



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ**
UNIVERSITY OF PATRAS

ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ - ΑΜΑΛΙΑΔΑ

(πρώην Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων)

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Εφαρμογή Φωτοβολταϊκών σε Πειραματικά Θερμοκήπια
και η Επίδραση Σκίασης στην Ανάπτυξη Φυτών Ρόκας
(*Eruca sativa* L)**



ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑΔΗΣ (12120)

ΜΙΧΑΛΗΣ ΠΟΥΛΟΓΙΑΝΟΠΟΥΛΟΣ (11707)

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΚΑΥΓΑ

ΑΜΑΛΙΑΔΑ 2019

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	9
1.1. Ηλιακή Ενέργεια.....	9
1.2. Ηλιακά Συστήματα	10
1.3. Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο	12
1.4. Κατηγορίες φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	13
1.4.1. Κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά.....	14
1.4.2. Φωτοβολταϊκά λεπτού φιλμ	15
1.4.3. Οργανικά φωτοβολταϊκά	16
1.4.4. Νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά.....	16
1.5. Φωτοβολταϊκά συστήματα	17
1.6. Απόδοση φωτοβολταϊκού στοιχείου	18
1.6.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των Φωτοβολταϊκών.....	18
1.6.2. Καμπύλη I-V Φωτοβολταϊκού στοιχείου	20
1.7. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Φωτοβολταϊκών στοιχείων.....	22
1.8. Χρήσεις Φωτοβολταϊκών.....	23
1.9. Τα Φωτοβολταϊκά συστήματα στην Ελλάδα	24
2. ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	25
2.1. Γενικά για τα θερμοκήπια.....	25
2.2. Υλικά κάλυψης θερμοκηπίου	26
2.3. Το πράσινο θερμοκήπιο	27
2.4. Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση σε οροφή θερμοκηπίου	28
3. Καλλιέργειας ρόκας (Eruca sativa L.).....	30
3.1. Βασικές γνώσεις για την εφαρμοζόμενη καλλιέργειας ρόκας.....	30
3.2. Βοτανικά χαρακτηριστικά Ρόκας	30
3.3. Κλιματικές και εδαφικές συνθήκες	31

3.4.	Πολλαπλασιασμός και ποικιλίες Ρόκας.....	31
3.5.	Εχθροί και Ασθένειες	31
4.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	32
4.1.	Πειραματικά θερμοκήπια	32
4.2.	Όργανα και αισθητήρες πειραματικής διάταξης.....	34
4.3.	Μετεωρολογικός σταθμός και μετρητικά όργανα μακρο-κλίματος πειραματικών θερμοκηπίων	36
4.4.	Πειραματική διαδικασία καλλιέργειας	38
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	39
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	40

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών, στο Τμήμα Τεχνολόγων Γεωπόνων (έδρα Αμαλιάδα) , της Σχολής Τεχνολογίας Γεωπονίας και Τεχνολογίας Τροφίμων & Διατροφής, του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας.

Η εργασία έχει σκοπό την καλλιέργεια ρόκας (*Eruca sativa* L). σε πειραματικά θερμοκήπια με φωτοβολταϊκά πάνελα στην οροφή του θερμοκηπίου. Η εργασία πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Γεωργικών και Θερμοκηπιακών Κατασκευών του τμήματος Τεχνολόγων Γεωπόνων.

Η εργασία εντάσσεται σε μια σειρά πειραμάτων που έγιναν με φυτά μαρουλιού (lettuce) και ρόκας (rocket) (Tripanagnostopoulos et al, 2016; Trypanagnostopoulos et al, 2017; Kavga et al, 2018 με σκοπό την επίδραση της μερικής σκίασης των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην οροφή του θερμοκηπίου στην ανάπτυξη των φυτών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα θερμοκήπια αποτελούν τους στεγασμένους χώρους που προφυλάσσουν τα φυτά από τις δυσμενείς εξωτερικές κλιματικές συνθήκες. Η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πλαισίων στην οροφή των θερμοκηπίων επηρεάζει την λειτουργία των χώρων αυτών, περιορίζοντας τον ήλιο να εισέλθει στο εσωτερικό, με αποτέλεσμα να επηρεάζονται οι συνθήκες που βελτιώνουν ποιοτικά την ανάπτυξη των φυτών. Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν να εξεταστεί η επίδραση της μερικής σκίασης των φωτοβολταϊκών πλαισίων στην ανάπτυξη και τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά των φυτών ρόκας (*Eruca sativa* L) που καλλιεργούνται σε ένα θερμοκήπιο, και να διερευνηθεί η συσχέτιση μεταξύ των περιβαλλοντικών συνθηκών του θερμοκηπίου και της παραγωγικότητας (ποσοτικοί δείκτες ανάπτυξης) των φυτών .

Στην παρούσα εργασία έγινε εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πανέλων από πολύ-κρυσταλλικό Πυρίτιο, στην Νότια οροφή δύο μικρών πειραματικών θερμοκηπίων, δημιουργώντας σκίαση του εσωτερικού του θερμοκηπίου 20%. Τα αποτελέσματα ελήφθησαν από μια πλήρη καλλιεργητική περίοδο ρόκας.

Τα φωτοβολταϊκά πανέλα παρήγαγαν ηλεκτρική ενέργεια 26,67 kWh kWhm⁻² για τη περίοδο καλλιέργειας Μάιος και Ιούνιο. Τα ποσοτικά αποτελέσματα της καλλιέργειας έδειξαν σημαντική μείωση της παραγωγικότητας των φυτών ρόκας όταν καλλιεργείται υπό συνθήκες μερικής σκίασης από την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών panels στην οροφή του θερμοκηπίου.

Η καλλιέργεια Ρόκας που επιλέχθηκε για τα πειράματα (*Eruca sativa* Mill.) είναι παραδοσιακά καλλιεργούμενο φυτό, ειδικά στην περιοχή της Μεσογείου, με καλή προσαρμοστικότητα τόσο στα ανοικτά χωράφια όσο και στα θερμοκηπιακά συστήματα καλλιέργειας και η καταναλωτική του ζήτηση έχει αυξηθεί επειδή τα τελευταία χρόνια η ρόκα έχει γίνει δημοφιλής στην Κεντρική Ευρώπη.

Abstract

Greenhouses are sheltered areas that protect plants from adverse external climatic conditions. The installation of photovoltaic panels on the roof of greenhouses affects their operation, as it reduces the sunlight entering the interior, and thus affects the conditions that improve plant growth quality. The aim of this study is to investigate the effect of photovoltaic panel's induced partial shading on the growth and physiological characteristics of rocket plants (*Eruca sativa* L) grown in a greenhouse, and to investigate the correlation between the greenhouse environment and greenhouse conditions (quantitative growth indexes) of plants.

In the present work, photovoltaic panels made of polycrystalline silicon (pc-Si) were installed on the south-facing roof of two small experimental greenhouses, creating 20% shading in the interior of the greenhouse. The results were obtained from a complete rocket growing season.

The photovoltaic panels produced 26.67 kWh kWhm⁻² for the growing season of May and June. Quantitative crop results showed a significant reduction in rocket plant's productivity when grown under partial shade by placing photovoltaic panels on the greenhouse roof.

The rocket cultivation selected for the experiments (*Eruca sativa* Mill.) Is a traditionally cultivated plant, especially in the Mediterranean region, with good adaptability to both open fields and greenhouse cultivation systems and its consumer demand has increased as in recent years rocket has become popular in Central Europe.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενέργεια είναι ένα αγαθό υψίστης αξίας προερχόμενο από τη φύση και μέσω ποικίλων μεθόδων και τεχνικών συστημάτων, που ανέπτυξε ο άνθρωπος στη μακρά πορεία της εξέλιξής του, μετατρέπεται από την αρχική μορφή της σε άλλες μορφές, κατάλληλες για άμεση χρήση. Κατά τις διάφορες διαδικασίες μετατροπής, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά των συστημάτων πραγματοποίησης αυτής της μετατροπής, αναπόφευκτα δημιουργούνται απώλειες. Επειδή η ενέργεια πρέπει να χρησιμοποιείται με πολύ φειδώ, τα ποσά των ενεργειακών απωλειών οφείλουν να ελαχιστοποιούνται. Έτσι, όλα τα συνιστώσα στοιχεία και κάθε σύστημα μετατροπής της ενέργειας πρέπει να σχεδιάζονται και να λειτουργούν υπό αυστηρές προδιαγραφές για επίτευξη όλο και υψηλότερου βαθμού απόδοσης και συνεπώς αύξησης της εξοικονόμησης ενέργειας.

Τα θερμοκήπια είναι σύνθετα παραγωγικά συστήματα αγροτικών προϊόντων και απαιτούν βέλτιστη συνέργεια μεταξύ φωτισμού, θέρμανσης, δροσισμού και αερισμού. Το κόστος της ενέργειας είναι γύρω στο 50% του κόστους του παραγόμενου προϊόντος και αποτελεί ένα σημαντικό εμπόδιο στην οικονομική ανάπτυξη των θερμοκηπίων. Για την αντιμετώπιση των ενεργειακών τους αναγκών χρησιμοποιούνται καυστήρες πετρελαίου, φυσικού αερίου και βιομάζας, ηλεκτρικές συσκευές και γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Αν και η κύρια λειτουργία των θερμοκηπίων βασίζεται στην ηλιακή ενέργεια, η αξιοποίηση συστημάτων ηλιακής ενέργειας όπως οι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες και τα φωτοβολταϊκά είναι ακόμη στην αρχή όσον αφορά την αξιοποίησή τους και με κάποια δειλά βήματα μέχρι τώρα.

Οι κλιματικές συνθήκες της χώρας μας διαφέρουν από αυτές άλλων ευρωπαϊκών χωρών με μεγάλη δραστηριότητα στον τομέα των θερμοκηπίων, όπως της Ολλανδίας και της Ισπανίας. Στη μεν Ολλανδία απαιτείται κυρίως θέρμανση και τεχνητός φωτισμός των θερμοκηπίων λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της μικρής ηλιοφάνειας, ενώ στην Ισπανία (στην Αλμερία, νότια Ισπανία) απαιτείται δροσισμός και έλεγχος του φωτισμού στο εσωτερικό τους λόγω των υψηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος και της μεγάλης έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας. Στην Ελλάδα, οι κλιματικές συνθήκες είναι μεταξύ αυτών της Ολλανδίας και νότιας Ισπανίας και έτσι απαιτούνται τόσο θέρμανση και τεχνητός φωτισμός τον χειμώνα, όσο και δροσισμός και μείωση του φωτισμού το καλοκαίρι. Αυτές οι συνθήκες καθιστούν πιο σύνθετο τον έλεγχο των συνθηκών στο εσωτερικό τους και έτσι δυσκολεύουν μια οικονομικά αποδοτική λύση.

Έχει περάσει μια 10ετία από τις διεθνείς δημοσιεύσεις για εγκατάσταση γραμμικών φακών Fresnel στην οροφή των θερμοκηπίων και παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας και στον έλεγχο του φωτισμού και της θερμοκρασίας στο εσωτερικό τους, καθώς και ΦΒ πλαισίων για παραγωγή ηλεκτρισμού και υβριδικών φωτοβολταϊκών/θερμικών συλλεκτών για παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Στην 10ετία αυτή υπήρξε μια εξέλιξη στην εγκατάσταση φβ στα θερμοκήπια, κυρίως από εταιρείες και με την χρήση τυπικών φβ πλαισίων πυριτίου, αλλά και ημιδιαπερατών φβ, οργανικών φβ και σωληνωτών φβ, για λιγότερη σκίαση του εσωτερικού χώρου. Επιπλέον, έχουν προταθεί διατάξεις συγκεντρωτικών φβ όπως και φβ πέργκολας πάνω από καλλιέργειες, που μπορεί να εφαρμοστεί και πάνω από θερμοκήπια. Παρ' όλα αυτά, δεν έχει γίνει ιδιαίτερη έρευνα στην

επίδραση των εγκατεστημένων φβ στα θερμοκήπια ως προς την παραγωγή και ποιότητα των προϊόντων και σε σχέση με την ενεργειακή και οικονομική τους πλευρά.

Για τον προσδιορισμό της γεωπονικής, ενεργειακής και οικονομικής επίδρασης από την εγκατάσταση φβ πλαισίων στην οροφή των θερμοκηπίων χρειάζεται να γίνει πειραματική μελέτη. Έτσι, προτείνεται η εγκατάσταση κατάλληλης ποσότητας και τοποθέτησης φβ πλαισίων στην οροφή θερμοκηπίου, για να συμβάλουν στην κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών σε θέρμανση, δροσισμό, αερισμό και τεχνητό φωτισμό. Η λήψη αποτελεσμάτων θα δείξει την αποτελεσματικότητα της προτεινόμενης μεθόδου και θα γίνει εκτίμηση και για την εφαρμογή της και σε άλλες περιοχές με λίγο διαφορετικές κλιματικές συνθήκες.

Η εγκατάσταση των φβ πλαισίων πρέπει να έχει κατάλληλο μέγεθος και τοποθέτηση στην οροφή του θερμοκηπίου, για τον ικανό φωτισμό του εσωτερικού χώρου. Επιπλέον, στα θερμοκήπια με αλληλουχία δύριχτων διαφανών οροφών, έχει εξεταστεί εργαστηριακά και η δυνατότητα της αύξησης της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ενέργειας των φβ πλαισίων, με την αξιοποίηση της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας από την γειτονική επιφάνεια της οροφής του θερμοκηπίου. Έχει ενδιαφέρον να δοκιμαστεί πειραματικά σε πραγματικό θερμοκήπιο η περίπτωση αυτή. Επίσης, για την ελαχιστοποίηση έντονης σκίασης από τα φβ εντός του θερμοκηπίου πρέπει να γίνει χρήση διάχυτου διαφανούς καλύμματος για να διαχέει το φως και να εξομαλύνει τον φωτισμό και στα χαμηλότερα τμήματα των φυτών.

Τα φβ πλαίσια μπορεί να χρησιμοποιηθούν και σε συνδυασμό με ηλιοθερμικούς συλλέκτες, γεωθερμικές αντλίες θερμότητας, καυστήρες βιομάζας ή και μικρές ανεμογεννήτριες, ανάλογα των ενεργειακών αναγκών, τοπικών συνθηκών και του ενεργειακού δυναμικού. Ακόμη, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και υβριδικές συσκευές φωτοβολταϊκών/θερμικών συλλεκτών, που παράγουν την θερμότητα από τα φβ πλαίσια και δίνουν την δυνατότητα αξιοποίησής της στο θερμοκήπιο. Για τον τεχνητό φωτισμό, προτείνεται η λειτουργία φωτιστικών λυχνιών LED στο πέρας της ημέρας, που κάνοντας χρήση του παραγόμενου ηλεκτρισμού μπορούν να επεκτείνουν τον χρόνο της φωτοσυνθετικής λειτουργίας των φυτών και να αυξήσουν την παραγωγικότητα των θερμοκηπιακών μονάδων.

Αν και μια μονάδα θερμοκηπίου μπορεί να δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα, είναι πιο σωστό - από πλευράς συγκριτικών αποτελεσμάτων - να γίνει πειραματική μελέτη δύο θερμοκηπίων, ενός με εγκατάσταση φβ πλαισίων και ενός δεύτερου για σύγκριση. Ο πιο οικονομική αξιοποίηση του παραγόμενου ηλεκτρισμού από τα φβ είναι η διοχέτευση του στο ηλεκτρικό δίκτυο και εφαρμογή του net-metering, συμψηφίζοντας τον παραγόμενο με τον καταναλισκόμενο ηλεκτρισμό στο θερμοκήπιο. Εναλλακτική περίπτωση είναι η χρήση αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας των φβ σε μπαταρίες, ώστε να αποκτήσει το θερμοκήπιο ενεργειακή αυτονομία. Η χρήση φβ στα θερμοκήπια θα συμβάλει στην αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας στον αγροτικό τομέα και στην αύξηση της πρωτογενούς παραγωγής, μειώνοντας την ρύπανση της ατμόσφαιρας από την καύση υδρογονανθράκων.

