ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάπτυξη Μοντέλων Προσομοίωσης Για Την Αξιολόγηση Της Εγκατάστασης Φωτοβολταϊκών Στοιχείων Σε Κτίρια Γραφείων

Γανωτή Σταυρούλα

Επιβλέπων Καθηγητής: Ρόβας Δημήτριος

Χανιά, 2010

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα Σχημάτων

Περιεχόμενα Πινάκων

Περίληψη

Η αλόγιστη σπατάλη ενέργειας σε συνδυασμό με την εξάντληση αποθεμάτων συμβατικών καυσίμων συνθέτουν το ενεργειακό πρόβλημα που αντιμετωπίζει σήμερα ο πλανήτης μας. Η εκπομπή αερίων όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), που εκλύονται κατά την καύση συμβατικών καυσίμων, απορροφούν μέρος της εκπεμπόμενης από τη γη ακτινοβολίας συμβάλλοντας έτσι στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη και οδηγώντας στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι αυξανόμενες ανάγκες σε ενέργεια σε συνδυασμό με την περιορισμένη παραγωγή και αποθέματα συμβατικών καυσίμων καθώς και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση τους, καθιστούν επιτακτική τη χρήση νέων φιλικών προς το περιβάλλον πηγών ενέργειας, αλλά και την εύρεση τρόπων ώστε να γίνεται αποτελεσματικότερη χρήση της διαθέσιμης ενέργειας.

Σύμφωνα με μελέτες ο κτηριακός τομέας είναι υπεύθυνος για το 40% [1] περίπου της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο. Η εύρεση μεθοδολογιών αποτελεσματικότερης χρήσης της ενέργειας και αντικατάστασης συμβατικών πηγών ενέργειας με άλλες φιλικότερες προς το περιβάλλον, μπορούν να οδηγήσουν σε περιορισμό του προβλήματος.

Έτσι διακιολογείται το μεγάλο ενδιαφέρον που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια για τη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) στην παγκόσμια και ελληνική αγορά. Η χρής Α.Π.Ε. μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάλυψη μέρους των λειτουργικών ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου όπως φωτισμός, ψύξη, θέρμανση με περιβαλλοντικά φιλικό τρόπο. Ωστόσο, είναι αρκετά δύσκολο να γίνει σωστή πρόβλεψη αφενός των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου και αφετέρου του ποσοστού αυτών οι οποίες δύναται να καλυφθούν από τις Α.Π.Ε. Απαιτείται λοιπόν η χρήση λογισμικού το οποίο υπολογίζει με ακρίβεια τις ενεργειακές απαιτήσεις ενός κτιρίου, όπως επίσης και το ποσοστό της ενέργειας που μπορεί να καλυφθεί από Α.Π.Ε.

Η παρούσα εργασία ασχολείται με τη χρήση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας και επικεντρώνεται στην μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκών σε κτίρια με σκοπό την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητάς τους. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού EnergyPlus. Το EnergyPlus είναι ένα λογισμικό ενεργειακής επιθεώρησης κτιρίων το οποίο έχει και τη δυνατότητα προσομοίωσης φωτοβολταϊκών, Μέσω του λογισμικού αυτού, προσδιορίζονται ποσοτικά οι επιδράσεις διαφόρων παραγόντων στην απόδοση των φωτοβολταϊκών. Έγινε εφαρμογή στο κτίριο της Τεχνικής Υπηρεσίας του Πολυτεχνείου Κρήτης το οποίο βρίσκεται στα Χανιά. Δεδομένου του υψηλού ηλιακού δυναμικού που παρουσιάζει η Κρήτη συγκριτικά με την υπόλοιπη Ελλάδα ενδείκνυται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στην οροφή του κτιρίου.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Όλο και πιο έντονο γίνεται το ενεργειακό πρόβλημα που αντιμετωπίζει σήμερα ο πλανήτης μας. Το πρόβλημα αυτό συνίσταται στην έλλειψη ενέργειας και όχι σ’ αυτή καθ’ εαυτή παρουσία της. Μετά από μία σειρά πετρελαϊκών κρίσεων γίνεται αντιληπτό ότι τα αποθέματα ενέργειας είναι πια περιορισμένα. Οι ολοένα αυξανόμενες, σύγχρονες και απαιτητικές ανάγκες μας, σε συνδυασμό με την εξάντληση των πηγών παραγωγής ενέργειας καθιστούν άμεση την αντιμετώπιση του προβλήματος το οποίο έχει έντονες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα αέρια που εκλύονται κατά την καύση συμβατικών πηγών καυσίμων επιβαρύνουν το περιβάλλον. Η εκπομπή αερίων όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), τα οποία απορροφούν και κατακρατούν μέρος της θερμότητας που εκπέμπει η επιφάνεια της γης, εντείνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου που συμβάλλει στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Υπολογίζεται ότι η παραγωγή και χρήση ενέργειας ευθύνεται για το 94% των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στην ατμόσφαιρα, με το 45% αυτής να αποδίδεται στον κτιριακό τομέα. Εκτιμάται ότι το 40% της συνολικά παραγόμενης ενέργειας καταναλώνεται από τα κτίρια, ποσοστό το οποίο παρουσιάζει αυξητική τάση. Η έλλειψη πηγών ενέργειας σε συνδυασμό με την επιβάρυνση του περιβάλλοντος καθιστούν άμεση την αντιμετώπιση του προβλήματος. Η αξιοποίηση λύσεων και κατασκευαστικών τροποποιήσεων με κριτήριο την εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων ενός κτιρίου. Επιπρόσθετα, η χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών όπως θέρμανση, ψύξη, φωτισμός κ.α. με περιβαλλοντικά φιλικό τρόπο. Οι κυριότερες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας είναι:

- ✓ *αιολική:* παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο με χρήση ανεμογεννητριών οριζόντιου ή κατακόρυφου άξονα
- ✓ *ηλιακή:* παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων
- ✓ *βιομάζα:* Χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε απ' το φυτό με τη φωτοσύνθεση
- ✓ *γεωθερμική:* αφορά στην ενέργεια των θερμών νερών που αναβλύζουν μέσα από ηφαιστειακές διόδους ή ρήγματα του υπεδάφους. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού.
- ✓ *υδατοπτώσεις:* παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την κίνηση ηλεκτρογεννητριών με τη βοήθεια υδροστρόβιλων
- ✓ *ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκών κυμάτων, θαλάσσιων ρευμάτων:* παραγωγή ενέργειας από τα κύματα ή τις παλιρροϊκές κινήσεις

Έτσι λοιπόν, δικαιολογείται και το έντονο ενδιαφέρον που υπάρχει για την ανάπτυξη των Α.Π.Ε στην παγκόσμια και ελληνική αγορά. Η συνεισφορά τους στον ενεργειακό σχεδιασμό καταγράφει ανοδική πορεία. Σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη αυτή έχει παίξει η υποστήριξη επενδυτικών προγραμμάτων από το κράτος αλλά και από ιδιωτικές εταιρείες. Η Ελλάδα είναι μία χώρα με συγκριτικά πλεονεκτήματα ως προς τις μορφές Α.Π.Ε. Διαθέτει υψηλό αιολικό και ηλιακό δυναμικό το οποίο βοηθά στην ανάπτυξη τέτοιων μορφών ενέργειας. Παρ' όλα αυτά, ικανοποιητικός βαθμός αξιοποίησής τους παρατηρείται τα τελευταία χρόνια. Ανασταλτικοί παράγοντες το υψηλό κόστος της αρχικής επένδυσης, οι χρονοβόρες γραφειοκρατικές διαδικασίες αλλά και κάποιες αδυναμίες του θεσμικού πλαισίου. Ιδιαίτερη ανάπτυξη παρουσιάζει η χώρα μας στην εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Με χρήση φωτοβολταϊκών στοιχείων, μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η ανοδική πορεία που παρουσιάζει τα τελευταία χρόνια η εγκατεστημένη φωτοβολταϊκή ισχύς στη χώρα μας.

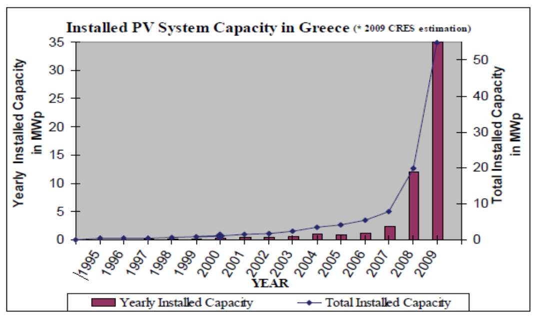
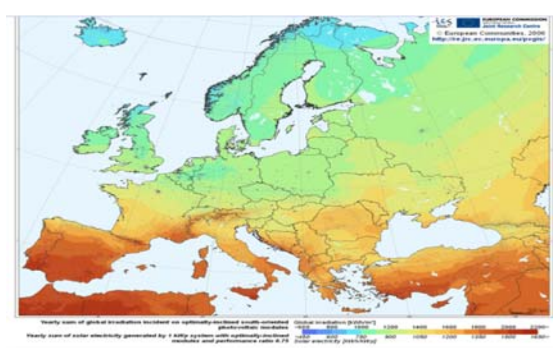


Figure 1: Yearly installed and total PV capacity in Greece.

Σχήμα 1.1: Εγκατεστημένη φβ ισχύς (MWp) στην Ελλάδα για τα έτη 1995-2009

Υπολογίζεται ότι μέχρι το τέλος του 2010 η εγκατεστημένη ισχύς θα ξεπεράσει τα 200MW, κατατάσσοντας τη χώρα μας στην 15η θέση στην Ευρώπη. Η γεωγραφική θέση της Ελλάδας παίζει σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη φβ συστημάτων. Το υψηλό ηλιακό δυναμικό που παρουσιάζει συγκριτικά με τις υπόλοιπες χώρες της Ευρώπης καθιστά την αξιοποίηση των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών ιδιαίτερα αποδοτική. Ακόμη οι απαιτήσεις για υψηλές τιμές παραγόμενης ισχύος δεν είναι μεγάλες αφού λόγω του μεσογειακού κλίματος, οι ενεργειακές ανάγκες είναι λιγότερες το χειμώνα από τις περισσότερες χώρες της Ε.Ε.



