

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



**Ανάπτυξη αλγορίθμου για την οικονομική απόδοση
φωτοβολταϊκού συστήματος τοποθετημένου σε στέγη και
δημιουργία διαδικτυακής εφαρμογής για τη χρήση του**

**Διπλωματική Εργασία
Βασιλούδης Θεόδωρος**

εξεταστική επιτροπή

Καθ. Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος (επιβλέπων)

Καθ. Σταυρακάκη Γεώργιος

Επ. καθ. Κουτρούλης Ευτύχιος

Χανιά 2011

Περίληψη

Το οικονομικό όφελος από την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων στις στέγες και την πώληση της παραγόμενης ενέργειας είναι μεγάλο, καθιστώντας την επένδυση αυτή πολύ δελεαστική για πολλές περιοχές της χώρας μας. Το μεγάλο πλήθος εναλλακτικών λύσεων από τις πολλές εταιρίες εγκατάστασής σε συνδυασμό και με την ελλιπή πολλές φορές πληροφόρηση των ενδιαφερομένων καθιστούν μεγάλη την ανάγκη ύπαρξης ενός συστήματος αξιολόγησης των επενδύσεων αυτών.

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε μία διαδικτυακή εφαρμογή η οποία αξιολογεί με τη χρήση χρηματοοικονομικών μεγεθών και μετεωρολογικών δεδομένων, τις επενδύσεις φωτοβολταϊκών συστημάτων σε στέγες. Έμφαση έχει δοθεί στην απλότητα χρήσης της εφαρμογής, αφού το μεγαλύτερο τμήμα των χρηστών της αναμένεται να μην είναι εξειδικευμένο τόσο στα τεχνικά όσο και στα οικονομικά θέματα.

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| Κεφάλαιο 1..... | 5 |
| Εισαγωγή..... | 5 |
| 1.1 Συνοπτική περιγραφή της εργασίας..... | 5 |
| 1.2 Διάρθρωση της εργασίας..... | 6 |
| Κεφάλαιο 2..... | 7 |
| Αναγκαίο γνωστικό αντικείμενο..... | 7 |
| 2.1 Ηλιακή ακτινοβολία..... | 7 |
| 2.1.1 Εισαγωγή..... | 7 |
| 2.1.2 Η διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα..... | 7 |
| 2.1.3 Οι ορισμοί της ηλιακής ακτινοβολίας και η μέτρησή της..... | 9 |
| 2.1.4 Οι γωνίες που καθορίζουν θέση ήλιου και επιφάνειας..... | 10 |
| 2.2 Φωτοβολταϊκά συστήματα..... | 11 |
| 2.2.1 Εισαγωγή..... | 11 |
| 2.2.2 Φωτοβολταϊκά πλαίσια..... | 11 |
| 2.2.3 Μετατροπείς (inverters)..... | 13 |
| 2.2.4 Βάσεις στήριξης..... | 15 |
| 2.3 Χρηματοοικονομική ανάλυση..... | 15 |
| 2.3.1 Εισαγωγή..... | 15 |
| 2.3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την αξία του χρήματος..... | 16 |
| 2.3.3 Άλλα οικονομικά μεγέθη..... | 17 |
| 2.3.4 Καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ)..... | 17 |
| 2.3.5 Χρόνος απόσβεσης..... | 18 |
| 2.3.6 Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης..... | 18 |
| Κεφάλαιο 3..... | 20 |
| Περιγραφή του προβλήματος..... | 20 |
| 3.1 Το πρόβλημα..... | 20 |
| 3.2 Στόχος μας..... | 21 |
| 3.3 Σχετικές εργασίες..... | 21 |
| 3.3.1 Εισαγωγή..... | 21 |
| 3.3.2 Μοντελοποίηση ηλιακής ακτινοβολίας..... | 22 |
| 3.3.3 Μοντελοποίηση φωτοβολταϊκού συστήματος..... | 22 |
| 3.3.4 Χρηματοοικονομικές μελέτες σε Φ.Σ..... | 22 |
| 3.3.5 Άλλες σχετικές εργασίες..... | 23 |
| Κεφάλαιο 4..... | 24 |
| Η δική μας προσέγγιση..... | 24 |
| 4.1 Εισαγωγή..... | 24 |
| 4.2 Το μοντέλο ακτινοβολίας..... | 24 |
| 4.2.1 Αλγόριθμος ακτινοβολίας εισόδου ημερήσιων μετρήσεων..... | 25 |
| 4.2.2 Αλγόριθμος ακτινοβολίας εισόδου ωριαίων μετρήσεων..... | 29 |
| 4.3 Το μοντέλο Φωτοβολταϊκού Συστήματος..... | 30 |
| 4.3.1 Εισαγωγή..... | 30 |
| 4.3.2 Μοντελοποίηση inverter..... | 30 |
| 4.3.3 Μοντελοποίηση πάνελ..... | 31 |
| 4.4 Το οικονομικό μοντέλο..... | 32 |

| | |
|--|----|
| Κεφάλαιο 5..... | 34 |
| Θέματα υλοποίησης..... | 34 |
| 5.1 Εισαγωγή..... | 34 |
| 5.2 Έλεγχος της ορθότητας των μοντέλων..... | 34 |
| 5.3 Βάση δεδομένων του συστήματος..... | 34 |
| 5.4 Ο αλγόριθμος του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης | 36 |
| 5.5 Στιγμιότυπα της εφαρμογής | 37 |
| Κεφάλαιο 6..... | 41 |
| Αποτελέσματα..... | 41 |
| 6.1 Σύνδεση του ίδιου συστήματος σε διαφορετικά έτη | 41 |
| 6.2 Μελέτη του ίδιου συστήματος για διαφορετικές γωνίες προσανατολισμού ως προς το Νότο..... | 45 |
| 6.3 Μελέτη της μεταβολής της απόδοσης συστήματος λόγω μεταβολής της κλίσης των πάνελ από τη βέλτιστη τιμή στο οριζόντιο επίπεδο για μία Νότια και μία Βόρεια περιοχή. | 48 |
| 6.4 Μελέτη της επίδρασης της ύπαρξης δανείου στην απόδοση της επένδυσης..... | 52 |
| 6.5 Μελέτη της διαφοράς που παρουσιάζουν στα αποτελέσματα τα δύο μοντέλα ακτινοβολίας | 54 |
| Κεφάλαιο 7..... | 56 |
| Συμπεράσματα μελλοντικές επεκτάσεις..... | 56 |
| Βιβλιογραφία | 57 |

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (Φ.Π.) και οι εφαρμογές τους είναι γνωστές εδώ και αρκετές δεκαετίες στους επιστήμονες και στους μηχανικούς. Στους επενδυτές έγιναν γνωστά όταν η τιμή της παραγόμενης kWh πλησίασε αρκετά αυτή των υδρογονανθράκων καθιστώντας την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά πάρκα μία οικονομικά συμφέρουσα επένδυση.

Για να συμβεί αυτό προηγήθηκε από τη μία η αύξηση της τιμής των υδρογονανθράκων και κυρίως του πετρελαίου και από την άλλη η αύξηση της απόδοσης των Φ.Π. Με ταυτόχρονη μείωση του κόστους παραγωγής τους. Το εναπομείναν χάσμα στο κόστος της παραγόμενης kWh μεταξύ του πετρελαίου και της φωτοβολταϊκής μετατροπής το επωμιζόταν αρκετά κράτη με διάφορες επιδοτήσεις ή με φοροαπαλλαγές προς τους επενδυτές.

Όλα τα παραπάνω συνέβαιναν βέβαια και στην Ελλάδα με μία χρονική καθυστέρηση όπως έχουμε συνηθίσει άλλωστε με όλες τις τεχνολογικές και οικονομικές εξελίξεις. Το οικονομικό ενδιαφέρον για επενδύσεις στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον ήλιο άρχισε να γίνεται έντονο στη χώρα μας μετά την απελευθέρωση της αγοράς από το κρατικό μονοπώλιο καθώς και τις δεσμεύσεις που ανέλαβε η χώρα μας όσον αφορά το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες μορφές ενέργειας. Οι παραπάνω λόγοι οδήγησαν στην ψήφισή σειράς νόμων που επέτρεπε σε ιδιώτες να εγκαταστήσουν φωτοβολταϊκά συστήματα και να διοχετεύουν (πουλούν) την παραγόμενη ενέργεια στους καταναλωτές μέσω της ΔΕΗ. Με τον τελευταίο νόμο (3851/10) δόθηκε περαιτέρω ώθηση στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων καθώς και μικρών συστημάτων (μικρότερων των 10 kW) στις στέγες σπιτιών ή μικρών επιχειρήσεων.

Και ενώ μέχρι στιγμής αποφάσεις για εφαρμογές φωτοβολταϊκών έπαιρναν μόνο ειδικοί δηλαδή μηχανικοί σε συνδυασμό με οικονομικούς αναλυτές τώρα καλούνται να πάρουν και άνθρωποι που μπορεί να μην έχουν καμιά σχέση με κανένα από τα δύο αντικείμενα.

Δημιουργείται έτσι η ανάγκη για την ύπαρξη ενός εργαλείου το οποίο θα μπορεί να αξιολογεί διάφορες εναλλακτικές επενδυτικές προτάσεις έτσι ώστε να μπορεί ο χρήστης να εντοπίσει την πιο συμφέρουσα για αυτόν.

1.1 Συνοπτική περιγραφή της εργασίας

Στην παρούσα εργασία αναπτύχθηκε ένα σύστημα το οποίο αξιολογεί τις υπό μελέτη επενδυτικές προτάσεις που μπορεί να έχει ένας ιδιώτης ή μία μικρή επιχείρηση για τη τοποθέτηση φωτοβολταϊκών σε στέγη. Για να γίνει η αξιολόγηση μίας επένδυσης χρειάζεται να υπολογιστούν σε γενικές γραμμές τρία μεγέθη. Το πρώτο είναι η ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει σε μία επιφάνεια οποιασδήποτε κλίσης κατά τη διάρκεια ενός χρόνου. Το δεύτερο είναι να υπολογιστεί η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από αυτό το σύστημα. Τέλος πρέπει να αντιστοιχίσουμε τις μονάδες ενέργειας σε χρηματικές και με αυτές να υπολογίσουμε τα χρηματοοικονομικά μεγέθη με τα οποία θα μπορέσουμε να αξιολογήσουμε την κάθε μία από τις πιθανές επενδυτικές προτάσεις. Πιο αναλυτικά για τον υπολογισμό της ηλιακής ενέργειας έχει υλοποιηθεί ένα μοντέλο ακτινοβολίας το οποίο δέχεται ως είσοδο είτε ωριαίες εντάσεις ηλιακής ακτινοβολίας

είτε ημερήσιες ποσότητες ενέργειες. Από τα παραπάνω δεδομένα εισόδου το μοντέλο αυτό υπολογίζει την ωριαία ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας για οποιαδήποτε κλίση και προσανατολισμού επιφάνεια. Από την ωριαία ένταση της ηλιακή ακτινοβολία υπολογίζεται (εκτιμάται) η προσπίπτουσα ετήσια ενέργεια που δέχεται το Φωτοβολταϊκό Σύστημα (Φ.Σ.). Αυτή είναι και η είσοδος του μοντέλου (υποσυστήματος) του Φ.Σ. στη μοντελοποίηση του οποίου έχει ληφθεί υπόψη η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η επίδραση της θερμοκρασίας καθώς και της γήρανσης των Φ.Π.. Η έξοδος του υποσυστήματος αυτού είναι η ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την οποία υπολογίζονται τα ετήσια έσοδα της επένδυσης. Οι χρηματικές ροές εσόδων (ετήσια έσοδα) είναι είσοδος του τελευταίου υποσυστήματος της εφαρμογής μαζί με άλλα χρηματικά μεγέθη όπως τον πληθωρισμό, το κόστος ευκαιρίας, το ύψος της επένδυσης κ.α..

Έξοδος του υποσυστήματος αυτού είναι χρηματοοικονομικά μεγέθη της καθαρής παρούσας αξίας (Κ.Π.Α.), του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης (Ε.Σ.Α.) καθώς και του χρόνου απόσβεσης. Το σύστημα υλοποιήθηκε ως μία διαδικτυακή εφαρμογή ώστε να μπορεί να είναι εύκολα προσβάσιμο. Η ανάπτυξη της εφαρμογής έγινε σε γλώσσα php, για τον έλεγχο της ορθότητας των εισόδων από τους χρήστες χρησιμοποιήθηκε η γλώσσα προγραμματισμού javascript. Τέλος τα τεχνικά χαρακτηριστικά των Φ.Π., των μετατροπέων (inverter) καθώς και των καιρικών δεδομένων αποθηκεύονται σε μία mysql βάση δεδομένων.

1.2 Διάρθρωση της εργασίας

Στο **2^ο κεφάλαιο** παρουσιάζεται εν συντομία το απαραίτητο γνωστικό αντικείμενο της εργασίας. Συγκεκριμένα αναλύεται η ηλιακή ακτινοβολία και οι τρόποι μέτρησης της. Έπειτα παρουσιάζονται τα Φ.Σ. και πιο συγκεκριμένα τα συστατικά τους μέρη και πώς αυτά επηρεάζουν την απόδοση του συστήματος. Τέλος γίνεται μία εισαγωγή στους χρηματοοικονομικούς όρους που χρησιμοποιούνται.

Στο **3^ο κεφάλαιο** γίνεται μια περιγραφή του προβλήματος ή της ανάγκης που έρχεται να καλύψει η συγκεκριμένη εργασία.

Το **4^ο κεφάλαιο** περιέχει τη προσέγγιση που επιλέχθηκε για την επίλυση του προβλήματος μας. Συγκεκριμένα αναλύεται το καιρικό μοντέλο και ειδικότερα πως αυτό έχοντας ως αφετηρία την εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία και μετρήσεις ηλιακής ενέργειας σε οριζόντια επιφάνεια καταλήγει στην ωριαία ηλιακή ενέργεια που δέχεται μια επιφάνεια οποιασδήποτε κλίσης και προσανατολισμού. Ακολουθεί η ανάλυση του τεχνικού μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση. Τέλος παρουσιάζονται οι χρηματοοικονομικοί όροι που επιλέχθηκαν καθώς και άλλες οικονομικές παραδοχές που έγιναν στο οικονομικό μοντέλο.

Στο **5^ο κεφάλαιο** παρουσιάζονται κάποια θέματα υλοποίησης που έχουν ενδιαφέρον.

Ενώ στο **6^ο κεφάλαιο** κάποια αποτελέσματα που προκύπτουν από το σύστημα για διάφορες περιοχές της Ελλάδας και διάφορα Φ.Σ..

Τέλος στο **7^ο κεφάλαιο** υπάρχουν κάποια συμπεράσματα σχετικά με την εργασία καθώς και προτάσεις για μελλοντικές βελτιώσεις.

Κεφάλαιο 2

Αναγκαίο γνωστικό αντικείμενο

2.1 Ηλιακή ακτινοβολία

2.1.1 Εισαγωγή

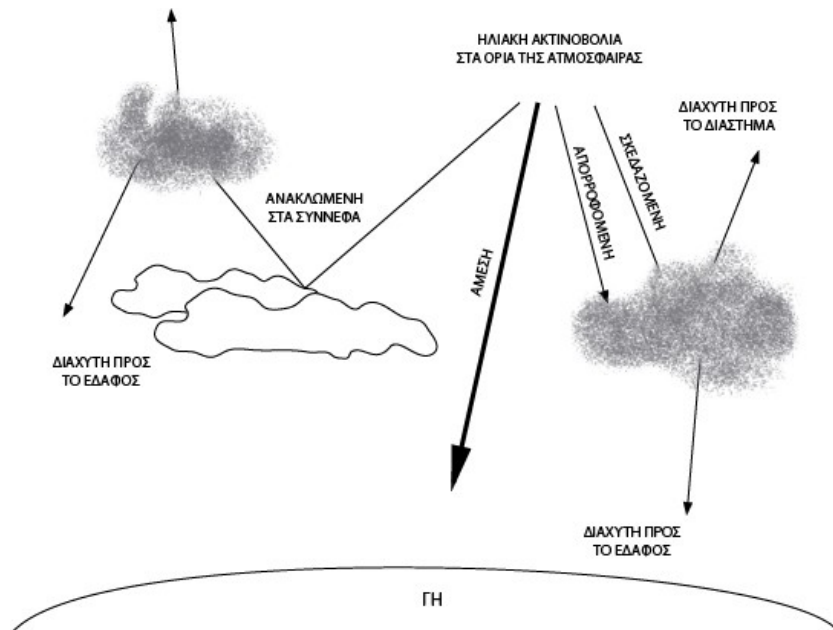
Ηλιακή ακτινοβολία είναι η ενέργεια που καταλήγει στη γη και προέρχεται από τον ήλιο. Η ενέργεια αυτή διαδίδεται στο σύμπαν με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αλλά και σωματιδίων. Η ακτινοβολία που καταλήγει στην επιφάνεια της γήινης ατμόσφαιρας μεταβάλλεται ελάχιστα σε σχέση με το χρόνο με τη μέγιστη τιμή της να είναι γύρω στα 1410 W/m^2 και την ελάχιστη στα 1320 W/m^2 , με τη μεταβολή αυτή να εξαρτάται κυρίως από την απόσταση γης ηλίου. Η μέση τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας ονομάζεται ηλιακή σταθερά και είναι ίση με 1367 W/m^2 και συμβολίζεται συνήθως με το G_{sc} . Από αυτή την ακτινοβολία ένα μέρος της καταφέρνει να περάσει την ατμόσφαιρα και να καταλήξει στην επιφάνεια της γης και από αυτό το τμήμα ένα ακόμη μικρότερο καταφέρνει να αξιοποιηθεί από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία και να έχουμε τελικά παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Η μείωση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας που συντελείται σε αυτή μέχρι να φτάσει στην επιφάνεια της γης οφείλεται στην απορρόφησή της από τα διάφορα σωματίδια της ατμόσφαιρας.

