν 172 πλαίσια με

συνολική ισχύ 19,78 kW εκ των οποίων τα μισά είχαν προσανατολισμό τον βορρά με συνολική ετήσια ενεργειακή απόδοση 6307,2 kWh, ενώ τα υπόλοιπα είχαν προσανατολισμό τον νότο με συνολική ετήσια απόδοση 11439 kWh. Η ενεργειακές απαιτήσεις του θερμοκηπίου δεν μπορούν να καλυφθούν με αυτή την περίπτωση, άρα δεν θα την επιλέξουμε.

Στην δεύτερη εφαρμογή του πλαισίου αυτού, η εγκατάσταση έγινε στα πλάγια του θερμοκηπίου με γωνία 90 μοίρες. Με βάση την επιφάνεια χρησιμοποιήθηκαν 174 πλαίσια, με συνολική ισχύ 20,01 kW, εκ των οποίων τα μισά είχαν προσανατολισμό βορρά και η ετήσια ενεργειακή απόδοση ήταν 3005,1 kWh, ενώ τα υπόλοιπα είχαν προσανατολισμό νότο και ετήσια συνολική απόδοση 6888,3 kWh. Ούτε με αυτή την περίπτωση μπορούν να καλυφθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις του θερμοκηπίου μας

Τώρα θα δούμε αν η περιπτώσεις του πάνελ BSG-250/49 καλύπτουν τις ενεργειακές απαιτήσεις του θερμοκηπίου μας:

Στην αυτή την περίπτωση θα γίνει εγκατάσταση στην στέγη του θερμοκηπίου με 122 πάνελ με γωνία 45 μοίρες, συνολικής ισχύος 30,5 kW. Τα μισά θα έχουν προσανατολισμό τον βορρά με ετήσια ενεργειακή απόδοση τις 14244,3 kWh, ενώ τα υπόλοιπα με νότιο προσανατολισμό θα έχουν ετήσια ενεργειακή απόδοση 17507,3 kWh. Το άθροισμα τους είναι 31751,6 kWh/έτος, το οποίο καλύπτει τις ενεργειακές απαιτήσεις του θερμοκηπίου μας, αλλά πρέπει να δούμε και την τελευταία περίπτωση πριν αποφασίσουμε.

Στην τελευταία περίπτωση θα γίνει εγκατάσταση 122 πάνελ με γωνία 90 μοίρες, συνολικής ισχύος 30,5 kW, στα πλάγια του θερμοκηπίου. Σε αυτή την περίπτωση, τα μισά που έχουν βόριο προσανατολισμό θα έχουν ετήσια ενεργειακή απόδοση 4687 kWh, ενώ τα υπόλοιπα που θα έχουν νότιο προσανατολισμό θα έχουν ετήσια ενεργειακή απόδοση 10606 kWh. Οπότε ούτε αυτή η περίπτωση μας εξυπηρετεί για τις ανάγκες του θερμοκηπίου.

Άρα η περίπτωση που μας καλύπτει και είναι προτιμότερη για τον θερμοκήπιο, είναι το πάνελ BSG-250/49 στην στέγη του θερμοκηπίου και κλίση 45 μοίρες. Για να λειτουργήσουν σωστά τα φωτοβολταϊκά χρειάζονται και επιπλέον στοιχεία.

Για να μας δώσει αυτή την απόδοση ενέργειας όμως θα χρειαστεί πρώτα inverter με σκοπό την αύξηση της ισχύος. Για inverter θα χρησιμοποιήσουμε 2 μετατροπείς την εταιρίας SMA και πιο συγκεκριμένα το μοντέλο Sunny tripower STP 15000 TL-10 με ισχύ 15 kVA, ο καθένας. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνει την συνολική ισχύ του φωτοβολταϊκού συστήματος στα 30,68 kW. Στον παρακάτω πίνακα υπάρχουν τα κυριότερα στοιχεία του μετατροπέα.