Σχήμα 1.2: Χάρτης ηλιακού δυναμικού Ευρώπης

Μεγάλη ανάπτυξη παρατηρείται και στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε κτίρια. Εγκαθίσταται ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα που βοηθά στην κάλυψη μέρους των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου. Το παραγόμενο ρεύμα, διοχετεύεται απευθείας στις συσκευές κατανάλωσης του κτιρίου ή αποθηκεύεται στις μπαταρίες. Ένα αυτόνομο σύστημα αποτελείται από τη φωτοβολταϊκή συστοιχία, το σύστημα μετατροπής ισχύος (inverter) και το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας (μπαταρίες). Ανάλογα με τη θέση του κτιρίου, επιλέγεται και η καλύτερη δυνατή θέση τοποθέτησής τους. Συνήθως τοποθετούνται στις οροφές των κτιρίων με κάποια κλίση ή στις εξωτερικές επιφάνειες. Απαραίτητο είναι να προσδιοριστούν οι παράγοντες που επιτρέπουν τη βέλτιστη λειτουργία του συστήματος:

1. *προσανατολισμός φβ πλαισίου:* για την Ελλάδα ενδείκνυται ο νότιος προσανατολισμός
2. *γωνία κλίσης φβ πλαισίου:* η βέλτιστη γωνία κλίσης είναι η γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής που βρίσκεται το κτίριο
3. *ένταση ηλιακής ακτινοβολίας:* ενδείκνυται η τοποθέτηση σε θέσεις που δεν υπάρχουν σκιάσεις ή καλύπτονται από σκιά τις λιγότερες ώρες της ημέρας. Για το λόγο αυτό τοποθετούνται συνήθως στις οροφές των κτιρίων

Απαραίτητο εργαλείο για την υλοποίηση της μελέτης είναι το λογισμικό ενεργειακής επιθεώρησης κτιρίων το οποίο προσομοιώνει φωτοβολταϊκά συστήματα. Για την εργασία μας χρησιμοποιήθηκε το EnergyPlus. Το EnergyPlus διαθέτει μία περιγραφική γλώσσα, το idf, μέσω της οποίας εισάγονται στο πρόγραμμα τα χαρακτηριστικά μοντελοποίησης του φωτοβολταϊκού συστήματος. Στη συνέχεια, με χρήση μαθηματικών τύπων και αλγορίθμων, υπολογίζεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Ακόμη, μέσω του EnergyPlus, προσδιορίζονται οι συνολικές ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου. Το κτίριο χωρίζεται σε αυτόνομες θερμικές ζώνες . Για κάθε ζώνη διατυπώνονται οι αρχές διατήρησης μάζας και έτσι δημιουργείται ένα πολύπλοκο σύστημα εξισώσεων. Το λογισμικό, επιλύει το σύστημα αυτό και υπολογίζει τις συνολικές ανάγκες.

Σημαντικό κομμάτι για τη σωστή διεξαγωγή αποτελεσμάτων αποτελεί το αρχείο καιρού (weather file) που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση. Το αρχείο καιρού αποτελεί σημαντικό στοιχείο της ορθής προσομοίωσης του θερμικού μοντέλου ενός κτιρίου καθώς μας παρέχει πληροφορία σχετικά τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή που εντοπίζεται το προς μελέτη κτίριο, πληροφορία η οποία επηρεάζει απόλυτα τη θερμική απόδοση του κτιρίου.

Στην παρούσα διπλωματική παρουσιάζεται η μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκών συστημάτων στην οροφή του κτιρίου της Τεχνικής Υπηρεσίας του Πολυτεχνείου Κρήτης. Στο ***κεφάλαιο 2*** παρουσιάζεται αναλυτική επισκόπηση της εξέλιξης αλλά και της πορείας των φωτοβολταϊκών συστημάτων στην παγκόσμια και ελληνική αγορά. Στη συνέχεια αποτυπώνονται τα βασικά σημεία του ισχύοντος νομοθετικού πλαισίου και τέλος θεμελιώνονται όλες οι βασικές έννοιες για την σφαιρική κατανόηση λειτουργίας των φωτοβολταϊκών.

Στο ***κεφάλαιο 3*** εξετάζεται το ενεργειακό δυναμικό των φωτοβολταϊκών. Προσδιορίζονται οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση τους αλλά και η σχέση μεταξύ της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της παραγόμενης ενέργειας. Όλα όσα προαναφέρθηκαν μελετήθηκαν σε ένα εικονικό κτίριο για το οποίο υπολογίστηκε η παραγόμενη ενέργεια.

Στο ***κεφάλαιο 4*** γίνεται μελέτη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων στην οροφή του κτιρίου της Τεχνικής Υπηρεσίας. Έχοντας προσδιοριστεί από το κεφάλαιο 3 οι παράγοντες βέλτιστης λειτουργίας ενός φωτοβολταϊκού συστήματος πραγματοποιείται μοντελοποίηση στο EnergyPlus για να υπολογιστεί η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για κάλυψη μέρους των αναγκών του κτιρίου.

Τέλος, στο ***κεφάλαιο 5*** γίνεται αξιολόγηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Αξιολογείται η απόδοσής τους και ο βαθμός στον οποίο μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες ενός κανονικού κτιρίου. Τέλος, υπολογίζεται το κόστος εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος και ο χρόνος αποπληρωμής του.

Κεφάλαιο 2:
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται μία γενική επισκόπηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Αρχικά, γίνεται ιστορική αναδρομή και αναφορά στην εξέλιξή τους στην ελληνική και παγκόσμια αγορά. Στη συνέχεια, περιγράφεται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, η ηλιακή ενέργεια και οι κατηγορίες φ/β συστημάτων που υπάρχουν.

2.1.1 Εξέλιξη των φ/β συστημάτων

Η πρώτη αναφορά για το φωτοβολταϊκό φαινόμενο έγινε το 1839 από το Γάλλο φυσικό Edmond Bequerel. Η ανακάλυψη αυτή είχε να κάνει με το γεγονός ότι ορισμένα υλικά παρουσίαζαν την ικανότητα παραγωγής μικρών ποσοτήτων ηλεκτρικού ρεύματος όταν βρίσκονταν εκτεθειμένα σε ηλιακή ακτινοβολία. Το φαινόμενο αυτό μελετήθηκε αρχικά, τη δεκαετία 1870, σε στερεά υλικά όπως το σελήνιο. Σε σύντομο χρονικό διάστημα, φωτοβολταϊκά στοιχεία από σελήνιο μετέτρεπαν ποσοστό 1% - 2%. της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια. Την περίοδο 40 – 50 πραγματοποιήθηκαν τα πρώτα βήματα προς την κατεύθυνση της εμπορική ς αξιοποίησης των φωτοβολταϊκών με την ανάπτυξη της μεθόδου Czochralski για την παραγωγή κρυσταλλικού πυριτίου υψηλής καθαρότητας.[1] Έτσι, το 1954, δημιουργήθηκε το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο κρυσταλλικού πυριτίου, με ικανότητα μετατροπής 4%.

Παρόλο που έγιναν αρκετές προσπάθειες τη δεκαετία του 50 για τη χρήση στοιχείων κρυσταλλικού πυριτίου σε εμπορικές εφαρμογές, η πρώτη βασική εφαρμογή αποτέλεσε μέρος του αεροδιαστημικού προγράμματος. Σήμερα τα φ/β εφαρμόζονται σε μια πληθώρα περιπτώσεων με ποικίλες ενεργειακές απαιτήσεις. Συγκεκριμένα, τροφοδοτούν όλους τους δορυφόρους, συμπεριλαμβανομένων αυτών που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες, στα αμυντικά συστήματα και στην επιστημονική έρευνα.

Παρά τα πλεονεκτήματά τους, τα φ/β τη δεκαετία του 1970 παρέμεναν πολύ ακριβά. Στα μέσα της δεκαετίας του 70, η αύξηση του κόστους παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας εξαιτίας της πετρελαϊκής κρίσης, έκανε πιο έντονο το ενδιαφέρον για την προώθηση των φ/β με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους τους. Αξιοσημείωτο είναι, τα τεράστια κεφάλαια που έχουν επενδυθεί στην έρευνα, στην ανάπτυξη και στην παραγωγή φ/β καθώς και στην βελτίωση των ιδιοτήτων του πολυκρυσταλλικού πυριτίου. (υλικό κατασκευής των πρώτων φωτοβολταϊκών στοιχείων)

Σήμερα, τα φ/β συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική με ποσοστό 5% - 15%. Διαθέτουν αρκετά υψηλό βαθμό αξιοπιστίας και η διάρκεια ζωής τους είναι μεγαλύτερη από 20 χρόνια.

2.1.2 Η φωτοβολταϊκή ενέργεια στην παγκόσμια και ελληνική αγορά

Βασικός παράγοντας της εξάπλωσης των φωτοβολταϊκών έχει αποτελέσει η μείωση της τιμής αγοράς τους. Τα τελευταία χρόνια, η παγκόσμια παραγωγή φωτοβολταϊκών πλαισίων έχει αυξηθεί κατά 60%. Πολλές χώρες της Ευρώπης, η Ιαπωνία, η Ινδία, η Κίνα έχουν θεσμοθετήσει νέα φωτοβολταϊκά προγράμματα ή επεκτείνει τα ήδη υπάρχοντα. Χαρακτηριστική είναι και η αύξηση του αριθμού οργανισμών που σχετίζονται με τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Στη χώρα μας, σημαντικό ρόλο στην ανάπτυξη των φ/β και γενικότερα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) παίζει το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ).Πρόκειται για έναν ερευνητικό φορέα εποπτευόμενο από τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας του Υπουργείου Ανάπτυξης, τη ΔΕΗ κ.α. που προωθεί και υποστηρίζει τα προγράμματα ανάπτυξης των Α.Π.Ε. Έντονη είναι και η δραστηριότητα του ιδιωτικού τομέα στην εφαρμογή των φ/β καθώς η ανάπτυξη τους ευνοείται από επιχορηγούμενα προγράμματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Τα δεδομένα για την ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στην ελληνική αγορά δεν είναι και τόσο ικανοποιητικά. Αν και είναι γνωστό ότι η Ελλάδα είναι μία χώρα με συγκριτικά πλεονεκτήματα ως προς τα φωτοβολταϊκά συστήματα, λόγω του έντονου ηλιακού δυναμικού που παρουσιάζει, εντούτοις δεν παρουσιάζεται μεγάλο ποσοστό αξιοποίησης τους. Το υψηλό αρχικά κόστος της επένδυσης σε συνδυασμό με την έλλειψη τεχνογνωσίας που σιγά σιγά αποκαθίσταται, είναι οι κυριότεροι λόγοι εμπόδισης της ανάπτυξης των φ/β στη χώρα μας. Ανασταλτικό παράγοντα αποτέλεσε και η κρατική αδυναμία να υποστηρίξει οικονομικά τέτοιες επενδύσεις.

Παρ’ όλα αυτά, σημαντική προώθηση των Α.Π.Ε και κυρίως των φ/β στη χώρα μας, μέσα στην τελευταία δεκαετία, αποτέλεσε η χάραξη πιο συγκεκριμένης ενεργειακής πολιτικής και η θεσμοθέτηση νέου νομοθετικού πλαισίου εγκατάστασης και αξιοποίησης τους.

2.1.3 Το νομοθετικό πλαίσιο Ν3468/06

Μεγάλο κίνητρο για ιδιώτες και επιχειρήσεις που σκοπεύουν να ασχοληθούν με την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας, αποτέλεσε η ψήφιση του νόμου 3468 τον Ιούνιο του 2006. Για πρώτη φορά δημιουργείται στην Ελλάδα ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο προαγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. Συγκεκριμένα, επιδιώκεται απλοποίηση και επιτάχυνση των διαδικασιών αδειοδότησης των εγκαταστάσεων για παραγωγή ενέργειας ενώ προηγούμενες ασάφειες της νομοθετικής ρύθμισης έχουν πια διευκρινιστεί Το κυριότερο κομμάτι του νομοσχεδίου το οποίο έδωσε μεγαλύτερα κίνητρα στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. είναι η κρατική δέσμευση για αγορά της παραγόμενης ενέργειας. Προβλέπεται ότι η Δ.Ε.Η υποχρεούται να δώσει προτεραιότητα στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε.

2.2 Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο αποτελεί τη βασική φυσική διαδικασία μέσω της οποίας ένα φ/β στοιχείο μετατρέπει την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια. Ημιαγώγιμα υλικά όπως το πυρίτιο, το αρσενιούχο γάλιο, το τελουριούχο κάδμιο χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό.