Με βάση τα παραπάνω, μια σειρά πειραμάτων σε θερμοκήπια από διάφορους ερευνητές με χρήση φωτοβολταϊκών στη οροφή τους, έδειξαν την αποτελεσματικότητα αυτής της εφαρμογής (Nayak et al, 2008; Yano et al, 2009; Fatnasi et al, 2015; Marucci et al,

2016; Lamnatou et al, 2013; Hassanien et al, 2016). Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στοιχείων στην οροφή των θερμοκηπίων αποτελεί μια καινοτόμο λύση για την ενεργειακή αυτονομία τους. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, τα φωτοβολταϊκά έχουν πλέον την δυνατότητα να αντικαταστήσουν ένα μέρος της κάλυψης του περιβλήματος των θερμοκηπίων με ξεχωριστό τρόπο, ώστε να εξασφαλιστεί και η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια αλλά και συνθήκες άνεσης στο εσωτερικό του. Εταιρείες στην Ελλάδα και στο εξωτερικό αναπτύσσουν νέες τεχνολογίες 3ης γενιάς φωτοβολταϊκών, με βάση νέα σύνθετα οργανικά και ανόργανα ελαφριά νανοδομημένα κύτταρα. Ενδεικτικά, τα φωτοευαίσθητα ηλιακά κύτταρα (DSSC) είναι φωτοβολταϊκά βασισμένα σε νανοδιάστατο ημιαγωγό. Κύτταρα λεπτού φιλμ στα οποία ο ημιαγωγός βρίσκεται ανάμεσα στον φωτοευαίσθητοποιητή και τον ηλεκτρολύτη και βασίζονται στο φωτοηλεκτροχημικό φαινόμενο. Είναι ημιδιάφανα (semi transparent) φωτοβολταϊκά που καλύπτουν ταυτόχρονα και την ανάγκη για επαρκή φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR) και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

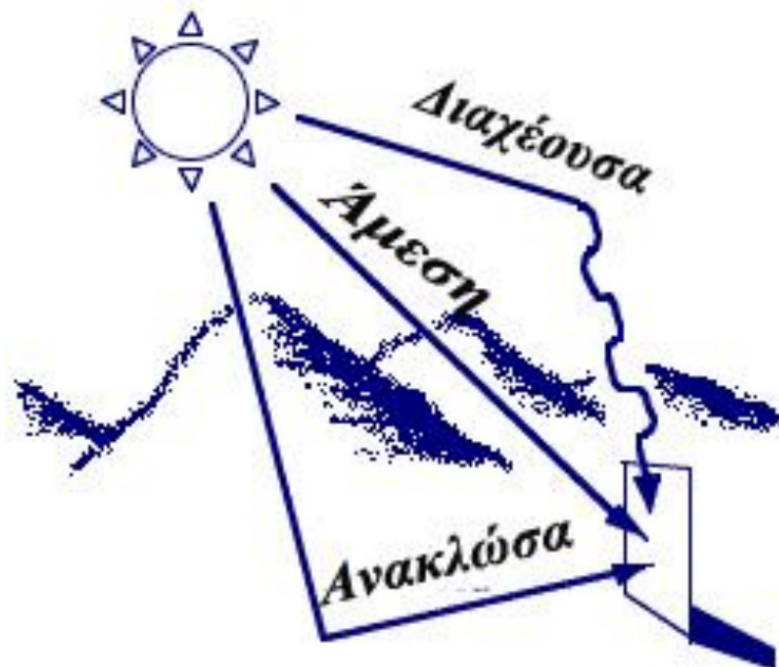
Η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στοιχείων στις θερμοκηπιακές μονάδες αποτελούν μια ολοκληρωμένη λύση ενεργειακής αυτονομίας των θερμοκηπίων που από την δομή τους είναι εξαιρετικά ενεργοβόρα συστήματα. Για την καλύτερη εφαρμογή τους και την απρόσκοπτη απόδοση της καλλιέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα διαφανή φωτοβολταϊκά, ευκαμπτα φωτοβολταϊκά (thin film) που προσαρμόζονται στο κέλυφος του θερμοκηπίου. Αναφέρεται ότι ποσοστό κάλυψης θερμοκηπίου 9,8% από 24 εύκαμπτες φωτοβολταϊκές μονάδες thin film παρέχει ηλεκτρική ενέργεια 8,25 kWhm⁻², χωρίς σημαντική επίδραση στην ανάπτυξη/απόδοση των φυτών (Raúl et al, 2012 28).

Στην παρούσα εργασία, εξετάζεται η επίδραση της σκίασης από τα φωτοβολταϊκά πανέλα στην οροφή πειραματικών θερμοκηπίων στην ανάπτυξη φυτών ρόκας. Τα πειράματα αυτά εντάσσονται στα πρόσφατα πειράματα που έγιναν με φυτά μαρουλιού (lettuce) και ρόκας (rocket) (Tripanagnostopoulos et al, 2016; Trypanagnostopoulos et al, 2017; Kavga et al, 2018) στην οροφή του θερμοκηπίου που βρίσκεται στη Δυτική Ελλάδα, στην περιοχή της Αμαλιάδας, με σκοπό την επίδραση της σκίασης των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην οροφή του θερμοκηπίου στην ανάπτυξη των φυτών, καθώς και στην παραγωγή ενέργειας.

1. ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

1.1. Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια είναι το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο. Ο ήλιος εκπέμπει τεράστια ποσότητα ενέργειας ημερησίως. Πρακτικά είναι ανεξάντλητη και δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της. Η ακτινοβολία είτε άμεση, απευθείας προσπίπτουσα στην επιφάνεια, είτε διαχέουσα, είτε ανακλώμενη από τις επιφάνειες του περιβάλλοντος, αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού με θερμικές και φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Ο ήλιος είναι η βασική πηγή ενέργειας του πλανήτη μας. Σήμερα μπορεί να αξιοποιηθεί με πολλούς τρόπους η ευεργετική δράση της ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 1.1: Ηλιακή Ακτινοβολία

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας μπορούμε να την χωρίσουμε σε τρεις κατηγορίες:

- Με τη χρήση των θερμικών ηλιακών συστημάτων που συλλέγουν την ηλιακή ακτινοβολία και τη μετατροπή σε θερμότητα σε κάποια θερμομονωμένη δεξαμενή, όπου την αποθηκεύουν και ονομάζονται ενεργητικά συστήματα.
- Με τα παθητικά ηλιακά συστήματα, δηλαδή όλα τα κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα δομικά στοιχεία των οικοδομικών κατασκευών (κτιρίων) που υποβοηθούν την καλύτερη άμεση ή έμμεση εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας είτε για τη θέρμανση των κτιρίων το χειμώνα είτε για το δρόσιμά τους το καλοκαίρι.

- Με την κατευθείαν μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική με τη χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

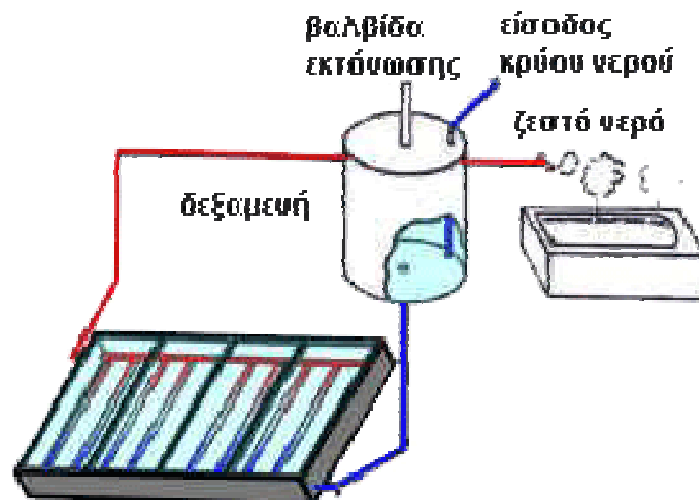
Ένας τομέας που αξιοποιεί την ηλιακή ενέργεια, είναι ο Τομέας Προώθησης των Παθητικών Ηλιακών Συστημάτων σε κτιριακές εγκαταστάσεις για θέρμανση και κλιματισμό. Ανάλογα με τον σχεδιασμό των κτιρίων και τον προσανατολισμό τους, τα Παθητικά ηλιακά συστήματα εξασφαλίζουν τις βέλτιστες κλιματικές συνθήκες στον εσωτερικό χώρο των κτιρίων ώστε να επιτυγχάνεται η θερμική άνεση εσωτερικά. Επίσης υπάρχουν συστήματα είτε Παθητικά είτε Ενεργητικά τα οποία μπορούν να παράγουν θερμότητα αλλά και ενέργεια.

Η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τόσο σε απομακρυσμένες όσο και σε κατοικημένες περιοχές, χωρίς επιπτώσεις στο περιβάλλον, κάνει ελκυστική τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων στην Ελλάδα. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν τη δυνατότητα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική.

Η Ελλάδα, χώρα με μεγάλη ηλιοφάνεια, προσφέρεται για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας. Η μέση ημερήσια ενέργεια που δίνεται από τον ήλιο στην Ελλάδα είναι 4,6 KWh/m². Η επιφάνεια των εγκαταστημένων συλλεκτών στη χώρα μας ανέρχεται περίπου σε 2.000.000 m². Η τιμή αυτή αποτελεί ποσοστό 50% περίπου, της επιφάνειας συλλεκτών εγκατεστημένων σε ολόκληρη την Ευρώπη. Οι συλλέκτες αυτοί, κύρια αφορούν σε μικρά οικιακά συστήματα.

1.2. Ηλιακά Συστήματα

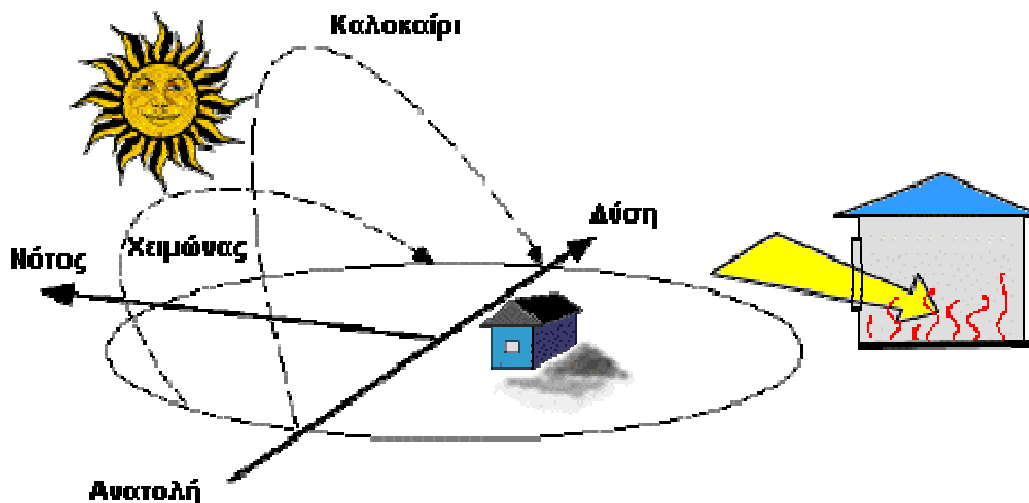
Ενεργητικά ηλιακά συστήματα



Εικόνα 1.2: Ενεργητικά ηλιακά συστήματα

Η βασική μονάδα ενός ενεργητικού ηλιακού συστήματος είναι ο ηλιακός συλλέκτης. Ο συλλέκτης αυτός περιλαμβάνει μια μαύρη, συνήθως επίπεδη μεταλλική επιφάνεια, η οποία απορροφά την ακτινοβολία και θερμαίνεται. Πάνω από την απορροφητική επιφάνεια βρίσκεται ένα διαφανές κάλυμμα (συνήθως από γυαλί ή πλαστικό) που παγιδεύει τη θερμότητα (φαινόμενο θερμοκηπίου). Σε επαφή με την απορροφητική επιφάνεια τοποθετούνται λεπτοί σωλήνες μέσα στους οποίους διοχετεύεται κάποιο υγρό, που απάγει την θερμότητα και τη μεταφέρει, με τη βοήθεια μικρών αντλιών (κυκλοφορητές), σε μια μεμονωμένη δεξαμενή αποθήκευσης. Το πιο απλό και διαδεδομένο σήμερα ενεργητικό ηλιακό σύστημα θέρμανσης νερού είναι ο ηλιακός θερμοσίφωνας.

Παθητικά ηλιακά συστήματα



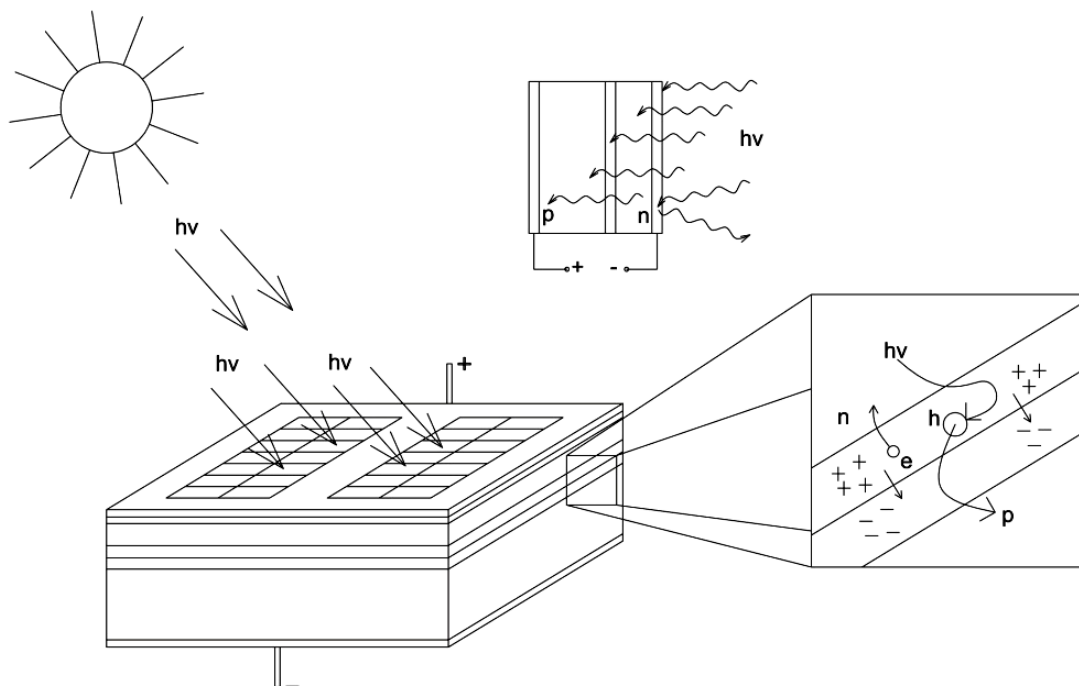
Εικόνα 1.3: Παθητικά ηλιακά συστήματα

Τέτοια συστήματα είναι τα δομικά στοιχεία ενός κτιρίου που βοηθούν την καλύτερη, άμεση ή έμμεση, εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τη θέρμανση ή το δροσισμό του κτιρίου. Προϋπόθεση για την εφαρμογή παθητικών ηλιακών συστημάτων σε ένα κτίριο είναι η θερμομόνωσή του έτσι ώστε να περιοριστούν οι θερμικές απώλειες. Η αρχή λειτουργίας των παθητικών συστημάτων θέρμανσης βασίζεται στο "φαινόμενο του θερμοκηπίου" ενώ τα παθητικά συστήματα δροσισμού βασίζονται στην προστασία του κτιρίου από τον ήλιο, δηλαδή στην παρεμπόδιση της εισόδου των ανεπιθύμητων, κατά τη θερινή περίοδο, ακτίνων του ήλιου στο κτίριο. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση μόνιμων ή κινητών σκιάστρων καθώς και με τη διευκόλυνση της φυσικής κυκλοφορίας του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων. Ένα κτίριο που περιλαμβάνει παθητικά συστήματα θέρμανσης, δροσισμού ή ακόμη και φυσικού φωτισμού, κατασκευασμένο εξαρχής ή τροποποιημένο, ονομάζεται "βιοκλιματικό κτήριο" και είναι δυνατό να καλύψει μεγάλο μέρος των ενεργειακών του αναγκών από την άμεση ή έμμεση αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας.