2.1.2 Η διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα

Καθώς η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται στην ατμόσφαιρα τα φωτόνια προσπίπτουν σε διάφορα σωματίδια τα οποία βρίσκονται σε αυτήν όπως υδρατμούς, σκόνη, καπνό ή μόρια της με αποτέλεσμα να έχουμε σκέδαση του φωτός. Αυτό το φαινόμενο οδηγεί ένα μέρος της ακτινοβολίας πίσω στο διάστημα, ένα μέρος απορροφάται από διάφορα σωματίδια της ατμόσφαιρας και ένα άλλο κομμάτι φτάνει στη γήινη επιφάνεια.

Το κομμάτι που καταλήγει τελικά στην επιφάνεια διαχωρίζεται σε τρία τμήματα, ανάλογα με την πορεία που ακολούθησε για να φτάσει σε αυτήν. Έτσι η ακτινοβολία διαχωρίζεται σε :

- άμεση I_b (beam ή direct), η οποία είναι αυτή που έρχεται απευθείας από τον ήλιο
- διάχυτη I_d (diffuse), η οποία είναι αυτή της οποίας η πορεία έχει αλλάξει εξαιτίας της ατμόσφαιρας
- διάχυτη ανακλώμενη από το έδαφος η οποία ονομάζεται και albedo .

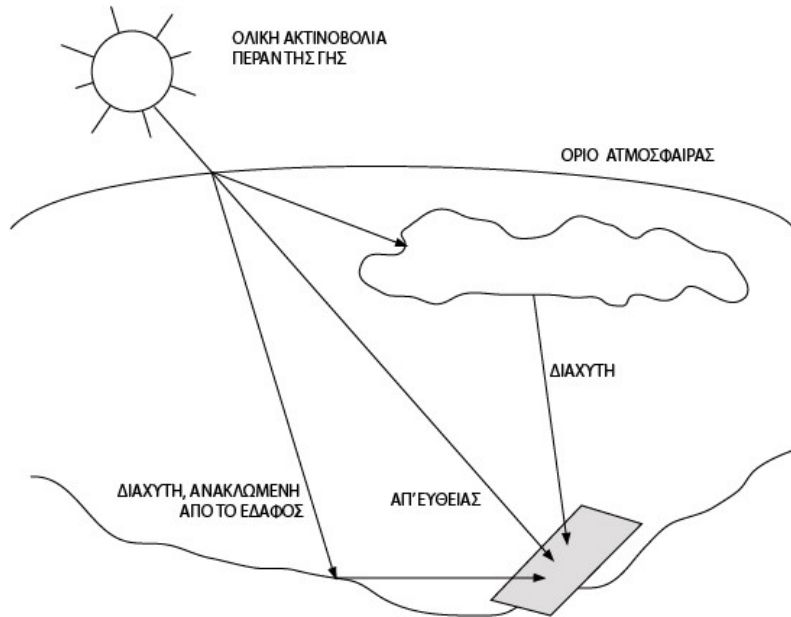


Σχήμα 2.1 Η ανάλυση της ηλιακής ακτινοβολίας όταν αυτή διαπερνά την ατμόσφαιρα

Από τα παραπάνω μπορεί να αντιληφθεί κανείς πως η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα σημείο της γης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες με τους σημαντικότερους από αυτούς τη νεφοκάλυψη, την ύπαρξη άλλων σωματιδίων, το υψόμετρο της επιφάνειας, την ανακλαστικότητα του εδάφους καθώς και τη γωνία πρόσπτωσης.

Η τελευταία παράμετρος είναι αρκετά σημαντική για τον καθορισμό της έντασης της ακτινοβολίας μιας που καθορίζει την απόσταση που θα διανύσουν τα φωτόνια μέσα στην ατμόσφαιρα. Έτσι η απόσταση αυτή ονομάζεται μάζα αέρα AM (air mass) και δίνεται από τον τύπο

$$AM = \frac{1}{\cos z} \quad (2.1)$$



Σχήμα 2.2 Τα τρία συστατικά μέρη της ακτινοβολίας που καταλήγουν σε μια επιφάνεια

2.1.3 Οι ορισμοί της ηλιακής ακτινοβολίας και η μέτρησή της

Αξίζει εδώ να δοθούν κάποιιοι ορισμοί όσων αφορά την ηλιακή ακτινοβολία.

Δυστυχώς η χρήση του όρου ακτινοβολία στην ελληνική γλώσσα χρησιμοποιείται εξίσου για την δήλωση τόσο της έντασής της, όσο και για την μεταφερόμενη από αυτήν ενέργεια μέσα σε ένα χρονικό διάστημα δημιουργώντας πολλές φορές σύγχυση.

- **Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας** I (Irradiance) είναι η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας και μετράται σε W/m^2
- **Ενέργεια ηλιακής ακτινοβολίας** E (Irradiation) είναι η ενέργεια που προσπίπτει σε μια μονάδα επιφάνειας σε ένα χρονικό διάστημα, και μετράται συνήθως ως J/m^2

Τα όργανα τα οποία χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι το πυρανόμετρο και το πυρηλιόμετρο.

Το **πυρανόμετρο** είναι το πιο διαδεδομένο από τα δύο και χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας από ολόκληρο τον ουράνιο θόλο.

Το **πυρηλιόμετρο** από την άλλη είναι ένα όργανο το οποίο μετρά την ηλιακή ακτινοβολία που προέρχεται από ένα μόνο μικρό κομμάτι του ουρανού και με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να μετρήσουμε την άμεσα προερχόμενη από τον ήλιο ακτινοβολία.

Τα περισσότερα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας προέρχονται από πυρανόμετρα και αφορούν τη συνολική ακτινοβολία μιας οριζόντιας επιφάνειας. Τα όργανα αυτά λαμβάνουν μετρήσεις έντασης ηλιακής ακτινοβολίας σε τακτά χρονικά διάστημα, αποθηκεύοντας τις μετρήσεις τους αυτές σε αρχεία μετεωρολογικών δεδομένων.

Οι πιο ευρέως διαδεδομένοι τύποι μετεωρολογικών δεδομένων είναι αυτοί των ημερήσιων και των ωριαίων ενεργειών ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτός των ημερήσιων είναι ένα πίνακας με 365 τιμές, όσες και οι ημέρες του έτους. Ο δε των ωριαίων είναι ένας πίνακας με τη μία πλευρά αποτελούμενη από 365 στοιχεία και την άλλη από 24.

Έχοντας ως δεδομένα εισόδου αυτά τα αρχεία μετεωρολογικών δεδομένων αναπτύχθηκαν διάφορα μοντέλα ηλιοφάνειας τα οποία μπορούν να υπολογίσουν τη διάχυτη και ολική ακτινοβολία που δέχεται μία επιφάνεια οποιασδήποτε κλίσης και προσανατολισμού. Μερικά από τα οποία θα αναπτυχθούν περαιτέρω στη συνέχεια της παρούσας εργασίας.

2.1.4 Οι γωνίες που καθορίζουν θέση ήλιου και επιφάνειας

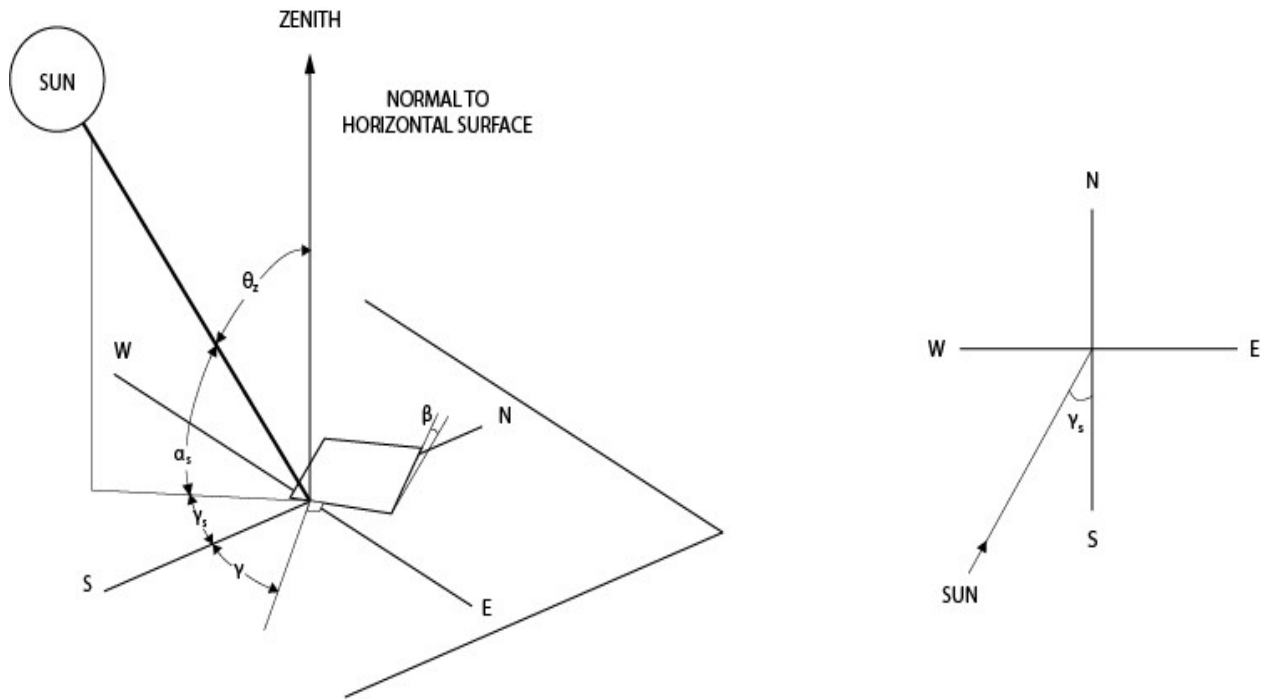
Η θέση του ηλίου στον ουράνιο θόλο καθορίζεται από έναν αριθμό από γωνίες με αντίστοιχο τρόπο καθορίζεται η θέση, ο προσανατολισμός και η κλίση των επιφανειών πάνω στη γη. Μονάδα μέτρησης για όλες τις παρακάτω γωνίες είναι οι μοίρες ($^{\circ}$).

Οι γωνίες που σχετίζονται με τη θέση του ηλίου είναι:

- **Γωνία αζιμούθιου** γ_s είναι η γωνία που σχηματίζει η προβολή του ηλίου στην επιφάνεια της γης με το νότο.
- **Γωνία Ζενίθ** θ_z είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της καθέτου από τη γη και τον ήλιο.
- **Γωνία πρόσπτωσης** θ είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της καθέτου της επιφάνειας και της άμεσης ακτινοβολίας. Ο ρόλος της γωνίας πρόσπτωσης είναι πολύ σημαντικός για τις εφαρμογές Φ.Σ. Ουσιαστικά μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης καθιστούν την ηλιακή ενέργεια μη εκμεταλλεύσιμη από τα Φ.Π..
- **Γωνία ύψους του ηλίου** α_s είναι η γωνία που σχηματίζει η ευθεία που ενώνει τον ήλιο με την οριζόντια επιφάνεια της γης.
- **Γωνιακή ώρα** ω είναι η γωνιακή μετατόπιση του ηλίου δυτικά ή ανατολικά του τοπικού μεσημβρινού κατά τη διάρκεια της περιστροφής της γης γύρω από τον άξονά της. Οι τιμές της είναι θετικές κατά της απογευματινές ώρες και αρνητικές τις πρωινές ενώ μεταβάλλονται κατά 15° για κάθε ώρα.

Οι γωνίες που καθορίζουν τον προσανατολισμό της επιφάνειας, την κλίση της και τη θέση της είναι:

- **Κλίση** β είναι η κλίση της επιφάνειας σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο
- **Γωνία αζιμουθίου** γ (επιφάνειας) είναι η γωνία που σχηματίζεται από την προβολή σε οριζόντιο επίπεδο της καθέτου επί της επιφάνειας με τη διεύθυνση του Νότου. Ορίζεται από 180° έως -180° και έχει θετικές τιμές όταν βρίσκεται προς τα δυτικά και αρνητικές προς τα ανατολικά.
- **Γεωγραφικό πλάτος** Φ είναι η γωνιακή θέση του σημείου βόρεια ή νότια του ισημερινού.
- **Γωνία ηλιακής απόκλισης** δ είναι η γωνιακή θέση του ήλιου κατά το ηλιακό μεσημέρι ως προς το ισημερινό επίπεδο.



Σχήμα 2.3 Γωνίες ήλιου επιφάνειας

2.2 Φωτοβολταϊκά συστήματα

2.2.1 Εισαγωγή

Μία φωτοβολταϊκή εγκατάσταση που δεν έχει ως στόχο της και την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή είναι διασυνδεδεμένη στο ηλεκτρικό δίκτυο, αποτελείται από 3 συστατικά μέρη. Αυτά είναι το φωτοβολταϊκό πλαίσιο, ο μετατροπέας (inverter) και οι βάσεις στήριξης.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια είναι οι διατάξεις οι οποίες μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Επειδή η τάση που έχουν σαν έξοδο τα Φ.Π. είναι συνεχής χρησιμοποιούμε άλλη μία διάταξη, μετατροπέας (inverter) ο οποίος μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο έτσι ώστε αυτό να μπορέσει να διοχετευτεί στο ηλεκτρικό δίκτυο.

2.2.2 Φωτοβολταϊκά πλαίσια

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια αποτελούνται από φωτοβολταϊκά στοιχεία (ΦΒ στοιχεία) συνδεδεμένα παράλληλα και σε σειρά ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα στο ρεύμα και την τάση εξόδου τους όταν αυτά δέχονται ηλιακή ακτινοβολία. Τα ΦΒ στοιχεία είναι διατάξεις ημιαγωγών οι

οποίες εκμεταλλεύονται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο για να παράξουν ηλεκτρική τάση στους ακροδέκτες τους.

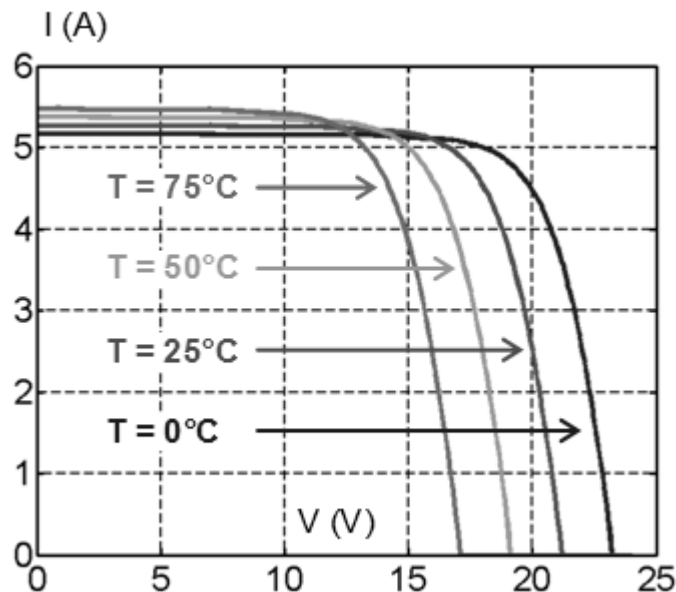
Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των Φ.Π. τα οποία θα μας απασχολήσουν και τα οποία σχετίζονται με την πρόβλεψη της παραγόμενης ενέργειας που έχει ένα Φ.Σ. είναι :

- Ο **βαθμός απόδοσης** (η_{π}) ο οποίος ισούται με το πηλίκο της ισχύς του παραγόμενου ρεύματος (P_E) προς την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο συλλέκτη (P_{idt}).

$$\eta_{\pi} = \frac{P_E}{P_{idt}} \quad (2.2)$$

Ο βαθμός απόδοσης ενός πλαισίου δεν παραμένει σταθερός σε όλες τις συνθήκες λειτουργίας του πλαισίου (ένταση ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασία λειτουργίας) αλλά μεταβάλλεται. Η μεταβολή της απόδοσης σε σχέση με την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μικρή. Τυπικές τιμές της για πλαίσια μονοκρυσταλλικού πυριτίου είναι 2-5% όταν η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μεταβάλλεται από 1000 σε 200 W/m^2 . Η μεταβολή της απόδοσης σε σχέση με τη θερμοκρασία λειτουργίας του πλαισίου είναι εντονότερη και δίνεται από το θερμικό συντελεστή της απόδοσης.

- **Θερμικός συντελεστής απόδοσης** n_{coef} είναι ο συντελεστής που δίνει τη ποσοστιαία μείωση της απόδοσης (STC συνθήκες) για κάθε βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας λειτουργίας του πλαισίου από τους 25°C.



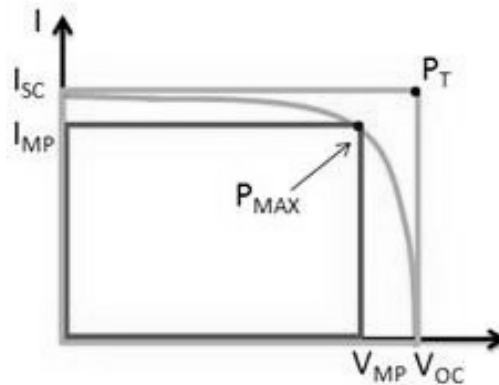
Σχήμα 2.4 Επίδραση της θερμοκρασίας στη μείωση της απόδοσης των πάνελ

- Η **μέγιστη ισχύς** (P_{max}) που είναι η ισχύς εξόδου όταν το Φ.Π. λειτουργεί σε τυπικές συνθήκες (STC). Στις τυπικές συνθήκες η προσπίπτουσα ακτινοβολία έχει τιμή 1000 W/m^2 και η θερμοκρασία πλαισίου είναι 25°C .
- Ο **Συντελεστής πλήρωσης** (fill factor) ορίζεται ως το πηλίκο :

$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (2.3)$$

όπου το (I_m, V_m) είναι το σημείο λειτουργίας του Φ.Π. Με τη μέγιστη ισχύ εξόδου του, I_{sc} είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης και V_{oc} η τάση ανοιχτού κυκλώματος. Οι τιμές του FF κυμαίνονται από 0,7 έως 0,8. Μία καλή προσέγγιση του μπορούμε να πάρουμε από τον παρακάτω τύπο :

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0,72)}{(V_{oc} + 1)} \quad (2.4)$$



Σχήμα 2.5 Η χαρακτηριστική καμπύλη IV ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου

Σχηματικά ο συντελεστής πλήρωσης υπολογίζεται ως ο λόγος του εμβαδού του ορθογωνίου που σχηματίζεται από το I_{sc} και V_{oc} προς το εμβαδόν του ορθογωνίου που δημιουργείται από τα I_m και V_m . Όσο πιο “απότομη” η χαρακτηριστική καμπύλη ενός Φ.Π. τόσο πιο κοντά στη μονάδα είναι η τιμή το συντελεστή FF.