Στοιχείο	Τιμή
Ισχύς (VA)	15000
Μέγιστη τάση εισόδου (V)	1000
Συχνότητα (Hz)	50
Μέγιστο ρεύμα εξόδου (A)	29

Πίνακας 11: Κυριότερα στοιχεία μετατροπέα



Εικόνα 30: Sunny Tripower STP 15 kVA

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας με τα σημαντικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος μέχρι τώρα:

Στοιχείο	Τιμή
Μέγιστη ισχύ Φ/Β γεννήτριας (kW)	30,5
Ισχύς γεννήτριας με μετατροπέα(kW)	30,68
Αριθμός μετατροπέων	2
Συνολικός αριθμός πάνελ	122
Αποδοτικότητα μετατροπέα (%)	96,7
Λόγος ονομαστικής ισχύς (%)	101
Ετήσια ενεργειακή απόδοση (kWh)	31751,6

Πίνακας : Σημαντικότερα στοιχεία μελέτης

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η συμβατότητα του μετατροπέα στην διαμόρφωση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας και του λόγου της ονομαστικής ισχύος. Οι διακεκομμένες γραμμές δείχνουν την περιοχή όπου βρίσκεται ο λόγος ονομαστικής ισχύος και είναι αποδεκτός διότι βρίσκεται ανάμεσα στο 100%-120% :



Εικόνα 31: Συμβατότητα μετατροπέα με την φωτοβολταϊκή γεννήτρια

Τα πάνελ θα τοποθετηθούν σε 6 στοιχειοσειρές. Οι τρεις στοιχειοσειρές θα έχουν νότιο προσανατολισμό και οι άλλες τρεις βόριο προσανατολισμό με διαφορά γωνίας 90 μοίρες λόγω της κλίσης της στέγης. Σε 4 στοιχειοσειρές θα υπάρχουν 20 πάνελ και σε 2 θα υπάρχουν 21 πάνελ. Εδώ να τονίσω ότι σε κάθε προσανατολισμό οι 2 στοιχειοσειρές θα είναι με 20 πάνελ και η τρίτη με 21. Επίσης η έκταση των φωτοβολταϊκών πάνω στην στέγη σε κάθε πλευρά καταλαμβάνει περίπου 134m². Τα λιγότερα πάνελ θα έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση την διαφάνειας του θερμοκηπίου.

Για να λειτουργήσει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα για να επιτύχει τις απαιτούμενες ανάγκες ενός θερμοκηπίου εκτός από την χρήση του δικτύου που θα βοηθάει στην σωστή λειτουργία, θα πρέπει κάπου να αποθηκεύεται η ενέργεια που δεν καταναλώνεται από τα φωτοβολταϊκά. Για αυτόν τον λόγο θα χρησιμοποιήσουμε μπαταρίες αποθήκευσης της ενέργειας. Πώς όμως θα αποφασίσουμε τι μπαταρίες θα χρειαστούμε;

Η απάντηση σε αυτό το ερώτημα έρχεται από τις ενεργειακές απαιτήσεις του θερμοκηπίου. Ξέρουμε ότι η ετήσιες ενεργειακές ανάγκες του θερμοκηπίου μας είναι 26254,8 kWh/έτος. Αν το διαιρέσουμε, βρίσκουμε ότι για κάθε μέρα χρειαζόμαστε είναι 71 kWh/μέρα.

Η τροφοδοσία της ενέργειας θα γίνεται 50% από τα φωτοβολταϊκά και 50% από τις μπαταρίες, διότι αν πέσουμε κάτω από το μισό της μπαταρίας, υπάρχει περίπτωση καταστροφής αυτής. Για την επιλογή μπαταριών θα επιλέξουμε την εταιρία MOLL OPzV solar με βαθμό απόδοσης 98%. Το μόνο που λείπει είναι ποιο μοντέλο θα χρησιμοποιήσουμε. Αυτό θα το βρούμε από έναν τύπο που δείχνει μηδενική ύπαρξη ήλιου για τρεις μέρες και χρήση μόνο των μπαταριών, με αποτέλεσμα την αυτονόμηση του θερμοκηπίου. Ο τύπος είναι ο εξής

$$\frac{3 \cdot E}{k \cdot n1 \cdot n2} = \frac{3 \cdot 71}{0.5 \cdot 0.9 \cdot 0.98} = 482,993 \text{ kWh}$$

Όπου:

E: Οι ενεργειακές ανάγκες μιας ημέρας

K: το ποσοστό χρήσης της ενέργειας από τις μπαταρίες

n1: ο βαθμός απόδοσης των μπαταριών κατά την φόρτιση

n2: ο βαθμός απόδοσης του μετατροπέα

Αν διαιρέσουμε με την τάση των 24V, που θα έχουν οι μπαταρίες μας, θα βρούμε τα Ah, Άρα :

$$31751,6/24=1322,98 \text{ Ah}$$

Άρα από τις μπαταρίες που υπάρχουν το πιο κατάλληλο και πιο οικονομικό μοντέλο είναι το MOLL OPzV solar 1450 και για τα φωτοβολταϊκά που έχουμε εγκαταστήσει θα χρειαστούμε μια σειρά με 12 στοιχεία των 2V και 1418 Ah, το καθένα.