Η ηλιακή ακτινοβολία αποτελείται από φωτόνια. Τα φωτόνια αυτά περικλείουν διάφορα ποσά ενέργειας που αντιστοιχούν στα διάφορα μήκη κύματος του ηλιακού φάσματος. Όταν τα φωτόνια προσπίπτουν στην επιφάνεια ενός φ/β στοιχείου, μπορεί να ανακλαστούν, να απορροφηθούν ή να διαπεράσουν το στοιχείο. Τα φωτόνια που απορροφώνται είναι αυτά που παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια. Το στοιχείο του κρυσταλλικού πυριτίου είναι το ευρύτερα διαδεδομένο φ/β στοιχείο αφού διαθέτει μία σταθερή κρυσταλλική δομή που του αποδίδει ικανοποιητικές ιδιότητες για φ/β εφαρμογές.

2.3 Ηλιακή ενέργεια

2.3.1 Εισαγωγή

Το σημαντικότερο ρόλο στην λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων παίζει η ηλιακή ενέργεια. Η παραγόμενη ενέργεια εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ένταση της ακτινοβολίας που προσπίπτει στα φωτοβολταϊκά. Η ηλιακή ακτινοβολία (W/m^2) που φτάνει στη γη, δεν είναι ίδια για όλη τη διάρκεια του χρόνου. Μεγάλη επίδραση έχουν οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν.

2.3.2 Συνιστώσες Ηλιακής Ακτινοβολίας

Σε κάθε περιοχή της επιφάνειας της γης, φτάνουν δύο συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας:

- η απευθείας, ή η άμεση (beam)
- η διάχυτη (diffuse)

Η άμεση ακτινοβολία προέρχεται από την κατεύθυνση του ήλιου ενώ η διάχυτη σκεδάζεται από τον ουράνιο θόλο και δεν έχει συγκεκριμένη κατεύθυνση. Ακόμη, όταν ο φωτοβολταϊκός συλλέκτης εγκαθίσταται με κλίση προς το οριζόντιο επίπεδο, προστίθεται και ένα μικρό ποσοστό ακτινοβολίας που προέρχεται από ανάκλαση σε παρακείμενα αντικείμενα (albedo). Τιμές του albedo σε διάφορες περιπτώσεις, αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα.

Είδος επιφάνειας	Συντελεστής διάχυτης ανάκλασης (albedo)
Επιφάνεια νερού ή θάλασσα	0,05
Ασφαλτόστρωμα	0,07
Αγρός πράσινος	0,15
Βραχώδης επιφάνεια	0,20
Επιφάνεια τσιμέντου	0,24 – 0,30
Χιόνι	0,60

Πίνακας2.1: Συντελεστής διάχυτης ανάκλασης διαφόρων επιφανειών

Επομένως, η συνολική ακτινοβολία (G) που φτάνει στον συλλέκτη δίνεται από την παρακάτω σχέση:

G=beam + diffuse + albedo

Σχήμα 2.2: Κατηγορίες ηλιακής ενέργειας που προσπίπτουν στο φ/β πλαίσιο [2]

Ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες και την ώρα της ημέρας, οι συνιστώσες αυτές διαφοροποιούνται σημαντικά. Συγκεκριμένα, τις αίθριες μέρες η άμεση συνιστώσα είναι εκείνη που καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής ακτινοβολίας. Αντίθετα, τις συννεφιασμένες μέρες, η συνολική ακτινοβολία οφείλεται κυρίως στην ύπαρξη της διάχυτης συνιστώσας.

Η ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στη γη, κατανέμεται ανομοιόμορφα στις διάφορες περιοχές. Οι περιοχές που καταλαμβάνουν μεγαλύτερα ποσά ακτινοβολίας είναι οι περιοχές κοντά στον ισημερινό. Η Ελλάδα είναι μία χώρα που ευνοείται από τον παράγοντα αυτό. Η ηλιακή ακτινοβολία διαφέρει επίσης σημαντικά ανάλογα με τις εποχές, την ώρα της ημέρας, το κλίμα και την ατμοσφαιρική ρύπανση. Όλοι οι παραπάνω παράγοντες καθορίζουν το ποσό της ηλιακής ενέργειας που διατίθεται για τα φ/β συστήματα.

Τέλος, το ποσό που παράγει ένα φ/β σύστημα, δεν εξαρτάται μόνο από την διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία αλλά επηρεάζεται και από την ικανότητα του στοιχείου να μετατρέψει την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Στην αγορά τα ευρέως διαδεδομένα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν βαθμό μετατροπής 12-17%

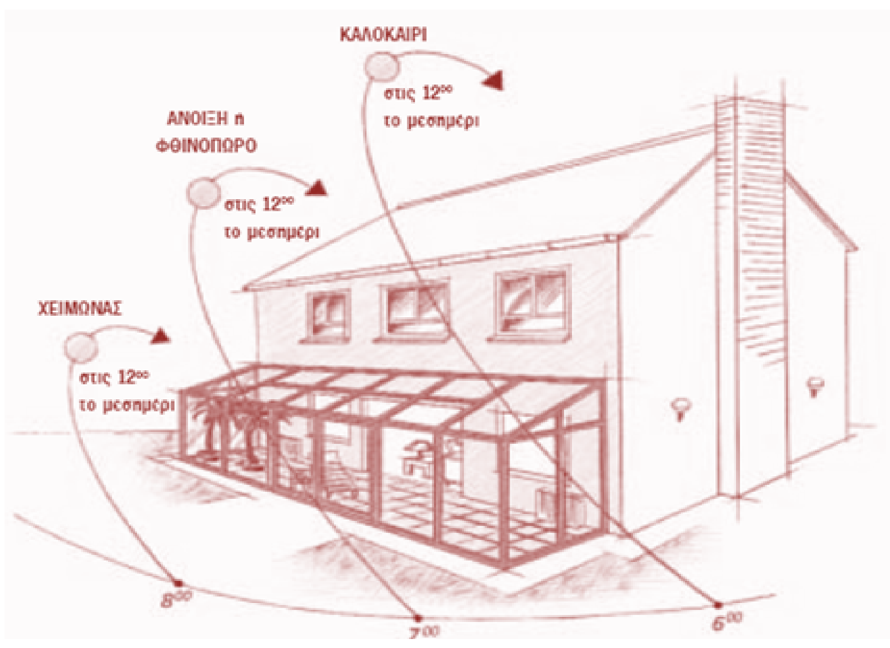
2.4 Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΑ, ΠΛΑΙΣΙΑ, ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο (cell) αποτελεί τη βασική μονάδα ενός φ/β συστήματος. Ένα μεμονωμένο στοιχείο παράγει τυπικά 1-2Watt, ισχύς η οποία είναι ανεπαρκής για την πλειοψηφία των σημερινών εφαρμογών. Κρίνεται λοιπόν απαραίτητη η σύνδεση των στοιχείων σε σειρά ή /και παράλληλα σχηματίζοντας έτσι μεγαλύτερες μονάδες, τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (modules), τα οποία μπορούν να συνδυαστούν στη συνέχεια σε μεγαλύτερες μονάδες, γνωστές ως συστοιχίες (arrays). Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να κλιμακωθεί ένα φ/β σύστημα με τρόπο τέτοιο ώστε να καλύπτει σχεδόν οποιεσδήποτε απαιτήσεις μπορούν να εμφανιστούν.

Σ'ένα φ/β πλαίσιο τα στοιχεία, τα οποία είναι κατασκευασμένα από πυρίτιο, είναι τοποθετημένα ανάμεσα σε ανθεκτική διαφανή πλαστική ύλη και στην εμπρός πλευρά τοποθετείται γυαλί ειδικών προδιαγραφών. Το πάχος του φ/β πλαισίου δεν ξεπερνά τα 5mm, ενώ οι διαστάσεις διαφέρουν ανάλογα με την ονομαστική ισχύ και τον κατασκευαστή.

2.4.1 Απόδοση φ/β συστοιχιών

Σημαντικό ρόλο στην απόδοση των φωτοβολταϊκών συστοιχιών παίζει η γωνία κλίσης και ο προσανατολισμός της συστοιχίας. Στην περίπτωση σταθερά τοποθετημένης συστοιχίας, η γωνία κλίσης που σχηματίζει με το οριζόντιο επίπεδο είναι 0^{o} για οριζόντια τοποθέτηση ή 90^{o} για κάθετη τοποθέτηση. Για την επίτευξη βέλτιστης απόδοσης του φωτοβολταικού και κατά συνέπεια βέλτιστης ενεργειακής παραγωγής, τα φ/β πλαίσια τοποθετούνται υπό γωνία. Η βέλτιστη γωνία είναι περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής που εγκαθίστανται. Αύξηση της **γωνίας** κλίσης ευνοεί την ενεργειακή παραγωγή κατά τη διάρκεια του χειμώνα και αντίστοιχα μείωση στη διάρκεια του καλοκαιριού. Σημαντικό ρόλο σε αυτή την υπόθεση παίζει η διαφορετική θέση του ήλιου το χειμώνα και το καλοκαίρι.



Σχήμα 2.3: Πορεία ηλίου κατά τη διάρκεια ενός έτους [1]

Υπάρχει ωστόσο και η δυνατότητα στήριξης των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε στρεφόμενες βάσεις. Οι βάσεις αυτές περιστρέφονται προς την κατεύθυνση που η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μεγάλη για να επιτευχθεί βέλτιστη παραγωγή καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Όσον αφορά τον προσανατολισμό των φ/β, συνηθίζεται η τοποθέτηση τους με νότιο προσανατολισμό αφού χαρακτηρίζεται από μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διάρκεια μίας αίθριας μέρας. Έτσι λοιπόν, για την Ελλάδα, η βέλτιστη απόδοση μίας φ/β συστοιχίας επιτυγχάνεται με νότιο προσανατολισμό και γωνία κλίσης περίπου ίση με 30^o.

2.5 Κατηγορίες και σύνθεση φ/β συστημάτων

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα ανάλογα με τη διάταξη τους χωρίζονται σε 2 βασικές κατηγορίες:

- απομονωμένα συστήματα (off grid systems)
- συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα (grid connected systems)

Απομονωμένα χαρακτηρίζονται τα φ/β συστήματα τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια χωρίς να είναι συνδεδεμένα στο κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο. Διακρίνονται σε αυτόνομα και σε υβριδικά. Στα αυτόνομα συστήματα, η φ/β συστοιχία αποτελεί την αποκλειστική πηγή ενέργειας, ενώ στα υβριδικά η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια καλύπτεται από τον συνδυασμό φωτοβολταϊκής συστοιχίας με κάποια άλλη ΑΠΕ (π.χ. ανεμογεννήτρια) ή κάποιο ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος (Η/Ζ). Και στις δύο παραπάνω κατηγορίες υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές.

Τα συνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα συνδέονται απευθείας στο εθνικό ή τοπικό δίκτυο. Το δίκτυο αυτό αποτελεί για το φωτοβολταϊκό σύστημα, μια πηγή αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, σταθερής ηλεκτρικής τάσης. Συνεπώς, στα συστήματα αυτά δεν απαιτείται η αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές. Αξίζει να σημειωθεί ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του συνόλου των εγκατεστημένων φ/β συστημάτων παγκοσμίως καλύπτεται από τα συνδεδεμένα στο δίκτυο συστήματα.