2.2.3 Μετατροπείς (inverters)

Οι σύγχρονοι inverters εκτός της μετατροπής του συνεχούς ρεύματος σε εναλλασσόμενο περιέχουν και άλλες ηλεκτρονικές διατάξεις οι οποίες είναι απαραίτητες για την αποδοτική λειτουργία ενός Φ.Σ.. Μία από αυτές τις διατάξεις είναι ο MPP tracker που είναι ένα κύκλωμα το οποίο ρυθμίζει την τάση και το ρεύμα του Φ.Σ. με σκοπό αυτό να λειτουργεί στο μέγιστο σημείο ισχύς του (MPP). Με αυτή τη λειτουργία η ενεργειακή συγκομιδή από το Φ.Σ. είναι η βέλτιστη

δυνατή. Μία άλλη διάταξη που πολλοί inverters ενσωματώνουν είναι αυτή του καταγραφικού της παραγόμενης ενέργειας.

Οι inverters κατατάσσονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το είδος της παροχής με το οποίο μπορούν να συνδεθούν στο ηλεκτρικό δίκτυο. Έτσι διακρίνονται σε μονοφασικούς και τριφασικούς. Για τις φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις στις στέγες μεγαλύτερες των 5kW peak η σύνδεση με το δίκτυο πρέπει να είναι τριφασική.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τα οποία συναντάμε σε έναν inverter και τα οποία θα μας απασχολήσουν είναι τα εξής :

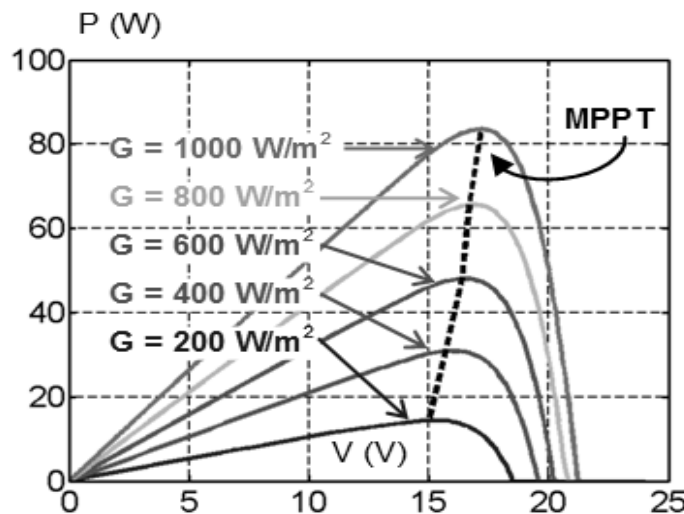
- Ο **τρόπος σύνδεσής** του με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η **απόδοσή** (n_{inv}) του μετατροπέα όπου μετράται ποσοστιαία και δείχνει το πόσο αποτελεσματικά μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο.

Η απόδοση ισούται με
$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\% \quad (2.5)$$

- Η **απόδοση euro** (n_{eu}) είναι μία πιο σημαντική μέτρηση της απόδοσης ενός inverter η οποία αντανακλά καλύτερα συμπεριφορά του στην καθημερινή μεταβολή του φορτίου. Η μέθοδος χρησιμοποιεί βάρη για διαφορετικά σημεία λειτουργίας του inverter.
- Η **μέγιστη ισχύς λειτουργίας** του inverter είναι η μέγιστη τάση εισόδου που μπορεί να δεχτεί χωρίς να πάθει κάποια βλάβη.
- Η **απόδοση του MPP tracker** n_{MPPT} η οποία δείχνει το πόσο αποδοτικά μεταφέρεται το σύστημα στο σημείο μέγιστης απόδοσης. η πληροφορία αυτή πολλές φορές δεν αναγράφεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά ενός inverter.

Ισχύει ότι :

$$n_{total} = n_{eu} \cdot n_{MPPT} \quad (2.6)$$



Σχήμα 2.6 Η καμπύλη IV για διαφορετικές τιμές ακτινοβολίας μετακίνηση του σημείου μέγιστης ισχύος

Στο παραπάνω σχήμα γίνεται κατανοητή η λειτουργία του MPPT ο οποίος μετατοπίζει το σημείο λειτουργίας του συστήματος ώστε αυτό να βρίσκεται πάντα στο σημείο μέγιστης ισχύος του. Η απόδοση του MPP tracker αντιστοιχεί στο πόσο γρήγορα αντιλαμβάνεται τις αλλαγές των συνθηκών ηλιοφάνειας και μετατοπίζει το σημείο λειτουργίας του συστήματος.

2.2.4 Βάσεις στήριξης

Ο νόμος για τα μικρά Φ.Σ. μέχρι 10kWp τα οποία προορίζονται να εγκατασταθούν για λογαριασμό ιδιωτών ή μικρών επιχειρήσεων, καθορίζει πως τα μόνα επιτρεπτά σημεία εγκατάστασης είναι τα δώματα, οι στέγες καθώς και στα στέγαστρα των βεραντών. Τα παραπάνω επιβάλλουν τη χρήση σταθερών συστημάτων στήριξης των Φ.Π., αφού οποιοδήποτε σύστημα παρακολούθησης της κίνησης του ηλίου θα πρόσθετε μεγάλο βάρος στο σκελετό του κτίριο. Ο λόγος τους βάρους επιβάλλει επίσης τη χρήση έτοιμων βάσεων στήριξης οι οποίες απλά συνδέονται με το κτίριο και οι οποίες είναι συνήθως κατασκευασμένες από αλουμίνιο.

Τις βάσεις σταθερής στήριξης μπορούμε να τις διακρίνουμε σε δύο κατηγορίες αυτές που ενσωματώνονται στο κτίριο και αυτές που τοποθετούνται στα δώματα των κτιρίων.

Οι πρώτες έχουν κλίση ίση με την κλίση της επιφάνειας στην οποία τοποθετούνται. Οι δεύτερες έρχονται από το εργοστάσιο σε προκαθορισμένες κλίσεις. Πολλές φορές υπάρχει και η δυνατότητα καθορισμού της επιθυμητής κλίσης κατά την παραγγελία.

Η κλίση που επιλέγουμε να έχουν τα Φ.Π. και κατά συνέπεια οι βάσεις στήριξης είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής μας ώστε να έχουμε βέλτιστη ετήσια παραγωγή ενέργειας. Ο προσανατολισμός επιλέγεται να είναι νότιος για τον ίδιο λόγο. Πολλές φορές επιλέγεται η κλίση της επιφάνειας τοποθέτησης αντί της βέλτιστης όταν η εγκατάσταση γίνεται στη στέγη κτιρίων. Οι αποκλίσεις σε αυτές τις περιπτώσεις, σε σχέση με τις βέλτιστες δεν είναι μεγάλες αν ο προσανατολισμός των Φ.Π. κρατηθεί νότιος ή σχεδόν νότιος. Τέλος ένα άλλο τεχνικό χαρακτηριστικό που πρέπει να προσεχθεί είναι αυτό της αντοχής των βάσεων στήριξης το οποίο μετράται σε σχέση με τη μέγιστη ταχύτητα ανέμου.

2.3 Χρηματοοικονομική ανάλυση

2.3.1 Εισαγωγή

Για την αξιολόγηση των επενδύσεων η χρηματοοικονομική επιστήμη έχει αναπτύξει διάφορες μεθόδους. Οι ποίο αξιόπιστες από αυτές λαμβάνουν υπόψη τους, εκτός των άλλων στοιχείων της επένδυσης και τη διαχρονική αξία του χρήματος. Η διαχρονική αξία του χρήματος δεν είναι τίποτα άλλο από τη διαφορετική πραγματική αξία που αυτό έχει κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος. Δυο είναι οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαχρονική αξία του χρήματος πλην του χρόνου και αυτοί είναι ο πληθωρισμός και το κόστος κεφαλαίου. Ο τρόπος με τον οποίο επιδρούν στην μελλοντική αξία του χρήματος είναι αντίθετος, με αποτέλεσμα ο πληθωρισμός να τείνει να μειώσει τη πραγματική αξία του χρήματος μειώνοντας την αγοραστική

του δύναμη, ενώ το κόστος ευκαιρίας τείνει να αυξήσει την αγοραστική του αξία με την πάροδο του χρόνου. Εξαιτίας της διαφορετικής αξίας που το χρήμα έχει ως προς το χρόνο για να μπορέσουμε να συγκρίνουμε δύο επενδύσεις οι οποίες έχουν διαφορετικά κόστη, αποφέρουν διαφορετικά κέρδη σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα πρέπει να αναγάγουμε όλες τις χρηματικές μονάδες σε μία βάση αναφοράς η οποία συνήθως επιλέγεται να είναι το σήμερα.

2.3.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την αξία του χρήματος

- **Πληθωρισμός** είναι η σταδιακή αύξηση της αξίας των προϊόντων (υλικά ή υπηρεσίες) με την πάροδο του χρόνου. Για λόγους ευκολίας ο πληθωρισμός αναφέρεται ανά έτος και μετράται ποσοστιαία. Για να αντιληφθούμε πως ο πληθωρισμός επηρεάζει μια επένδυση ας υποθέσουμε πως πραγματοποιούμε μία επένδυση σε μία οικονομία η οποία έχει πληθωρισμό της τάξης του 5% και πως η επένδυση μας έχει απόδοση επίσης 5%. Πολύ εύκολα μπορεί να αντιληφθεί κάποιος πως το μόνο που θα έχουμε καταφέρει μετά το πέρας ενός χρόνου είναι να έχουμε διατηρήσει την αγοραστική αξία των χρημάτων μας χωρίς να έχουμε πραγματοποιήσει κάποιο κέρδος.
- **Κόστος κεφαλαίου** είναι ο ελάχιστος συντελεστής απόδοσης τον οποίο πρέπει να εξασφαλίζει ο επενδυτής κατά την τοποθέτηση των χρημάτων του ανάμεσα στις διάφορες εναλλακτικές επενδύσεις. Για να κατανοήσουμε το πως το κόστος κεφαλαίου επηρεάζει την διαχρονική αξία του χρήματος ας υποθέσουμε την απλοποιημένη περίπτωση όπου διαθέτουμε 100 ευρώ προς επένδυση και μόνη επενδυτική ευκαιρία την κατάθεση σε έναν λογαριασμό ταμιευτηρίου με ετήσιο επιτόκιο 10%. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα το διαθέσιμο μας κεφάλαιο μετά την πάροδο ενός χρόνου να είναι 110 ευρώ ή με άλλα λόγια τα 100 ευρώ του σήμερα να ισοδυναμούν με 110 ευρώ τον επόμενο χρόνο. Σκεπτόμενοι αντίστροφα τώρα τα 110 του επόμενου έτους αντιστοιχούν σε 100 του τρέχοντος, δηλαδή μία μελλοντική είσπραξη των 110 ευρώ είναι ισοδύναμη με μία σημερινή των 100. Το κόστος ευκαιρίας μπορούμε να το θεωρήσουμε ισοδύναμο με τα επιτόκια καταθέσεων αφού αυτά παρέχουν εξασφαλισμένη απόδοση.

Το κόστος κεφαλαίου που στο εξής θα το θεωρούμε ισοδύναμο με τα ονομαστικά επιτόκια και ο πληθωρισμός είναι δύο οικονομικοί παράγοντες που επιδρούν αντίθετα στη διαχρονική αξία του χρήματος. Ο συνδυασμός αυτών των δύο παραγόντων είναι απαραίτητος για τον ορθό υπολογισμό των χρηματοοικονομικών μεγεθών της καθαρής παρούσας αξίας (Κ.Π.Α.) και του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης (Ε.Σ.Α). Για τον υπολογισμό των πραγματικών (αποπληθωριστικών) επιτοκίων χρησιμοποιούμε τον τύπο:

$$\frac{1 + \varepsilon_o}{1 + \pi} = 1 + \varepsilon_\pi \quad (2.7)$$

με

ε_o : το ονομαστικό επιτόκιο

π : τον πληθωρισμό

ε_π : το πραγματικό επιτόκιο

προσεγγιστικά το πραγματικό επιτόκιο μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω εξίσωση :

$$\varepsilon_{\pi} = \varepsilon_o - \pi \quad (2.8)$$

2.3.3 Άλλα οικονομικά μεγέθη

- **Οι χρονικές ροές** είναι ετήσιες ροές χρημάτων οι οποίες επαναλαμβάνονται για έναν ορισμένο αριθμό ετών. Οι χρονικές ροές μπορεί να είναι εισροές οπότε έχουμε μεταφορά χρημάτων προς την εταιρία ή τον ιδιώτη ή εκροές όταν οι χρηματικές ροές αποτελούν πληρωμές. Είναι δυνατόν να υπολογίσουμε τη μελλοντική αξία μίας χρονικής ροής από τον ακόλουθο τύπο:

$$MA = P \cdot \left[\frac{(1 + \varepsilon)^v - 1}{\varepsilon} \right] \quad (2.9)$$

με

- P : η χρονική ροή
- ε : το επιτόκιο
- v : τη χρονική διάρκεια της ροής

- **Δάνεια σταθερού επιτοκίου** είναι δάνεια των οποίων το επιτόκιο δανεισμού παραμένει σταθερό καθ όλη τη διάρκεια αποπληρωμής τους. Μπορούν να θεωρηθούν ως μία χρονική ροή εξόδου. Η μηνιαία καταβαλλόμενη δόση μπορεί να υπολογιστεί από την παρακάτω μαθηματική σχέση :

$$ΜΠ = \left[\varepsilon_{\delta} + \frac{\varepsilon_{\delta}}{(1 + \varepsilon_{\delta})^{\mu} - 1} \right] \cdot \Delta K \quad (2.10)$$

με

- $ΜΠ$: συμβολίζεται η μηνιαία πληρωμή
- ε_{δ} : το επιτόκιο δανεισμού
- μ : η διάρκεια του δανείου σε μήνες
- ΔK : το δανεισμένο κεφάλαιο

2.3.4 Καθαρή παρούσα αξία (ΚΠΑ)

Η μέθοδος της καθαρής παρούσας αξίας είναι απλή στη σύλληψη και την εφαρμογή της. Συγκρίνει τις ταμιακές ροές που αναμένουμε να έχουμε από την επένδυση με το κόστος της επένδυσης. Τις δε ταμιακές ροές τις αναγάγουμε πρώτα σε ένα χρονικό σημείο αναφοράς το οποίο είναι συνήθως ίδιο με το χρονικό σημείο όπου πραγματοποιείται η επένδυση.

Έτσι ο τύπος που δίνει την ΚΠΑ είναι :

$$ΚΠΑ = \sum_{i=0}^n \left[\frac{E_i}{(1+k)^i} \right] - \sum_{i=0}^n \left[\frac{A_i}{(1+k)^i} \right] - A_0 \quad (2.11)$$

με

- n : τον χρονικό ορίζοντα της επένδυσης σε έτη
- k : το κόστος κεφαλαίου
- E_i : ετήσιες χρηματικές εισροές
- A_i : ετήσιες χρηματικές εκροές
- A_0 : το ποσό της επένδυσης

Η ΚΠΑ είναι εκφρασμένη σε μονάδες χρήματος (στην προκειμένη περίπτωση σε ευρώ) αυτό διευκολύνει τη σύγκριση της με το κόστος της επένδυσης. Βασικές προϋποθέσεις για να μας δώσει ορθά αποτελέσματα το κριτήριο της ΚΠΑ είναι, να επανεπενδύονται με το ίδιο κόστος κεφαλαίου οι ενδιάμεσες χρηματικές ροές καθώς και να παραμένει σταθερό το κόστος κεφαλαίου καθ' όλη τη διάρκεια της επένδυσης (στην προκειμένη περίπτωση την 25ετήια). Συγκρίνοντας δύο πιθανές επενδύσεις ως προς το κριτήριο της ΚΠΑ επιλέγουμε αυτήν με τη μεγαλύτερη τιμή η οποία πρέπει παράλληλα να είναι και μεγαλύτερη του μηδενός. Επενδύσεις με μηδενική ή αρνητική ΚΠΑ γίνονται δεκτές μόνο όταν αποτελούν μέρος στρατηγικών επενδύσεων των εταιριών ή επενδύσεων που αποσκοπούν στην απόκτηση τεχνογνωσίας.

2.3.5 Χρόνος απόσβεσης

Χρόνος απόσβεσης μίας επένδυσης είναι άλλη μία μέθοδος που χρησιμοποιείται προκειμένου να αξιολογηθεί μία επένδυση. Ο χρόνος απόσβεσης συνυπολογίζει την διαχρονική αξία του χρήματος αν υπολογίζεται μέσω της μεθόδου της ΚΠΑ. Έτσι ως χρόνος απόσβεσης ορίζεται η χρονική στιγμή κατά την οποία ισχύει ότι ΚΠΑ = 0.

Με άλλα λόγια χρόνος απόσβεσης είναι ο χρόνος που απαιτείται μέχρι τα έσοδα από μία επένδυση να καλύψουν τα έξοδα της επένδυσης. Μεταξύ δύο επενδύσεων που έχουν την ίδια ΚΠΑ επιλέγουμε αυτήν με το μικρότερο χρόνο απόσβεσης γιατί έτσι έχουμε μικρότερο ρίσκο.