Κεφάλαιο 7: Οικονομική βιωσιμότητα

7.1: Εισαγωγή

Στο τελευταίο κεφάλαιο της πτυχιακής θα αναλυθεί η οικονομική βιωσιμότητα του θερμοκηπίου. Πιο συγκεκριμένα, θα δούμε τις οικονομικές ανάγκες που χρειάστηκαν για την δημιουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος επάνω στο θερμοκήπιο. Θα αναλυθούν τα κόστη και τα έξοδα του εγχειρήματος αυτού. Επίσης θα αναφερθεί , αν τελικά αυτό το εγχείρημα είναι ολοκληρωμένο και σωστό για την λειτουργία του θερμοκηπίου. Τέλος, θα δούμε αν είναι οικονομικότερο σε σχέση με ένα συμβατικό θερμοκήπιο, με αποτέλεσμα να φτάσουμε στον χρόνο που θα χρειαστεί για να γίνει η απόσβεση της επένδυσης.

7.2: Κόστος εγκατάστασης φωτοβολταϊκού συστήματος

Σε αυτή την παράγραφο θα αναλυθούν όλα τα έξοδα που έγιναν, για αυτή την επένδυση. Κάπου εδώ θα πρέπει να τονιστεί ότι για να δημιουργηθεί αυτό το σύστημα χρειάζεται να γίνουν κάποιες αιτήσεις στον Διαχειριστή Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ), έτσι ώστε να πάρει την άδεια ο ιδιοκτήτης να προχωρήσει προς την εγκατάσταση. Για να γίνει αυτό θα πρέπει ο ηλεκτρολόγος μηχανικός, που θα βάλλει ο επενδυτής, να χαράξει σχέδια του χώρου εγκατάστασης και να δει αν είναι εφικτό λόγω της έκτασης και της επιτρεπόμενης ισχύος. Αν είναι όλα αποδεκτά, ο ΔΕΔΔΗΕ προχωράει στην αδειοδότηση και στην συνέχεια ο επενδυτής προχωράει στην εγκατάσταση.

Για να γίνει η εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών , ο ενδιαφερόμενος θα πρέπει να αναθέσει το έργο σε κάποια εταιρία που κάνει αυτές τις εργασίες. Έτσι, θα ενεργήσουν πιο γρήγορα για την τοποθέτηση των πάνελ στο θερμοκήπιο και θα γίνει γρηγορότερα η σύνδεση στο δίκτυο.

Για τους δύο παραπάνω λόγους, στον παρακάτω πίνακα θα καταγραφούν τα αρχικά έξοδα πριν φτάσουμε στον εξοπλισμό της εγκατάστασης:

Εργασία	Τιμή(€)
Έξοδα μηχανικού αναδοχής του έργου	150
Έξοδα στον ΔΕΔΔΗΕ για αδειοδότηση του έργου	1500
Κόστος σύνδεσης Φ/Β συστήματος με το δίκτυο Χαμηλής Τάσης	390
Σύνολο	2040

Πίνακας 12: Έξοδα μηχανικών και υπηρεσιών

Στην παράγραφο που έγινε η μελέτη αναφέρθηκε ο εξοπλισμός που θα χρειαστεί για την εγκατάσταση του φωτοβολταϊκού συστήματος. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται το κόστος του εξοπλισμού ξεχωριστά και συνολικά.