2.5.1 Εγκατάσταση αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος σε κτίρια

Στην παρούσα εργασία, ασχοληθήκαμε με τη δημιουργία ενός αυτόνομου φ/β συστήματος με μη αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, δημιουργήσαμε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην οροφή ενός κτιρίου. Η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων σε κτίρια γνωρίζει μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια. Λόγω της μεγάλης κατανάλωσης ενέργειας που παρατηρείται από τα κτίρια και των δυσχερών επιπτώσεων που έχει η κατανάλωση αυτή στο περιβάλλον, γίνονται ολοένα πιο έντονες προσπάθειες για την κάλυψη των αναγκών ενός κτιρίου από τα φωτοβολταϊκά. Η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε ένα κτίριο εξαρτάται από την θέση του κτιρίου και την περιοχή που βρίσκεται. Προτιμώνται σημεία του κτιρίου στα οποία δεν υπάρχουν σκιάσεις, για τη μέγιστη αξιοποίηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

- στον περιβάλλοντα χώρο του κτιρίου υπό κλίση
- στις εξωτερικές επιφάνειες του κτιρίου

- στην οροφή του κτιρίου υπό κλίση

Σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα, ένα τυπικό αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από την φωτοβολταϊκή συστοιχία, το σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας (συσσωρευτής) και το σύστημα μετατροπής ισχύος (inverter).

Σχήμα 2.4: Αυτόνομο φ/β σύστημα σε κατοικία [3]

Οι συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι τύπου μολύβδου-θειϊκού οξέος (Pb/H_2SO_4) κλειστού ή ανοικτού τύπου λόγω της υψηλής μηχανικής αντοχής τους και της αυξημένης δυνατότητας σε μεγάλα ρεύματα. Εξαιτίας του αυξημένου κόστους τους, θα πρέπει να αποφεύγονται ενέργειες που μειώνουν το κύκλο ζωής τους. Έτσι λοιπόν, οι συσσωρευτές δεν θα πρέπει να υφίστανται παρατεταμένη φόρτιση σε υψηλή τάση, ούτε να εκφορτίζονται κάτω από ένα όριο.

Η χρησιμοποίηση του εναλλασσόμενου ρεύματος σε φ/β εφαρμογές επιβάλλεται στις περισσότερες των περιπτώσεων εξαιτίας της επικράτησης του σε κάθε είδους οικιακές χρήσεις, καθώς και στη βιομηχανία. Είναι λοιπόν απαραίτητη, η μετατροπή του συνεχούς ρεύματος (DC) που παράγεται από τη συστοιχία σε εναλλασσόμενο (AC) με τη βοήθεια ενός μετατροπέα. Πρόκειται για ένα ηλεκτρονικό σύστημα που μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη. Γενικά η απόδοση των inverters είναι αρκετά υψηλή (93%-96%)

Τέλος, η εμπειρία από τη χρήση φ/β συστημάτων έχει αποδείξει ότι η ελαχιστοποίηση των ηλεκτρικών απωλειών, η βελτιστοποίηση της ονομαστικής ισχύος του αντιστροφέα και η σωστή διαχείριση της διαδικασίας φόρτισης και εκφόρτισης των συσσωρευτών μπορούν να αυξήσουν σημαντικά τη συνολική απόδοση και τη διάρκεια ζωής ενός συστήματος.

Κεφάλαιο 3: Στοιχεία και Μοντελοποίηση Κτιρίου στο EnergyPlus

3.1 Σύντομη εισαγωγή στο EnergyPlus

Εξαιτίας της χαμηλής ακρίβειας αποτελεσμάτων που παρουσιάζουν πολλές προσεγγιστικές μέθοδοι για τον υπολογισμό των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου, επιβάλλεται η επιλογή λογισμικού για πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Πολλές από τις απλούστερες μεθόδους υπολογισμού περιορίζονται σε τυπικές μέρες (κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ή του χειμώνα) και δίνουν μία εκτίμηση για τα θερμικά φορτία αλλά δεν προσφέρουν πληροφορίες για τη δυναμική συμπεριφορά του κτιρίου, η γνώση της οποίας είναι απαραίτητη όταν θέλουμε να ποσοτικοποιήσουμε την επίδραση που θα έχουν διάφορα δυνητικά μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας. Ειδικά για την εκτίμηση της παραγόμενης ενέργειας από φωτοβολταϊκές συστοιχίες είναι είναι απαραίτητη η σωστή εκτίμηση της ακτινοβολίας από λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους όπως η θέση και ο προσανατολισμός του κτιρίου, η ύπαρξη σκίασης από γειτονικά κτίρια, το είδος και ο τρόπος τοποθέτησης του φωτοβολταϊκού. Η σωστή εκτίμηση της παραγόμενης ενέργειας προϋποθέτει τη συνεκτίμηση όλων αυτών των παραμέτρων και είναι απαραίτητη για την ορθή αποτίμηση τέτοιων τέτοιων επενδύσεων. Απλές λοιπόν μεθοδολογίες υπολογισμού προσφέρουν απλές ενδείξεις ενώ η χρήση λογισμικών τα οποία μπορούν να προλέξουν με υψηλότερη σχετικά ακρίβεια την παραγόμενη από τα φωτοβολταϊκά ενέργεια, έχουν ιδιαίτερη σημασία. Στην αγορά παρουσιάζεται πληθώρα λογισμικών ενεργειακής επιθεώρησης κτιρίων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι το TRNSYS, ESP-R, Trace, DeST, EnergyPlus κ.α.

Για την εκπόνηση της μελέτης μας χρησιμοποιήσαμε το EnergyPlus εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει έναντι των υπολοίπων λογισμικών. Πραγματοποιεί ακριβέστερους υπολογισμούς συνυπολογίζοντας αρκετές παραμέτρους. Για παράδειγμα, για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας εξετάζει παραμέτρους όπως συνολική κάλυψη ουρανού, σκιάσεις από γειτονικά κτίρια κ.α.

Το EnergyPlus είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης της συνολικής θερμικής συμπεριφοράς και απαιτήσεων του κτιρίου με στόχο:

- ο προσδιορισμός της ενεργειακής συμπεριφοράς ενός κτιρίου
- η εύρεση νέων τεχνολογιών και μεθόδων για την εξοικονόμηση ενέργειας

Η δημιουργία του αποτελεί μετεξέλιξη και ανάπτυξη δύο προγενέστερων, αντίστοιχων προγραμμάτων, των BLAST και DOE-2. Πρόκειται για ένα λογισμικό με εύχρηστο και ευέλικτο περιβάλλον χωρίς όμως να διαθέτει πλούσια γραφικά.

Στο EnergyPlus δημιουργείται ένα θερμικό μοντέλο του κτιρίου μέσω της περιγραφικής γλώσσας που διαθέτει, του idf,όπου ορίζονται η γεωμετρία καθώς και κατασκευαστικές παράμετροι που επιδρούν στη θερμική συμπεριφορά. Περιγράφεται η ακριβής τοποθεσία του κτιρίου (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος, υψόμετρο) και προσδιορίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά κατασκευής του. Παρουσιάζονται ακόμη όλα τα εγκατεστημένα στο κτίριο συστήματα που το επιβαρύνουν ενεργειακά όπως αντλίες, συστήματα HVAC, ηλεκτρολογικός εξοπλισμός, boiler κ.α. προκειμένου να γίνει σωστή αποτίμηση των ενεργειακών και ψυκτικών αναγκών του. Όσον αφορά την διαδικασία της προσομοίωσης, το EnergyPlus χωρίζει το κτίριο σε ζώνες κάθε μία από τις οποίες θεωρείται ότι έχει σταθερή τιμή της θερμοκρασίας και της υγρασίας και η χρονική εξέλιξη αυτών των βαθμωτών μεγεθών για κάθε μια από τις ζώνες προσδιορίζεται με επίλυση των εξισώσεων διατήρησης ενέργειας και μάζας. Ο προσδιορισμός των ενεργειακών αναγκών πραγματοποιείται επιλύοντας ένα περίπλοκο σύστημα διαφορικών εξισώσεων ανάλογα με τις ανάγκες του κάθε κτιρίου. Προφανώς, σε αυτόν τον υπολογιμό για κάθε χρονικό πρέπει να εκτιμηθούν οι συναλλαγές ενέργειας και μάζας (υγρασία) με τις γειτονικές ζώνες καθώς και με το περιβάλλον.

Σημαντικό κομμάτι, χρήσιμο για την παρούσα εργασία, είναι η ικανότητα ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών συστοιχιών στο μοντέλο προσομοίωσης ώστε να γίνει πρόλεξη της ενέργειας η οποία μπορεί να παραχθεί και να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη μέρους των αναγκών του κτιρίου μέσω φιλικών προς το περιβάλλον πηγών ενέργειας. Το EnergyPlus έχει τη δυνατότητα προσδιορισμού των χαρακτηριστικών της ηλιακής ακτινοβολία που παίζει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία των φωτοβολταϊκών. Μέσω του προσδιορισμού του γεωγραφικού πλάτους και μήκους της περιοχής, το λογισμικό ορίζει αυτόματα τη θέση και τη γωνία του ήλιου κάθε ώρα και μέρα του χρόνου. Ακόμη με χρήση του αρχείου καιρού (weather file) κάθε περιοχής, ορίζονται παράμετροι όπως θερμοκρασία περιβάλλοντος, συνολική κάλυψη ουρανού κ.α. μέσω των οποίων υπολογίζεται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Στη συνέχεια, γίνεται επιλογή του φωτοβολταϊκού πλαισίου μέσω των επιλογών που παρέχει το λογισμικό. Οι δυνατές επιλογές αναλύονται στην επόμενη παράγραφο μαζί με τον αλγόριθμο που επιλύεται για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας.

3.2 Προσομοίωση φωτοβολταϊκών συστημάτων

Ο όρος προσομοίωση είναι μία σύνθετη έννοια. Αναφέρεται σε ένα περίπλοκο σύνολο υπολογισμών με χρήση μαθηματικών τύπων και αλγορίθμων για τον προσδιορισμό των απαιτούμενων παραμέτρων ανάλογα με το πρόβλημα που επιλύουμε κάθε φορά.

3.2.1 Βασικά στοιχεία για την προσομοίωση φωτοβολταϊκών

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των φωτοβολταϊκών πλαισίων που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι ο βαθμός απόδοσης τους. Ο συντελεστής απόδοσης έχει να κάνει με το ποσοστό μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο, σε ηλεκτρική ενέργεια. Τα περισσότερα φωτοβολταϊκά πλαίσια έχουν βαθμό απόδοσης 15%-18%. Στο EnergyPlus ο βαθμός απόδοσης μεταβάλλεται ανάλογα με τον τύπο του πλαισίου που επιλέγουμε. Συνεπώς, για τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται σε κάθε περίπτωση διαφορετικό μοντέλο για την περιγραφή της συμπεριφοράς του φωτοβολταϊκού στοιχείου.

Απαραίτητο στοιχείο για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Το αρχείο καιρού αποτελεί σημαντικό στοιχείο για την ορθή προσομοίωση ενός κτιρίου καθώς μας παρέχει πληροφορία σχετικά τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή. Πληροφορίες όπως: καθαρότητα ουρανού (sky coverage) κ.α. βοηθούν στον υπολογισμό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και κατά συνέπεια στην εκτίμηση των ηλιακών κερδών για το κτίριο αλλά και της ενέργειας που θα μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρική με τη βοήθεια των φωτοβολταϊκών συστοιχιών. Άλλες παράμετροι όπως η ταχύτητα, η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση θερμικών κερδών ή απωλειών λόγω συναγωγής καθώς και τον υπολογισμό της διείσδυσης αερίων μαζών στο εσωτερικό του κτιρίου.