2.3.6 Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης

Στις παραπάνω μεθόδους για να αξιολογήσουμε τις δυνατές επενδύσεις χρησιμοποιήσαμε εκτός από τις ταμιακές ροές και το κόστος της επένδυσης το κόστος κεφαλαίου. Πολλές φορές ο προσδιορισμός του κόστους κεφαλαίου είναι δύσκολος ή εγκυμονεί λάθη. Μία μέθοδος που ξεπερνά αυτές τις αδυναμίες είναι αυτή του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης (ΕΣΑ) ο οποίος προκύπτει από τον τύπο :

$$\sum_{i=0}^n \left[\frac{E_i}{(1+k)^i} \right] - \sum_{i=0}^n \left[\frac{A_i}{(1+k)^i} \right] - A_0 = 0 \quad (2.12)$$

τον οποίο και λύνουμε ως προς k το οποίο είναι και ο ΕΣΑ.

Όταν οι χρονικές εισροές και εκροές δεν είναι σταθερές κατά τη διάρκεια της επένδυσης αλλά μεταβάλλονται τότε οι υπολογισμοί του ΕΣΑ γίνονται σχετικά επίπονοι. Έναν υπολογισμό του ΕΣΑ μπορούμε να πάρουμε από τη μέθοδο της παρεμβολής η οποία θα αναπτυχθεί αναλυτικά μαζί με τα θέματα υλοποίησης της εργασίας.

Επιλέγοντας μία επένδυση ως προς το κριτήριο του ΕΣΑ θα επιλέξουμε αυτή με τη μεγαλύτερη τιμή.

Συγκρίνοντας τον ΕΣΑ με τη ΚΠΑ ως προς την πληροφόρηση που μας παρέχουν για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις επενδύσεις, να αναφέρουμε ότι και τα δύο κριτήρια εκφράζουν τη διαχρονική αξία του χρήματος αφενός. Αφετέρου όμως ο ΕΣΑ δεν απαιτεί τη γνώση του κόστους κεφαλαίου ούτε προϋποθέτει την ύπαρξη σταθερής τιμής για αυτό καθ' όλη τη διάρκεια της επένδυσης. Το παραπάνω γεγονός κάνει το δείκτη του ΕΣΑ ποίο αξιόπιστο σε χρονικές περιόδους όπου το κόστος κεφαλαίου μεταβάλλεται.

Κεφάλαιο 3

Περιγραφή του προβλήματος

3.1 Το πρόβλημα

Με τον τελευταίο νόμο για τα Φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν απλοποιηθεί αρκετά οι διαδικασίες αδειοδότησης και διασύνδεσης των μικρών Φ.Σ.. Το παραπάνω σε συνδυασμό και με την αρκετά ευνοϊκή τιμή πώλησης της παραγόμενης kWh έχουν καταστήσει την επένδυση σε ένα μικρό Φ.Σ. μία αρκετά ελκυστική επιλογή για πολλούς. Όλα αυτά έχουν οδηγήσει στη δημιουργία ενός μεγάλου αριθμού εταιριών οι οποίες έχουν ως αντικείμενο δραστηριότητας την εμπορία και εγκατάσταση Φ.Σ.. Συνήθως η κάθε μία από αυτές τις εταιρίες αντιπροσωπεύει και έναν με δύο κατασκευαστές Φ.Π. καθώς και κατασκευαστές inverter, με αποτέλεσμα όταν ένας ενδιαφερόμενος απευθυνθεί σε αυτές για την εγκατάσταση ενός Φ.Σ. αυτές να του παρέχουν συγκεκριμένους συνδυασμούς πάνελ, inverter οι οποίοι στη γλώσσα των αγοράς αναφέρονται ως προσφορές. Τα παραπάνω κάνουν την επιλογή του καταλληλότερου Φ.Σ., δηλαδή αυτού που θα αποφέρει τα περισσότερα κέρδη μία πολύ δύσκολη υπόθεση για τον ενδιαφερόμενο. Αφού οι μεγάλες διαφορές στο κόστος αγοράς των πλαισίων και μετατροπέων κυρίως, καθώς και τα διαφορετικά τεχνικά χαρακτηριστικά που αυτά έχουν οδηγούν σε μεγάλες αποκλίσεις στο αναμενόμενο κέρδος που μπορεί να έχουμε στην διάρκεια των 25 χρόνων. Από την άλλη δεν απαιτούνται πολύπλοκοι αλγόριθμοι βελτιστοποίησης των χρηματοοικονομικών συντελεστών, αφού οι διαθέσιμοι συνδυασμοί πλαισίων, μετατροπέων καθώς και βάσεων είναι προκαθορισμένοι από της διάφορες εταιρίες εγκατάστασης.

Με άλλα λόγια το βασικό ερώτημα στο οποίο καλείται να δώσει απάντηση η παρούσα εργασία είναι το εξής.

Δεδομένης μίας τοποθεσίας και συγκεκριμένων συνδυασμών ηλιακών πάνελ, inverter και βάσεων, συγκεκριμένου κόστους, ποιος είναι ο συνδυασμός που βελτιστοποιεί τα χρηματοοικονομικά μεγέθη της ΚΠΑ, ΕΣΑ και χρόνου απόσβεσης του συστήματος;

Έτσι το πρόβλημα στο οποίο καλείται να δώσει λύση η παρούσα εργασία διαιρείται στα εξής τμήματα.

1. **Εκτίμηση της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε μία επιφάνεια οποιασδήποτε κλίσης και προσανατολισμού** δεδομένης της τοποθεσίας στην οποία βρίσκεται η επιφάνεια. Ο λόγος για τον οποίο μας ενδιαφέρουν διαφορετικοί προσανατολισμοί και κλίσεις πέραν του βέλτιστου είναι ότι αφενός τα Φ.Σ. εγκαθίστανται πολλές φορές σε στέγες με αποτέλεσμα να αποκτούν την κλίση της στέγης. Αφετέρου πολλές βάσεις του εμπορίου έχουν έναν μικρό αριθμό από προκαθορισμένες κλίσεις.
2. **Εκτίμηση του παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ενός Φ.Σ.** δεδομένων των τεχνικών χαρακτηριστικών του και της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε αυτό.
3. **Εκτίμηση της ΚΠΑ του ΕΣΑ και του χρόνου απόσβεσης ενός Φ.Σ.** δεδομένης της τιμής πώλησης της kWh που παράγεται από αυτό, του κόστους εγκατάστασής του καθώς και του ενδεχόμενου κόστους δανεισμού.
- 4.

3.2 Στόχος μας

Πρωταρχικός στόχος αυτής της εργασίας είναι να παρέχει στον δυνητικό αγοραστή-επενδυτή ενός μικρού Φ.Σ. ένα εργαλείο το οποίο θα μπορέσει να τον βοηθήσει να επιλέξει την ποιο συμφέρουσα για αυτόν λύση. Έτσι ο χρήστης θα μπορεί να επιλέξει τα επιμέρους τμήματα του Φ.Σ. (πάνελ, μετατροπείς) για το οποίο του έχει γίνει προσφορά εγκατάστασης, το κόστος του καθώς και την περιοχή στην οποία προτίθεται να το εγκαταστήσει. Το σύστημα λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω στοιχεία θα κάνει μία εκτίμηση για τον χρόνο απόσβεσης, την καθαρή παρούσα αξία και τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης της εγκατάστασης έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να τη συγκρίνει με άλλες προσφορές που έχει δεχτεί από διαφορετικές εταιρίες και να αποφασίσει ποία είναι τελικά η ποιο συμφέρουσα για αυτόν. Δευτερεύον στόχος είναι η πληροφόρηση του χρήστη – επισκέπτης της ιστοσελίδας με πληροφορίες σχετικές με τα Φ.Σ. αλλά και την χρηματοοικονομική οι οποίες είναι απαραίτητες για την αποδοτικότερη χρήση του συστήματος.

3.3 Σχετικές εργασίες

3.3.1 Εισαγωγή

Το πρόβλημα το οποίο καλούμαστε να επιλύσουμε είναι στην ουσία ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης του κέρδους από την εγκατάσταση ενός Φ.Σ..

Η περίπτωση όμως των μικρών Φ.Σ. έχει κάποιες ιδιομορφίες σε σχέση με την κλασική περίπτωση βελτιστοποίησης όπου ένας αλγόριθμος ψάχνει μεταξύ χιλιάδων συνδυασμών συλλεκτών, inverter και βάσεων με σκοπό να επιτύχει τον συνδυασμό που πετυχαίνει το μεγαλύτερο κέρδος.

Έτσι η περίπτωση που εξετάζεται είναι μία απλοποιημένη μορφή του παραπάνω προβλήματος. Δηλαδή στο πρόβλημά μας οι συνδυασμοί των πάνελ με τους inverter είναι καθορισμένοι και επιβάλλονται από τις διάφορες προσφορές.

Αυτό συμβαίνει γιατί η κάθε εταιρία εγκατάστασης συνεργάζεται με συγκεκριμένες εταιρίες πλαισίων και inverter με αποτέλεσμα να εμπορεύεται και αν εγκαθιστά μόνο αυτές. Πολλές φορές μάλιστα οι εταιρίες αυτές δίνουν συνολικές τιμές στους πελάτες τους, δηλαδή τιμές για ολόκληρο το Φ.Σ. συμπεριλαμβανομένης και της εγκατάστασης με αποτέλεσμα να μην υπάρχει η πληροφορία της τιμής για μεμονωμένα πάνελ ή inverters. Απομένει οπότε να υπολογίσουμε μονάχα τα χρηματοοικονομικά μεγέθη για κάθε προκαθορισμένο συνδυασμό.

Τις σχετικές εργασίες θα τις διακρίνουμε σε τρεις κατηγορίες τις σχετιζόμενες με τη μοντελοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας, του φωτοβολταϊκού συστήματος και τις οικονομικές εργασίες.

3.3.2 Μοντελοποίηση ηλιακής ακτινοβολίας

Στο βιβλίο [1] προτείνεται μία μέθοδος για τον υπολογισμό της ωριαίας προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε μία επιφάνεια οποιασδήποτε κλίσης ως προς το οριζόντιο επίπεδο και οποιοσδήποτε προσανατολισμού ως προς το Νότο. Η μέθοδος αυτή έχει ως αφετηρία την εξωγήινη ακτινοβολία που δέχεται ένας τόπος και είσοδο μετρήσεις ημερήσιων ποσοτήτων ενέργειας που μετρώνται σε οριζόντια επιφάνεια. Η παραπάνω μέθοδος δεχόμενη κάποιες τροποποιήσεις μπορεί να καταλήξει σε παραπλήσια αποτέλεσμα δεχόμενη ως είσοδο ωριαίες εντάσεις ακτινοβολίας αντί ημερήσιων ποσοτήτων ενέργειας.

Στην εργασία [2] προσομοιώνεται ένα Φ.Σ. με τη χρήση του λογισμικού TRNSYS και μελετάται η επίδραση της κλίσης και του προσανατολισμού στην απόδοση του συστήματος. Η έρευνα γίνεται για παραθαλάσσια κλιματικά δεδομένα (Ιρλανδία). Μερικά από τα συμπεράσματα της ήταν πως την βέλτιστη απόδοση την είχε ένα Φ.Σ. Προσανατολισμένο στο Νότο ενώ η χειρότερη ήταν αυτή όταν ο προσανατολισμός ήταν δυτικός ή ανατολικός και η κλίση 90 μοίρες.

3.3.3 Μοντελοποίηση φωτοβολταϊκού συστήματος

Σε αυτήν την εργασία [3] προτείνεται μία μέθοδος για τον υπολογισμό της ισχύς ενός πλαισίου όταν αυτό βρίσκεται σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία χρησιμοποιώντας ως είσοδο την ισχύ του για μία διαφορετική από την πρώτη θερμοκρασία λειτουργίας.

Σε αυτήν την εργασία [4] γίνεται μία μελέτη σχετικά με τη βέλτιστη αναλογία μεγέθους πάνελ με inverter (PV/inverter sizing ratio) με χρήση του λογισμικού TRNSYS. Στα συμπεράσματα της εργασίας μεταξύ άλλων είναι και η μεταβολή του βέλτιστου sizing ratio σε σχέση με την κλίση των πάνελ. Επίσης ότι για υψηλής απόδοσης inverter η μεταβολή στη συνολική απόδοση του συστήματος μεταβάλλεται πολύ λίγο (2%) για μία σχετικά μεγάλη απόκλιση (42%) από το βέλτιστο sizing ratio.

3.3.4 Χρηματοοικονομικές μελέτες σε Φ.Σ.

Σε αυτήν την εργασία [5] γίνεται μία σύντομη αποτίμηση του κέρδους που προκύπτει από διασυνδεδεμένα Φ.Σ. χρησιμοποιώντας κλασικές χρηματοοικονομικές μεθόδους όπως την ΚΠΑ και τον ΕΣΑ. Προκύπτουν δε τα συμπεράσματα ότι τα Φ.Σ είναι αρκετά ελκυστική επένδυση λόγω του μειωμένου κόστους τους και των επιδοτήσεων από τις κατά τόπους κυβερνήσεις.

3.3.5 Άλλες σχετικές εργασίες

Στην εργασία [6] γίνεται μία προσέγγιση στο πρόβλημα της βελτιστοποίησης με τη χρήση γενετικών αλγορίθμων. Επίσης γίνεται λεπτομερής ανάλυση των οικονομικών κριτηρίων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και του τρόπου μοντελοποίησης του Φ.Σ..

Στην εργασία [7] η οποία πραγματοποιήθηκε από την εταιρία BP γίνεται μία προσπάθεια να αξιολογηθούν τα προγράμματα πρόβλεψης της απόδοσης ενός Φ.Σ.. Έτσι γίνεται σύγκριση πραγματικών μετρήσεων σε εγκατεστημένα συστήματα με τα αποτελέσματα διάφορων προγραμμάτων μοντελοποίησης. Στα συμπεράσματα της εργασίας είναι μεταξύ άλλων ότι, τα μετεωρολογικά μοντέλα φαίνεται να υπερεκτιμούν την ηλιακή ακτινοβολία σε χαμηλά επίπεδα φωτός, ότι υπάρχουν δυσκολίες στη μοντελοποίηση κάποιων παραμέτρων όπως η καθαρότητα των πάνελ. Τέλος συμπεραίνεται ότι αν και τα προγράμματα αξιολόγησης δεν μπορούν να υπολογίσουν σωστά την απόδοση ενός πάνελ η πρόβλεψη για την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι αρκετά κοντά στην πραγματική.

Κεφάλαιο 4

Η δική μας προσέγγιση

4.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω το σύστημα μπορεί να διαχωριστεί σε 3 υποσυστήματα. Το πρώτο είναι αυτό που υπολογίζει την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια έχοντας ως είσοδο το γεωγραφικό πλάτος, την κλίση, τον προσανατολισμό της επιφάνειας και την πλησιέστερη περιοχή προς την τοποθεσία εγκατάστασης. Το δεύτερο μοντελοποιεί το Φ.Σ.. Έτσι λαμβάνει υπόψη του την θερμοκρασία περιβάλλοντος, την προσπίπτουσα ακτινοβολία και όλα τα άλλα τεχνικά χαρακτηριστικά των πάνελ και inverter ώστε να κάνει τελικά μία εκτίμηση για την ετήσια παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Το τρίτο είναι αυτό που υπολογίζει τους οικονομικούς συντελεστές δεχόμενο ως είσοδο την εκτίμηση για την ετήσια παραγόμενη ενέργεια, την τιμή πώλησης της παραγόμενης kWh, το κόστος της επένδυσης καθώς και αυτό του δανεισμού όταν υπάρχει. Συνεχίζοντας την περιγραφή του συστήματος αξίζει να αναφερθεί ότι την απεικόνιση έχει αναλάβει ένα τμήμα κώδικα php το οποίο δημιουργεί τον απαραίτητη για αυτόν το λόγο html καθιστώντας την προσθήκη ή αφαίρεση σελίδων μία σχετικά απλή διαδικασία. Το τμήμα αυτό του κώδικα αναλαμβάνει επίσης να συλλέξει και τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου από τον χρήστη. Ο έλεγχος της ορθότητας των δεδομένων που δέχεται το σύστημα από το χρήστη γίνεται από ένα τμήμα κώδικα javascript το οποίο κάνει λογικό έλεγχο των υπό αποστολή δεδομένων στην μεριά του χρήστη απαλλάσσοντας τον διακομιστή από αυτό το φόρτο εργασίας. Τέλος οι πληροφορίες των φωτοβολταϊκών πλαισίων, των inverter καθώς και ότι άλλο χρειάζεται το σύστημα για να λειτουργήσει αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων αναπτυγμένη σε mysql.