Στοιχείο	ονομασία	Τιμή (€)/1	Ποσότητα	Τελική τιμή (€)
πάνελ	BGS-250/49	75	122	9150
Μετατροπέας	Sunny tripower STP 15kVA	2.860	2	5720
Μπαταρία	MOLL OPzV solar 1450	1.150	12	13800
Εγκατάσταση εξοπλισμού	-	20.000	-	20.000
Σύνολο	-	-	-	48670

Πίνακας 13: Έξοδα εξοπλισμού

Εδώ να σημειώσουμε ότι η τιμή του πάνελ βρέθηκε μετά από πολλαπλασιασμό των Watt επί 0,30€/W. Επίσης στην εγκατάσταση του εξοπλισμού συμπεριλαμβάνονται και οι μισθοί των εγκαταστατών των εργασιών.

Άρα αν προσθέσουμε τα αθροίσματα από τους δύο πίνακες, θα βρούμε το ολικό ποσό που θα πρέπει να δαπανήσει ο ενδιαφερόμενος για την δημιουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος.

Οπότε :

$$S = 2040 + 48670 = \mathbf{50710\text{€}}$$

Όπου S τα ολικά έξοδα

7.3: Αποτελεσματικότητα εγκατάστασης

Όπως προαναφέραμε και σε προηγούμενη παράγραφο, το θερμοκήπιο θα καλλιεργεί σταφύλια. Οι ανάγκες για την καλλιέργεια έχουν αναφερθεί παραπάνω. Το ζητούμενο είναι αν οι ανάγκες αυτές είναι επαρκείς για την καλλιέργεια μας.

Η θέρμανση και η ψύξη του θερμοκηπίου είναι άρρηκτα εξαρτημένες από τις ενεργειακές ανάγκες αφού το μόνο υλικό που είναι αναγκαίο μέσο για να λειτουργήσουν, είναι το ρεύμα. Δεν θα γίνεται καθόλου χρήση καυσίμου, όπως το πετρέλαιο, για να λειτουργήσουν τα σώματα. Με αποτέλεσμα τα φωτοβολταϊκά να είναι πολύ σημαντικά.

Το σημαντικότερο γεγονός ενός τέτοιου εγχειρήματος είναι ότι , λόγω του γυαλιού που περικλείεται γύρω από το θερμοκήπιο, πετυχαίνουμε καλύτερη απόδοση των καλλιεργειών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής. Γενικά, όταν τα σταφύλια είναι έτοιμα γίνεται ο τρύγος, που είναι από τις σημαντικότερες διαδικασίες για έναν παραγωγό. Στην Ελλάδα η συγκομιδή των σταφυλιών, λόγω του κλίματος, γίνεται τον Σεπτέμβριο. Στο φωτοβολταϊκό μας θερμοκήπιο, σύμφωνα με τις θερμοκρασίες που θα αναπτύσσονται μέσα, θα έχουμε καταφέρει να κάνουμε μάζεμα σταφυλιών δύο φορές τον χρόνο, και τον Σεπτέμβριο αλλά και τον Φεβρουάριο, αφού οι θερμοκρασίες μέσα στο

θερμοκήπιο, θα παραμένουν σταθερές και θα γίνεται πιο γρήγορα και πιο σωστά η καλλιέργεια.

Το κέρδος όμως που θα έχει η χρήση των φωτοβολταϊκών για την κάλυψη της ενέργειας που θα χρειαστεί το θερμοκήπιο, αντί να χρησιμοποιήσουμε κατευθείαν το ρεύμα που μας παρέχει η ΔΕΗ, και το αν είναι κερδοφόρο το εγχείρημα ή αν βγει ζημιωμένος αυτός που θα επιλέξει αυτή την επένδυση θα το δούμε στην επόμενη παράγραφο

7.4: Οικονομικά αποτελέσματα

Σε αυτήν την παράγραφο θα δούμε αν τελικά το εγχείρημα θα αποδειχθεί κερδοφόρο ή θα ζημιώσει τον άνθρωπο που θα επιλέξει να κάνει αυτήν την επένδυση. Πρώτα θα δούμε αν δεν χρησιμοποιούσαμε φωτοβολταϊκά πόσο θα κόστιζε το ρεύμα με αυτές τις ενεργειακές απαιτήσεις που έχουμε για το θερμοκήπιο, την συγκεκριμένη περίοδο.