Σημαντικό ρόλο παίζει και η κλίση με την οποία προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία. Θεωρείται λοιπόν απαραίτητο να γνωρίζουμε τη θέση του ήλιου κάθε ώρα της ημέρας. Σε αυτό βοηθάει πολύ το γεωγραφικό πλάτος και μήκος της περιοχής που βρίσκεται το υπό εξέταση κτίριο. Όλα αυτά τα στοιχεία τα οποία είναι πολύ σημαντικά για την προσομοίωση και την εξαγωγή αποτελεσμάτων, το EnergyPlus τα συνεκτιμά στους υπολογισμούς του.

3.2.2 Βασικοί τύποι φωτοβολταϊκών

Το EnergyPlus υποστηρίζει τρεις (3) τύπους φωτοβολταϊκών συστημάτων:

1. Simple
2. Equivalent One-Diode
3. Sandia

Η διαφορά των παραπάνω τύπων φωτοβολταϊκών είναι στο μαθηματικό αλγόριθμο που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

3.2.2.1 Προσομοίωση με το μοντέλο Simple

Στο μοντέλο αυτό η αποδοτικότητα του φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι καθορισμένη. Δεν υπάρχουν απώλειες με αποτέλεσμα το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική να παραμένει ίδιο ανεξαρτήτων της θερμοκρασίας του φωτοβολταϊκού. Προφανώς μία τε΄τοια μοντελοποίηση είναι αρκετά γενική καθώς είναι πολύ δύσκολο να λειτουργεί συνεχώς ένα φβ πλαίσιο με σταθερό συντελεστή απόδοσης. Η βασική εξίσωση παραγωγής εναλλασσόμενης (AC) ηλεκτρικής ενέργειας P που ακολουθεί το λογισμικό είναι:

$$P = A_{sur} * f_{active} * G_T * \eta_{cell} * \eta_{invert} \qquad \textit{σχέση 1}$$

όπου A_{sur} (m^2) είναι η ενεργή περιοχή του φωτοβολταϊκού πλαισίου

f_{active} είναι ο λόγος επιφάνεια πλαισίου / ενεργή περιοχή

G_T (W/m^2) η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει

η_{cell} ο συντελεστής απόδοσης του φωτοβολταϊκού πλαισίου

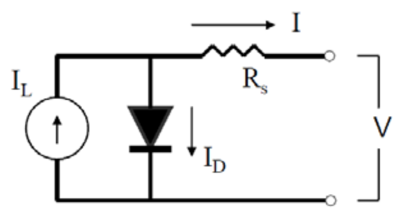
η_{invert} ο συντελεστής απόδοσης του μετατροπέα

Από την εξίσωση αυτή, όλες οι παράμετροι ρυθμίζονται από τον χρήστη. Μόνο η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας υπολογίζεται από το EnergyPlus με βάση πάντα το αρχείο καιρού που χρησιμοποιείται.

3.2.2.2 Προσομοίωση με το μοντέλο Equivalent One-Diode

Το μοντέλο αυτό προσομοιώνει μία φωτοβολταϊκή συστοιχία ως ένα ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα. Αρχικά δημιουργείται ένα ηλεκτρικό κύκλωμα για ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο και εξετάζονται τα χαρακτηριστικά του, τάση και ρεύμα. Τα χαρακτηριστικά αυτά επηρεάζονται αρκετά από τη θερμοκρασία γι' αυτό δεν λειτουργούν τα φβ πλαίσια πάντα με το μέγιστο βαθμό απόδοσής τους.

Το φβ πλαίσιο στο μοντέλο αυτό προσομοιώνεται ως ένα ηλεκτρικό κύκλωμα που αποτελείται από τέσσερις (4) παραμέτρους όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 3.1: Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα φωτοβολταϊκού πλαισίου

- R_s σειριακή αντίσταση
- I_L σταθερό ρεύμα πηγής που έχει τοποθετηθεί στο κύκλωμα
- I_D ρεύμα σταθερής διόδου
- I η ένταση ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα

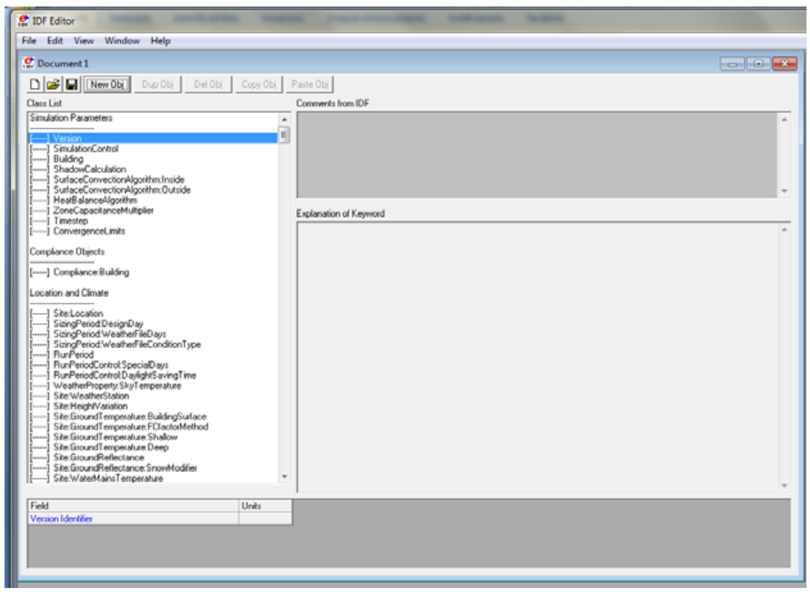
Με τη μεταβολή αυτών των χαρακτηριστικών ανάλογα με τη θερμοκρασία που προσπίπτει στο κύκλωμα, δηλαδή στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο, μεταβάλλεται και η παραγόμενη ενέργεια. Δημιουργείται λοιπόν μία ρουτίνα για τις παραμέτρους αυτές κατά την οποία γίνεται προσδιορισμός των τιμών τους, οι οποίες θα καθορίσουν και την ηλεκτρική ενέργεια που θα παραχθεί.

3.2.2.3 Προσομοίωση με το μοντέλο Sandia

Το τρίτο αυτό μοντέλο φωτοβολταϊκών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, βασίζεται σε κάποιες μελέτες που έγιναν στο Εθνικό Εργαστήριο της Sandia. Το μοντέλο αυτό αποτελείται από ένα σύστημα εξισώσεων με συντελεστές, οι οποίοι έχουν προκύψει από μία σειρά δοκιμασιών και παίρνουν τιμές ανάλογα με τα χαρκτηριστικά του πλαισίου. Σκοπός είναι και σε αυτό το μοντέλο να γίνει προσδιορισμός των βασικών χαρακτηριστικών του ισοδύναμου κυκλώματος όταν είναι γνωστοί οι συντελεστές του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

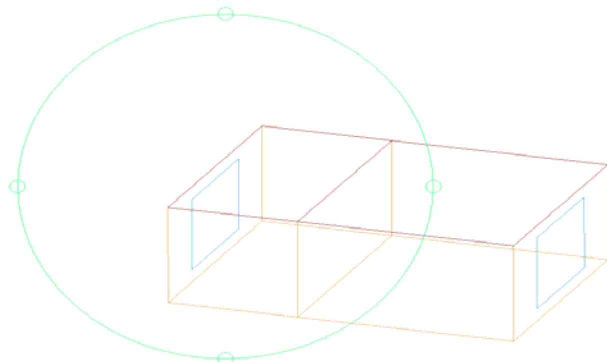
3.3 Μοντελοποίηση κτιρίου και φωτοβολταϊκών

Το EnergyPlus παρέχει στο χρήστη πολλές δυνατότητες στον τρόπο μοντελοποίησης ενός κτιρίου. Η περιγραφή και η μοντελοποίηση γίνεται μέσω μιας περιγραφικής γλώσσας, του idf ενώ η εισαγωγή των στοιχείων γίνεται στο περιβάλλον του IDFEditor όπως αυτό παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:

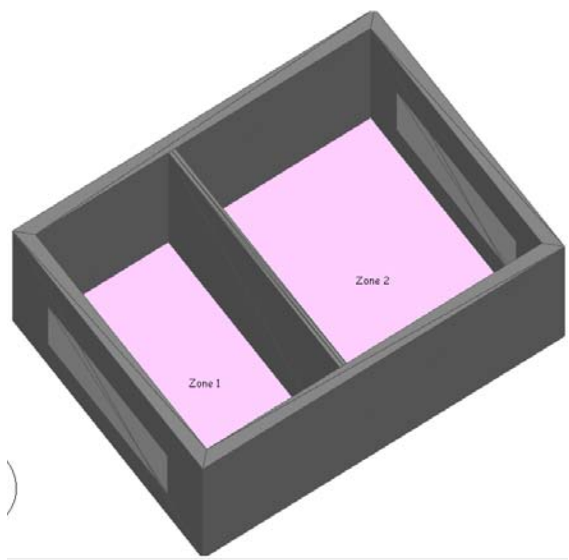


Σχήμα 3.2: περιβάλλον IDFEditor

Για την σωστή εξαγωγή αποτελεσμάτων και τη σωστή συνολική αποτίμηση των ενεργειακών αναγκών ενός κτιρίου, θεωρείται σημαντικό να περιγραφούν με ακρίβεια όλα τα χαρακτηριστικά του. Στο παρόν κεφάλαιο θα μελετήσουμε την ενεργειακή συμπεριφορά ενός μονώροφου κτιρίου εμβαδού 48m^2 το οποίο βρίσκεται στα Χανιά. Αποτελείται από δύο ζώνες εμβαδών 18m^2 και 30m^2 αντίστοιχα. Βρίσκεται στην περιοχή Κουνουπιδιανών του νομού Χανίων. Το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής είναι 35,2^o και το γεωγραφικό μήκος 25,08^o. Στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί εγκατάσταση φωτοβολταϊκών στο κτίριο για την κάλυψη μέρους των ενεργειακών του απαιτήσεων. Εικόνα του κτιρίου αυτού παρουσιάζεται στο σχήμα 4



Σχήμα 3.3: Εικόνα κτιρίου για εγκατάσταση φβ συστημάτων



Σχήμα 3.4:Εικόνα κτιρίου από το Design Builder

3.3.1 προσδιορισμός θέσης κτιρίου

Σε πρώτο στάδιο, συμπληρώνουμε κάποια βασικά στοιχεία σχετικά με την τοποθεσία του κτιρίου. Δηλώνουμε:

- το όνομα (name) του κτιρίου
- τον προσανατολισμό του κτιρίου (north axis)
- τον χώρο στον οποίο βρίσκεται το κτίριο (terrain) π.χ πόλη, εξοχή, προάστια κτλ.

Σημαντικό επίσης είναι να αναφερθούν και λεπτομέρειες για την ακριβή θέση του κτιρίου όπως:

- το όνομα περιοχής (name)
- το γεωγραφικό πλάτος (latitude)
- το γεωγραφικό μήκος (longitude) ✓
- το υψόμετρο (elevation)

Τα χαρακτηριστικά του δικού μας κτιρίου όπως περιγράφηκαν παραπάνω φαίνονται στον πίνακα 3.5

Building:	
Όνομα κτιρίου:	Office
Προσανατολισμός (μοίρες):	0o
Περιοχή:	City
Site:Location	
Όνομα περιοχής:	Chania
Γεωγραφικό πλάτος περιοχής:	35o 2’
Γεωγραφικό μήκος περιοχής:	25o 08’
Υψόμετρο:	151m.