4.2 Το μοντέλο ακτινοβολίας

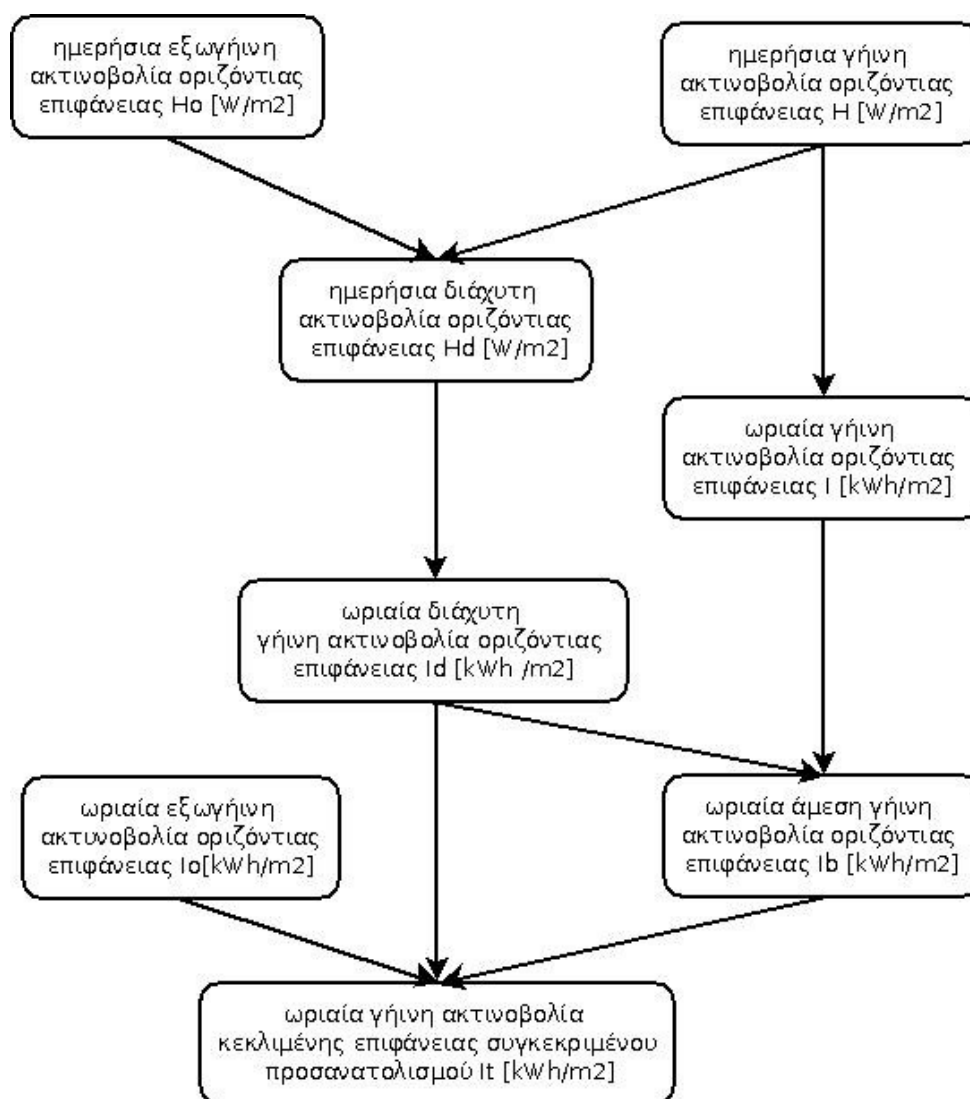
Οι μετρήσεις οι οποίες είναι διαθέσιμες συνήθως από τους μετεωρολογικούς σταθμούς αναφέρονται στο οριζόντιο επίπεδο, τη βέλτιστη όμως παραγόμενη ενέργεια την λαμβάνουμε όταν το πάνελ έχει κλίση όση του γεωγραφικό πλάτος του τόπου εγκατάστασής του. Πολλές φορές ακόμη τα πάνελ είναι τοποθετημένα με διαφορετική κλίση από αυτή της βέλτιστης ή ακόμη και με διαφορετικό προσανατολισμό. Οι λόγοι που μπορεί να οδηγούν σε αυτή την κατάσταση μπορεί να είναι η ύπαρξη κεραμοσκεπής όπου τα πάνελ ακολουθούν την κλίση και τον προσανατολισμό της σκεπής ή άλλοι εξωτερικοί λόγοι όπως μία σκίαση από μία συγκεκριμένη κατεύθυνση του ορίζοντα που προέρχεται από ένα εμπόδιο π.χ. ένα κτήριο. Δημιουργείται έτσι η ανάγκη για τον υπολογισμό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας για μία επιφάνεια οποιασδήποτε κλίσης και προσανατολισμού.

Για τη μοντελοποίηση της προσπίπτουσας ενέργειας έχουν αναπτυχθεί δύο αλγόριθμοι οι οποίοι έχουν ένα μεγάλο τμήμα του κώδικά τους κοινό. Ο ένας δέχεται ως είσοδο ένταση ηλιακής

ακτινοβολίας η οποία προσπίπτει σε οριζόντια επιφάνεια και ο δεύτερος ημερήσιες ποσότητες ενέργειας. Τα αποτελέσματα στα οποία καταλήγουν και οι δύο είναι παραπλήσια όπως θα διαπιστώσει κάποιος και από την ανάγνωση του κεφαλαίου πέντε. Παρακάτω θα παρουσιαστεί διεξοδικά ο δεύτερος αλγόριθμος όντας ποιο σύνθετος και θα τονιστούν έπειτα τα σημεία στα οποία διαφοροποιείται από τον πρώτο.

4.2.1 Αλγόριθμος ακτινοβολίας εισόδου ημερήσιων μετρήσεων

Η μέθοδος του δεύτερου αλγορίθμου μπορεί να συνοψιστεί στην παρακάτω διαδικασία.



Σχήμα 4.1 Τα βήματα υπολογισμού της ωριαίας ακτινοβολίας για επιφάνεια οποιασδήποτε κλίσης και προσανατολισμού από ημερήσια δεδομένα εισόδου

Η εξωγήινη ακτινοβολία H_o υπολογίζεται για το γεωγραφικό πλάτους του κάθε τόπου από τον παρακάτω μαθηματικό τύπο.

$$H_o = \frac{24 \cdot 3600 G_{sc}}{\pi} \cdot \left(1 + 0,033 \cdot \cos \frac{360n}{365}\right) \cdot (\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_s + \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta) \quad (4.1)$$

με

- G_{sc} : ηλιακή σταθερά [1367 W/m²]
- φ : γεωγραφικό πλάτος του τόπου [°]
- δ : γωνία ηλιακής απόκλισης [°]
- ω_s : γωνία ανατολής του ηλίου [°]
- n : η τρέχουσα ημέρα του έτους (1,2,... 365)

Το H_o έχει ο μονάδες μέτρησης τα J/m² οπότε απαιτείται η μετατροπή τους σε W/m² μίας που οι υπόλοιπες σχέσεις ακτινοβολίας αναφέρονται σε Watts.

Η γωνία ηλιακής απόκλισης δίνεται από τη σχέση

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(\frac{360 \cdot (284 + n)}{365}\right) \quad (4.2)$$

ενώ την γωνία ανατολής του ηλίου την υπολογίζουμε από τη σχέση

$$\omega_s = \arccos(-\tan\varphi \cdot \tan\delta) \quad (4.3)$$

Η ακτινοβολία στην επιφάνεια της γης H προέρχεται από μετρήσεις ηλιακής ενέργειας σε οριζόντιο επίπεδο.

Για τον υπολογισμό της διάχυτης ακτινοβολίας πρέπει να υπολογίσουμε πρώτα τον δείκτη καθαρότητας (index clearness) K_T .

$$K_T = \frac{H}{H_o} \quad (4.4)$$

Η διάχυτη ακτινοβολία υπολογίζεται από τη συσχέτιση που πρότειναν οι Collares και Rabl

$$\frac{H_d}{H} = \begin{cases} 0,99 & \text{αν } K_T \leq 0,17 \\ 1,188 - 2,272 \cdot K_T + 9,473 \cdot K_T^2 - 21,865 \cdot K_T^3 + 14,648 \cdot K_T^4 & \text{αν } 0,17 < K_T < 0,75 \\ -0,54 \cdot K_T + 0,632 & \text{αν } 0,75 < K_T < 0,80 \\ 0,2 & \text{αν } K_T \geq 0,80 \end{cases} \quad (4.5)$$

Για τον υπολογισμό της ωριαίας ηλιακής ακτινοβολίας I χρησιμοποιούμε τη σχέση

$$r_i = \frac{I}{H} \quad (4.6)$$

με το r_i να δίνεται από τη σχέση

$$r_i = \frac{\pi}{24} \cdot (a + b \cdot \cos\omega) \cdot \frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \cdot \cos\omega_s} \quad (4.7)$$

όπου

$$a = 0,409 + 0,5016 \cdot \sin(\omega_s - 60) \quad (4.8)$$

$$b = 0,6609 - 0,4767 \cdot \sin(\omega_s - 60) \quad (4.9)$$

$$\omega = (CST - 12) \cdot 15 \quad (4.10)$$

Όπου σε αυτό το σημείο για τιμές του CTS επιλέγουμε τα μέσα των ωρών δηλαδή (0,5, 1,5, 2,5, ...23,5) με αυτό τον τρόπο οι τιμές του I αντιστοιχούν στην ένταση ηλιακής ακτινοβολίας των χρονικών στιγμών (00:30, 1:30, ...23:30) κάτι το οποίο μας επιτρέπει να μεταβούμε από την ένταση ηλιακής ακτινοβολίας στην ενέργεια κάνοντας την προσέγγιση ότι η ενέργεια ενός χρονικού διαστήματος μίας ώρας ισοδυναμεί με την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας στο μέσο του διαστήματος αυτού επί το χρονικό διάστημα της μίας ώρας.

Η διάχυτη ωριαία ηλιακή ενέργεια υπολογίζεται από τη παρακάτω σχέση

$$r_d = \frac{I_d}{H_d} \quad (4.11)$$

με το r_d να δίνεται από τη σχέση

$$r_d = \frac{\pi}{24} \cdot \frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\sin\omega_s - \frac{\pi \cdot \omega_s}{180} \cdot \cos\omega_s} \quad (4.12)$$

Όπου δίνοντας τις τιμές (0,5, 1,5, ...23,5) στο CTS όπως κάναμε παραπάνω εξασφαλίζουμε ότι το I_d έχει τις τιμές της ωριαίας διάχυτης ηλιακής ενέργειας για οριζόντια επιφάνεια.

Η άμεση ωριαία ηλιακή ενέργεια I_b δίνεται από τη σχέση

$$I = I_b + I_d \quad (4.13)$$

Για τον υπολογισμό της ωριαίας ολικής ηλιακής ενέργειας I_T που προσπίπτει σε κεκλιμένη επιφάνεια χρησιμοποιούμε το ανισοτροπικό μοντέλο HDKR. Έτσι η σχέση από την οποία προκύπτει είναι

$$I_T = (I_b + I_d \cdot A_i) \cdot R_b + I_d \cdot (1 - A_i) \cdot \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) \left[1 + f \cdot \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right] + I \cdot \rho_g \cdot \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right) \quad (4.14)$$

Όπου το A_i υπολογίζεται από τη σχέση

$$A_i = \frac{I_b}{I_o} \quad (4.15)$$

Με το I_o να αναφέρεται στην εξωγήινη ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει σε οριζόντια επιφάνεια και δίνεται από την παρακάτω σχέση

$$I_o = G_{sc} \cdot \left(1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{360n}{365}\right)\right) \cdot (\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin\varphi \cdot \sin\delta) \quad (4.16)$$

Το β είναι η κλίση της επιφάνειας σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο [°].

Το f δίνεται από τη σχέση

$$f = \sqrt{\frac{I_b}{I}} \quad (4.17)$$

Το ρ_g είναι ο συντελεστής ανάκλασης του εδάφους και παίρνει μία τιμή ανάλογα με το είδος του εδάφους. Παρακάτω δίνεται ένας πίνακας με μερικές ενδεικτικές τιμές για το ρ_g .

| Πίνακας 4.1 Συντελεστές ανάκλασης για διάφορους τύπους εδάφους | |
|---|--|
| Τύπος | Συντελεστής ανάκλασης ρ_g |
| Ξυρό-γυμνό έδαφος | 0,2 |
| Έδαφος με χορτάρι | 0,3 |
| Έρημος | 0,4 |
| Χιόνι | 0,5-0,8 |

Για τον υπολογισμό του R_b ακολουθούνται τα εξής βήματα.

Υπολογίζουμε τα $\cos\theta$ και $\cos\theta_z$ από τις παρακάτω σχέσεις

$$\begin{aligned} \cos\theta = & \sin\delta \cdot \sin\varphi \cdot \cos\beta \\ & - \sin\delta \cdot \cos\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \\ & + \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega \\ & + \cos\delta \cdot \sin\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma \cdot \cos\omega \\ & + \cos\delta \cdot \sin\beta \cdot \sin\gamma \cdot \sin\omega \end{aligned} \quad (4.18)$$

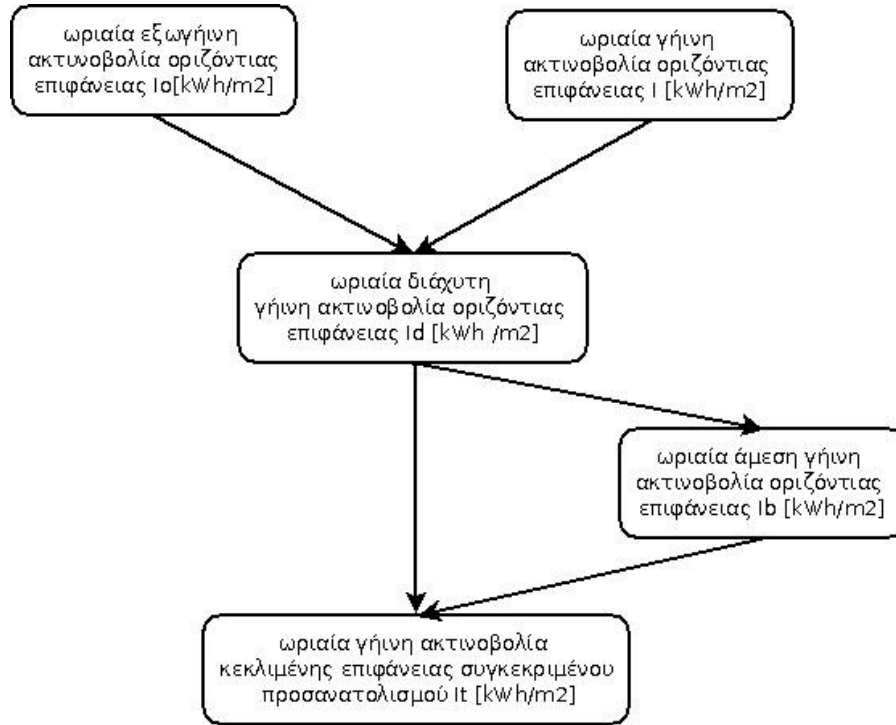
$$\cos\theta_z = \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin\varphi \cdot \sin\delta \quad (4.19)$$

και έπειτα το R_b από τη σχέση

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (4.20)$$

4.2.2 Αλγόριθμος ακτινοβολίας εισόδου ωριαίων μετρήσεων

Ο αλγόριθμος που δέχεται ωριαία δεδομένα εισόδου μπορεί να συνοψιστεί από το παρακάτω διάγραμμα.



Σχήμα 4.2 Τα βήματα υπολογισμού της ωριαίας ακτινοβολίας για επιφάνεια οποιασδήποτε κλίσης και προσανατολισμού από ωριαία δεδομένα εισόδου

Όπου η ωριαία εξωγήινη ακτινοβολία I_o υπολογίζεται από την εξίσωση (4.16)

Η ωριαία γήινη ακτινοβολία I είναι αποτέλεσμα μετρήσεων που λαμβάνονται σε οριζόντιο επίπεδο.

Όπως και στο προηγούμενο μοντέλο έτσι και εδώ για τον υπολογισμό της διάχυτης ακτινοβολίας I_d απαιτείται πρώτα ο καθορισμός του δείκτη καθαρότητας όπου στην προκειμένη περίπτωση ονομάζεται ωριαίος δείκτης καθαρότητας και υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο.

$$k_T = \frac{I}{I_o} \quad (4.21)$$

Η μαθηματική σχέση που μας δίνει τη διάχυτη ωριαία ακτινοβολία έχει προταθεί από τον Erbes και είναι η εξής :

$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1,0 - 0,09 \cdot k_T & \text{αν } k_T \leq 0,22 \\ 0,9511 - 0,1604 \cdot k_T + 4,388 \cdot k_T^2 - 16,638 \cdot k_T^3 + 12,336 \cdot k_T^4 & \text{αν } 0,22 < k_T \leq 0,80 \\ 0,165 & \text{αν } k_T > 0,80 \end{cases} \quad (4.22)$$

Η ωριαία άμεση ακτινοβολία I_b υπολογίζεται από τη σχέση (4.13)

Τα I_T , A_i , f και R_b υπολογίζονται αντίστοιχα από τις εξισώσεις (4.14), (4.15), (4.17) και (4.20) όπως και στο προηγούμενο μοντέλο ακτινοβολίας.

4.3 Το μοντέλο Φωτοβολταϊκού Συστήματος

4.3.1 Εισαγωγή

Για τη μοντελοποίηση του Φ.Σ αρκεί η γνώση τριών τιμών. Μία είναι αυτή της απόδοσης των πάνελ, η άλλη είναι η απόδοση του inverter και η τρίτη είναι η συνολική επιφάνεια των πάνελ.

Οπότε :

$$E_{electric} = E_{sun} \cdot n_{\pi} \cdot n_{inverter} \cdot A \quad (4.23)$$

με

$E_{electric}$: ορίζουμε την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται για μία χρονική στιγμή
 E_{sun} : την προσπίπτουσα προς την επιφάνεια ηλιακή ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας για την ίδια χρονική στιγμή

n_{π} : την απόδοση του πάνελ
 $n_{inverter}$: την απόδοση του inverter
 A : την συνολική επιφάνεια των πάνελ

4.3.2 Μοντελοποίηση inverter

Η απόδοση ενός inverter δίνεται από την ακόλουθη σχέση όπως έχει αναλυθεί και στην ενότητα 2.2.3

$$n_{total} = n_{eu} \cdot n_{MPP} \quad (4.24)$$

από τους δύο αυτούς συντελεστές ο n_{eu} καθορίζει την απόδοση της ηλεκτρικής μετατροπής συγκεκριμένα υπολογίζεται από τον τύπο

$$n_{eu} = 0,03 \cdot n_{5\%} + 0,06 \cdot n_{10\%} + 0,13 \cdot n_{20\%} + 0,1 \cdot n_{30\%} + 0,48 \cdot n_{50\%} + 0,2 \cdot n_{100\%} \quad (4.25)$$

με $n_{5\%}$ συμβολίζεται η λειτουργία του inverter με τιμή φορτίου στο 5% του ονομαστικού του φορτίου και ούτω καθεξής.

Ο συντελεστής n_{eu} επηρεάζεται από την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Έτσι inverters που τοποθετούνται εκτεθειμένοι στην ηλιακή ακτινοβολία λειτουργούν σε μεγαλύτερη θερμοκρασία με αποτέλεσμα μειωμένη απόδοση. Επίσης ο n_{eu} εξαρτάται από την V_{mp} (μέγιστη τάση

εξόδου των πάνελ) που ισοδυναμεί με εξάρτιση από την ηλιακή ακτινοβολία.