1.3. Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε από τον Γάλλο Φυσικό Alexandre Edmond Becquerel το 1839, ο οποίος διαπίστωσε ότι μπορεί να παραχθεί ηλεκτρικό ρεύμα όταν συγκεκριμένες κατασκευές εκτεθούν στο φως. Η γρήγορη ανάπτυξη της τεχνολογίας δημιούργησε εξαιρετικές προοπτικές για την χρήση τους. Σήμερα τα φωτοβολταϊκά έχουν γίνει μέρος της ζωής μας. Οι εφαρμογές τους είναι από μικρής κλίμακας συστήματα μέχρι και μεγάλες εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι η άμεση μετατροπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό και γίνεται με την κατασκευή των ηλιακών κυττάρων.

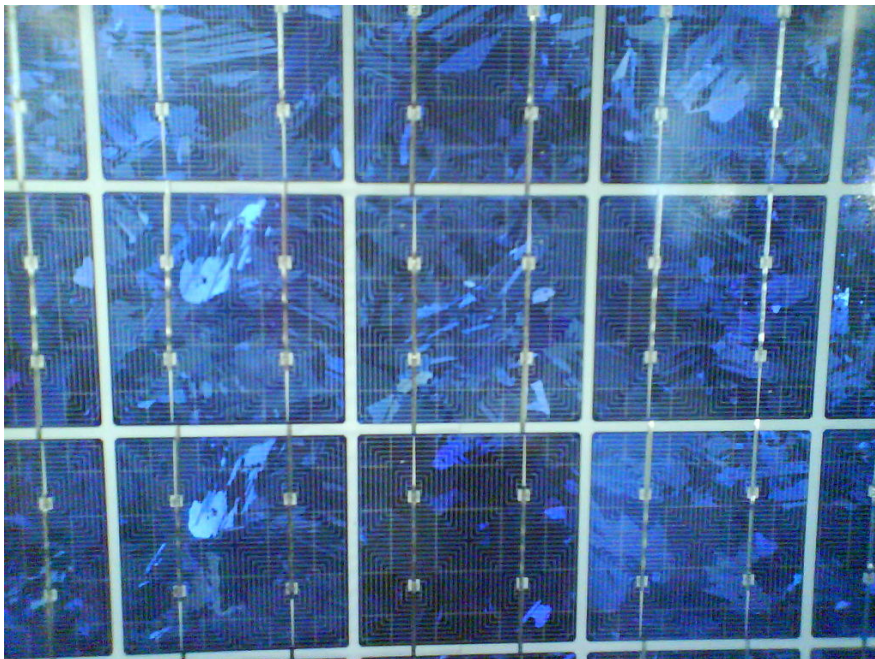


Εικόνα 1.4: Απεικόνιση φωτοβολταϊκού φαινομένου

Το φαινόμενο αυτό στηρίζεται στην εμφάνιση διαφοράς δυναμικού όταν τα φωτόνια του φωτός προσπέσουν σε ημιαγωγικά υλικά στα οποία υπάρχει εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο. Όταν έρθουν σε επαφή δύο ημιαγωγοί, ένας τύπου n (πλεόνασμα ηλεκτρονίων) και ένας τύπου p (πλεόνασμα οπών), δημιουργείται μια διόδος και εμφανίζεται εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο. Αυτό το ζευγάρι των δύο υλικών είναι το δομικό στοιχείο του φωτοβολταϊκού κυττάρου. Όταν η ακτινοβολία προσπέσει στο φωτοβολταϊκό κύτταρο (επαφή p-n), ένα μέρος από τα φωτόνια φτάνει στην διεπιφάνεια των δύο υλικών και διεγείροντας τα ηλεκτρόνια στον ημιαγωγό. Στην συνέχεια απελευθερώνονται και μέσω των ατόμων του ημιαγωγού κινούνται στο κύτταρο και με αυτόν τον τρόπο αναπτύσσεται ένα δυναμικό και παίρνουμε ρεύμα σε ένα εξωτερικό κύκλωμα.

1.4. Κατηγορίες φωτοβολταϊκών στοιχείων

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, η έρευνα των φωτοβολταϊκών έχει φτάσει σήμερα σε ένα σημαντικό επίπεδο και συνεχίζει να εξελίσσεται, ώστε να βελτιώσει την απόδοσή τους, να μειώσει το κόστος κατασκευής τους και να δημιουργήσει νέες και ενδιαφέρουσες αισθητικά μορφές. Για την παραγωγή των φωτοβολταϊκών το υλικό που χρησιμοποιείται κυρίως είναι το Πυρίτιο. Ένα υλικό από τα πλέον διαδεδομένα στοιχεία στη φύση που το βρίσκουμε με την μορφή οξειδίου του Πυριτίου, δηλαδή το κύριο συστατικό της άμμου. Η παραγωγή του καθαρού Πυριτίου είναι μια δύσκολη και δαπανηρή διεργασία, στην οποία οφείλεται και το μεγάλο κόστος των φωτοβολταϊκών.



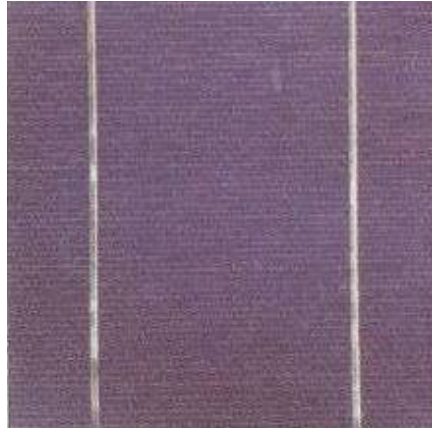
Εικόνα 1.5: Φωτοβολταϊκά κύτταρα

Ανάλογα λοιπόν με το υλικό κατασκευής τους ή τον τρόπο παρασκευής τους τα φωτοβολταϊκά στοιχεία διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες, όπως:

1. Κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά
 - Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου
 - Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου
2. Φωτοβολταϊκά λεπτού φιλμ
 - Άμορφου Πυριτίου
 - Φωτοβολταϊκά στοιχεία άλλων υλικών, λεπτών επιστρώσεων (Δισεληνοϊδούχος Χαλκός, Τελουριούχο Κάδμιο, Αρσενικούχο Γάλλιο)
3. Οργανικά φωτοβολταϊκά
4. Νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά

1.4.1. Κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά

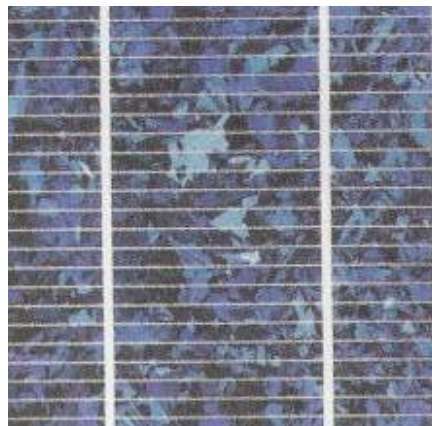
Κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά: Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου



Εικόνα 1.6: Φωτοβολταϊκό κύτταρο Μονοκρυσταλλικού Πυριτίου

Το βασικό υλικό είναι το μονο-κρυσταλλικό πυρίτιο, με επίπεδη δομή, με πάχος περίπου 0,3 χιλιοστά και χρώμα συνήθως σκούρο. Λόγω της τεχνολογίας παραγωγής των μονο-κρυσταλλικών κυττάρων, το κόστος κατασκευής τους είναι μεγάλο αλλά έχει καλύτερη σχέση απόδοσης ανάλογα με την επιφάνεια. Έχουν την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο που κυμαίνονται από 15%-18%.

Κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά: Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου



Εικόνα 1.7: Φωτοβολταϊκό κύτταρο Πολυκρυσταλλικού Πυριτίου

Το βασικό υλικό είναι το πυρίτιο. Τα πολυ-κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κατασκευάζονται σε μεγάλες επιφάνειες με διακριτές τις μονο-κρυσταλλικές περιοχές στην επιφάνεια του κυττάρου. Έχουν πάχος περίπου 0,3 χιλιοστά, όπως και τα μονο-κρυσταλλικά και ποικιλία χρωμάτων, λόγω των κατάλληλων επιστρωμάτων στην κατασκευή, με πιο συνηθισμένο το σκούρο μπλε λόγω της καλύτερης απόδοσης. Η παραγωγή των πολυ-κρυσταλλικών είναι οικονομικότερη απ' ότι των μόνο-κρυσταλλικών κατ' επέκταση μειώνεται και η τελική τιμή αγοράς τους γι' αυτό και είναι τα συνηθέστερα στην αγορά. Χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλή χρονική σταθερότητα με απόδοση μικρότερη των μονο-κρυσταλλικών που κυμαίνονται από 12%-15%.

1.4.2. Φωτοβολταϊκά λεπτού φιλμ

Φωτοβολταϊκά Άμορφου Πυριτίου



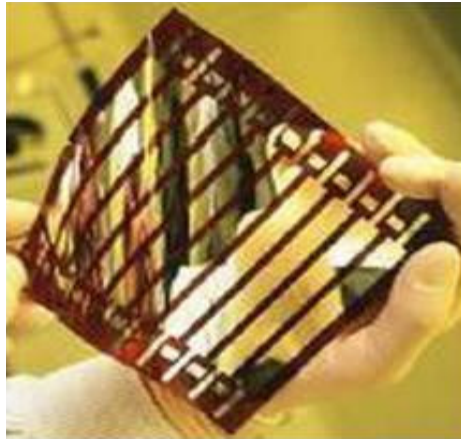
Εικόνα 1.8: Φωτοβολταϊκό κύτταρο Άμορφου Πυριτίου

Η τεχνολογία των λεπτών επιστρώσεων (thin films) είναι χαμηλού κόστους παραγωγής, εξαιτίας της μικρής χρησιμοποιούμενης μάζας υλικού. Το λεπτό επίστρωμα σχηματίζεται με την εναποθέτηση ημιαγωγού από Πυρίτιο πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης. Το ιδιαίτερο κατασκευαστικό χαρακτηριστικό τους είναι η δυνατότητα δημιουργίας διαδοχικών στοιχείων σε μεγάλες επιφάνειες πλαισίων. Τα φωτοβολταϊκά άμορφου Πυριτίου επηρεάζονται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα να μειώνεται αισθητά η απόδοσή τους, ενώ σε περιπτώσεις με συννεφιά (διάχυτη ακτινοβολία) αυξάνεται η απόδοσή τους. Η απόδοση των στοιχείων είναι χαμηλή, κυμαίνεται στα 6% - 8%, ενώ εργαστηριακά φτάνουν αποδόσεις στο 13%.

Φωτοβολταϊκά στοιχεία άλλων υλικών, λεπτών επιστρώσεων

- Δισεληνοϊδούχος Χαλκός (CuInSe₂ ή CIS) : Ένα λεπτό πολυ-κρυσταλλικό υλικό, που έχει φθάσει σε εργαστηριακή απόδοση το 17,7%. Πλεονεκτεί στο χαμηλό κόστος κατασκευής του, αλλά σήμερα στην αγορά έχει χαμηλή απόδοση, γύρω στο 10%.
- Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe) : Ένα λεπτό πολυ-κρυσταλλικό υλικό, που προέρχεται από την ηλεκτροαπόθεση. Παρέχει εξαιρετική εκμετάλλευση ηλιακού φάσματος, αλλά παρουσιάζει δυσκολία δημιουργίας μεταλλικών επαφών. Η απόδοσή του κυμαίνεται περίπου 7-8%.
- Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs) : Έχει κρυσταλλική δομή παρόμοιας αυτής του Πυριτίου, αλλά αποτελείται από στοιχεία Γαλλίου και Αρσενίου. Έχει την υψηλότερη ενεργειακή απόδοση, αλλά και υψηλό κόστος κατασκευής. Η απόδοση φτάνει στο 22%.

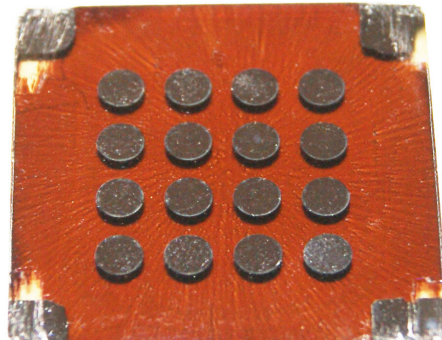
1.4.3. Οργανικά φωτοβολταϊκά



Εικόνα 1.9: Οργανικά φωτοβολταϊκά

Τα οργανικά φωτοβολταϊκά είναι ηλεκτροχημικά στοιχεία όπου η μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική γίνεται σε οργανικά συστήματα, όπως τα πολυμερή. Αρχικά κατασκευάστηκαν σε υγρή μορφή και στην συνέχεια των ερευνών κατάφεραν να δημιουργήσουν μια πιο παχύρρευστη μορφή έτσι ώστε να είναι δυνατή η κατασκευή του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Έχουν την μορφή λεπτού φιλμ και μπορούν να κατασκευαστούν είτε επίπεδα είτε εύκαμπτα, λόγω της ρευστότητας της πρώτης ύλης. Λόγω αυτής της τεχνολογίας κατασκευής τους μπορούν να προσφέρουν ποικιλία εφαρμογών και τοποθέτησης. Η απόδοση αυτών των φωτοβολταϊκών είναι χαμηλή όπως και το κόστος τους, περίπου στο 2,5% αλλά σε ερευνητικό επίπεδο έχουν φτάσει στο 10%.

1.4.4. Νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά



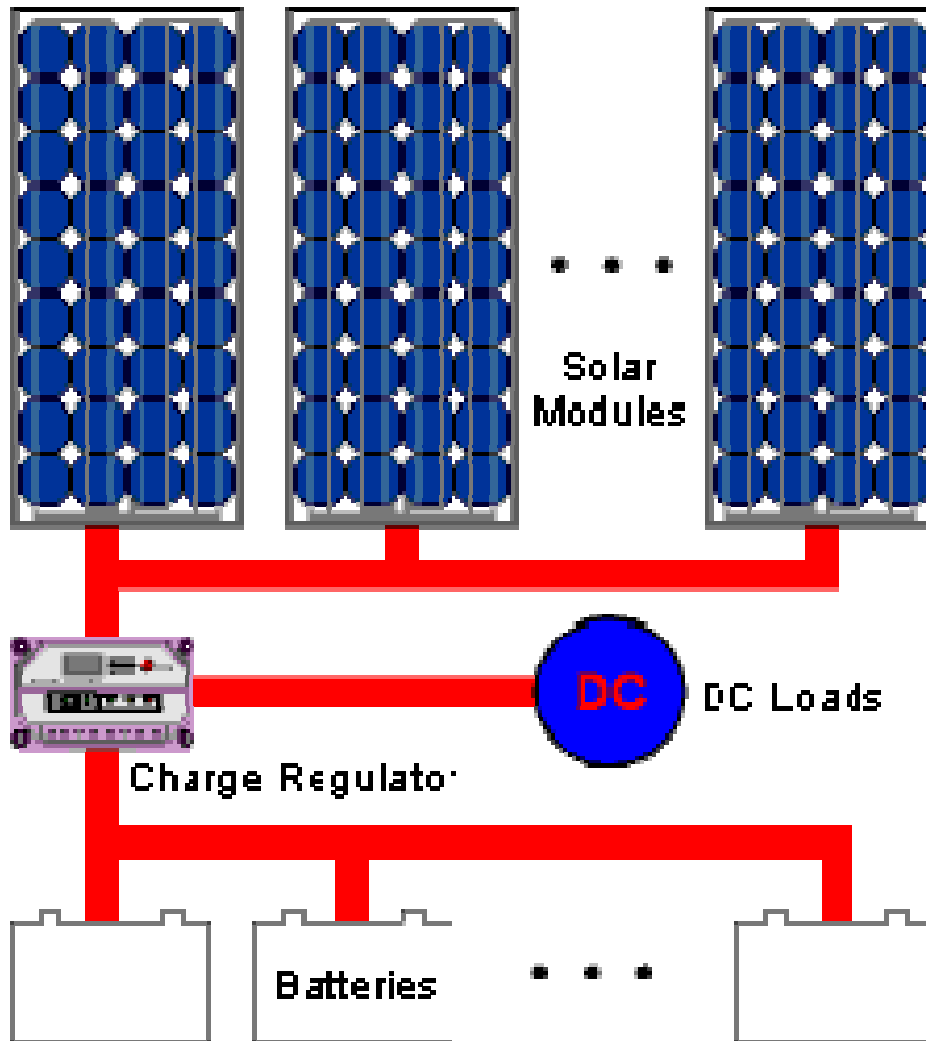
Εικόνα 1.10: Νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά

Τα νανοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα ή αλλιώς τα ηλιακά κύτταρα κβαντικών τελείων είναι κύτταρα βασισμένα σε νανοκρυστάλλους. Η τεχνολογία των νανοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες πολλά υποσχόμενες τεχνολογίες. Στο μέλλον τα φωτοβολταϊκά κβαντικών τελείων μπορούν να προσφέρουν διάφορα πλεονεκτήματα όπως ευκαμψία, χαμηλό κόστος, καθαρή πηγή ενέργειας.