Πίνακας 3.5: Χαρακτηριστικά τοποθεσίας κτιρίου

Site:Location

Chania	!- Name
35.2	!- Latitude {deg}
25.08	!- Longitude {deg}
2	!- Time Zone {hr}
151	!- Elevation {m}

Πίνακας 3.6: Χαρακτηριστικά τοποθεσίας στο idf

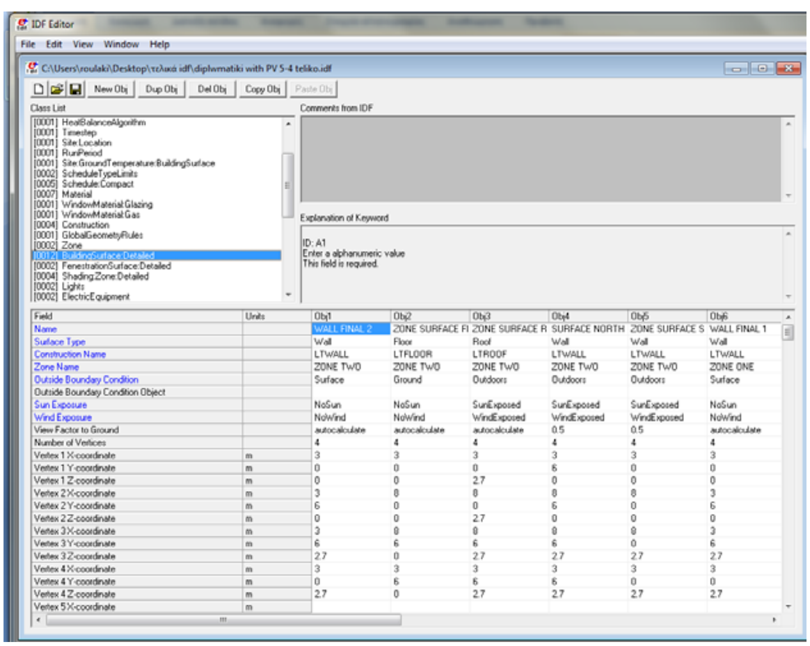
Τα παραπάνω χαρακτηριστικά επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό την παραγόμενη από φωτοβολταϊκά συστήματα ενέργεια και γι’ αυτό θα πρέπει να προσδιορίζονται με μεγάλη ακρίβεια. Ανάλογα με την περιοχή στην οποία βρίσκεται το κτίριο επιλέγεται και το αντίστοιχο αρχείο καιρού. Το αρχείο καιρού περιέχει σημαντικές πληροφορίες για τα κλιματικά δεδομένα της περιοχής από τα οποία εξαρτάται και η απόδοση των εγκατεστημένων φωτοβολταϊκών πλαισίων. Για παράδειγμα, μία μέρα με έντονη ηλιοφάνεια η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας θα είναι υψηλή και κατά συνέπεια θα παραχθούν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά. Συγκριτικά, οι μέρες που προσδιορίζονται με συννεφιά παράγουν μικρότερα ποσά ενέργειας. Όσον αφορά το γεωμετρικό πλάτος και μήκος της περιοχής, επηρεάζουν σημαντικά τα χαρακτηριστικά της προσπίπτουσας ακτινοβολίας όπως είναι η ένταση και η κλίση. Όταν η ακτινοβολία που προσπίπτει είναι κάθετη στα εγκατεστημένα πλαίσια, τότε παράγεται περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια.

3.3.2 προσδιορισμός επιφανειών κτιρίου

Για το σχεδιασμό του κτιρίου ορίζουμε τις επιφάνειες που το απαρτίζουν στην καρτέλα BuildingSurface:Detailed όπως φαίνεται στο σχήμα… Κάθε επιφάνεια περιγράφεται από τέσσερα (4) σημεία συντεταγμένων σε ένα τρισδιάστατο σύστημα (x,y,z). Σε κάθε επιφάνεια ορίζουμε και τις εξωτερικές συνθήκες που επικρατούν έτσι ώστε κατά την προσομοίωση να συμπεριληφθεί στους υπολογισμούς ο συντελεστής συναγωγής / αγωγής.

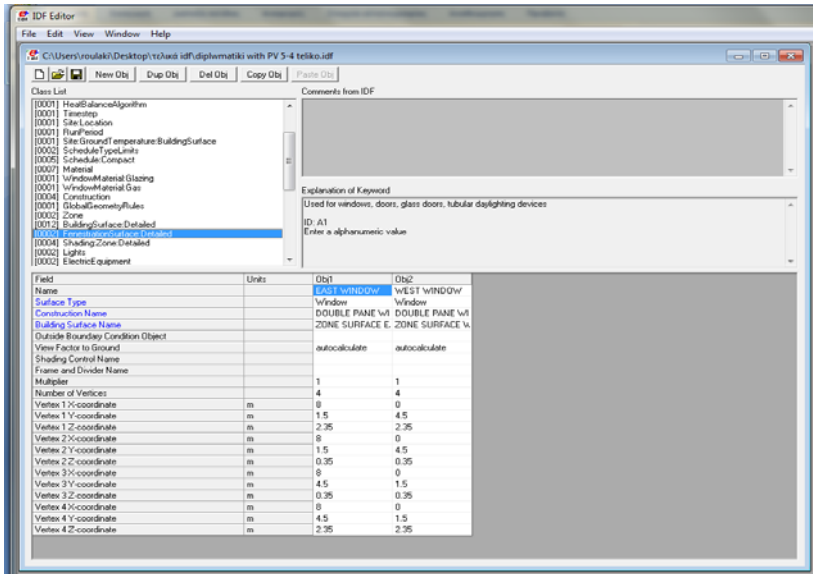
Οι βασικές επιλογές είναι:

- Surface, όταν έξω από την επιφάνεια υπάρχει άλλη επιφάνεια
- Outdoors, όταν η επιφάνεια έρχεται σε επαφή με τον αέρα περιβάλλοντος
- Ground, όταν η επιφάνεια βρίσκεται στο έδαφος (συνήθως δηλώνεται για την επιφάνεια του δαπέδου)
- Otherside conditions model, όταν εξωτερικά της επιφάνειας είναι προσαρτημένη άλλη επιφάνεια η οποία επηρεάζει το θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου



Σχήμα 3.7: BuildingSurface:Detailed

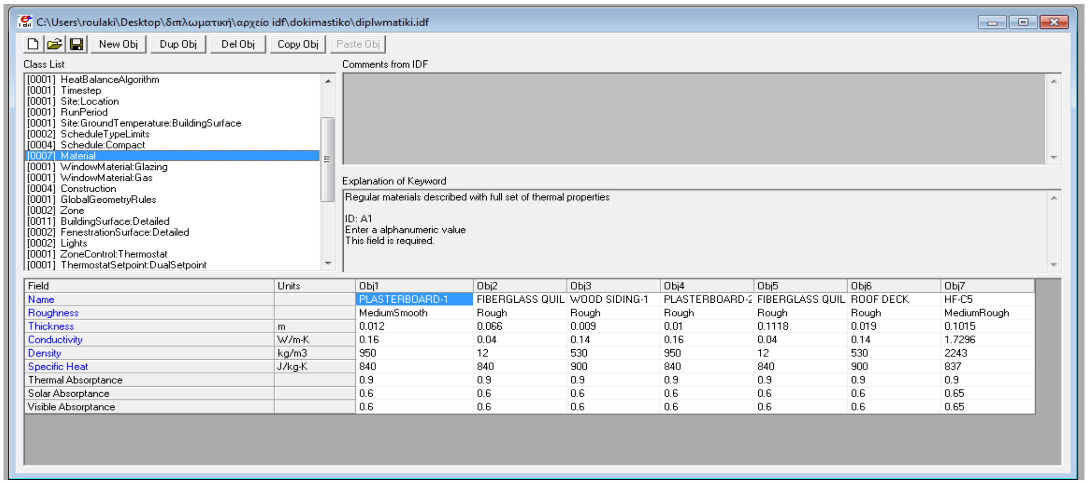
Για την περιγραφή των παραθύρων υπάρχει η καρτέλα FenestrationSurface:Detailed. Οι συντεταγμένες των παραθύρων ορίζονται και αυτές με τον ίδιο τρόπο όπως και οι υπόλοιπες επιφάνειες του κτιρίου.



Σχήμα 3.8: FenestrationSurface:Detailed

3.3.3 περιγραφή υλικών επιφανειών κτιρίου

Πολύ σημαντικό ρόλο στην εξοικονόμηση ενέργειας και στο ενεργειακό ισοζύγιο ενός κτιρίου παίζουν τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των επιφανειών αλλά και των παραθύρων. Για τη σωστή θερμική συμπεριφορά ενός κτιρίου θεωρείται απαραίτητο κατά την κατασκευή των επιφανειών να τοποθετείται μόνωση. Η μόνωση εμποδίζει τις ανταλλαγές θερμότητας μεταξύ κτιρίου και περιβάλλοντος. Γενικότερα, καλό είναι να χρησιμοποιούνται υλικά τα οποία εμποδίζουν τη μετάδοση θερμότητας το χειμώνα ενώ την επιτρέπουν το καλοκαίρι. Για κάθε υλικό, στην καρτέλα Material του IDFEditor αναφέρονται λεπτομερέστατα τα χαρακτηριστικά τους όπως: πυκνότητα (density), πάχος (thickness), αγωγιμότητα (conductivity), συντελεστής θερμικής απορρόφησης (thermal absorptance) κ.α.



Σχήμα 3.9: Καρτέλα περιγραφής ιδιοτήτων υλικών

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των επιφανειών στο κτίριο μας συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

	μπετό	τούβλα	ελαφρύ μπετό	μάρμαρο	μόνωση
Σκληρότητα	Σκληρό (rough)	Μεσαίο (medium rough)	Μεσαίο (medium rough)	Μαλακό (smooth)	Μεσαίο (medium rough)
Πάχος (mm)	200 / 350	50	50	3	50
Συντελεστής αγωγής (W/m*K)	1,4	0,034	0,42	2	0,034
Πυκνότητα (kg/m3)	2100	25	1200	2500	25
Specific heat (J/kg*K)	828	1224	1008	792	1224
Συντελεστής θερμικής απορρόφησης	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Συντελεστής ηλιακής απορρόφησης	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Συντελεστής Visible απορρόφησης	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Πίνακας 3.10: Χαρακτηριστικά υλικών κατασκευής επιφανειών κτιρίου

Όλες οι επιφάνειες του κτιρίου κατασκευάστηκαν με τα παραπάνω υλικά. Συγκεκριμένα, οι τοίχοι αποτελούνται από: μπετό 200mm, μόνωση 50mm και τούβλο 50mm. Η οροφή κατασκευάστηκε από: ελαφρύ μπετό 50mm, μόνωση 50mm και μπετό 350mm. Το δάπεδο του κτιρίου αποτελείται από μπετό 200mm και μάρμαρο 3mm.

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά κατασκευής των παραθύρων, σημαντικό ρόλο παίζει το πάχος του τζαμιού, ο συντελεστής ηλιακής απορρόφησης και ο συντελεστής αγωγιμότητας.

Στο κτίριο μας, τα τζάμια των παραθύρων έχουν πάχος 6mm, συντελεστή αγωγιμότητας 0,9 W/m*k ενώ ο συντελεστής ηλιακής απορρόφησης είναι 0,775.