Ο n_{MPPT} είναι ο συντελεστής απόδοσης του tracking system. Η απόδοση αυτή επηρεάζεται από τις μεταβολές της ηλιοφάνειας. Συγκεκριμένα ο n_{MPPT} έχει τη χαμηλότερη απόδοση κατά τις μεταβολές της προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολίας, δηλαδή κατά τις ημέρες που έχουμε γρήγορες εναλλαγές μεταξύ συννεφιάς και ηλιοφάνειας. Οι τιμές που παίρνει ο n_{MPPT} είναι μεταξύ του 100% και του 90 % με την τιμή να είναι πολύ κοντά στο 100% για τους περισσότερους inverter όταν οι καιρικές συνθήκες είναι καλές, δηλαδή υπάρχει ηλιοφάνεια.

Για τη δική μας μοντελοποίηση θα θεωρήσουμε πως η απόδοση του inverter παραμένει σταθερή και ίση με την n_{eu} . Η θεώρηση αυτή βασίζεται στα εξής δεδομένα:

1. Οι inverters στα μικρά Φ.Σ. τοποθετούνται συνήθως σε κλειστούς χώρους με αποτέλεσμα να μην είναι εκτεθειμένοι στην ηλιακή ακτινοβολία ούτε σε αυξημένες θερμοκρασίες.
2. Οι μεταβολές της συνολικής απόδοσης που εξαρτώνται από τις μεταβολές της απόδοσης του n_{MPPT} λόγω μεταβολής της ηλιακής ακτινοβολίας είναι πολύ μικρές συγκριτικά με την συνολική απόδοση.

4.3.3 Μοντελοποίηση πάνελ

Η απόδοση των πάνελ εξαρτάται από δύο περιβαλλοντικούς παράγοντες αυτοί είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση των πάνελ είναι η γήρανση τους, δηλαδή η σταδιακή μείωση της απόδοσή τους με την πάροδο του χρόνου.

Η απόδοση των φωτοβολταϊκών πλαισίων μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας τους. Η θερμοκρασία λειτουργίας τους εξαρτάται τόσο από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος όσο και από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Έτσι η αύξηση της θερμοκρασίας των πάνελ μειώνει το ρεύμα βραχυκυκλώματος (I_{sc}) και την τάση ανοικτοκυκλώματος (V_{oc}) κατά συνέπεια την ισχύ του πάνελ. Στα τεχνικά χαρακτηριστικά των πάνελ υπάρχει ένας θερμικός συντελεστής που μας δίνει τη ποσοστιαία μείωση της απόδοσης των πάνελ για κάθε βαθμό αύξησης της θερμοκρασίας λειτουργίας.

Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας λειτουργίας των πλαισίων χρησιμοποιείται η σχέση

$$T_c - T_a = C_2 \cdot G \quad (4.26)$$

με

T_c : η θερμοκρασία του πάνελ σε [°C]

T_a : η θερμοκρασία περιβάλλοντος σε [°C]

G : η προσπίπτουσα ακτινοβολία για την οποία θεωρούμε πως είναι ίση με την τιμή του

I_T την τρέχουσα χρονική στιγμή

Το C_2 δίνεται από τη ακόλουθη σχέση

$$C_2 = \frac{NOCT - 20}{800} \quad (4.27)$$

με NOCT την ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας των πάνελ.

Η πραγματική ισχύς εξόδου ενός πάνελ με μέγιστη ισχύ λειτουργίας P_{real} δίνεται από την παρακάτω σχέση.

$$P_{real} = \frac{P_m \cdot I_{dt}}{1000} \cdot [1 - n_{coef} \cdot (T_c - 25)] \quad (4.28)$$

με

I_{dt} : η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται το πάνελ.

n_{coef} : ο θερμικός συντελεστής μείωσης της απόδοσης του πάνελ [%/°C]

P_m : μέγιστη ισχύς πάνελ

Η γήρανση των πάνελ έχει μοντελοποιηθεί ως ομοιόμορφη μείωση της απόδοσης των πάνελ ανά έτος λειτουργίας τους. Ο ρυθμός μείωσης της απόδοσης έχει καθοριστεί από το μέσο όρο των παρεχόμενων εγγυήσεων απόδοσης που είναι 90% της απόδοσης για τα πρώτα 10 έτη λειτουργίας και 80% για τα επόμενα 15. Έτσι ο ρυθμός μείωσης της απόδοσης έχει καθοριστεί στο 1% για τα πρώτα 10 έτη και πέφτει στα 0,66% για τα επόμενα 15 έτη.

4.4 Το οικονομικό μοντέλο

Για το οικονομικό μοντέλο υλοποιήθηκαν οι σχέσεις της ΚΠΑ, του ΕΣΑ και του χρόνου απόσβεσης όπως αυτές περιγράφηκαν στο ενότητα της χρηματοοικονομικής.

Ο νόμος για τα φωτοβολταϊκά συστήματα καθορίζει ως τιμή πώλησης της παραγόμενης kWh για τα μικρά Φ.Σ. τη τιμή 0,55 euro/kWh για τις συνδέσεις που πραγματοποιούνται μέχρι τη 1/1/2011. Ενώ για τις συνδέσεις που πραγματοποιούνται από το 2012 και μέχρι το 2019 ετήσια μείωση κατά 5% στην παραπάνω τιμή. Ο ίδιος νόμος καθορίζει επίσης πως τιμή αυτή προσαρμόζεται κάθε χρόνο κατά 25% επί του πληθωρισμού του προηγούμενου έτους.

Για τον υπολογισμό των ετήσιων εισροών E_i της σχέσης 2.5 λαμβάνεται υπόψη ο πληθωρισμός τον οποίον των θεωρούμε σταθερό και ίσο με το μέσο όρο του τα 10 τελευταία έτη.

Οπότε $g = 3.9\%$

Άρα

$$E_i = E_{year} \cdot price_{i-1} \cdot (1 + g \cdot 25\%) \quad (4.29)$$

με

$price_0$: την τιμή της kWh όπως έχει καθοριστεί κατά το έτος σύνδεσης του συστήματος.

$price_{i-1}$: την τιμή της kWh όπως διαμορφώθηκε την προηγούμενο έτος
 E_{year} : την ετήσια παραγόμενη ενέργεια του Φ.Σ.
 g : ο πληθωρισμός που θεωρήθηκε σταθερός στο 3,9 %

Κεφάλαιο 5

Θέματα υλοποίησης

5.1 Εισαγωγή

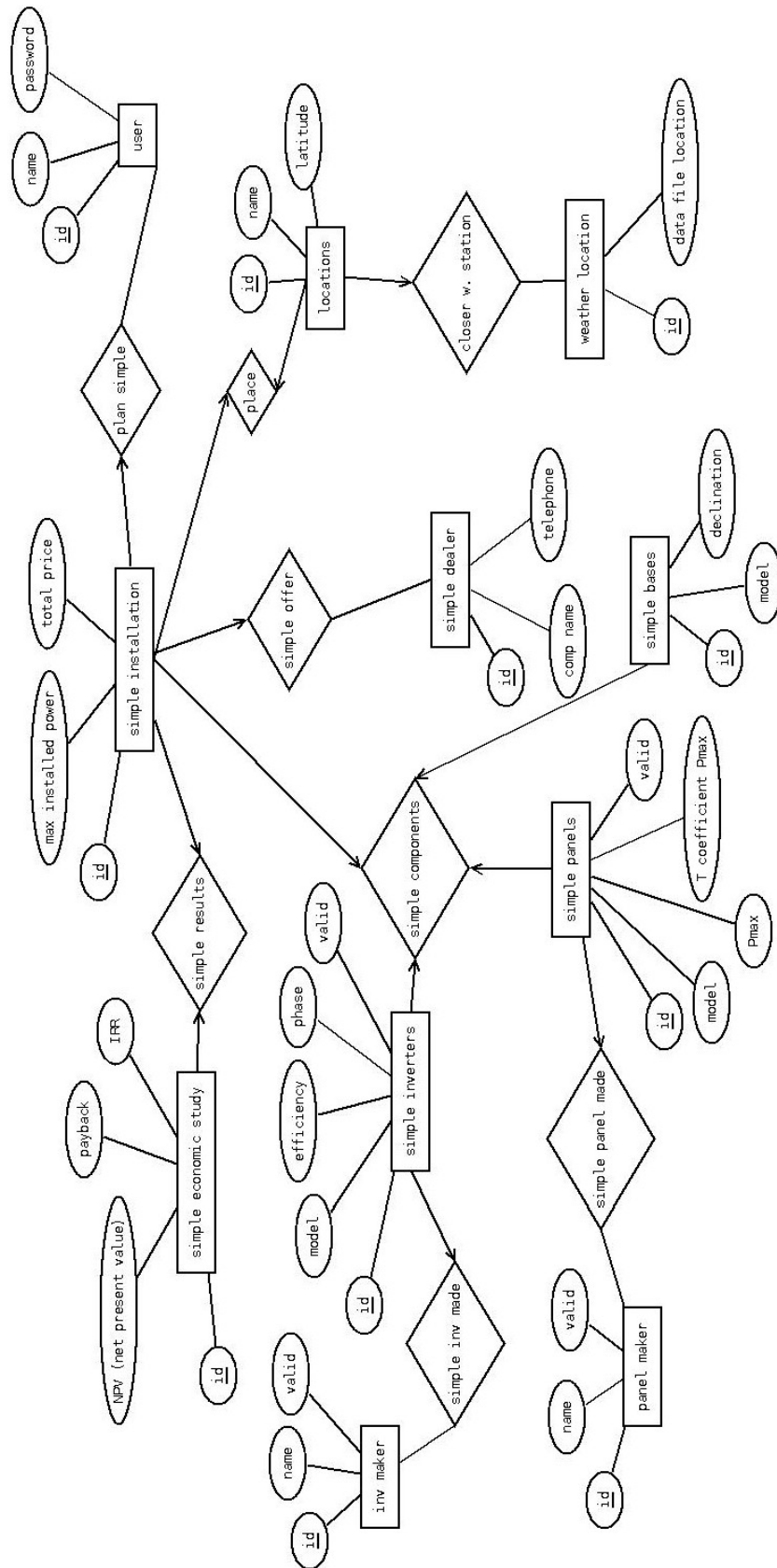
Το σύστημα αναπτύχθηκε με τη γλώσσα προγραμματισμού php. Η ανάπτυξη και ο έλεγχος του συστήματος πραγματοποιήθηκε τοπικά στο σύστημα ανάπτυξης σε έναν διακομιστή (server) Apache. Οι έλεγχοι που πραγματοποιεί το σύστημα στις φόρμες εισόδου είναι υλοποιημένοι με τη χρήση της javascript, η ορθή λειτουργία των οποίων ελέγχθηκε τόσο μέσω του browser Firefox 6.0 όσο και του Internet Explorer 8. Η βάση δεδομένων του συστήματος υλοποιήθηκε σε mysql με τη βοήθεια του εργαλείου MySQL Work bench και για τη λειτουργία της απαιτείται η ύπαρξη του mysql server.

5.2 Έλεγχος της ορθότητας των μοντέλων

Όπως αναλύθηκε στο 4ο κεφάλαιο το μοντέλο της ακτινοβολίας για να λειτουργήσει απαιτεί την ύπαρξη μετεωρολογικών δεδομένων ακτινοβολίας σε ωριαίο επίπεδο ή ενεργειών σε ημερήσιο. Αυτό το γεγονός καθιστά δύσκολο τον έλεγχο της ορθότητας των αποτελεσμάτων, αφού το οποιασδήποτε παράδειγμα το οποίο υπήρχε στη βιβλιογραφία αναφέρονταν σε συγκεκριμένα καιρικά δεδομένα. τα οποία δεν μας ήταν διαθέσιμα. Για να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία η αρχική ανάπτυξη και ο έλεγχος του αλγορίθμου έγινε στη γλώσσα προγραμματισμού Matlab ώστε εκμεταλλευόμενοι τις ευκολίες που αυτή προσφέρει (εύκολη δημιουργία γραφικών παραστάσεων) να ελέγξουμε την ορθότητα της υλοποίησης.

5.3 Βάση δεδομένων του συστήματος

Ο σχεδιασμός της βάσης δεδομένων του συστήματος έγινε λαμβάνοντας υπόψη τη μελλοντική επέκταση του. Αφήνοντας την πλήρη ανάπτυξη του θέματος των μελλοντικών βελτιώσεων για το κεφάλαιο 7 και επικεντρωμένοι μόνο στο θέμα της βάσης δεδομένων αξίζει να αναφερθεί ότι έχει σχεδιαστεί και υλοποιηθεί σε mysql η δυνατότητα υποστήριξη λογαριασμών σύνδεσης για τους χρήστες. Αυτό θα μπορεί να προσφέρει μελλοντικά τη δυνατότητα αποθήκευσης και ανάκτησης δεδομένων σχετικών με τα υπό εξέταση συστήματα των χρηστών. Το E-R διάγραμμα της βάσης δεδομένων του συστήματος δίνεται παρακάτω.

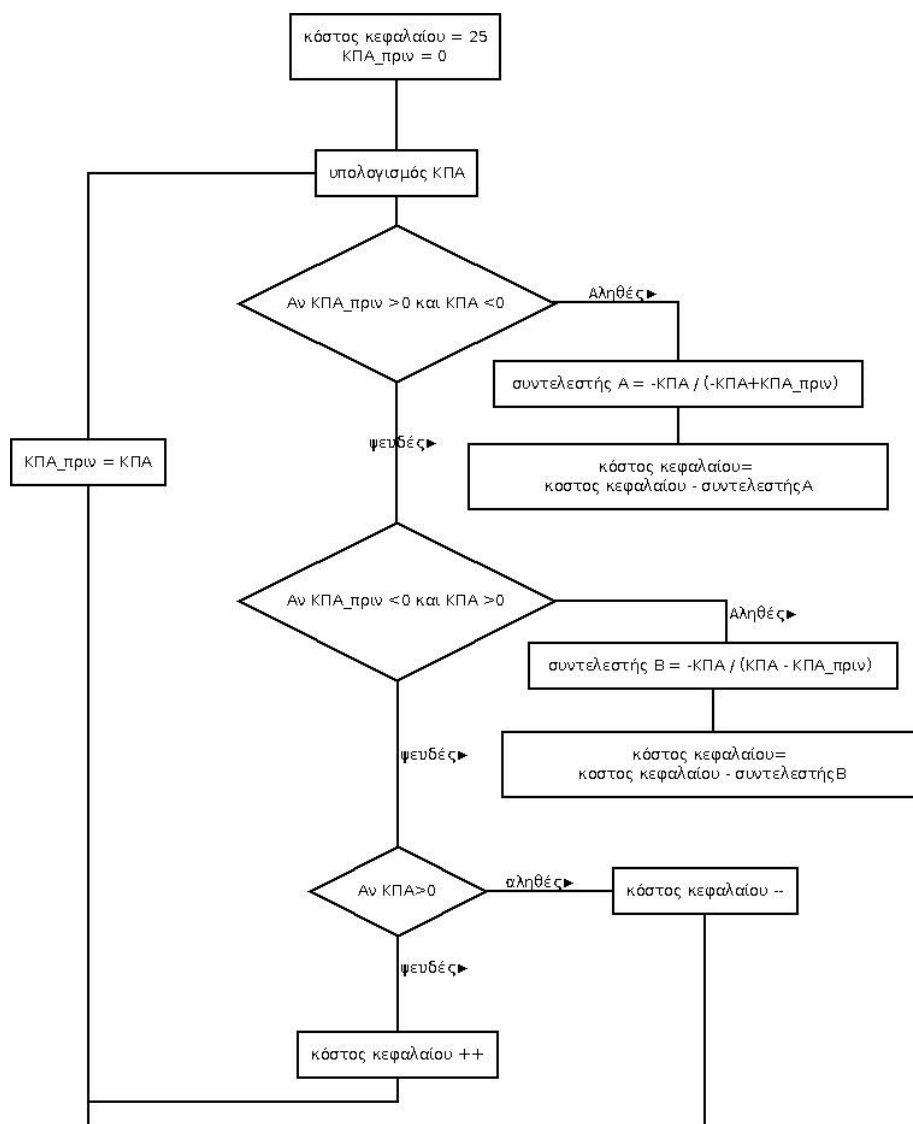


Σχήμα 5.1 Το E-R διάγραμμα της βάσης δεδομένων του συστήματος

Τα μετεωρολογικά δεδομένα των διαφόρων περιοχών του συστήματος (δεδομένα θερμοκρασιών και ηλιακής ακτινοβολίας) είναι αποθηκευμένα σε αρχεία κειμένου (txt) των οποίων η τοποθεσία στο σύστημα αρχείων αποθηκεύεται στη βάση δεδομένων. Τέλος να αναφέρουμε πως τα μετεωρολογικά δεδομένα δεν αντιστοιχούν σε ισάριθμους μετεωρολογικούς σταθμούς αλλά είναι προϊόν παρεμβολής (interpolation) γειτονικών σταθμών.

5.4 Ο αλγόριθμος του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης


Παρακάτω δίνεται το διάγραμμα ροής του αλγορίθμου του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης. Η μέθοδος υπολογισμού είναι προσεγγιστική αλλά η ακρίβειά της είναι ικανοποιητική για τις ανάγκες μας μίας που παρέχει ακρίβεια ενός δεκαδικού ψηφίου.