1.5. Φωτοβολταικά συστήματα

Ένα τυπικό Φ/Β σύστημα αποτελείται από :

- το Φ/Β πλαίσιο (είδος ηλιακού συλλέκτη)
- το σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας (συσσωρευτές)
- τα ηλεκτρονικά συστήματα που ελέγχουν την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει η Φ/Β συστοιχία.



Εικόνα 1.11: Απεικόνιση τυπικού φωτοβολταϊκού συστήματος

Μία τυπική συστοιχία αποτελείται από ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Όταν τα Φ/Β πλαίσια εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία τότε αυτά μετατρέπουν ένα 10% περίπου της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Επιπλέον, η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική γίνεται αθόρυβα, αξιόπιστα και δίχως καμία επιβάρυνση για το περιβάλλον.

Ένα φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από ένα ή περισσότερα πάνελ (ή πλαίσια) φωτοβολταϊκών στοιχείων (ή «κυψελών», ή «κυττάρων»), μαζί με τις απαραίτητες συσκευές και διατάξεις για τη μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στην επιθυμητή μορφή.

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο είναι συνήθως τετράγωνο, με πλευρά 120-160mm. Δυο τύποι πυριτίου χρησιμοποιούνται για την δημιουργία φωτοβολταϊκών στοιχείων: το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο, ενώ το κρυσταλλικό πυρίτιο διακρίνεται σε μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό. Το άμορφο και το κρυσταλλικό πυρίτιο παρουσιάζουν τόσο πλεονεκτήματα, όσο και μειονεκτήματα, και κατά τη μελέτη του φωτοβολταϊκού συστήματος γίνεται η αξιολόγηση των ειδικών συνθηκών της εφαρμογής (κατεύθυνση και διάρκεια της ηλιοφάνειας, τυχόν σκιάσεις κλπ.) ώστε να επιλεγεί η κατάλληλη τεχνολογία.

Στο εμπόριο διατίθενται φωτοβολταϊκά πάνελ - τα οποία δεν είναι παρά πολλά φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους, επικαλυμμένα με ειδικές μεμβράνες και εγκιβωτισμένα σε γυαλί με πλαίσιο από αλουμίνιο - σε διάφορες τιμές ονομαστικής ισχύος, ανάλογα με την τεχνολογία και τον αριθμό των φωτοβολταϊκών κυψελών που τα αποτελούν. Έτσι, ένα φωτοβολταϊκό πάνελ 36 κυψελών μπορεί να έχει ονομαστική ισχύ 70-85 W, ενώ μεγαλύτερα φωτοβολταϊκά πάνελ μπορεί να φτάσουν και τα 200 W ή και παραπάνω.

Τα φωτοβολταϊκά panel συνδέονται μεταξύ τους και δημιουργούν τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, η οποία μπορεί να περιλαμβάνει από 2 έως και αρκετές εκατοντάδες φωτοβολταϊκές γεννήτριες. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια Φωτοβολταϊκή συστοιχία είναι συνεχούς ρεύματος (DC), και για το λόγο αυτό οι πρώτες χρήσεις των φωτοβολταϊκών αφορούσαν εφαρμογές DC τάσης: κλασικά παραδείγματα είναι ο υπολογιστής τσέπης και οι δορυφόροι. Με την προοδευτική αύξηση όμως του βαθμού απόδοσης, δημιουργήθηκαν ειδικές συσκευές - οι μετατροπείς (inverters) - που σκοπό έχουν να μετατρέψουν την έξοδο συνεχούς τάσης της Φωτοβολταϊκής συστοιχίας σε εναλλασσόμενη τάση. Με τον τρόπο αυτό, το Φωτοβολταϊκό σύστημα είναι σε θέση να τροφοδοτήσει μια σύγχρονη εγκατάσταση (θερμοκήπιο, σταυλική εγκατάσταση, μονάδα παραγωγής) που χρησιμοποιεί κατά κανόνα συσκευές εναλλασσόμενου ρεύματος (AC).

1.6. Απόδοση φωτοβολταϊκού στοιχείου

1.6.1. Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των Φωτοβολταϊκών

Η υψηλή θερμοκρασία που αναπτύσσουν τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του πλαισίου, η σκίαση ή βλάβη τμήματος του φωτοβολταϊκού στοιχείου που επιφέρουν την αχρήστευση του, η υγρασία στο εσωτερικό τους και οι συνακόλουθες αλλοιώσεις δομής του φωτοβολταϊκού στοιχείου, σκόνες και άλλα σώματα στην επιφάνεια όψης των πλαισίων, μειώνουν σταδιακά την ενεργειακή τους απόδοση. Το μέγεθος της επίδρασης εξαρτάται από το υλικό του φωτοβολταϊκού στοιχείου, τον τύπο του και τη διαχρονική αξιοπιστία της μηχανικής κατασκευής και των ηλεκτρολογικών και μονωτικών υλικών.

Για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από τον ήλιο με φωτοβολταϊκά χρειάζεται η ηλιακή ακτινοβολία. Ανάλογα με την ένταση της ακτινοβολίας επηρεάζεται και η απόδοση του συστήματος. Τις μέρες με ηλιοφάνεια, υπάρχει μεγάλη ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας κατ' επέκταση και αύξηση παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Όμως, ακόμη και τις μέρες με χαμηλή ηλιοφάνεια θα υπάρχει άφθονο διάχυτο φως και τα φωτοβολταϊκά θα συνεχίσουν να παράγουν ηλεκτρισμό, έστω και με μειωμένη απόδοση (π.χ. ακόμη και με απόλυτη συννεφιά το φωτοβολταϊκό θα παράγει ένα 5%-20% της μέγιστης ισχύος του).

Αύξηση επίσης της απόδοσης των φωτοβολταϊκών πραγματοποιείται όταν μειώνουμε την θερμοκρασία κοντά στο σύστημα. Η θερμοκρασία αυτή δημιουργείται λόγω της υψηλής ηλιακής ακτινοβολίας. Για την μείωσή της, πρέπει να γίνεται σωστός αερισμός. Για παράδειγμα το φωτοβολταϊκό πάνελ να μην έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια τοποθέτησής του, αλλά να δημιουργείτε ένα κενό μεταξύ τους.

Επιπροσθέτως, η κλίση και ο προσανατολισμός των φωτοβολταϊκών στοιχείων επηρεάζουν σημαντικά την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η απόκλιση από το οριζόντιο επίπεδο ονομάζεται κλίση, ενώ η απόκλιση από τον Νότο, ονομάζεται προσανατολισμός. Η ιδανική κλίση των φωτοβολταϊκών στοιχείων προκύπτει απ' το γεωγραφικό πλάτος τοποθέτησης και ο ιδανικός προσανατολισμός είναι ο νότιος. Λόγω της τροχιάς του ήλιου, εμφανίζονται μεγάλες διαφορές στην κλίση ανά εποχή και ανά περιοχή. Για παράδειγμα, η κατακόρυφη τοποθέτηση στις προσόψεις είναι πιο αποδοτική τον χειμώνα απ' ότι είναι η τοποθέτηση υπό κλίση στις στέγες. Για την αύξηση της απόδοσης ενός συστήματος είναι δυνατό η μηχανική υποστήριξή του, με αυτοματισμούς ώστε να ελευθερώνουν την κίνησή τους. Με αυτόν τον τρόπο τα φωτοβολταϊκά πάνελ κινούνται γύρω από ένα άξονα έτσι ώστε να ακολουθούν συνεχώς της τροχιά του ήλιου, με αποτέλεσμα να αυξάνουν τα ποσοστά ηλιακής ακτινοβολίας.

Ένας άλλος τρόπος αύξησης της απόδοσης των φωτοβολταϊκών είναι η χρήση υβριδικών φωτοβολταϊκών/θερμικών (PV/T). Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο στο μπροστινό τμήμα και πίσω από αυτό τοποθετείται ένα σύστημα υβριδικού συλλέκτη με σωλήνες για την θέρμανση αέρα ή νερού. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μετατρέπουν μόνο ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική, ενώ το υπόλοιπο γίνεται θερμότητα, η οποία μειώνει την απόδοση του συστήματος. Επομένως ένα μέρος αυτής της θερμότητας μέσω του υβριδικού συλλέκτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την θέρμανση του αέρα ή του νερού. Ως αποτέλεσμα θα προκύψει διπλό όφελος, θα μειωθεί η θερμοκρασία του με αποτέλεσμα την αύξηση της απόδοσης του φωτοβολταϊκού και επιπλέον θα παραχθεί θερμός αέρας ή νερό για διάφορες χρήσεις.

1.6.2. Καμπύλη I-V Φωτοβολταϊκού στοιχείου

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας που παράγεται από τη μετατροπή της θερμικής ενέργειας των καυσίμων, την υδραυλική, την πυρηνική και τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Κάθε μετατροπή από μια μορφή ενέργειας σε μια άλλη συνοδεύεται από **απώλειες**. Χαρακτηριστικό μέγεθος αποτελεί ο **βαθμός απόδοσης n**, που ισούται με το πηλίκο του ποσού της νέας μορφής ενέργειας, προς το ποσό της ενέργειας που μετασχηματίστηκε.

$$n = \frac{\text{Ποσό νέας μορφής ενέργειας}}{\text{Ποσό ενέργειας που μετασχηματίστηκε}}$$

Ο βαθμός απόδοσης ενός θερμικού σταθμού ηλεκτροπαραγωγής είναι περίπου $n = 0,35$. Τα βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η **τάση V** (volt), η **ένταση I** (ampere) και η συχνότητα με την οποία μεταβάλλεται f (Hertz) το ηλεκτρικό πεδίο.

Όσον αφορά τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, η απόδοσή τους προσδιορίζεται από το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται σε σχέση με την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια. Ένα φωτοβολταϊκό αποδίδει μέγιστη ηλεκτρική ισχύ P_m για δεδομένη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ισχύος P_{HA} . Το πηλίκο της μέγιστης αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος προς την προσπίπτουσα ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας, ονομάζεται βαθμός απόδοσης η του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

$$\eta = \frac{P_m}{P_{HA}} = \frac{I_m V_m}{P_{HA}} = \frac{FF I_{sc} V_{oc}}{P_{HA}} \quad [-]$$

Όπου :

P_m [W] : μέγιστη αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς φωτοβολταϊκού στοιχείου

P_{HA} [W]: ισχύς προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας

I_m [A]: ένταση ρεύματος στο σημείο μέγιστης ισχύος (ΣΜΙ)

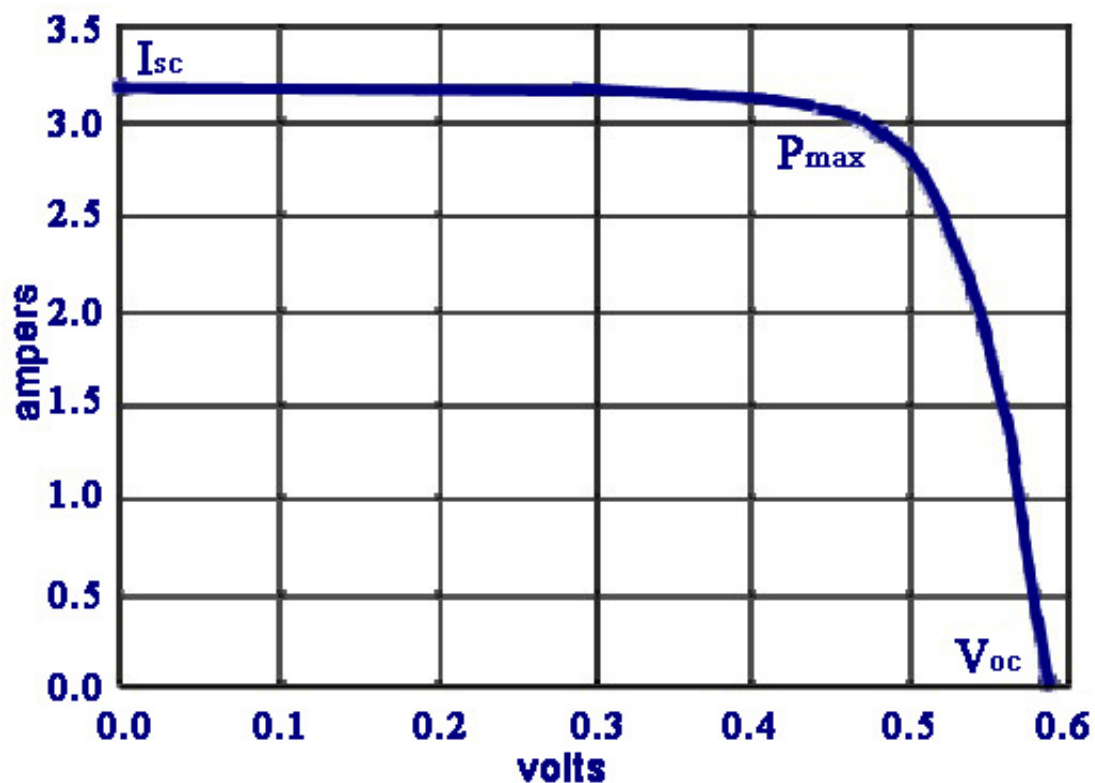
V_m [V]: τάση ρεύματος στο σημείο μέγιστης ισχύος (ΣΜΙ)

FF [-]: συντελεστής πλήρωσης

I_{sc} [A]: ρεύμα βραχυκύκλωσης

V_{oc} [V]: τάση ανοιχτού κυκλώματος

Όταν η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας P_{HA} δίνεται ανά μονάδα επιφάνειας, δηλαδή σε $[W/m^2]$ ονομάζεται ένταση ή πυκνότητα ισχύος. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί με την επιφάνεια $S(m^2)$ του φωτοβολταϊκού στοιχείου.



Εικόνα 1.10:Γραφική παράσταση της καμπύλης I-V

Η ηλεκτρική ισχύς P ορίζεται ως το γινόμενο της έντασης I επί την τάση U του ρεύματος:

$$P = I \cdot U$$

Το μέγιστο ορθογώνιο παραλληλόγραμμο μέσα στην καμπύλη $I-V$ με πλευρές I_m και U_M , έχει εμβαδόν ίσο με τη μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ P_m από το ΦΒ στοιχείο, με μέγιστη τιμή την P_m για ένα ορισμένο ζεύγος έντασης I_m και U_M .

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια του φωτοβολταϊκού συστήματος, εξαρτάται από τρεις μεταβλητούς παράγοντες :

- α) την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας,
- β) τη θερμοκρασία του στοιχείου και
- γ) την αντίσταση του κυκλώματος.

1.7. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Φωτοβολταϊκών στοιχείων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Τεχνολογία φιλική στο περιβάλλον: δεν προκαλούνται ρύποι από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, διατίθεται παντού και δεν στοιχίζει απολύτως τίποτα
- Με την κατάλληλη γεωγραφική κατανομή, κοντά στους αντίστοιχους καταναλωτές ενέργειας, τα Φ/Β συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του δικτύου διανομής
- Η λειτουργία του συστήματος είναι ολοσχερώς αθόρυβη
- Έχουν σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής: οι κατασκευαστές εγγυώνται τα «κρύσταλλα» για 20-30 χρόνια λειτουργίας
- Υπάρχει πάντα η δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης, ώστε να ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών
- Μπορούν να εγκατασταθούν πάνω σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, όπως είναι π.χ. η στέγη ενός σπιτιού ή η πρόσοψη ενός κτιρίου,
- Διαθέτουν ευελιξία στις εφαρμογές: τα Φ/Β συστήματα λειτουργούν άριστα τόσο ως αυτόνομα συστήματα, όσο και ως αυτόνομα υβριδικά συστήματα όταν συνδυάζονται με άλλες πηγές ενέργειας (συμβατικές ή ανανεώσιμες) και συσσωρευτές για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Επιπλέον, ένα μεγάλο πλεονέκτημα του Φ/Β συστήματος είναι ότι μπορεί να διασυνδεθεί με το δίκτυο ηλεκτροδότησης (διασυνδεδεμένο σύστημα), καταργώντας με τον τρόπο αυτό την ανάγκη για εφεδρεία και δίνοντας επιπλέον τη δυνατότητα στον χρήστη να πωλήσει τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια στον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου, όπως ήδη γίνεται στο Φράιμπουργκ της Γερμανίας.