FenestrationSurface:Detailed

WEST WINDOW	!- Name
Window	!- Surface Type
DOUBLE PANE WINDOW	!- Construction Name
ZONE SURFACE WEST	!- Building Surface Name
	!- Outside Boundary Condition Object
autocalculate	!- View Factor to Ground
	!- Shading Control Name
	!- Frame and Divider Name
1	!- Multiplier
4	!- Number of Vertices
0, 4.5, 2.35	!- X,Y,Z 1 {m}
0, 4.5, 0.35	!- X,Y,Z 2 {m}
0, 1.5, 0.35	!- X,Y,Z 3 {m}
0, 1.5, 2.35	!- X,Y,Z 4 {m}

Πίνακας 3.11: περιγραφή δυτικού παραθύρου στο idf

BuildingSurface:Detailed

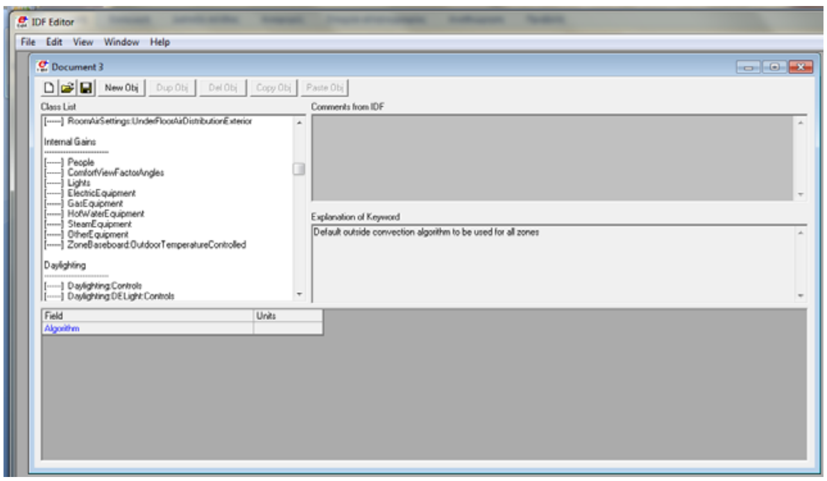
ZONE SURFACE SOUTH 2	!- Name
Wall	!- Surface Type
LTWALL	!- Construction Name
ZONE TWO	!- Zone Name
Outdoors	!- Outside Boundary Condition
	!- Outside Boundary Condition Object
SunExposed	!- Sun Exposure
WindExposed	!- Wind Exposure
0.5	!- View Factor to Ground
4	!- Number of Vertices
3, 0, 0	!- X,Y,Z 1 {m}
8, 0, 0	!- X,Y,Z 2 {m}
8, 0, 2.7	!- X,Y,Z 3 {m}
3, 0, 2.7	!- X,Y,Z 4 {m}

Πίνακας 3.12: περιγραφή νότιας επιφάνειας στο idf

3.3.4 προσδιορισμός ηλεκτρικών φορτίων

Το EnergyPlus μελετά μία μεγάλη ποικιλία εγκατεστημένων συστημάτων τα οποία προστίθενται στο σύνολο των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου. Για παράδειγμα υποστηρίζει την εγκατάσταση φωτισμού, ηλεκτρολογικού εξοπλισμού, γεννητριών, boiler και φυσικά την παρουσία ανθρωπίνου δυναμικού.

Στο δικό μας κτίριο, το οποίο είναι ένα απλό μοντέλο, υπάρχει κατανάλωση ενέργειας μόνο για φωτισμό και για τον εξοπλισμό των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Οι παράμετροι αυτοί προσδιορίζονται με μεγαλύτερη ακρίβεια στην καρτέλα Internal Gains: Lights και Internal Gains: Electric Equipment όπως παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 3.13: Internal Gains

Lights:	
Όνομα	ZONE ONE lights
Ζώνη	ZONE ONE
Schedule	Office Lighting
Επίπεδο φωτισμού (W)	1000

Πίνακας 3.14: Περιγραφή φωτισμού στη ζώνη1 του κτιρίου

Lights

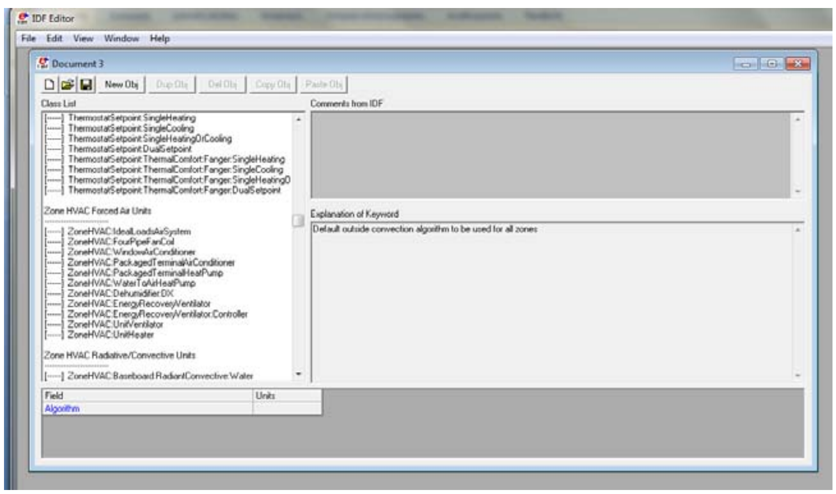
ZONE TWO Lights	!- Name
ZONE TWO	!- Zone Name
Lights year	!- Schedule Name
LightingLevel	!- Design Level Calculation Method
1500	!- Lighting Level {W}
	!- Watts per Zone Floor Area {W/m2}
	!- Watts per Person {W/person}
0	!- Return Air Fraction
0.72	!- Fraction Radiant

0.18	!- Fraction Visible
1	!- Fraction Replaceable
General	!- End-Use Subcategory
No	!- Return Air Fraction Calculated from PlenumTempe-rature

Πίνακας 3.15: Περιγραφή φωτισμού στο idf

3.3.5 εγκατάσταση συστήματος HVAC

Το συστήματα HVAC ή αλλιώς συστήματα θέρμανσης (Heating)/ ψύξης (Ventilation)/κλιματισμού (Air Conditioning) είναι υπεύθυνα για τον θερμικό έλεγχο στο εσωτε-ρικό περιβάλλον ενός κτιρίου. Χρησιμοποιούνται για τον ενεργειακό έλεγχο και διαμορφώνουν επιθυμητά επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας καθώς και για τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα. Έχει υπολογισθεί ότι τα μεγαλύτερα ποσά ενέργειας σε ένα κτίριο ξοδεύονται για ανάγκες θέρμανσης και κλιματισμού.



Σχήμα 3.16: Zone HVAC Forced Air Units

3.3.6 εγκατάσταση φβ συστημάτων

Στην παράγραφο αυτή μελετάμε την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πλαισίων στην οροφή του κτιρίου που περιγράφηκε στην αρχή του κεφαλαίου. Παρουσιάζονται λοιπόν στη συνέχεια, τα βασικά κομμάτια της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης.

3.3.6.1 επιλογή φβ πλαισίου

Το EnergyPlus υποστηρίζει τρεις (3) τύπους φωτοβολταϊκών πλαισίων.

1. Simple
2. Equivalent One-Diode
3. Sandia

Η βασική διαφορά των 3 παραπάνω τύπων είναι ο μαθηματικός αλγόριθμος που χρησιμοποιεί το λογισμικό για τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργεια. Στο μοντέλο simple, χρησιμοποιείται η απλούστερη μεθοδολογία υπολογισμού της παραγόμενης ενέργειας [ ] και ο χρήστης ορίζει μόνος του την απόδοση του πλαισίου. Αντιθέτως, στο Equivalent One-Diode και στο Sandia η παραγόμενη φωτοβολταϊκή ενέργεια υπολογίζεται με μεγαλύτερη ακρίβεια με χρήση εμπειρικών σχέσεων λαμβάνοντας υπόψη και εξωτερικές συνθήκες όπως: θερμοκρασία φβ στοιχείου, ένταση προσπίπτουσας ακτινοβολίας κ.α. Ανάλογα με τον τύπο που θα επιλεχθεί συμπληρώνεται και η αντίστοιχη καρτέλα στο IDFEditor.

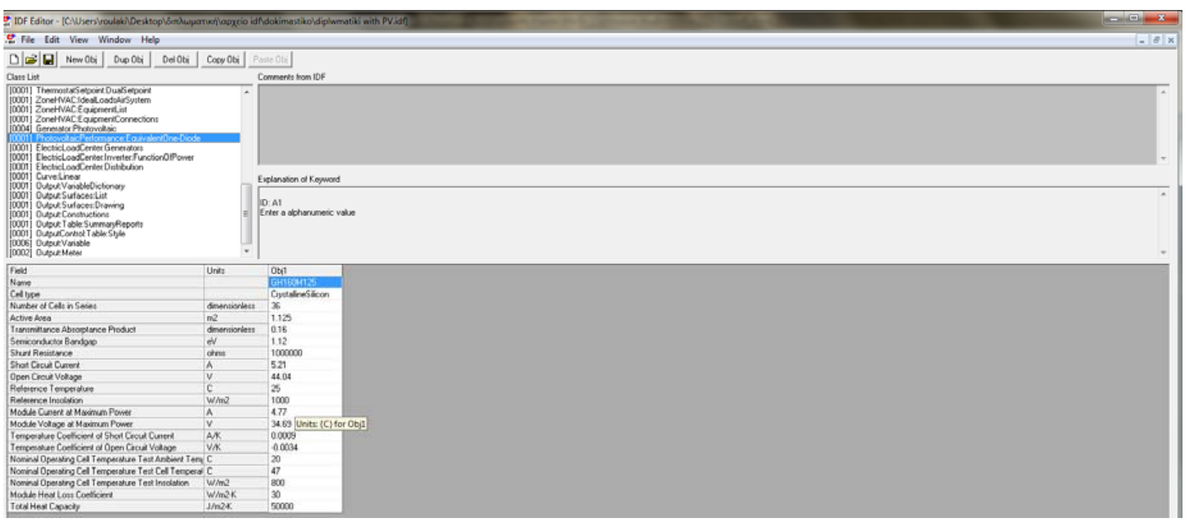
Για το κτίριο μας, δεδομένου ότι θέλουμε να κάνουμε μία ακριβή μελέτη εγκατάστασης φωτοβολταϊκών επιλέξαμε να τοποθετήσουμε φωτοβολταϊκό πλαίσιο τύπου Equivalent One-Diode. Πρόκειται για ένα μονοκρυσταλλικό πλαίσιο σιλικόνης της εταιρείας GH SOLAR. Το μοντέλο είναι το GH165M125 και αποτελείται από 36 φωτοβολταϊκά στοιχεία σε σειρά. Οι διαστάσεις του πλαισίου είναι 1602X812X35 mm ενώ ζυγίζει 16kg. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πλαισίου παρουσιάζονται στον πίνακα…

Όνομα πλαισίου	GH165M125
Τύπος φωτοβολταϊκού στοιχείου	μονοκρυσταλλική σιλικόνη
Αριθμός φβ στοιχέιων στη σειρά	36
Ενεργή περιοχή φβ πλαισίου	1,125m2
Αποδοτικότητα πλαισίου	0,16
Ισχύς αιχμής (Peak power)	165Wp
Ηλεκτρική τάση στο σημείο αιχμής	34,69 V
Ηλεκτρικό ρεύμα στο σημείο αιχμής	4,77 A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος	44,04 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	5,21 A
Θερμικός συντελεστής ρεύματος βραχυκύκλωσης	0,09%/oC
Θερμικός συντελεστής τάσης ανοιχτού κυκλώματος	-0,34%/oC
Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας φβ στοιχείου (NOCT)	47oC