Σχήμα 5.2 Ο αλγόριθμος υπολογισμοί του ΕΣΑ

5.5 Στιγμιότυπα της εφαρμογής

Τοποθεσία Εγκατάστασης



| Τοποθεσία Εγκατάστασης | |
|---|--|
| <input type="text" value="Επιλέξτε περιοχή"/> | Επιλέξτε την πλησιέστερη τοποθεσία ως προς την τοποθεσία εγκατάστασης του φωτοβολταϊκού σας συστήματος. |
| <p>Προσανατολισμός</p> <input type="text" value="0"/> <p>Η γωνία που σχηματίζουν τα πλαίσια ως προς το Νότο [°]</p> | Αν δεν υπάρχουν εμπόδια ως προς τον προσανατολισμό της εγκατάστασης τότε βέλτιστη απόδοση για το φωτοβολταϊκό σύστημα την έχουμε σε γωνία [0°] ως προς το νότο. Θετικές τιμές αντιστοιχούν σε Ανατολική διεύθυνση και αρνητικές σε Δυτική. |
| <input type="button" value="Επόμενο βήμα ->"/> | |

Σχήμα 5.3 Η σελίδα επιλογής της τοποθεσίας της εγκατάστασης

Στη σελίδα αυτή του συστήματος ο χρήστης μπορεί να επιλέξει μία από τις διαθέσιμες περιοχές από αναδυόμενο μενού καθώς και να προσδιορίσει τον προσανατολισμό του συστήματος. Η προεπιλεγμένη τιμή του προσανατολισμού είναι οι 0° οι οποίες αντιστοιχούν σε Νότιο διεύθυνση αφού είναι αυτή η οποία προσφέρει τη μεγιστοποίηση της συλλεγόμενης ενέργειας.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης



| Τεχνικά χαρακτηριστικά εγκατάστασης | | |
|---|---|---|
| <input type="text" value="Επιλέξτε πάνελ"/> | αριθμός πάνελ συστήματος <input type="text"/> | ή μέγιστη ισχύς συστήματος [W] <input type="text"/> |
| <input type="text" value="Επιλέξτε inverter"/> | αριθμός των inverters <input type="text" value="1"/> | * Αν χρησιμοποιείτε 3 μονοφασικούς αντί για έναν τριφασικό |
| Η βέλτιστη κλίση συλλεκτών για την περιοχή σας είναι: 36 ° | κλίση βάσεων [°] <input type="text"/> | * Κλίση των φωτοβολταϊκών συλλεκτών είναι η κλίση που σχηματίζει ο συλλέκτης ως προς το οριζόντιο επίπεδο |
| <input type="button" value="Επόμενο βήμα ->"/> | | |

Σχήμα 5.4 Η σελίδα καθορισμού του συστήματος

Στη σελίδα αυτή ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τα τεχνικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης επιλέγοντας από ένα σύνολο διαθέσιμων πάνελ και inverter. Εδώ επίσης καθορίζεται η μέγιστη ισχύς του συστήματος είτε απευθείας είτε μέσω του αριθμού των πάνελ της εγκατάστασης. Ο αριθμός των inverter είναι δυνατών να καθοριστεί από το χρήστη. Αυτή η δυνατότητα είναι σημαντική για τους χρήστες, αφού δεν είναι λίγες οι εταιρίες οι οποίες παροτρύνουν τη χρησιμοποίηση 3 inverter ως λύση όταν απαιτείται τριφασική σύνδεση με το δίκτυο. Μία πρακτική εν γέννη μη συμφέρουσα για τον επενδυτή. Τέλος η κλίση των πλαισίων καθορίζεται σε αυτή τη φόρμα. Το σύστημα ενημερώνει τον χρήστη για τη βέλτιστη κλίση που πρέπει να έχει ένα διασυνδεδεμένο Φ.Σ. γνωρίζοντας το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής εγκατάστασης που έχει επιλεγεί.

Οικονομικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης



| Οικονομικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης | | |
|---|----------------------|--|
| συνολικό κόστος συστήματος [€] | ή | κόστος συλλεκτών [€] κόστος inverter [€] κόστος βάσεων [€] |
| <input type="text"/> | | κόστος εγκατάστασης [€] λοιπά κόστη [€] <input type="text"/> |
| ποσό δανείου [€] | επιτόκιο δανείου [%] | διάρκεια δανείου [μήνες] |
| <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| κόστος κεφαλαίου [%] | | |
| <input type="text"/> | | |
| έτος σύνδεσης Φ.Σ. | | |
| <input type="radio"/> 2011 <input type="radio"/> 2012 <input type="radio"/> 2013 <input type="radio"/> 2014 | | |
| <input type="button" value="Επόμενο βήμα ->"/> | | |

Σχήμα 5.5 σελίδα καθορισμού των οικονομικών στοιχείων της επένδυσης

Σε αυτή τη σελίδα καθορίζονται τα οικονομικά χαρακτηριστικά της εγκατάστασης υπάρχει δυνατότητα εισόδου ολόκληρου του κόστους του συστήματος ή μεμονωμένα των συστατικών του τμημάτων. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εισάγει οικονομικά χαρακτηριστικά δανείου αν κάποιο τμήμα της επένδυσης προέρχεται από αυτό. Το δάνειο πρέπει να είναι σταθερού επιτοκίου ώστε να μπορέσει το σύστημα να υπολογίσει τη χρηματική ροή εξόδου. Το κόστος ευκαιρίας καθορίζεται σε αυτό το σημείο από το χρήστη και δίνεται υπό μορφή ποσοστού. Τέλος εδώ καθορίζεται και το έτος σύνδεσης του Φ.Σ. με το δίκτυο της ΔΕΗ έναν πολύ σημαντικό παράγοντα για τον καθορισμό των οικονομικών μεγεθών της επένδυσης.

Αποτελέσματα Συστήματος



| Αποτέλεσμα για σύστημα # 1 | | | |
|--|---|---------------------------------|-------------------------|
| Συλλέκτης: s_16 165 | inverter: STP 10000 TL | Συνολικό κόστος: 32000 [€] | Έτος σύνδεσης: 2011 |
| Αναμενόμενο κέρδος [25 έτη]: 117,836.89 [€] | Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης: 29.83 [%] | | Έτη απόσβεσης: 4.00 |
| Ποσό δανείου : - [€] | Επιτόκιο δανείου : - [%] | Διάρκεια δανείου : - [μήνες] | Μηνιαία δόση : 0 [€] |

| Αποτέλεσμα για σύστημα # 2 | | | |
|--|---|---------------------------------|-------------------------|
| Συλλέκτης: 4180T | inverter: STP 10000 TL | Συνολικό κόστος: 39000 [€] | Έτος σύνδεσης: 2011 |
| Αναμενόμενο κέρδος [25 έτη]: 110,835.64 [€] | Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης: 24.41 [%] | | Έτη απόσβεσης: 5.00 |
| Ποσό δανείου : - [€] | Επιτόκιο δανείου : - [%] | Διάρκεια δανείου : - [μήνες] | Μηνιαία δόση : 0 [€] |

Νέος Υπολογισμός

Σχήμα 5.6 Η σελίδα παρουσίασης των αποτελεσμάτων

Όταν ολοκληρωθούν οι υπολογισμοί τα αποτελέσματα παρουσιάζονται συνοπτικά στον χρήστη, Ο οποίος έχει την δυνατότητα να ξεκινήσει νέους υπολογισμούς. Για κάθε υπολογισμό εκτυπώνονται τα στοιχεία του πάνελ, του μετατροπέα, το συνολικό κόστος, το έτος σύνδεσης τα στοιχεία του δανείου αν υπάρχουν συμπεριλαμβανομένης και της μηνιαίας δόσης όπως αυτή έχει υπολογιστεί. Τέλος εκτυπώνεται το αναμενόμενο κέρδος που δεν είναι τίποτα άλλο από την ΚΠΑ., ο ΕΣΑ. καθώς και τα απαιτούμενα έτη απόσβεσης της επένδυσης.

Κεφάλαιο 6

Αποτελέσματα

6.1 Σύνδεση του ίδιου συστήματος σε διαφορετικά έτη

| Πίνακας 6.1 Αποτελέσματα για σενάριο Φ.Σ. στα Χανιά για διαφορετικά έτη σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο | | |
|--|------------------|---|
| Τοποθεσία Εγκατάστασης | | |
| Περιοχή Εγκατάστασης | Σούδα | |
| Γωνία Προσανατολισμού (ως προς το Νότο) [°] | 0 | |
| Τεχνικά Χαρακτηριστικά | | |
| Μοντέλο Πάνελ | S_18 240 | |
| Μοντέλο Μετατροπέα | STP10000TL | |
| Κλίση Πάνελ | 36 | |
| Αριθμός Μετατροπέων (του συστήματος) | 1 | |
| Συνολική Ισχύς Συστήματος [Watt] | 10.000 | |
| Οικονομικά Χαρακτηριστικά | | |
| Συνολικό Κόστος [€] | 30.000 | |
| Στοιχεία Δανείου | Ποσό [€] | - |
| | Επιτόκιο [%] | - |
| | Διάρκεια [μήνες] | - |
| Κόστος Κεφαλαίου [%] | 4,5 | |
| Έτος Σύνδεσης | 2011 | |
| Αποτελέσματα Συστήματος | | |
| Αναμενόμενο Κέρδος (ΚΠΑ) | 119.625 | |
| Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης [%] | 31,79 | |
| Έτη Απόσβεσης | 4 | |
| Ποσό Δόσης Δανείου [€] | - | |

| Πίνακας 6.2 Αποτελέσματα για σενάριο Φ.Σ. στα Χανιά για διαφορετικά έτη σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο | | |
|--|------------------|---|
| Τοποθεσία Εγκατάστασης | | |
| Περιοχή Εγκατάστασης | Σούδα | |
| Γωνία Προσανατολισμού (ως προς το Νότο) [°] | 0 | |
| Τεχνικά Χαρακτηριστικά | | |
| Μοντέλο Πάνελ | S_18 240 | |
| Μοντέλο Μετατροπέα | STP10000TL | |
| Κλίση Πάνελ | 36 | |
| Αριθμός Μετατροπέων (του συστήματος) | 1 | |
| Συνολική Ισχύς Συστήματος [Watt] | 10.000 | |
| Οικονομικά Χαρακτηριστικά | | |
| Συνολικό Κόστος [€] | 30.000 | |
| Στοιχεία Δανείου | Ποσό [€] | - |
| | Επιτόκιο [%] | - |
| | Διάρκεια [μήνες] | - |
| Κόστος Κεφαλαίου [%] | 4,5 | |
| Έτος Σύνδεσης | 2012 | |
| Αποτελέσματα Συστήματος | | |
| Αναμενόμενο Κέρδος (ΚΠΑ) | 112.143 | |
| Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης [%] | 30,19 | |
| Έτη Απόσβεσης | 4 | |
| Ποσό Δόσης Δανείου [€] | - | |

| Πίνακας 6.3 Αποτελέσματα για σενάριο Φ.Σ. στα Χανιά για διαφορετικά έτη σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο | | |
|--|------------------|---|
| Τοποθεσία Εγκατάστασης | | |
| Περιοχή Εγκατάστασης | Σούδα | |
| Γωνία Προσανατολισμού (ως προς το Νότο) [°] | 0 | |
| Τεχνικά Χαρακτηριστικά | | |
| Μοντέλο Πάνελ | S_18 240 | |
| Μοντέλο Μετατροπέα | STP10000TL | |
| Κλίση Πάνελ | 36 | |
| Αριθμός Μετατροπέων (του συστήματος) | 1 | |
| Συνολική Ισχύς Συστήματος [Watt] | 10.000 | |
| Οικονομικά Χαρακτηριστικά | | |
| Συνολικό Κόστος [€] | 30.000 | |
| Στοιχεία Δανείου | Ποσό [€] | - |
| | Επιτόκιο [%] | - |
| | Διάρκεια [μήνες] | - |
| Κόστος Κεφαλαίου [%] | 4,5 | |
| Έτος Σύνδεσης | 2013 | |
| Αποτελέσματα Συστήματος | | |
| Αναμενόμενο Κέρδος (ΚΠΑ) | 105.036 | |
| Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης [%] | 28,67 | |
| Έτη Απόσβεσης | 4 | |
| Ποσό Δόσης Δανείου [€] | - | |

| Πίνακας 6.4 Αποτελέσματα για σενάριο Φ.Σ. στα Χανιά για διαφορετικά έτη σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο | | |
|--|------------------|---|
| Τοποθεσία Εγκατάστασης | | |
| Περιοχή Εγκατάστασης | Σούδα | |
| Γωνία Προσανατολισμού (ως προς το Νότο) [°] | 0 | |
| Τεχνικά Χαρακτηριστικά | | |
| Μοντέλο Πάνελ | S_18 240 | |
| Μοντέλο Μετατροπέα | STP10000TL | |
| Κλίση Πάνελ | 36 | |
| Αριθμός Μετατροπέων (του συστήματος) | 1 | |
| Συνολική Ισχύς Συστήματος [Watt] | 10.000 | |
| Οικονομικά Χαρακτηριστικά | | |
| Συνολικό Κόστος [€] | 30.000 | |
| Στοιχεία Δανείου | Ποσό [€] | - |
| | Επιτόκιο [%] | - |
| | Διάρκεια [μήνες] | - |
| Κόστος Κεφαλαίου [%] | 4,5 | |
| Έτος Σύνδεσης | 2014 | |
| Αποτελέσματα Συστήματος | | |
| Αναμενόμενο Κέρδος (ΚΠΑ) | 98.284 | |
| Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης [%] | 27,22 | |
| Έτη Απόσβεσης | 5 | |
| Ποσό Δόσης Δανείου [€] | - | |

6.2 Μελέτη του ίδιου συστήματος για διαφορετικές γωνίες προσανατολισμού ως προς το Νότο

| Πίνακας 6.5 Αποτελέσματα για σενάριο Φ.Σ. στα Χανιά για διαφορετικές γωνίες προσανατολισμού | | |
|--|------------------|------------|
| Τοποθεσία Εγκατάστασης | | |
| Περιοχή Εγκατάστασης | | Σούδα |
| Γωνία Προσανατολισμού (ως προς το Νότο) [°] | | 0 |
| Τεχνικά Χαρακτηριστικά | | |
| Μοντέλο Πάνελ | | M 235 3BB |
| Μοντέλο Μετατροπέα | | STP10000TL |
| Κλίση Πάνελ | | 36 |
| Αριθμός Μετατροπέων (του συστήματος) | | 1 |
| Συνολική Ισχύς Συστήματος [Watt] | | 10.000 |
| Οικονομικά Χαρακτηριστικά | | |
| Συνολικό Κόστος [€] | | 35.000 |
| Στοιχεία Δανείου | Ποσό [€] | - |
| | Επιτόκιο [%] | - |
| | Διάρκεια [μήνες] | - |
| Κόστος Κεφαλαίου [%] | | 4,5 |
| Έτος Σύνδεσης | | 2011 |
| Αποτελέσματα Συστήματος | | |
| Αναμενόμενο Κέρδος (ΚΠΑ) | | 113.684 |
| Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης [%] | | 27,03 |
| Έτη Απόσβεσης | | 5 |
| Ποσό Δόσης Δανείου [€] | | - |

| Πίνακας 6.6 Αποτελέσματα για σενάριο Φ.Σ. στα Χανιά για διαφορετικές γωνίες προσανατολισμού | | |
|--|------------------|---|
| Τοποθεσία Εγκατάστασης | | |
| Περιοχή Εγκατάστασης | Σούδα | |
| Γωνία Προσανατολισμού (ως προς το Νότο) [°] | 45 | |
| Τεχνικά Χαρακτηριστικά | | |
| Μοντέλο Πάνελ | M 235 3BB | |
| Μοντέλο Μετατροπέα | STP10000TL | |
| Κλίση Πάνελ | 36 | |
| Αριθμός Μετατροπέων (του συστήματος) | 1 | |
| Συνολική Ισχύς Συστήματος [Watt] | 10.000 | |
| Οικονομικά Χαρακτηριστικά | | |
| Συνολικό Κόστος [€] | 35.000 | |
| Στοιχεία Δανείου | Ποσό [€] | - |
| | Επιτόκιο [%] | - |
| | Διάρκεια [μήνες] | - |
| Κόστος Κεφαλαίου [%] | 4,5 | |
| Έτος Σύνδεσης | 2011 | |
| Αποτελέσματα Συστήματος | | |
| Αναμενόμενο Κέρδος (ΚΠΑ) | 105.953 | |
| Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης [%] | 25,06 | |
| Έτη Απόσβεσης | 5 | |
| Ποσό Δόσης Δανείου [€] | - | |

| Πίνακας 6.7 Αποτελέσματα για σενάριο Φ.Σ. στα Χανιά για διαφορετικές γωνίες προσανατολισμού | | |
|--|------------------|---|
| Τοποθεσία Εγκατάστασης | | |
| Περιοχή Εγκατάστασης | Σούδα | |
| Γωνία Προσανατολισμού (ως προς το Νότο) [°] | -45 | |
| Τεχνικά Χαρακτηριστικά | | |
| Μοντέλο Πάνελ | M 235 3BB | |
| Μοντέλο Μετατροπέα | STP10000TL | |
| Κλίση Πάνελ | 36 | |
| Αριθμός Μετατροπέων (του συστήματος) | 1 | |
| Συνολική Ισχύς Συστήματος [Watt] | 10.000 | |
| Οικονομικά Χαρακτηριστικά | | |
| Συνολικό Κόστος [€] | 35.000 | |
| Στοιχεία Δανείου | Ποσό [€] | - |
| | Επιτόκιο [%] | - |
| | Διάρκεια [μήνες] | - |
| Κόστος Κεφαλαίου [%] | 4,5 | |
| Έτος Σύνδεσης | 2011 | |
| Αποτελέσματα Συστήματος | | |
| Αναμενόμενο Κέρδος (ΚΠΑ) | 106.896 | |
| Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης [%] | 25,79 | |
| Έτη Απόσβεσης | 5 | |
| Ποσό Δόσης Δανείου [€] | - | |

6.3 Μελέτη της μεταβολής της απόδοσης συστήματος λόγω μεταβολής της κλίσης των πάνελ από τη βέλτιστη τιμή στο οριζόντιο επίπεδο για μία Νότια και μία Βόρεια περιοχή.