Ως μειονέκτημα θα μπορούσε να καταλογίσει κανείς στα φωτοβολταϊκά συστήματα το κόστος τους, το οποίο, παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις παραμένει ακόμη αρκετά υψηλό. Μια γενική ενδεικτική τιμή είναι 2700 ευρώ ανά εγκατεστημένο kW ηλεκτρικής ισχύος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι μια τυπική οικιακή κατανάλωση απαιτεί από 1,5 έως 3,5 kW, το κόστος της εγκατάστασης δεν είναι αμελητέο. Το ποσό αυτό, ωστόσο, μπορεί να αποσβεστεί σε περίπου 5-6 χρόνια και το Φ/Β σύστημα θα συνεχίσει να παράγει δωρεάν ενέργεια για τουλάχιστον άλλα 25 χρόνια. Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα είναι πολλά, και το ευρύ κοινό έχει αρχίσει να στρέφεται όλο και πιο πολύ στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στα φωτοβολταϊκά ειδικότερα, για την κάλυψη ή την συμπλήρωση των ενεργειακών του αναγκών.

1.8. Χρήσεις Φωτοβολταϊκών

Τα φωτοβολταϊκά είναι διατάξεις που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα από την ηλιακή ακτινοβολία. Το ηλεκτρικό αυτό ρεύμα χρησιμοποιείται για να δώσει ενέργεια σε μια συσκευή ή για τη φόρτιση μπαταρίας. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται ευρέως σε μικροϋπολογιστές που λειτουργούν χωρίς μπαταρία, απλώς με την έκθεσή τους στο φως.

Τα φωτοβολταϊκά χρησιμοποιούνται συχνά σε συστοιχίες για την παραγωγή ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα. Σε τέτοια μορφή χρησιμοποιούνται για να δίνουν ενέργεια σε δορυφόρους, διαστημόπλοια, αλλά και σε απλούστερες εφαρμογές, όπως για την ενεργειοδότηση απομακρυσμένων τηλεφώνων εκτάκτου ανάγκης σε εθνικές οδούς, σε σπίτια κλπ. Σε πολλές χώρες έχουν ξεκινήσει προγράμματα επιδότησης των επενδύσεων σε φωτοβολταϊκά, τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια που μεταπωλείται και εισάγεται στα δημόσια δίκτυα μεταφοράς. Τα προγράμματα αυτά έχουν στόχο τη διαφοροποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τη σταδιακή απεξάρτησή της από το πετρέλαιο. Η θερμοκρασία είναι μια σημαντική παράμετρος λειτουργίας ενός Φωτοβολταϊκού συστήματος. Όπως έχουμε δει ο συντελεστής θερμοκρασίας για την τάση ανοικτού κυκλώματος είναι κατά προσέγγιση ίσος με $-2.3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ για καθένα ηλιακό στοιχείο. Ο συντελεστής τάσης μιας βασικής μονάδας είναι επομένως αρνητικός και πολύ μεγάλος από τη στιγμή που συνδέονται σε σειρά 33 έως 36 ηλιακά στοιχεία. Ο συντελεστής ρεύματος, είναι θετικός και μικρός, περίπου $+6\text{mA}/^\circ\text{C}$ ανά τετραγωνικό εκατοστό της βασικής μονάδας.

Είναι σημαντικό να σημειώσετε ότι η τάση καθορίζεται από τη θερμοκρασία λειτουργίας των ηλιακών στοιχείων, η οποία διαφέρει από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Όπως και για καθένα ηλιακό στοιχείο, το ρεύμα βραχυκυκλώματος I_{sc} μιας βασικής μονάδας είναι ανάλογο προς την ακτινοβολία και επομένως θα ποικίλλει κατά τη διάρκεια της ημέρας κατά τον ίδιο τρόπο. Εφόσον η τάση είναι λογαριθμική συνάρτηση του ρεύματος, θα εξαρτάται επίσης λογαριθμικά και από την ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια της ημέρας επομένως η τάση θα μεταβάλλεται λιγότερο από ότι το ρεύμα. Στο σχεδιασμό της Φωτοβολταϊκής γεννήτριας είναι συνηθισμένο να παραμελείται η μεταβολή της τάσης και να λαμβάνεται το ρεύμα βραχυκυκλώματος ανάλογο προς την ακτινοβολία. Η λειτουργία μιας βασικής μονάδας θα πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στο σημείο μέγιστης ισχύος. Είναι ένα σημαντικό γνώρισμα της χαρακτηριστικής της βασικής μονάδας, το ότι η τάση του σημείου μέγιστης ισχύος V_m είναι σχεδόν ανεξάρτητη από την ακτινοβολία. Η μέση τιμή αυτής της τάσης κατά τη διάρκεια της ημέρας μπορεί να εκτιμηθεί στο 80% της τάσης ανοικτού κυκλώματος κάτω από κανονικές συνθήκες ακτινοβολίας. Αυτή η ιδιότητα είναι χρήσιμη για τη σχεδίαση της μονάδας ελέγχου της ισχύος της συσκευής. Ο χαρακτηρισμός της βασικής Φωτοβολταϊκής μονάδας συμπληρώνεται με τη μέτρηση της θερμοκρασίας ενός κανονικά λειτουργούντος ηλιακού στοιχείου (NOCT) (Normal Operating Cell Temperature), οριζόμενης ως η θερμοκρασία του ηλιακού στοιχείου, όταν η βασική μονάδα λειτουργεί κάτω από τις ακόλουθες συνθήκες σε ανοικτό κύκλωμα:

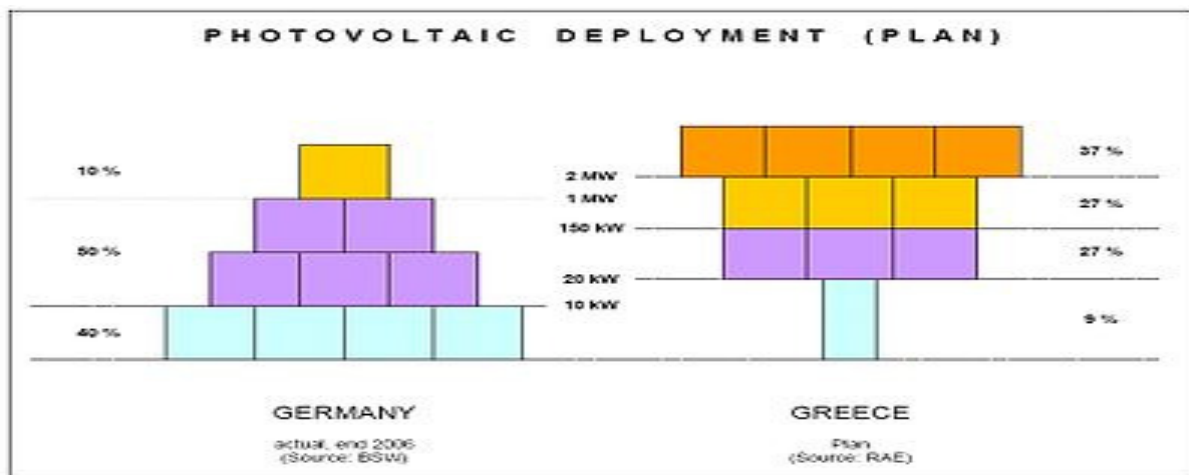
- * Ακτινοβολία 0.8
- * Φασματική κατανομή AM 1.5
- * Θερμοκρασία περιβάλλοντος 0°C
- * Ταχύτητα ανέμου 1 m/s

1.9. Τα Φωτοβολταϊκά συστήματα στην Ελλάδα

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως στόχο της για το 2020 το 20% της κατανάλωσης ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Ως προς την ηλιοθερμική ενέργεια η Ελλάδα ήταν πρωτοπόρος χώρα στην Ευρώπη τις τελευταίες δεκαετίες με περίπου ένα εκατομμύριο εγκατεστημένους ηλιακούς θερμοσίφωνες, που συμβάλουν σημαντικά στην εξοικονόμηση ενέργειας και στην προστασία του περιβάλλοντος. Τώρα μένει να γίνει το ίδιο και ως προς την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι προϋποθέσεις μάλιστα για τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα είναι ακόμα καλύτερες, αφού τα Φ/Β συστήματα παρουσιάζουν την μέγιστη παραγωγή ακριβώς εκείνες τις ώρες της ημέρας που και η κατανάλωση (ζήτηση) φτάνει στο μέγιστο και η ΔΕΗ ζητά από όλους τους καταναλωτές να περιορίσουν την ζήτηση ή αναγκάζεται να κάνει περικοπές (ελεγχόμενη συσκότιση).

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα επιδοτούνται από το Ελληνικό κράτος μέσω του νέου επενδυτικού νόμου N.3522/06 και του αναπτυξιακού νόμου N.3299/04 για επενδυτές μεσαίας και μεγάλης κλίμακας (επιδότηση αγοράς εξοπλισμού έως και 40% ανάλογα με την περιοχή της εγκατάστασης και τα επιχειρηματικά κριτήρια που ικανοποιούνται). Στη συνέχεια, με βάση το νόμο N.3468/06 για τις ΑΠΕ ο επενδυτής συνάπτει δεκαετές συμβόλαιο – με μονομερή δυνατότητα ανανέωσης της σύμβασης από την πλευρά του επενδυτή για ακόμη δέκα χρόνια – για την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει στον ΔΕΣΜΗΕ (Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας) για τις διασυνδεδεμένες περιοχές, ή απευθείας στη ΔΕΗ για τις μη-διασυνδεδεμένες περιοχές. Η τιμή πώλησης κυμαίνεται 0,40-0,50 Ευρώ ανά κιλοβατώρα (kWh) ανάλογα με το μέγεθος και την περιοχή της εγκατάστασης. Οι ιδιώτες επίσης επωφελούνται του Ν3468, πουλώντας την πλεονάζουσα ενέργεια της εγκατάστασης ιδιόχρησης που διαθέτει στις ίδιες ανταγωνιστικές τιμές, με επιπλέον όφελος φοροελάφρυνση έως και 700 Ευρώ.

Τα κίνητρα αυτά έχουν ήδη δείξει τα πρώτα αποτελέσματα και πλέον βλέπουμε τη δημιουργία φωτοβολταϊκών πάρκων σε πολλές περιοχές της χώρας και την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε σπίτια. Με την τρέχουσα νομοθεσία η Ελληνική πολιτεία στοχεύει στην δημιουργία μεγάλων φωτοβολταϊκών πάρκων, σε αντίθεση με άλλες χώρες, όπως η Γερμανία που στοχεύουν στην ανάπτυξη πολλών μικρών συστημάτων. Τα στοιχεία του διαγράμματος προέρχονται από τον σύνδεσμο εταιρειών ηλιακής ενέργειας της Γερμανίας (BSW) και από την Ελληνική Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ).



Εικόνα 1.11: Σύγκριση δυναμικότητας φ/β πάρκων στην Γερμανία και Ελλάδα αντίστοιχα

2. ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1. Γενικά για τα θερμοκήπια

Τα θερμοκήπια είναι εξαιρετικά εξελιγμένα συστήματα, τα οποία έχουν ως στόχο την παροχή ιδανικών συνθηκών για την βέλτιστη ανάπτυξη και παραγωγή των φυτών καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Ως ελεγχόμενη περιβαλλοντική γεωργική εγκατάσταση, μπορεί να προάγει σε ικανοποιητικό βαθμό τον μεταβολισμό των καλλιεργειών, να συνεισφέρει στον έλεγχο των ασθενειών και των παρασίτων, ενώ παράλληλα, να βελτιώσει την χρήση των πόρων και να μειώσει την περιβαλλοντική ρύπανση, συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών άνθρακα. Είναι, ωστόσο, εγκαταστάσεις υψηλής ενεργειακής κατανάλωσης, με αυτή να προσεγγίζει έως και το 50% του κόστους παραγωγής του θερμοκηπίου. Η κατανάλωση ενέργειας για την συμπλήρωση του αναγκαίου για τα φυτά φωτισμού, του αερισμού, της θέρμανσης και του δροσισμού είναι γνωστή και ως βασική κατανάλωση ενέργειας και αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 90% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης του θερμοκηπίου. Οι παράγοντες που αποτελούν βασικά στοιχεία για την ανάπτυξη των φυτών είναι το φως, η θερμοκρασία, η υγρασία και η σύνθεση του αέρα (περιεκτικότητα σε CO₂) και θα πρέπει να παρέχονται και να διατηρούνται σε βέλτητα επίπεδα.

Το θερμοκήπιο είναι μια κατασκευή, που καλύπτεται με διαφανές υλικό, ώστε να είναι δυνατή η είσοδος όσο το δυνατόν περισσότερου φυσικού φωτισμού, ο οποίος είναι απαραίτητος για την ανάπτυξη των φυτών. Σε μια ελεγχόμενη καλλιέργεια, όπως είναι η θερμοκηπιακή, πρωταρχικό ρόλο για την εγκατάσταση της έχει η δυνατότητα ελέγχου των κλιματολογικών συνθηκών, όπως επίσης και η ρύθμιση των συνθηκών αυτών στις ιδανικές τιμές.

Οι παράγοντες που είναι κρίσιμοι για τη σωστή ανάπτυξη, απόδοση αλλά και άριστη ποιότητα των προϊόντων είναι :

- Η θερμοκρασία
- Η υγρασία
- Η ακτινοβολία
- Το CO₂.

Οι επιθυμητές τιμές των παραπάνω παραγόντων, που ονομάζονται και συντελεστές ανάπτυξης, εξαρτώνται από παράγοντες όπως το είδος της καλλιέργειας, την εποχή του έτους, τον τύπο του θερμοκηπίου και το υλικό κάλυψης.

Για τον επιτυχή έλεγχο του μικροκλίματος του θερμοκηπίου είναι απαραίτητοι εξοπλισμοί και αισθητήρες, οι οποίοι συνδεδεμένοι με έναν κεντρικό υπολογιστή ελέγχου κλίματος (datalogger) και ρυθμίζουν με ακρίβεια το κλίμα του θερμοκηπίου. Ο υπολογιστής πρέπει να έχει τη δυνατότητα να μετρά εξωτερικές και εσωτερικές συνθήκες, ώστε να μπορεί να γίνεται ο έλεγχος των επιδράσεων τους στην καλλιέργεια και στο θερμοκήπιο.

1. Μέτρηση εξωτερικών συνθηκών (μακροκλίμα)

- Ηλιακή ακτινοβολία
- Ταχύτητα και διεύθυνση ανέμου
- Εξωτερική θερμοκρασία
- Σχετική υγρασία
- Βροχόπτωση

2. Μέσα στο θερμοκήπιο (μικροκλίμα) η θερμοκρασία και η υγρασία μετρώνται με τα αισθητήρες, καθώς επίσης και οι ροές ενέργειας που αφορούν την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και την φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR).

Η Ελλάδα βρίσκεται στην περιοχή της Μεσογείου, με επικράτηση του Μεσογειακού κλίματος. Τα χαρακτηριστικά του Μεσογειακού κλίματος είναι ήπιοι χειμώνες και θερμά καλοκαίρια, με πολύ υψηλά επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας. Ωστόσο, αν και οι συνθήκες φαίνονται ιδανικές, τα θερμοκήπια παρουσιάζουν ορισμένα προβλήματα, όπως οι χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω από το βιολογικό βέλτιστο) κατά τις νύχτες του χειμώνα, με την θέρμανση να κρίνεται απαραίτητη για τουλάχιστον 3 με 6 μήνες μέσα στο έτος, οι υψηλές θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της ημέρας, η υψηλή νυχτερινή σχετική υγρασία, τα χαμηλά ποσά ηλιακής ακτινοβολίας τον χειμώνα και η παρουσία φορτίων ανέμου, χαλαζιού και ορισμένες φορές χιονιού.