Την περίοδο όπου διανύουμε, βλέπουμε όλο και περισσότερο την τιμή του ρεύματος να αυξάνεται. Σύμφωνα με την ΔΕΗ, η τιμή της kWh για τα αγροτικά τιμολόγια είναι 0,06944€/ kWh, που έχει τεθεί σε ισχύ από την 1/1/2021, με πάγιο κατανάλωσης 0,00707€/ kWh. Άρα συνολικά το ποσό της κάθε kWh στο αγροτικό τιμολόγιο ισούται με 0,07651€/ kWh.

Αν πούμε ότι παίρναμε ρεύμα κατευθείαν από το δίκτυο της ΔΕΗ για την ετήσια κατανάλωση μας, το ετήσιο κόστος για το θερμοκήπιο θα ήταν 2008,75€/έτος.

Παρόλο αυτά, εν έτη 2022 με τις διάφορες καταστάσεις και τις μεγάλες αυξήσεις του ρεύματος, χάρη στην ρήτρα αναπροσαρμογής, η τιμή είναι κατά πολύ μεγαλύτερη και δεν μπορεί να υπολογιστεί η ακριβής τιμή κιλοβατώρας. Χονδρικά η τιμή της κιλοβατώρας αθροισμένη με την τιμή της ρήτρας αναπροσαρμογής κυμαίνεται κοντά στα 0,17€/ kWh, αλλά δεν μπορεί να υπολογιστεί ακριβώς.

Το φωτοβολταϊκό σύστημα που θα τοποθετηθεί στο θερμοκήπιο θα λειτουργεί με την μέθοδο net metering. Ουσιαστικά θα γίνεται αυτοπαραγωγή. Αυτή η μέθοδος είναι ο συμψηφισμός παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει στον καταναλωτή να καλύψει, στην περίπτωση μας, ολόκληρη την απαιτούμενη ενέργεια, και με την βοήθεια του δικτύου και των μπαταριών που έχουν εγκατασταθεί να γίνεται αποθήκευση ενέργειας η οποία θα χρειαστεί σε περίπτωση μη ηλιοφάνειας. Παραδείγματος χάρη, τον χειμώνα που ο καιρός είναι βροχερός και συννεφιασμένος και τα φωτοβολταϊκά δεν λειτουργούν, η ενέργεια για την σωστή λειτουργία του θερμοκηπίου θα διοχετεύεται από τις μπαταρίες και το δίκτυο. Το δίκτυο θα βοηθάει το θερμοκήπιο όταν οι μπαταρίες δεν έχουν την απαιτούμενη αποθηκευμένη ενέργεια.

Ο όρος “net” προκύπτει από το γεγονός ότι η χρέωση –πίστωση του καταναλωτή αφορά την διαφορά μεταξύ κατανάλωσης και παραγόμενης ενέργειας σε μια ορισμένη χρονική περίοδο.

Οι όροι και οι προϋποθέσεις ανάπτυξης σταθμών παραγωγής, με ενεργειακό συμψηφισμό καθορίστηκαν αρχικά με την ΥΑ ΑΠΕΗΛ/Α/Φ1/οικ.24461 τα υο ΦΕΚ Β'3583/31.12.14. Μετά από τρία χρόνια η αρχική ΥΑ αντικαταστάθηκε από την ΥΑ ΑΠΕΗΛ/Α/Φ1/οικ.175067 του ΦΕΚ Β'1547/5.5.2017. Τέλος τροποποιήθηκε από την ΥΑ

Αριθμ. ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/74999/3024 του ΦΕΚ Β' 3971/30.8.2021 και από την ΥΑ Αριθμ. ΥΠΕΝ/ΔΑΠΕΕΚ/121503/5016 του ΦΕΚ Β' 6287/29.12.2021.

Σύμφωνα με το ΦΕΚ Β' 6287/29.12.2021 συμφηφιζόμενη τιμή σε αγροτικές περιοχές ισούται με 0,1677€/kWh. Αυτή η τιμή είναι ουσιαστικά το κέρδος του εγχειρήματος για κάθε kWh . Για το δικό μας φωτοβολταϊκό σύστημα έχουμε πει ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα θα έχεις ετήσια απόδοση 31.751,6kWh/έτος. Οπότε αν κάνουμε την πράξη θα βγάλουμε ότι το κέρδος για κάθε χρόνο είναι:

$$K = 31.751,6 * 0,1677 = \mathbf{5.324,74\text{€}/\text{έτος}}$$

Η αρχική άδεια που δίνεται από τον ΔΕΔΔΗΕ, σύμφωνα με την άδεια, για την χρήση του Φ/Β συστήματος είναι 25 χρόνια. Από εκεί και πέρα πρέπει να γίνει χρήση άλλης άδειας. Αν υπολογίσουμε λοιπόν το συνολικό κέρδος για τα 25 πρώτα χρόνια θα δούμε ότι ανέρχεται στο ποσό των:

$$4402,93 * 25 = \mathbf{133.118,5\text{€}/25\text{ετία}}$$

Παρατηρούμε λοιπόν ότι το εγχείρημα θα είναι κερδοφόρο και για το θερμοκήπιο αλλά και για τον παραγωγό που θα κάνει αυτήν την επένδυση.

Πότε όμως θα έχουμε καταφέρει να κάνουμε την απόσβεση της επένδυσης;

Εφόσον γνωρίζουμε ότι το κόστος όλου του φωτοβολταϊκού συστήματος είναι 50710€ και το ετήσιο κέρδος από αυτό είναι 5.324,74 , η απόσβεση της επένδυσης θα γίνει σε 10 χρόνια και χωρίς κανένα επιπρόσθετο ενεργειακό και οικονομικό κόστος προς την ΔΕΗ.

Βιβλιογραφία

1. Θεοχάρης Δ. Τσούτσος, Αναπληρωτής Καθηγητής Πολυτεχνείου Κρήτης, Ιωάννης Ν. Κανάκης, Φυσικός, MSc, Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Τεχνολογίες & Περιβάλλον, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2013
2. Ιωάννης Ε. Φραγκιαδάκης, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, 4^η έκδοση, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη 2019
3. Μαρκόπουλος Αριστοτέλης, Ρούσσοις Αγγελής, Διαφανείς φωτοβολταϊκοί υαλοπίνακες τεχνολογία και προοπτικές εφαρμογής, Πτυχιακή εργασία, Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας, Πάτρα 2019
4. Κοντουλής Κωνσταντίνος, Μελέτη αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας για τον έλεγχο του φωτισμού και της θερμοκρασίας στα θερμοκήπια, Πτυχιακή εργασία, Τ.Ε.Ι. Πάτρας, Πάτρα 2015
5. Αστέριος Ι. Κοσμαράς, Θέρμανση θερμοκηπίου με χρήση γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος 2014
6. Γάκης Μάριος-Παναγιώτης, Στατιστική και οικονομική ανάλυση αιολικών δεδομένων για την χρήση ανεμογεννητριών σε αγροτικές εφαρμογές, Μεταπτυχιακή διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2017
7. Δρακοπούλου Ασημίνα, Προστασία κατασκευής θερμοκηπίου από τον άνεμο, Πτυχιακή εργασία, Τ.Ε.Ι. Καλαμάτας, Απρίλιος 2011
8. Ελένη Μπάρτσα, Σχέση της φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας και της αντίστοιχης εισερχόμενης ακτινοβολίας σε αστικό και υπαίθριο περιβάλλον, Πτυχιακή εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα 2015
9. Παπουτσάκης Γεώργιος, Μελέτη βιωσιμότητας φωτοβολταϊκού πάρκου, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά 2014
10. Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών, Αυτοπαραγωγή με ενεργειακό συμψηφισμό και εικονικό ενεργειακό συμψηφισμό για ιδιώτες, επιχειρήσεις και ενεργειακές κοινότητες με ή χωρίς αποθήκευση, Φεβρουάριος 2022
11. Alaa A.F. Husain, Wan Zuha W. Hasan, Suhaidi Shafie, Mohd N. Hamidon, Shyam Sudhir Pandey, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018

Ιστοσελίδες

Brite solar – Solar technologies: www.britesolar.com

Green tech house technology: www.greentech.gr

Helio systems φωτοβολταϊκά συστήματα: www.salesenergy.gr

Slide Share: www.slideshare.net

Βικιπαίδεια: el.wikipedia.org

Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού: www.dei.gr

Διαχειριστής Ελληνικού δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας: www.deddie.gr

SMA Sunny Design: www.sunnydesignweb.com

Brite Solar: Με στόχο την ενεργειακή αυτονομία: <https://www.youtube.com/watch?v=ntadHaYQffM>

ScienceDirect: www.scincdirect.com