| Πίνακας 6.8 Αποτελέσματα για σενάριο Φ.Σ. στα Χανιά για διαφορετική κλίση συλλεκτών [36°] | | |
|--|------------------|---|
| Τοποθεσία Εγκατάστασης | | |
| Περιοχή Εγκατάστασης | Σούδα | |
| Γωνία Προσανατολισμού (ως προς το Νότο) [°] | 0 | |
| Τεχνικά Χαρακτηριστικά | | |
| Μοντέλο Πάνελ | M 235 3BB | |
| Μοντέλο Μετατροπέα | STP10000TL | |
| Κλίση Πάνελ | 36 | |
| Αριθμός Μετατροπέων (του συστήματος) | 1 | |
| Συνολική Ισχύς Συστήματος [Watt] | 10.000 | |
| Οικονομικά Χαρακτηριστικά | | |
| Συνολικό Κόστος [€] | 35.000 | |
| Στοιχεία Δανείου | Ποσό [€] | - |
| | Επιτόκιο [%] | - |
| | Διάρκεια [μήνες] | - |
| Κόστος Κεφαλαίου [%] | 4,5 | |
| Έτος Σύνδεσης | 2011 | |
| Αποτελέσματα Συστήματος | | |
| Αναμενόμενο Κέρδος (ΚΠΑ) | 113.684 | |
| Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης [%] | 27,03 | |
| Έτη Απόσβεσης | 5 | |
| Ποσό Δόσης Δανείου [€] | - | |

| Πίνακας 6.9 Αποτελέσματα για σενάριο Φ.Σ. στα Χανιά για διαφορετική κλίση συλλεκτών [0°] | | |
|---|------------------|---|
| Τοποθεσία Εγκατάστασης | | |
| Περιοχή Εγκατάστασης | Σούδα | |
| Γωνία Προσανατολισμού (ως προς το Νότο) [°] | 0 | |
| Τεχνικά Χαρακτηριστικά | | |
| Μοντέλο Πάνελ | M 235 3BB | |
| Μοντέλο Μετατροπέα | STP10000TL | |
| Κλίση Πάνελ | 0 | |
| Αριθμός Μετατροπέων (του συστήματος) | 1 | |
| Συνολική Ισχύς Συστήματος [Watt] | 10.000 | |
| Οικονομικά Χαρακτηριστικά | | |
| Συνολικό Κόστος [€] | 35.000 | |
| Στοιχεία Δανείου | Ποσό [€] | - |
| | Επιτόκιο [%] | - |
| | Διάρκεια [μήνες] | - |
| Κόστος Κεφαλαίου [%] | 4,5 | |
| Έτος Σύνδεσης | 2011 | |
| Αποτελέσματα Συστήματος | | |
| Αναμενόμενο Κέρδος (ΚΠΑ) | 98.945 | |
| Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης [%] | 24,32 | |
| Έτη Απόσβεσης | 5 | |
| Ποσό Δόσης Δανείου [€] | - | |

| Πίνακας 6.10 Αποτελέσματα για σενάριο Φ.Σ. στη Θεσσαλονίκη για διαφορετική κλίση συλλεκτών [41°] | | |
|---|------------------|---|
| Τοποθεσία Εγκατάστασης | | |
| Περιοχή Εγκατάστασης | Θεσσαλονίκη | |
| Γωνία Προσανατολισμού (ως προς το Νότο) [°] | 0 | |
| Τεχνικά Χαρακτηριστικά | | |
| Μοντέλο Πάνελ | M 235 3BB | |
| Μοντέλο Μετατροπέα | STP10000TL | |
| Κλίση Πάνελ | 41 | |
| Αριθμός Μετατροπέων (του συστήματος) | 1 | |
| Συνολική Ισχύς Συστήματος [Watt] | 10.000 | |
| Οικονομικά Χαρακτηριστικά | | |
| Συνολικό Κόστος [€] | 35.000 | |
| Στοιχεία Δανείου | Ποσό [€] | - |
| | Επιτόκιο [%] | - |
| | Διάρκεια [μήνες] | - |
| Κόστος Κεφαλαίου [%] | 4,5 | |
| Έτος Σύνδεσης | 2011 | |
| Αποτελέσματα Συστήματος | | |
| Αναμενόμενο Κέρδος (ΚΠΑ) | 90.466 | |
| Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης [%] | 22,74 | |
| Έτη Απόσβεσης | 5 | |
| Ποσό Δόσης Δανείου [€] | - | |

| Πίνακας 6.11 Αποτελέσματα για σενάριο Φ.Σ. στη Θεσσαλονίκη για διαφορετική κλίση συλλεκτών [0°] | | |
|--|------------------|---|
| Τοποθεσία Εγκατάστασης | | |
| Περιοχή Εγκατάστασης | Θεσσαλονίκη | |
| Γωνία Προσανατολισμού (ως προς το Νότο) [°] | 0 | |
| Τεχνικά Χαρακτηριστικά | | |
| Μοντέλο Πάνελ | M 235 3BB | |
| Μοντέλο Μετατροπέα | STP10000TL | |
| Κλίση Πάνελ | 0 | |
| Αριθμός Μετατροπέων (του συστήματος) | 1 | |
| Συνολική Ισχύς Συστήματος [Watt] | 10.000 | |
| Οικονομικά Χαρακτηριστικά | | |
| Συνολικό Κόστος [€] | 35.000 | |
| Στοιχεία Δανείου | Ποσό [€] | - |
| | Επιτόκιο [%] | - |
| | Διάρκεια [μήνες] | - |
| Κόστος Κεφαλαίου [%] | 4,5 | |
| Έτος Σύνδεσης | 2011 | |
| Αποτελέσματα Συστήματος | | |
| Αναμενόμενο Κέρδος (ΚΠΑ) | 78.261 | |
| Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης [%] | 20,46 | |
| Έτη Απόσβεσης | 5 | |
| Ποσό Δόσης Δανείου [€] | - | |

6.4 Μελέτη της επίδρασης της ύπαρξης δανείου στην απόδοση της επένδυσης

| Πίνακας 6.12 Αποτελέσματα για σενάριο Φ.Σ. στα Χανιά για επένδυση χωρίς τη συγχρηματοδότηση από δάνειο | | |
|---|------------------|------------|
| Τοποθεσία Εγκατάστασης | | |
| Περιοχή Εγκατάστασης | | Σούδα |
| Γωνία Προσανατολισμού (ως προς το Νότο) [°] | | 0 |
| Τεχνικά Χαρακτηριστικά | | |
| Μοντέλο Πάνελ | | KD 135GH |
| Μοντέλο Μετατροπέα | | STP10000TL |
| Κλίση Πάνελ | | 0 |
| Αριθμός Μετατροπέων (του συστήματος) | | 1 |
| Συνολική Ισχύς Συστήματος [Watt] | | 10.000 |
| Οικονομικά Χαρακτηριστικά | | |
| Συνολικό Κόστος [€] | | 43.000 |
| Στοιχεία Δανείου | Ποσό [€] | - |
| | Επιτόκιο [%] | - |
| | Διάρκεια [μήνες] | - |
| Κόστος Κεφαλαίου [%] | | 4,5 |
| Έτος Σύνδεσης | | 2011 |
| Αποτελέσματα Συστήματος | | |
| Αναμενόμενο Κέρδος (ΚΠΑ) | | 110.848 |
| Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης [%] | | 22,70 |
| Έτη Απόσβεσης | | 5 |
| Ποσό Δόσης Δανείου [€] | | - |

| Πίνακας 6.13 Αποτελέσματα για σενάριο Φ.Σ. στα Χανιά για επένδυση με τη συγχρηματοδότηση από δάνειο | | |
|--|------------------|--------|
| Τοποθεσία Εγκατάστασης | | |
| Περιοχή Εγκατάστασης | Σούδα | |
| Γωνία Προσανατολισμού (ως προς το Νότο) [°] | 0 | |
| Τεχνικά Χαρακτηριστικά | | |
| Μοντέλο Πάνελ | KD 135GH | |
| Μοντέλο Μετατροπέα | STP10000TL | |
| Κλίση Πάνελ | 0 | |
| Αριθμός Μετατροπέων (του συστήματος) | 1 | |
| Συνολική Ισχύς Συστήματος [Watt] | 10.000 | |
| Οικονομικά Χαρακτηριστικά | | |
| Συνολικό Κόστος [€] | 43.000 | |
| Στοιχεία Δανείου | Ποσό [€] | 20.000 |
| | Επιτόκιο [%] | 9 |
| | Διάρκεια [μήνες] | 60 |
| Κόστος Κεφαλαίου [%] | 4,5 | |
| Έτος Σύνδεσης | 2011 | |
| Αποτελέσματα Συστήματος | | |
| Αναμενόμενο Κέρδος (ΚΠΑ) | 88.669 | |
| Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης [%] | 16,19 | |
| Έτη Απόσβεσης | 8 | |
| Ποσό Δόσης Δανείου [€] | 415,2 | |

6.5 Μελέτη της διαφοράς που παρουσιάζουν στα αποτελέσματα τα δύο μοντέλα ακτινοβολίας

| Πίνακας 6.15 Αποτελέσματα για σενάριο Φ.Σ. στα Χανιά για επένδυση χωρίς τη συγχρηματοδότηση από δάνειο (μοντέλο ωριαίων ακτινοβολιών) | | |
|--|------------------|---|
| Τοποθεσία Εγκατάστασης | | |
| Περιοχή Εγκατάστασης | Σούδα | |
| Γωνία Προσανατολισμού (ως προς το Νότο) [°] | 0 | |
| Τεχνικά Χαρακτηριστικά | | |
| Μοντέλο Πάνελ | KD 135GH | |
| Μοντέλο Μετατροπέα | STP10000TL | |
| Κλίση Πάνελ | 0 | |
| Αριθμός Μετατροπέων (του συστήματος) | 1 | |
| Συνολική Ισχύς Συστήματος [Watt] | 10.000 | |
| Οικονομικά Χαρακτηριστικά | | |
| Συνολικό Κόστος [€] | 43.000 | |
| Στοιχεία Δανείου | Ποσό [€] | - |
| | Επιτόκιο [%] | - |
| | Διάρκεια [μήνες] | - |
| Κόστος Κεφαλαίου [%] | 4,5 | |
| Έτος Σύνδεσης | 2011 | |
| Αποτελέσματα Συστήματος | | |
| Αναμενόμενο Κέρδος (ΚΠΑ) | 112.799 | |
| Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης [%] | 22,98 | |
| Έτη Απόσβεσης | 8 | |
| Ποσό Δόσης Δανείου [€] | 415,2 | |

| Πίνακας 6.16 Αποτελέσματα για σενάριο Φ.Σ. στα Χανιά για επένδυση με τη συγχρηματοδότηση από δάνειο (μοντέλο ωριαίων ακτινοβολιών) | | |
|---|------------------|--------|
| Τοποθεσία Εγκατάστασης | | |
| Περιοχή Εγκατάστασης | Σούδα | |
| Γωνία Προσανατολισμού (ως προς το Νότο) [°] | 0 | |
| Τεχνικά Χαρακτηριστικά | | |
| Μοντέλο Πάνελ | KD 135GH | |
| Μοντέλο Μετατροπέα | STP10000TL | |
| Κλίση Πάνελ | 0 | |
| Αριθμός Μετατροπέων (του συστήματος) | 1 | |
| Συνολική Ισχύς Συστήματος [Watt] | 10.000 | |
| Οικονομικά Χαρακτηριστικά | | |
| Συνολικό Κόστος [€] | 43.000 | |
| Στοιχεία Δανείου | Ποσό [€] | 20.000 |
| | Επιτόκιο [%] | 9 |
| | Διάρκεια [μήνες] | 60 |
| Κόστος Κεφαλαίου [%] | 4,5 | |
| Έτος Σύνδεσης | 2011 | |
| Αποτελέσματα Συστήματος | | |
| Αναμενόμενο Κέρδος (ΚΠΑ) | 90.620 | |
| Εσωτερικός Συντελεστής Απόδοσης [%] | 16,45 | |
| Έτη Απόσβεσης | 8 | |
| Ποσό Δόσης Δανείου [€] | 415,2 | |

Κεφάλαιο 7

Συμπεράσματα μελλοντικές επεκτάσεις

Η απόδοση που θα έχει μία επένδυση Φ.Σ. σε στέγη εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Σημαντικότερος από όλους εξακολουθεί να είναι αυτός της τοποθεσίας εγκατάστασης ο οποίος καθορίζει και την ηλιακή ενέργεια που είναι διαθέσιμη κατά τη διάρκεια ενός έτους. Εκτός όμως από την ηλιακό δυναμικό μιας περιοχής μεγάλη σημασία διαδραματίζουν και άλλοι παράγοντες τους οποίους πολλές φορές δεν λαμβάνουμε υπόψη μας. Ένας από αυτούς είναι το έτος στο οποίο θα πραγματοποιηθεί η σύνδεση της εγκατάστασης με το δίκτυο. Έτσι μία διαφορά στα έτη σύνδεσης μεταξύ του 2011 και του 2014 αντιστοιχεί σε μία μεταβολή του ΕΣΑ Κατά 4,5 ποσοστιαίες μονάδες και μία διαφορά στα αναμενόμενα κέρδη κατά 21.000€, όπως προκύπτει από το σενάριο μας. Ο παράγοντας της μεταβολής του προσανατολισμού ως προς το Νότιο ,που είναι και ο βέλτιστος δεν έχει μεγάλη επίδραση στο αναμενόμενο κέρδος και των ΕΣΑ του συστήματος.

Έτσι για μία περιοχή με μεγάλο ηλιακό δυναμικό όπως τα Χανιά μία απόκλιση κατά 45° προς τα Ανατολικά ή Δυτικά έχει οδηγήσει σε ελάττωση του ΕΣΑ. κατά 2 ποσοστιαίες μονάδες ή αλλιώς σε 7.000€ (για το σενάριο μας) σε βάθος 25 χρόνων. Η διαφορά στην κλίση που μπορεί να έχουν τα Φ.Π. ως προς τη βέλτιστη κλίση τους, όπως αυτή ορίζεται από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής, δεν έχει μεγάλη επίδραση στους χρηματοοικονομικούς συντελεστές που ελέγχουμε.

Έτσι μία μεταβολή από τη βέλτιστη κλίση στην οριζόντια τοποθέτηση επιφέρει μεταβολές στον ΕΣΑ τόσο για την περιοχή της Θεσσαλονίκης όσο και για αυτή των Χανίων όχι πολύ μεγαλύτερες από 2 ποσοστιαίες μονάδες.

Αν τώρα οι βάσεις στήριξης των πλαισίων σε μια οριζόντια τοποθέτηση είναι αρκετά πιο οικονομικές από αυτές που παρέχουν δυνατότητα κλίσης, ίσως τότε η οριζόντια τοποθέτηση των πάνελ να είναι μία αρκετά συμφέρουσα λύση για Φ.Σ. που εγκαθίστανται σε δώματα περιορισμένης επιφάνειας. Η ύπαρξη δανείου σε μία επένδυση επιφέρει μεγάλη πτώση στην απόδοση ενός συστήματος. Στο σενάριο μας η ύπαρξη δανείου 20.000€ και αποπληρωμής σε 60 μήνες με ένα επιτόκιο 9% επιφέρει μείωση στον ΕΣΑ κατά περίπου 4,5 ποσοστιαίες μονάδες. Τέλος συγκρίνοντας ως προς τα αποτελέσματα τους δύο αλγορίθμους του μοντέλου ακτινοβολίας διαπιστώνεται πολύ μικρή απόκλιση μεταξύ τους, που στο σενάριο που ελέγχθηκε ήταν της τάξης των 0,3 ποσοστιαίων μονάδων για τον ΕΣΑ ή 2.000€ για το αναμενόμενο κέρδος .

Οι μελλοντικές επεκτάσεις για την παρούσα εργασία θα μπορούσαν να ήταν πολλές. Ξεκινώντας από τη μοντελοποίηση του Φ.Σ. θα μπορούσε να υλοποιηθεί ένας ποίο ακριβής αλγόριθμος ο οποίος θα λάμβανε υπόψη του την επίδραση της ακτινοβολίας στην απόδοση των πλαισίων.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση του συστήματος, η καθαρότητα των Φ.Π. θα μπορούσε να μοντελοποιηθεί επίσης, λαμβάνοντας υπόψη ίσως μετεωρολογικά δεδομένα βροχοπτώσεων της περιοχής εγκατάστασης. Η προσθήκη κάποιου αλγορίθμου διαστασιολόγησης του Φ.Σ. θα ήταν πολύ χρήσιμη, θα έπρεπε όμως να συνδυαστεί παράλληλα και έναν απλό τρόπο περιγραφής της μορφής της στέγης, για την περίπτωση όπου η τοποθέτηση του συστήματος δεν γίνεται σε δώμα αλλά σε στέγη.

Τέλος η παροχή στο χρήστη της δυνατότητας να συνδέεται με τη βάση του συστήματος και να αποθηκεύει εκεί τα αποτελέσματά του. Η βάση δεδομένων του συστήματος έχει σχεδιαστεί και υλοποιηθεί σύμφωνα με αυτό το γνώμονα.

Βιβλιογραφία

- [1] Johan A. Duffie, William A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, John Wiley and Sons publication
- [2] J. Mondol, Y. Yohanis, B. Norton, The impact of array inclination and orientation on the performance of a grid-connected photovoltaic system, Renewable Energy, 32, 118-140, 2007
- [3] David L. King, Jay A. Kratochvil, William E. Boyson, Temperature Coefficients for PV Modules and Arrays, Presented at the 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 1997
- [4] J. Mondol, Y. Yohanis, B. Norton, Optimal sizing of array and inverter for grid-connected photovoltaic systems, Solar Energy, 80, 1517-1539, 2006
- [5] G. Nofuentes, J. Aguilera, C. Rus and R.L. Santiago, A short assessment on the profitability of PV grid-connected systems using classical investment project analysis 3rd World conference on photovoltaic energy conversion, 2003
- [6] Άρης Κορνελάκης, Βελτιστοποίηση σχεδιασμού και αξιολόγηση συστήματος φωτοβολταϊκών στοιχείων για την παραγωγή ενέργειας σε ηλεκτρικά δίκτυα, Διπλωματική εργασία, Πολυτεχνείο Κρήτης, 2008
- [7] Steve Ransome, How well do PV modelling algorithms really predict performance, BP Solar's technical papers
- [8] Κ. Καργκαράκης, Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, Εκδόσεις Συμμετρία, 1992
- [9] Γ.Κ. Φιλιππάτος, Π.Ι. Αθανασόπουλος, Εισαγωγή στη Χρηματοοικονομική Διοίκηση, Εκδόσεις Παπαζήση, 1985