2.2. Υλικά κάλυψης θερμοκηπίου

Ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία ενός θερμοκηπίου είναι τα υλικά κάλυψης, οι ιδιότητες των οποίων επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ποσότητα και την ποιότητα του φωτός που περνάει στον χώρο των φυτών.

Τα βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει το υλικό κάλυψης είναι:

- Υψηλή διαπερατότητα στο φάσμα του ορατού και την φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία – PAR.
- Χαμηλή διαπερατότητα στην ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος – FIR – με μήκη κύματος από 3.000 έως 20.000nm.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Συμπύκνωση υδρατμών υπό μορφή μεμβράνης, και όχι υπό μορφή σταγόνων.
- Χαμηλή συσσώρευση σκόνης.

2.3. Το πράσινο θερμοκήπιο

Το πράσινο θερμοκήπιο πρόκειται για ένα ενεργειακά αυτόνομο θερμοκήπιο. Λειτουργεί με ενέργεια που παράγεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, τον ήλιο και τον αέρα. Ανάλογα με τον σχεδιασμό του θερμοκηπίου, σωστός προσανατολισμός, προστασία από αέρα και σκιασμούς, κατάλληλο έδαφος - κλίσεις, υλικά επικάλυψης, επιτυγχάνεται η βέλτιστη εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του περιβάλλοντος. Παράλληλα με την χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, όπως φωτοβολταϊκά, είναι δυνατή η κάλυψη των ηλεκτρικών αναγκών του θερμοκηπίου έτσι ώστε να επιτευχθεί η αυτονομία.

Το πράσινο θερμοκήπιο προσφέρει μια ολοκληρωμένη οικολογική λύση. Αποτελεί μια μονάδα που χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια γεωργικών / φυτικών προϊόντων συνήθως με πρωτοπόρες μεθόδους και παράλληλα με την εγκατάσταση συγκεκριμένων συστημάτων καλύπτει την ενεργειακή του αυτονομία. Στο περίβλημά του θερμοκηπίου τοποθετούνται ηλιακά συστήματα, όπου παράγουν είτε ηλεκτρική, είτε θερμική ενέργεια. Όταν η ενέργεια αυτή δεν χρησιμοποιείται στην ίδια μονάδα, αποθηκεύεται ή διοχετεύεται για να καλύψει και άλλες ανάγκες εκτός θερμοκηπίου.



Εικόνα 1.1: Ενεργειακά Αυτόνομο Θερμοκήπιο, Χαλκιδική

Επιπλέον χρησιμοποιούνται αυτοματισμοί, «έξυπνα» συστήματα διαχείρισης. Τα συστήματα αυτά ελέγχουν τις εσωτερικές συνθήκες του θερμοκηπίου ώστε να καλύψουν κάθε περίπτωση που επηρεάζει την καλλιέργεια και τις εσωτερικές συνθήκες. Έχουν την δυνατότητα να μετρούν και να ελέγχουν την θερμοκρασία, την υγρασία, την σκίαση και τον φωτισμό, τον εξαερισμό, το πότισμα, την λίπανση και οτιδήποτε άλλο χρειάζεται η καλλιέργεια. Τα συστήματα αυτά συνήθως είναι αυτοματοποιημένα με αισθητήρες και ελεγχόμενες μεταβλητές, ώστε να βελτιώσει την απόδοση και την ποιότητα της όλης εγκατάστασης.

2.4. Φωτοβολταϊκή εγκατάσταση σε οροφή θερμοκηπίου

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στοιχείων στην οροφή των θερμοκηπίων αποτελεί μια καινοτόμο λύση για την ενεργειακή αυτονομία τους. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, τα φωτοβολταϊκά έχουν πλέον την δυνατότητα να αντικαταστήσουν ένα μέρος της κάλυψης του περιβλήματος των θερμοκηπίων με ξεχωριστό τρόπο, ώστε να εξασφαλιστεί και η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια αλλά και συνθήκες άνεσης στο εσωτερικό του.

Τα φωτοβολταϊκά παράγουν την ενέργεια ουσιαστικά χωρίς εκπομπές βλαβερών ουσιών και ρύπων (CO₂, NO_x και SO_x) και δεν προκαλούν ηχορύπανση αφού έχουν αθόρυβη λειτουργία. Μπορούν να κατασκευαστούν σε ελαστικά και πλαστικά σχήματα, τα οποία προσφέρουν την πλήρη ενσωμάτωση τους σε κάθε σχήμα θερμοκηπίου του υπάρχει, ώστε να αποτελέσουν αναπόσπαστο τμήμα του . Προσαρμόζονται σε κάθε καμπύλη επιφάνεια και διαμορφώνονται ανάλογα με την μορφή του κελύφους του.

Επίσης, για τις γυάλινες επιφάνειες του θερμοκηπίου, που καλύπτει τις ανάγκες του για φυσικό φωτισμό στο εσωτερικό του, υπάρχουν τα ημιδιαπερατά φωτοβολταϊκά. Νέας τεχνολογίας υλικά, τα οποία αφήνουν το φως να το διαπερνά, αλληλεπιδρώντας με το περιβάλλον, μ' έναν τρόπο μοναδικό. Ανάλογα με τον προσανατολισμό του θερμοκηπίου και την κλίση της οροφής του προσαρμόζονται ώστε να εξασφαλιστεί η καλύτερη απόδοσή τους.

Παράλληλα, δημιουργείται σκίαση στο εσωτερικά και επηρεάζει τα φυτά που καλλιεργούνται. Ανάλογα τη θέση της τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών, τα φυτά μπορούν να επηρεαστούν είτε θετικά στις περιπτώσεις που η άμεση ηλιακή ενέργεια δημιουργεί υπερθέρμανση στο εσωτερικό, είτε αρνητικά όταν η σκίαση δημιουργεί υστέρηση ανάπτυξης στα φυτά. Επίσης η ανομοιογένεια της σκίασης μπορεί να προκαλέσει κακή επίδραση στην καλλιέργεια. Για να αποφευχθεί το φαινόμενο αυτό, τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πρέπει να τοποθετούνται σε γραμμική διάταξη με κενά μεταξύ του και κατάλληλο προσανατολισμό. Η διάταξη αυτή προσφέρει την εναλλαγή της σκιάς και του ήλιου συνεχόμενα καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας ώστε να εξασφαλιστεί ο απαιτούμενος ηλιασμός της καλλιέργειας. Επίσης τα ημιδιαπερατά φωτοβολταϊκά παρέχουν τον ελεγχόμενο φωτισμό στο εσωτερικό του θερμοκηπίου. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν κινητά συστήματα φωτοβολταϊκών, τα οποία συνδυασμένα με συστήματα αυτόματου ελέγχου, θα κινούνται ανάλογα ώστε να διασφαλίζονται οι κατάλληλες συνθήκες στο εσωτερικό της καλλιέργειας. Άλλη μια λύση είναι η εγκατάσταση στην ανατολική και δυτική πλευρά του θερμοκηπίου. Με αυτόν τον τρόπο εγκατάσταση επιτυγχάνεται ο καλύτερο ηλιασμός της καλλιέργειας, αλλά μειώνεται η απόδοση των φωτοβολταϊκών.



Εικόνα 1.2: Εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά σε στέγη θερμοκηπίου, Σάντα Κρούζ, ΗΠΑ

Η τοποθέτηση ή η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στο περίβλημα ενός θερμοκηπίου αποτελεί μια σημαντική μελέτη. Ανάλογα με το υλικό, τον προσανατολισμό, την κλίση, το μέγεθος, την διάταξη και τους μηχανισμούς που θα επιλεγθούν μπορούν να επιτύχουν την αύξηση της απόδοσης της καλλιέργειας αλλά και την ενεργειακή αυτονομία της ίδιας της εγκατάστασης.

3. Καλλιέργειας ρόκας (*Eruca sativa* L.)

3.1. Βασικές γνώσεις για την εφαρμοζόμενη καλλιέργειας ρόκας

Η ρόκα (*Eruca sativa* L., Οικογένεια Brassicaceae) είναι παραδοσιακά καλλιεργούμενο φυτό, ειδικά στην περιοχή της Μεσογείου, με καλή προσαρμοστικότητα τόσο στα ανοικτά χωράφια όσο και στα θερμοκηπιακά συστήματα καλλιέργειας και η καταναλωτική του ζήτηση έχει αυξηθεί επειδή τα τελευταία χρόνια η ρόκα έχει γίνει δημοφιλής στην Κεντρική Ευρώπη (Doležalová et al., 2013; Tsirogiannis et al, 2013). Η καλλιεργούμενη ρόκα είναι κηπευτικό ψυχρής εποχής και καλλιεργείται κυρίως για το φύλλωμα της. Η ρόκα είναι ιθαγενές φυτό της Νοτιάς Ευρώπης, Βόρειας Αφρικής και Δυτικής Ασίας. Η καλλιέργεια της ρόκας ως λαχανικό είναι περιορισμένη στην Ελλάδα σήμερα. Παρόλα αυτά καλλιεργείται από τα αρχαία χρόνια όπως έχει αναφερθεί και από τον Θεόφραστο. Οι αρχαίοι Έλληνες την αποκαλούσαν “εζύωμον” που σημαίνει “με καλό χυμό” και κατατασσόταν μεταξύ των λαχανικών που μπορούσαν να σπαρθούν καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου. Σήμερα καλλιεργείται σε περιοχές κοντά σε αστικά κέντρα (σε χωριά γύρω από την Αθήνα και την Θεσσαλονίκη, στην Κρήτη και σε συγκεκριμένα νησιά του Αιγαίου και του Ιονίου και ιδιαίτερα στην Κέρκυρα όπου είναι συνδεδεμένη με συγκεκριμένα πασχαλινά εδέσματα (Ολύμπιος, 2001).

3.2. Βοτανικά χαρακτηριστικά Ρόκας

Η καλλιεργούμενη ρόκα (*Eruca sativa*) είναι μονοετές φυτό, ποώδες, τριχωτό στη βάση, όρθιας ανάπτυξης, ύψους 20-50 εκ. Τα φύλλα είναι βαθέως εσχισμένα λειροειδή με λοβούς οδοντωτούς. Φέρουν 4-10 λοβούς και καταλήγουν σε ένα μεγάλο λοβό. Έχουν χρώμα θαμπό πράσινο. Τα ατομικά φύλλα εμφανίζονται υπό μορφή συμπαγούς ροζέτας. Το ριζικό σύστημα του φυτού είναι πασσάλωσες.

Το φυτό αναπτύσσεται σε υψηλές θερμοκρασίες και μεγάλο μήκος ημερών, σχηματίζει ανθικό στέλεχος πάνω στο οποίο εμφανίζονται ανθεί σε ταξιανθία κόρυμβο. Τα άνθη έχουν ανοιχτό κίτρινο χρώμα και επισυνάπτονται στο στέλεχος με ένα σχετικά μακρύ ποδίσκο. Η στεφάνη αποτελείται από 4 πέταλα και ο κάλυκας από 4 σέπαλα. Διαθέτει στήμονες κίτρινου χρώματος και την ωοθήκη η οποία βρίσκεται διογκωμένη στη βάση του άνθους με στύλο που καταλήγει σε στίγμα πάνω από το ύψος των στημόνων. Το ανθός έχει διάμετρο 2-4 εκ.

Ο καρπός είναι κεράτιο, όρθιος μικρού μήκους σχεδόν κυλινδρικός. Ο καρπός περιέχει μερικούς σπόρους και είναι βρώσιμος, όταν είναι άγουρος και τρυφερός. Ο σπόρος της ρόκας είναι σχετικά μικρός χρώματος ανοιχτού καφέ, οβάλ σχήματος (Ολύμπιος, 2001).

3.3. Κλιματικές και εδαφικές συνθήκες

Η ρόκα είναι φυτό ψυχρής εποχής και καλλιεργείται από το φθινόπωρο μέχρι τις αρχές του καλοκαιριού. Η συγκομιδή γίνεται 45-60 μέρες μετά τη σπορά. Είναι φυτό αρκετά ανθεκτικό στις χαμηλές θερμοκρασίες και στους ελαφρούς παγετούς του χειμώνα. Σε μέση θερμοκρασία > 30 °C το φυτό είναι επιρρεπές στο σχηματισμό ανθικών στελεχών. Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας του φυτού τα νεαρά τρυφερά φύλλα ή ολόκληρα τα φυτά μπορούν να συγκομίζονται ανά πάσα στιγμή εφόσον έχουν αποκτήσει εμπορεύσιμο μέγεθος.

Ως προς το έδαφος η ρόκα είναι ένα πολύ ανθεκτικό φυτό που μπορεί να ευδοκιμήσει σε όλα τα είδη των εδαφών. Ανθεκτική στο κρύο και το χιόνι αφού μπορεί να αντέξει μέχρι τους -3°C χωρίς σημαντικές ζημιές με εξαίρεση την σκλήρυνση των φύλλων της. Είναι απαιτητικότερη όμως σε νερό και έτσι σε θερμοκρασίες πάνω από 25°C έχει αυξημένες ανάγκες. Σε ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες η ρόκα (*Eruca sativa*) μπορεί να καλλιεργηθεί σχεδόν σε οποιοδήποτε τύπο εδάφους, με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχουν δυσκολίες στην εργασία ή την προετοιμασία του εδάφους (Ολύμπιος, 2001).

3.4. Πολλαπλασιασμός και ποικιλίες Ρόκας

Ο πολλαπλασιασμός της ρόκας γίνεται με σπόρο. Η εποχή σποράς ξεκινά από τον Ιούλιο και συνεχίζεται σταδιακά μέχρι τον Φεβρουάριο του επομένου έτους. Η ρόκα πολλαπλασιάζεται με σπόρο, σε απευθείας σπορά στο χωράφι.

Η σπορά γίνεται σε γραμμές με αποστάσεις που αυξάνονται μέχρι τα 40 cm και τα φυτά να βρίσκονται σε αποστάσεις 20-30 cm επί της γραμμής φύτευσης, σε αλίες, ή σε επίπεδο έδαφος ή αναχώματα. Μια άλλη μέθοδος σποράς είναι στα «πεταχτά» σε αλίες όπως συνηθίζεται στην Ελλάδα και με προσπάθεια τα φυτά να βρίσκονται σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους. Σε όλες τις μεθόδους σποράς το βάθος σποράς κυμαίνεται από 1-3 εκ. Η ποσότητα των σπόρων που απαιτείται κυμαίνεται από 300-500 γραμμάρια/ στρέμμα ανάλογα με την μέθοδο φύτευσης. Στην Ελλάδα καλλιεργούνται ντόπιες ποικιλίες οι οποίες μπορεί να διαφέρουν μεταξύ τους όσον αφορά το μήκος και πλάτος των φύλλων (στενόφυλλες – πλατύφυλλες).

3.5. Εχθροί και Ασθένειες

Η ρόκα προσβάλλεται από πολλές μυκητολογικές κυρίως ασθένειες αλλά και ιολογικές όπως τον περονόσπορο. Οι επιπτώσεις αυτές γίνονται μεγαλύτερες όταν η καλλιέργεια πραγματοποιείται σε ένα κλειστό προστατευμένο μέρος όπου η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία ευνοούν την ανάπτυξη των μικροοργανισμών.

Εκτός από αυτούς τους παθογόνους μικροοργανισμούς, έχουν αναφερθεί επιθέσεις σε φύλλα από μικρολεπιδόπετρα και αφίδες, αν και μέχρι σήμερα έχουν προκαλέσει μόνο περιορισμένες ζημιές. Τέλος, η προσβολή από *Liriomyza spp* θα μπορούσε να προκαλέσει σοβαρές ανησυχίες στους παραγωγούς, εάν δεν ελέγχεται με προσοχή (Padulosi & Pignone, 1997).

Πίνακας 3.1: Ασθένειες της Ρόκας

Σκληροτίνια
Αλτεναρίωση
Περονόσπορος
Βοτρύτης
Ριζοκτόνια

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

4.1. Πειραματικά θερμοκήπια

Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στις στέγες του θερμοκηπίου επηρεάζει την καλλιέργεια φυτών εξαιτίας του λιγότερου φωτοσυνθετικού ηλιακού δυναμικού λόγω σκίασης. Προκειμένου να προσδιοριστεί η επίδραση της σκίασης στην ανάπτυξη φυτών, πραγματοποιήθηκαν πειράματα με δύο θερμοκηπιακές μονάδες, τη μία με εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά πάνελ στην οροφή και τη δεύτερη χωρίς, λειτουργώντας ως θερμοκήπιο αναφοράς. Αυτή η δοκιμή καλλιέργειας αποσκοπεί στο να καταγραφεί η επίδραση της σκίασης των φωτοβολταϊκών πάνελ στην ποσότητα και την ποιότητα των προϊόντων, συγκριτικά με καλλιέργεια χωρίς την σκίαση των φωτοβολταϊκών.



Εικόνα 4.1: Πειραματικά θερμοκήπια με και χωρίς φωτοβολταϊκά στην οροφή τους αντίστοιχα

Δύο πανομοιότυπα θερμοκήπια μικρής κλίμακας που βρίσκονται στη νοτιοδυτική Ελλάδα χρησιμοποιήθηκαν ως πειραματικά μοντέλα για τις επιλογές εγκατάστασης με και χωρίς φωτοβολταϊκά στην οροφή του θερμοκηπίου. Και τα δύο θερμοκήπια κατασκευάστηκαν από πλαίσιο αλουμινίου, με υλικό κάλυψης υαλοπίνακες πάχους 3mm.

Είχαν τον ίδιο προσανατολισμό και βρίσκονταν στον ίδιο περιβάλλοντα χώρο, με επαρκή απόσταση μεταξύ τους για να αποφεύγουν αμοιβαία παρεμβολή. Οι διαστάσεις τους είναι Πλάτος 2,13m, Μήκος 2,00m, Ύψος έως το χαμηλότερο σημείο της στέγης 1,00m και Ύψος έως το ανώτερο σημείο της στέγης 1,50m. Η επιφάνεια κάλυψης του εδάφους κάθε θερμοκηπίου A_p είναι ίση με $4,26m^2$, η επιφάνεια καλύμματος του θερμοκηπίου A_c είναι $14,05m^2$ και ο όγκος του θερμοκηπίου V είναι $5,33m^3$.

Χρησιμοποιήθηκε η ρόκα ως δοκιμαστική καλλιέργεια (εικόνα 4.3). Τα φυτά καλλιεργήθηκαν στο έδαφος, καθώς οι εδαφικές καλλιέργειες θερμοκηπίων υπερτερούν αριθμητικά σε σχέση με τις υδροπονικές καλλιέργειες. Η ανάπτυξη της παραπάνω καλλιέργειας βασίστηκε στην ανάλυση του εδάφους και στην ποσότητα των μακρο-μικροστοιχείων που απορροφούν από το έδαφος. Οι επαναλαμβανόμενες αναλύσεις φύλλων προσάρμοσαν ανάλογα την εφαρμογή λιπασμάτων. Η λίπανση των φυτών έγινε με υδατοδιαλυτό λίπασμα 20:20:20 (N:P:K) μέσω του συστήματος άρδευσης. Κατά τη διάρκεια της καλλιέργειας, 250g του λιπάσματος χορηγήθηκαν σε κάθε θερμοκήπιο. Χρησιμοποιήθηκε σύστημα άρδευσης στάγδην.



Εικόνα 4.2: Προετοιμασία εδάφους και εγκατάσταση νεαρών φυτών ρόκας εντός του θερμοκηπίου

Η άρδευση βελτιστοποιείται με τη χρήση μετρήσεων υγρασίας εδάφους σε πραγματικό χρόνο, προκειμένου να διατηρηθεί η υγρασία του εδάφους στο επιθυμητό επίπεδο. Σε κάθε θερμοκήπιο φυτεύτηκαν 16 νεαρά φυτά ρόκας, σχηματίζοντας τέσσερις σειρές τεσσάρων φυτών το καθένα και οι αποστάσεις φύτευσης ήταν 36cm x 24cm (φυτό κατά φυτό x γραμμή κατά γραμμή). Η δόση άρδευσης για την ρόκα κατά τις πρώτες 2 εβδομάδες ήταν 0,3L ανά φυτό, την 3^η εβδομάδα 0,4lt/φυτό και σ την συνέχεια του πειράματος 0,27 lt/φυτό.



Εικόνα 4.3: φυτά ρόκας εντός του θερμοκηπίου

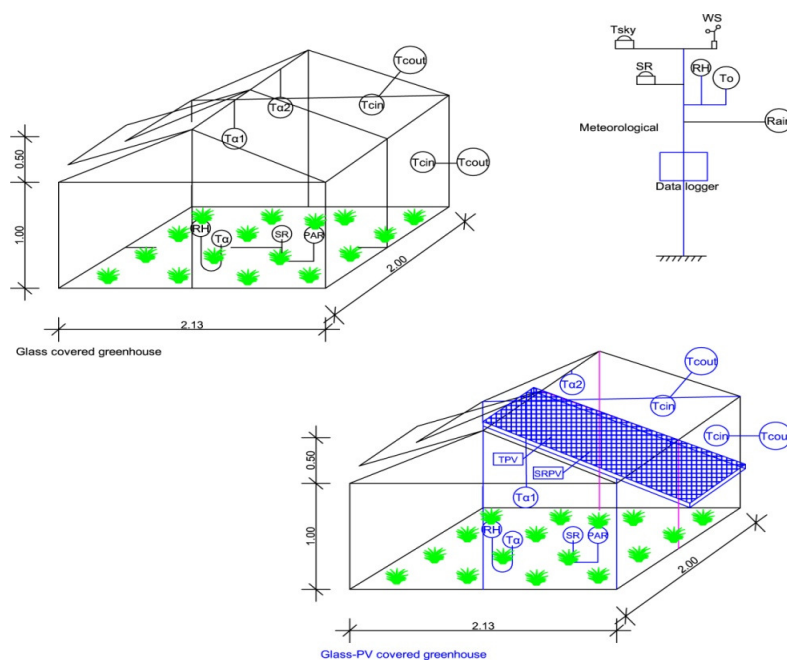
4.2. Όργανα και αισθητήρες πειραματικής διάταξης

Στην οροφή του θερμοκηπίου εγκαταστάθηκαν δύο φωτοβολταϊκά πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου (pc-Si) με καθαρή επιφάνεια κυψελίδων 0,4m², καλύπτοντας συνολικά (συμπεριλαμβανομένου του πλαισίου εγκατάστασης) 0,85m² της επιφάνειας της στέγης του θερμοκηπίου ή το 20% αυτή (εικόνα 4.1). Θερμοζεύγη (Cu-Ni) τοποθετήθηκαν στο εμπρόσθιο τμήμα και στις επιφάνειες του πίσω τοιχώματος, για τη μέτρηση της θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών πάνελ. Ένα πυρανόμετρο (CMP3,) τοποθετήθηκε παράλληλα με το επίπεδο των πλαισίων, για να μετρήσει την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία και επιπλέον μετρήθηκε η ηλεκτρική παραγωγή των φωτοβολταϊκών για να υπολογιστεί η συνολική παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς στο διάστημα του καλλιεργητικού κύκλου.

Οι παράμετροι του εσωτερικού μικροκλίματος που παρακολουθούνται και στα δύο θερμοκήπια ήταν Η θερμοκρασία εσωτερικού περιβάλλοντος T_a και η θερμοκρασία καλύμματος T_c και οι θερμοκρασίες φυτών σε διάφορες θέσεις στον φυτικό θόλο, καθώς και οι θερμοκρασίες και των φωτοβολταϊκών πλαισίων. Επιπλέον καταγράφηκε η σχετική υγρασία, η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία και η φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία (PAR) με κατάλληλους αισθητήρες.

Οι εξωτερικές συνθήκες περιβάλλοντος, όπως η θερμοκρασία, η ταχύτητα του ανέμου, η σχετική υγρασία, η θερμοκρασία του ουρανού και το επίπεδο βροχής, παρακολούθηθηκαν σε ύψος 2,50m πάνω από το επίπεδο του εδάφους, σε μετεωρολογικό σταθμό κοντά στα θερμοκήπια.

Για δύο μήνες (Μάιος-Ιούνιος) περίοδος λειτουργίας (35 ημέρες) και για τα δύο θερμοκήπια καταγράφηκαν όλα τα δεδομένα σε data logger (CR1000) με μία μονάδα πολυπλεξίας (relay analogue multiplexer). Επειδή οι τιμές αυτών των παραμέτρων αλλάζουν με τον χρόνο, τα δεδομένα σαρώνονται κάθε λεπτό, υπολογίζονται οι μέσοι όροι κάθε 10/λεπτο και καταγράφονται σε 24/h βάση στον Datalogger του σταθμού. Υπολογίζονται οι μέσες ολονύχτιες τιμές από τις αντίστοιχες χρονικές ακολουθίες βασιζόμενες στο διάστημα μεταξύ της απότομης αλλαγής της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της θερμοκρασίας στην ανατολή και στην δύση του ήλιου καθώς και την αποκατάσταση σταθερών συνθηκών εντός των θερμοκηπίων. Το λογισμικό Analyzer 4.5 Datalogger χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία και τη στατιστική ανάλυση των δεδομένων.



Εικόνα 4.4: Σχηματική απεικόνιση πειραματικών θερμοκηπίων και μετεωρολογικού σταθμού

Στα πειραματικά θερμοκήπια έλαβαν χώρα διάφορες σειρές πειραμάτων η πιστότητα των οποίων απαιτούσε συνεχή έλεγχο και καταγραφή του μικροκλίματος των θερμοκηπίων. Για την καταγραφή και τον έλεγχο του μικροκλίματος σε κάθε θερμοκήπιο (σχήμα 4-10 και 4-11) χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω αισθητήρες :

Πυρανόμετρο (SP-LITE): Αισθητήρας πυριτίου ο οποίος χρησιμοποιείται για να μετράει την ηλιακή ενέργεια που λαμβάνεται από ολόκληρο το ημισφαίριο με εύρος φασματικής ανταπόκρισης 400-1100nm, περιοχή μετρήσεων 0–2000 W/m² και θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας από -30έως70°C. Το συγκεκριμένο πυρανόμετρο χρησιμοποιείται στο εσωτερικό των θερμοκηπίων πάνω σε ιστό 0.5 m, για να μετράει την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία.

Ακτινόμετρο (PAR-LITE): Αισθητήρας που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της πυκνότητας ροής των φωτοσυνθετικών φωτονίων. Στην πράξη, αυτή η ποσότητα αποκαλείται PAR και συμβολίζει την Φωτοσυνθετικά Ενεργή Ακτινοβολία (Photosynthetically Active Radiation). Η μέτρηση αντιπροσωπεύει των αριθμό των φωτονίων που λαμβάνονται από ολόκληρο το ημισφαίριο (εύρος πεδίου αντίκτυπου 180°),

στο φασματικό εύρος 400 έως 700 nm της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ανά τετραγωνικό μέτρο και ανά δευτερόλεπτο. Αυτά τα φωτόνια χρησιμοποιούνται από τα πράσινα μέρη των φυτών στην διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Το ακτινόμετρο τοποθετείται στο εσωτερικό των θερμοκηπίων πάνω σε ιστό 0.5 m. Συνδέεται απευθείας με τον Datalogger και το αποτέλεσμα εκφράζεται σε $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Πυρανόμετρο (CMP3): Αισθητήρας κατάλληλος για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας σε επίπεδη επιφάνεια. Εξαιτίας της οριζόντιας φασματικής ευαισθησίας του (300–3000 nm), χρησιμοποιείται σε συνθήκες φυσικού φωτισμού, κάτω από φυτικές επιφάνειες, μέσα σε θερμοκήπια ή κτήρια και ανεστραμμένος για μέτρηση της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Συνδέεται απευθείας με τον Datalogger και το αποτέλεσμα δίνεται σε Wm^{-2} .

Αισθητήρας σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας (S3CO3): Αισθητήρας κατάλληλος για τη μέτρηση της σχετικής υγρασίας (RH), και της θερμοκρασίας T_a του εσωτερικού περιβάλλοντος των θερμοκηπίων. Η περιοχή μετρήσεων όσον αφορά την σχετική υγρασία είναι 0-100% και όσον αφορά την θερμοκρασία είναι -40 έως 60°C. Συνδέεται απευθείας με τον Datalogger και το αποτέλεσμα δίνεται σε %.

Θερμοζεύγη (T): Αποτελούνται από δύο αγωγούς από διαφορετικά μέταλλα Cu(+)/Constantan(-), συγκολλημένα στο ένα τους άκρο. Όταν τα δυο διαφορετικά μέταλλα έρθουν σε επαφή αναπτύσσεται μεταξύ τους μια διαφορά δυναμικού E (Seebeck) που εξαρτάται από την θερμοκρασία και το είδος των μετάλλων. Σημαντικό πλεονέκτημα είναι η μικρή τους μάζα που τους επιτρέπει να έρχονται σε θερμική ισορροπία με το περιβάλλον τους πολύ γρήγορα. Στα θερμοκήπια χρησιμοποιήθηκαν θερμοζεύγη τύπου T (χαλκού-κωνσταντάνης), διαμέτρου 0.5 mm και διαμέτρου 0.2 mm, με θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας από -180-400 °C

4.3. Μετεωρολογικός σταθμός και μετρητικά όργανα μακρο-κλίματος πειραματικών θερμοκηπίων

Στην περιοχή των πειραματικών θερμοκηπίων υπάρχει μετεωρολογικός σταθμός για συνεχή καταγραφή των αντιπροσωπευτικών κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν. Φέρει κεντρικό ιστό σωληνωτού τύπου, ύψους 2.50 m και διαμέτρου 1.5" πάνω στον οποίο είναι τοποθετημένοι σε βραχίονες στήριξης, οι αισθητήρες ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, υπέρυθρης ακτινοβολίας και θερμοκρασίας ουρανού, σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας αέρα, ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου. Ο αισθητήρας ύψους βροχής είναι τοποθετημένος σε δευτερεύοντα ιστό ύψους 1.80 m. Επί του κεντρικού ιστού είναι τοποθετημένη και η μονάδα συλλογής, επεξεργασίας και αποθήκευσης μετρήσεων (Datalogger). Αναλυτικότερα:

Πυρανόμετρο (SP-LITE): Πυρανόμετρο (SP-LITE): Αισθητήρας πυριτίου ο οποίος χρησιμοποιείται για να μετράει την ηλιακή ενέργεια που λαμβάνεται από ολόκληρο το ημισφαίριο με εύρος φασματικής ανταπόκρισης 400-1100 nm, περιοχή μετρήσεων 0 – 2000 W/m^2 και θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας από -30 έως 70°C. Συνδέεται απευθείας με τον Datalogger και το αποτέλεσμα δίνεται σε Wm^{-2} .

Πυργόμετρο (CGR3): Αισθητήρας κατάλληλος για τη μέτρηση της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας (ροή) πάνω σε μια επιφάνεια στην φασματική περιοχή 4500 – 42000 nm. Η ακτινοβολία που μετράει ο αισθητήρας είναι ουσιαστικά η ακτινοβολία που εκπέμπει ο ουρανός. Θεωρώντας ότι ο ουρανός συμπεριφέρεται σαν ένα τέλειο μαύρο σώμα ο αισθητήρας μπορεί κατά προσέγγιση να υπολογίσει την θερμοκρασία του ουρανού με κατάλληλο τύπο υπολογισμού που διαθέτει.

Ανεμόμετρο (A100K): Ο αισθητήρας μέτρησης ταχύτητας ανέμου είναι τύπου τριών ημισφαιρικών ή κωνικών κυπέλλων με παλμική έξοδο με περιοχή μετρήσεων 0-75 m/sec, κατώφλι λειτουργίας 0.15 m/sec και θερμοκρασιακή περιοχή λειτουργίας από -50 έως 55 °C. Τα εκτεθειμένα στις καιρικές συνθήκες μέρη του είναι κατασκευασμένα από μη οξειδωμένα υλικά.

Αισθητήρας σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας εξωτερικού περιβάλλοντος (MP101A): Αισθητήρας κατάλληλος για τη μέτρηση της σχετικής υγρασίας (RH), και της θερμοκρασίας T_o του εξωτερικού περιβάλλοντος των θερμοκηπίων. Γι αυτό τον λόγο διαθέτει αισθητήριο στοιχείο ιδιαίτερα ανθεκτικό σε βιομηχανικούς ρύπους και χαρακτηρίζεται από μεγάλη σταθερότητα. Ο αισθητήρας βρίσκεται σε κλωβό προστασίας και έχει περιοχή μετρήσεων όσον αφορά την σχετική υγρασία 0-100% και -40 έως 60°C όσον αφορά την θερμοκρασία.

Αισθητήρας μέτρησης ύψους βροχής (52203): Αισθητήρας τύπου ανατρεπόμενων καδίσκων που διαθέτει σύστημα οριζοντίωσης και ενσωματωμένη ενδεικτική φυσαλίδα. Είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτα υλικά και έχει μηχανισμό κατακράτησης ξένων υλών. Τα εκτεθειμένα στις καιρικές συνθήκες μέρη του είναι μεταλλικά. Η στήριξη του να γίνεται με ιστό ύψους 1 m και αντηρίδες, ανθεκτικό στην όξινη και έντονη βροχόπτωση και γενικά στις δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Έχει ευαισθησία 0.1 mm/tip και θερμοκρασία λειτουργίας από 0 - 50 °C.

Μονάδα συλλογής, επεξεργασίας και αποθήκευσης μετρήσεων (Datalogger, CR100X): Ο Datalogger CR100X του κατασκευαστικού Οίκου Campbell Αγγλίας, είναι μια μικρή και ερμητικά κλειστή μονάδα μέσα σε ανοξείδωτο περίβλημα, η οποία έχει ενσωματωμένη εξαιρετικά μεγάλη υπολογιστική ισχύ για συλλογή και επεξεργασία στοιχείων. Η μονάδα είναι εγκατεστημένη πάνω στον ιστό του μετεωρολογικού σταθμού, προκειμένου να συλλέγει, να επεξεργάζεται και να αποθηκεύει τις τιμές διαφόρων περιβαλλοντικών παραμέτρων. Η μονάδα έχει δυνατότητα δειγματοληψίας των σημάτων όλων των αισθητήρων που είναι συνδεδεμένοι στις εισόδους της σε τακτά και προγραμματιζόμενα χρονικά διαστήματα στη διάρκεια του 24ώρου. Οι τιμές αυτές υφίστανται επεξεργασία με βάση σχετικά προγράμματα και εντολές, που είναι καταχωρημένα στη μνήμη της μονάδας και καταχωρούνται σε μνήμη εξόδου από όπου γίνεται μεταφορά σε ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω ασύρματης ζεύξης.

Σύστημα ασύρματης μετάδοσης δεδομένων: Με το σύστημα αυτό επιτυγχάνεται ασύρματη (GSM) επικοινωνία (μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας), με τον απομακρυσμένο DataLogger (CR10X) που βρίσκεται στην περιοχή των πειραματικών θερμοκηπίων. Το σύστημα περιλαμβάνει εξοπλισμό σταθμού (modem ασύρματης ζεύξης, εξωτερική κεραία, Interface, σύνδεση GSM) και εξοπλισμό βάσης (modem σταθερής τηλεφωνίας).

Analyzer 4.5 (Analyzer Datalogger Software): Το πρόγραμμα Analyzer είναι μία 32bit client-server εφαρμογή και απευθύνεται σε όλους εκείνους που χρησιμοποιούν Dataloggers ή υπολογιστές με κάρτες συλλογής δεδομένων (D.A.C.) για την συλλογή μετρήσεων από αισθητήρες ή αναλυτές και επιθυμούν να αποθηκεύσουν τις τιμές αυτές σε μία κεντρική βάση δεδομένων με δυνατότητες παρουσίασης, επεξεργασίας, στατιστικής ανάλυσης, δημιουργίας γραφικών παραστάσεων, εκτυπώσεων, απεικόνισης σε χάρτη κλπ. Το πρόγραμμα λαμβάνει τις μετεωρολογικές μετρήσεις από τον Datalogger του μετεωρολογικού σταθμού με την χρήση modem. Τις μετρήσεις αυτές τις αποθηκεύει στην βάση δεδομένων που δημιουργεί το ίδιο, δημιουργώντας έτσι μία βάση πληροφοριών με όλα τα μετρούμενα μετεωρολογικά μεγέθη του σταθμού για όλο το χρονικό διάστημα λειτουργίας του.

4.4. Πειραματική διαδικασία καλλιέργειας

Μετά από την εξαγωγή των φυτών από τα θερμοκήπια κάθε φυτό μπήκε σε πλαστική σακούλα πάνω στην οποία αναγράφονταν η θέση του φυτού στο θερμοκήπιο και γινόταν η μεταφορά στο εργαστήριο για την πραγματοποίηση των μετρήσεων. Στο εργαστήριο κάθε φυτό υποβλήθηκε σε διαδικασία πλυσίματος με ιδιαίτερη προσοχή για την αποφυγή τραυματισμών. Στόχος ήταν να απομακρυνθεί όλο το χώμα που περίβαλε τις ρίζες και τα φύλλα. Στη συνέχεια σκουπίζονταν τα φύλλα και οι ρίζες με απορροφητικό χαρτί ώστε να απομακρυνθεί το μεγαλύτερο ποσοστό υγρασίας και τοποθετείται πάλι στην ίδια σακούλα. Τελικά μεταφερόταν στο χώρο των μετρήσεων.

Διεξήχθησαν οι παρακάτω μετρήσεις. Έγινε ζύγιση ολοκλήρου του φυτού και μέτρημα του ολικού μήκους. Στη συνέχεια κοβόταν ο βλαστός ο οποίος ζυγίζόταν και μετριόταν το μήκος του. Ακολουθούσε το κόψιμο των 5^{ου}, 6^{ου}, 7^{ου} και 8^{ου} φύλλου στα οποία μετριόταν το πλάτος και το μήκος τους.

Όλα τα φύλλα του φυτού έμπαιναν σε χάρτινη σακούλα στην οποία αναγράφονταν η θέση του φυτού στο θερμοκήπιο. Η ρίζα του φυτού έμπαινε σε διαφορετική χάρτινη σακούλα. Οι χάρτινες σακούλες με τα φύλλα και τις ρίζες μπήκαν στο πυριαντήριο για 3 μέρες στους 70°C για να αποξηραθούν.

Υστέρα από την αποξήρανση πραγματοποιήθηκε η διαδικασία αλέσης των φυτών της ρόκας. Αρχικά τοποθετήθηκαν σε μύλο άλεσης με περιστρεφόμενα μαχαίρια και έπειτα σε παλινδρομικό μύλο άλεσης με σφαιρίδια από Teflon. Τα αλεσμένα φυτά και ρίζες τελικά τοποθετήθηκαν σε μικρές πλαστικές αυτοσφράγιστες σακούλες και αποθηκεύτηκαν.

Τα πειραματικά αποτελέσματα της καλλιέργειας και συγκεκριμένα των δεικτών ανάπτυξης των φυτών ρόκας (νωπό και ξηρό βάρος, μήκος και επιφάνεια των φύλλων) υπό την επίδραση της σκίασης εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών πανέλων στην οροφή του θερμοκηπίου παρουσιάζονται στην ερευνητική εργασία Kanva et al, (2018). Σύμφωνα με την εργασία υπήρξε σημαντική μείωση της παραγωγικότητας των φυτών ρόκας σε συνθήκες μερικής σκίασης από την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πανέλων στην οροφή του θερμοκηπίου και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με απόδοση περίπου 12%.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες των θερμοκηπίων στη θέρμανση, τον δυναμικό εξαερισμό, τον τεχνητό φωτισμό και άλλες ενεργειακές απαιτήσεις. Δύο πανομοιότυπες μονάδες θερμοκηπίου χρησιμοποιήθηκαν πειραματικά, το ένα με φωτοβολταϊκά πανέλα στην οροφή και το δεύτερο χωρίς φωτοβολταϊκά πανέλα (θερμοκήπιο αναφοράς). Χρησιμοποιήθηκαν φωτοβολταϊκά πανέλα τύπου pc-Si, καλύπτοντας ένα μικρό μέρος της επιφάνειας του θερμοκηπίου (20%).

Η καλλιέργεια Ρόκας (*Eruca sativa* L.) επιλέχθηκε για τα πειράματα γιατί είναι παραδοσιακά καλλιεργούμενο φυτό, ειδικά στην περιοχή της Μεσογείου, με καλή προσαρμοστικότητα τόσο στα ανοικτά χωράφια όσο και στα θερμοκηπιακά συστήματα καλλιέργειας και η καταναλωτική του ζήτηση έχει αυξηθεί επειδή τα τελευταία χρόνια η ρόκα έχει γίνει δημοφιλής στην Κεντρική Ευρώπη.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της καλλιέργειας, υπήρξε σημαντική μείωση της παραγωγικότητας των φυτών ρόκας σε συνθήκες μερικής σκίασης από την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πανέλων στην οροφή του θερμοκηπίου και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με απόδοση περίπου 12%.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1 A. Kavga, G. Trypanagnostopoulos, G. Zervoudakis, Y. Tripanagnostopoulos, Growth and Physiological Characteristics of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) and Rocket (*Eruca sativa* Mill.) Plants Cultivated under Photovoltaic Panels, *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 46 (2018) 206-212
- 2 A. Marucci, A. Cappuccini, Dynamic photovoltaic greenhouse: energy efficiency in clear sky conditions, *Appl. Energy* 170 (2016) 362-376.
- 3 A. Marucci, D. Monarca, M. Cecchini, A. Colantoni, A. Manzo, A. Cappuccini, The semitransparent photovoltaic films for mediterranean greenhouse: a new sustainable technology, *Math. Probl. Eng.* 2012 (2012). Article ID 451934.
- 4 A. Tani, S. Shina, K. Nakashima, M. Hayashi, Improvement in lettuce growth by light diffusion under solar panels, *J. Agric. Meteorol.* 70 (2014) 139-149.
- 5 A. Yano, A. Furue, M. Kadowaki, T. Tanaka, E. Hiraki, M. Miyamoto, S. Ishizu, F. Noda, Electrical energy generated by photovoltaic modules mounted inside the roof of a north-south oriented greenhouse, *Biosyst. Eng.* 103 (2009) 228-238.
- 6 B. von Elsner, D. Briassoulis, D. Waaijenberg, A. Mistriotis, Chr. von Zabeltitz, J. Gratraud, G. Russo, R. Suay-Cortes. Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouses in European Union Countries: Part I, Design Requirements. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Volume 75, Issue 1, 2000, Pages 1-16, ISSN 0021-8634.
- 7 Chr. Lamnatou, D. Chemisana, Solar radiation manipulations and their role in greenhouse claddings: fresnel lenses, NIR- and UV-blocking materials, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 18 (2013) 271-287.
- 8 D. Buttaro, M. Renna, C. Gerardi, F. Blando, P. Santamaria, F. Serio, Soilless production of wild rocket as affected by greenhouse coverage with photovoltaic modules, *Acta Scientiarum Polonorum* 15 (2016) 129-142.
- 9 Doležalová I, Duchoslav M, Dušek K (2013). Biology and yield of rocket (*Eruca sativa* Mill.) under field conditions of the Czech Republic (Central Europe). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 41:530-537
- 10 G. Trypanagnostopoulos, A. Kavga, M. Souliotis, Y. Tripanagnostopoulos, Greenhouse performance results for roof installed photovoltaics, *Renewable Energy* 111 (2017) 724-731.
- 11 G. Trypanagnostopoulos, I. Karakostas, A. Koulopoulos, Y. Tripanagnostopoulos, A. Kavga, Implementation of photovoltaics on greenhouses and shading effect to plant growth, in: *International Conference on Agricultural Engineering CIGR - AgEng*, 2016. Automation, Environment and Food Safety, Aarhus, Denmark 26-29 June.
- 12 H. Fatnasi, Ch Poncet, M.M. Bazzano, R. Brun, N. Bertin, A numerical simulation of the photovoltaic greenhouse microclimate, *Sol. Energy* 120 (2015) 575-584.

- 13 H. Marrou, J. Wery, L. Dufour, C. Dupraz, Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels, *Eur. J. Agron.* 44 (2013) 54-66.
- 14 Haixia Li, Yu Guo, Huajian Zhao, Yang Wang, David Chow. Towards automated greenhouse: A state of the art review on greenhouse monitoring methods and technologies based on internet of things. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 191, 2021, 106558, ISSN 0168-1699.
- 1 J.M. Emmott Ch, J.A. Roehr, m. Campoy-Quiles, Th. Kirchartz, A. Urbina, N.J. Ekins-ankes, J. Nelson, Organic photovoltaic greenhouses: a unique application for semi-transparent PV, *Energy Environ. Sci.* 8 (2013) 1317-1328.
- 2 M. Cossu, L. Murgia, L. Ledda, P.A. Deligios, A. Sirigu, F. Chessa, A. Pazzona, Solar radiation distribution inside a greenhouse with south-oriented photovoltaic roofs and effects on crop productivity, *Appl. Energy* 133 (2014) 89-100.
- 3 M.C. Rocamora, Y. Tripanagnostopoulos, Aspects of PV/T solar system application for ventilation needs in greenhouses, *Acta Hortic.* 719 (2006) 239-246.
- 4 P.J. Sonneveld, G.L.A.M. Swinkels, B.A.J. van Tuijl, H.J.J. Janssen, J. Campen, G.P.A. Bot, Performance of a concentrated photovoltaic energy system with static linear Fresnel lenses, *Sol. Energy* 85 (2011) 432-442.
- 5 Padulosi S, Pignone D (1997) Rocket: a Mediterranean crop for the world Report of a workshop, 13-14 Dec. 1996, Agripolis, Legnaro (Pa- dova), Italy.
- 6 Reda Hassanien Emam Hassanien, Ming Li, Wei Dong Lin, Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 54 (2016) 989-1001.
- 7 S. Nayak, G.N. Tiwari, Energy and Exergy analysis of photovoltaic/thermal integrated with a solar greenhouse, *Energy Build.* 40 (2008) 201-2021.
- 8 Tsirogiannis IL, Katsoulas N, Savvas D, Karras G, Kittas C (2013). Relationships between reflectance and water status in a greenhouse Rocket (*Eruca sativa* Mill.) cultivation. *European Journal of Horticultural Science* 78:275-282.
- 9 U.-S. Raúl, Angel Jesús Callejo n Ferre, Jose Perez Alonso, Angel Carreno Ortega, Greenhouse tomato production with electricity generation by roof-mounted flexible solar panels, *Sci. Agric.* 69 (2012) 233-239.
- 10 Y. Tripanagnostopoulos, N. Katsoulas, C. Kittas, Potential energy cost and footprint reduction in Mediterranean greenhouses by means of renewable energy use, in: *OGH 2016 Int. Symposium*, Ismir, Turkey, 11-14 April 2016.
- 11 Y. Tripanagnostopoulos, Th. Nousia, M. Souliotis, P. Yianoulis, Hybrid photovoltaic/thermal solar systems, *Sol. Energy* 72 (No 3) (2002) 217-234.
- 12 A. Νεοκλέους, Σ. Π. Κωνσταντινίδη, Μετατροπή της Ηλιακής Ενέργειας σε Ηλεκτρική με Φωτοβολταϊκά Συστήματα, σελ.87-100 Εκδόσεις «ΙΩΝ».

- 13 Β. Περράκη, Νέες τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών στοιχείων, (2010) Πάτρα, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών.
- 14 Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, Φωτοβολταϊκά Συστήματα, (2007), σελ.86-92, Εκδόσεις ΖΗΤΗ.
- 15 Ολύμπιος Χ. Η τεχνική της καλλιέργειας των κηπευτικών στα θερμοκήπια, (2001) Αθήνα.
- 16 Ιστοσελίδα Επιστημονικού περιοδικού "Energy Point" (www.energypoint.gr).
- 17 Μαυρογιαννόπουλος, Ν. Γ. (2017) *Τεχνολογία Θερμοκηπίων: Μικροκλίμα, Κατασκευή, Υλικά, Εξοπλισμός*. UNIBOOKS. Αθήνα.
- 18 Σταμάτης Δ. Περδίας, “Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις”, ΤΕΚΔΟΤΙΚΗ, Αθήνα (2007)