Πίνακας 3.17: Χαρακτηριστικά φ/β πλαισίου

PhotovoltaicPerformance:EquivalentOneDiode	
GH160M125	Name
CrystallineSilicon	Cell type
36	Number of Cells in Series {dimensionless}
1.125	Active Area {m2}
0.16	Transmittance Absorptance Product {dimensionless}
1.12	Semiconductor Bandgap {eV}
1000000	Shunt Resistance {ohms}
5.21	Short Circuit Current {A}
44.04	Open Circuit Voltage {V}
25	Reference Temperature {C}
1000	Reference Insolation {W/m2}
4.77	Module Current at Maximum Power {A}
34.69	Module Voltage at Maximum Power {V}
0.0009	Temperature Coefficient of Short Circuit Current {A/K}
0034	Temperature Coefficient of Open Circuit Voltage {V/K}
20	Nominal Operating Cell Temperature Test Ambient Temp{C}
47	Nominal Operating Cell Temperature Test Cell Temp{C}
800	Nominal Operating Cell Temp Test Insolation {W/m2}
30	Module Heat Loss Coefficient {W/m2 K}
50000	Total Heat Capacity {J/m2 K}

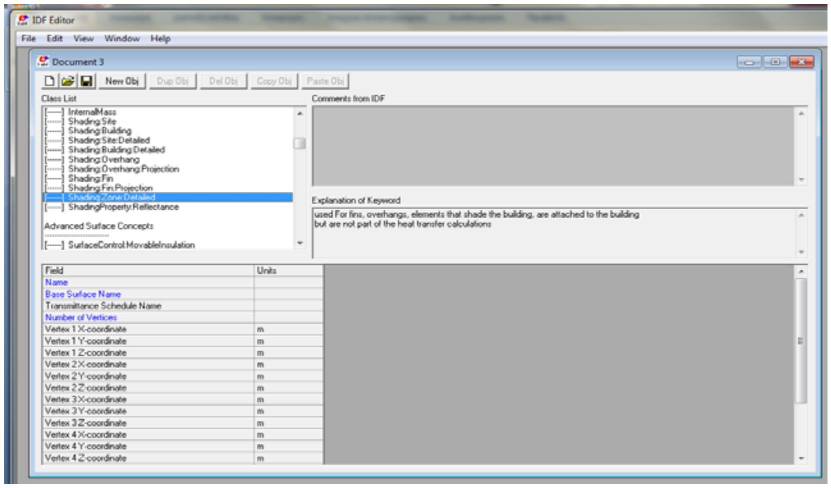
Πίνακας 3.18: Περιγραφή φωτοβολταϊκού πλαισίου στο idf



Σχήμα 3.19: περιγραφή φωτοβολταϊκού πλαισίου στο EnergyPlus

3.3.6.2 προσδιορισμός κλίσης φβ πλαισίου

Πολύ σημαντικό ρόλο στην απόδοση των φωτοβολταϊκών παίζει η κλίση που θα έχουν. Για να εξασφαλίσουμε λοιπόν βέλτιστη απόδοση από τα φωτοβολταϊκά απαιτείται να τοποθετηθούν με κλίση ίση περίπου με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής που εγκαθίστανται. Οποιαδήποτε άλλη τιμή στη γωνία κλίσης αποφέρει μικρότερα ποσά ενέργειας. Για το λόγο αυτό, στο EnergyPlus ορίζουμε κάποιες επιφάνειες ως Shading:Zone:Detailed. ‘Ετσι περιγράφονται επιφάνειες οι ο-ποίες είναι προσαρμοσμένες σε άλλες επιφάνειες και τους προκαλούν κάποια σκίαση. Πάνω σε αυτές τις επιφάνειες θα τοποθετηθούν οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες. Αυτό που έχει ιδιαίτερη σημασία είναι να δώσουμε σωστή τιμή για τον άξονα z ο οποίος ορίζει και την κλήση της επιφάνειας και κατά συνέπεια την κλίση του φβ. Οι επιφάνειες αυτές ορίζονται με τέσσερα σημεία συντεταγμένων σε ένα τρισδιάστατο σύστημα αξόνων.



Σχήμα 3.20: Shading:Zone:Detailed

Στην οροφή του κτιρίου μας ορίσαμε τέσσερις (4) τέτοιες επιφάνειες για την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών συστοιχιών. Στην Ελλάδα η βέλτιστη απόδοση φωτοβολταϊκού επιτυγχάνεται με νότιο προσανατολισμό και γωνία κλίσης 30^o. Επομένως, για να βρούμε την άλλη τιμή του z που θα προσδιορίσει και την κλίση χρησιμοποιούμε την τριγωνομετρική σχέση:

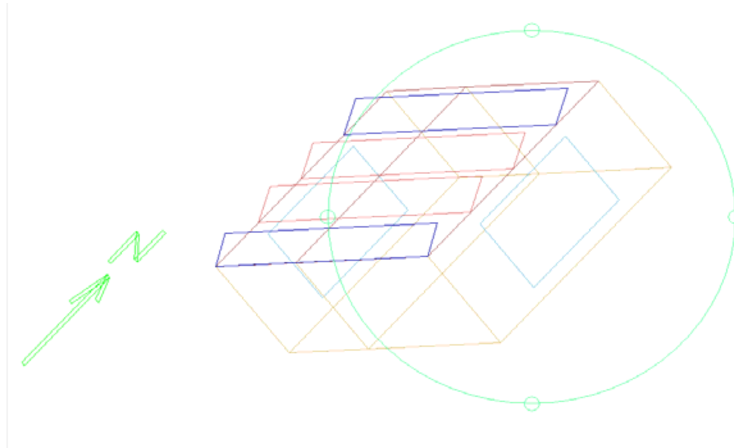
$$ημ(30) = (x - 2,7) / 0,8 \Rightarrow \mathbf{x = 3,10}$$

Συνεπώς ορίζονται οι παρακάτω επιφάνειες:

`Shading:Zone:Detailed`

Name	PVsurfaceA1	PVsurfaceA2	PVsurfaceA3	PVsurfaceA4,
Base Surface Name	ZONE SURFACE ROOF 2	ZONE SURFACE ROOF 2	ZONE SURFACE ROOF 2	ZONE SURFACE ROOF 2
Number of Vertices	4	4	4	4
X,Y,Z 1 {m}	0, 0, 2.7	0, 1.5, 2.7	0, 3, 2.7	0, 4.5, 2.7
X,Y,Z 2 {m}	8, 0, 2.7	8, 1.5, 2.7	8, 3, 2.7	8, 4.5, 2.7
X,Y,Z 3 {m}	8, 0.7, 3.1	8, 2.3, 3.1	8, 3.8, 3.1	8, 5.3, 3.1
X,Y,Z 4 {m}	0, 0.7, 3.1	0, 2.3, 3.1	0, 3.8, 3.1	0, 5.3, 3.1

Πίνακας 3.21: Συντεταγμένες επιφανειών τοποθέτησης φωρτοβολταϊκών

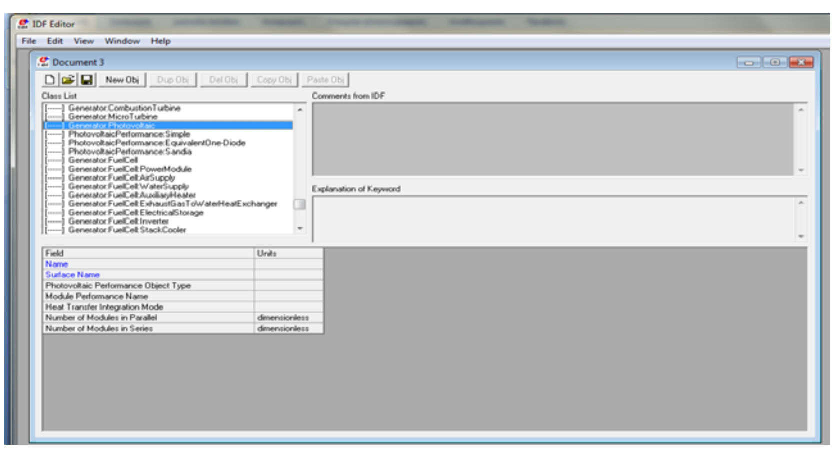


Σχήμα 3.22: επιφάνειες προσάρτησης φωτοβολταϊκών πλαισίων

3.3.6.3 δημιουργία φβ συστοιχίας

Για την κάλυψη ενός μεγάλου μέρους των αναγκών του κτιρίου δεν αρκεί η παραγόμενη ενέργεια από ένα μόνο φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Απαιτείται η παράλληλη και/ή η εν σειρά σύνδεση φωτοβολταϊκών πλαισίων για τη δημιουργία φωτοβολταϊκών συστοιχιών. Η σύνδεση σε σειρά αυξάνει την τάση του κυκλώματος ενώ η παράλληλη σύνδεση αυξάνει την ένταση του ρεύματος. Σε μία φωτοβολταϊκή συστοιχία τα φωτοβολταϊκά πλαίσια συνδυάζονται έτσι μεταξύ τους ώστε να υπάρχουν όσο το δυνατόν μικρότερες απώλειες της φωτοβολταϊκής ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται με χαμηλό ρεύμα και αντίστοιχα μεγάλη ηλεκτρική τάση. Η μέγιστη επιτρεπτή τάση για φωτοβολταϊκά συστήματα είναι 600V.

Στο EnergyPlus η δήλωση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας γίνεται στην καρτέλα Generator: Photovoltaic. Αναφέρουμε πόσα φβ πλαίσια θα συνδεθούν σε σειρά (number of modules in series) και πόσα παράλληλα (number of modules in parallel) αλλά και σε ποια επιφάνεια (surface name) από αυτές που έχουν οριστεί προηγουμένως θα τοποθετηθούν.



Σχήμα 3.23: Generator: Photovoltaic

Στο κτίριο μας εγκαταστήσαμε 4 φωτοβολταϊκές συστοιχίες κάθε μία από τις οποίες αποτελείται από πέντε (5) φωτοβολταϊκά πλαίσια σε σειρά και τέσσερα (4) παράλληλα. Δεδομένου ότι οι περισσότερες συσκευές σε ένα κτίριο λειτουργούν σε τάση 220V, συνδέοντας 5 φβ πλαίσια σε σειρά πετυχαίνουμε 5*44V = 220V. Στο idf αρχείο, αυτό περιγράφεται ως εξής:

Generator:Photovoltaic,

PVdiodeA4	Name
PVsurfaceA4	Surface Name
PhotovoltaicPerformance:EquivalentOne Diode	Photovoltaic Performance
GH165M125	Module Performance Name
Decoupled	Heat Transfer Integration Mode
4	Number of Modules in Parallel
5	Number of Modules in Series

Πίνακας 3.24: Περιγραφή φβ συστοιχίας στο idf αρχείο

3.3.6.4 μετατροπέας (inverter)

Δεδομένου ότι το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγουν τα φωτοβολταϊκά είναι συνεχές (DC) ενώ τα κτίρια καταναλώνουν εναλλασσόμενο (AC), στην εγκατάσταση απαιτείται και ένας μετατροπέας (inverter). O inverter είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα ισχύος που μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη. Η απόδοση των inverters είναι αρκετά υψηλή (93-98%) και εξαρτάται από το ποσοστό του πλήρους φορτίου που τροφοδοτεί. Η εναλλασσόμενη ενέργεια που παράγεται από το inverter, $P_{AC,out}$,υπολογίζεται από τη σχέση

$$P_{AC,out} = P_{DC,in} * \varepsilon_{inverter} \qquad \textit{σχέση 1}$$

όπου: $P_{DC,in}$ είναι η συνεχής ενέργεια που παράγουν τα φωτοβολταϊκά

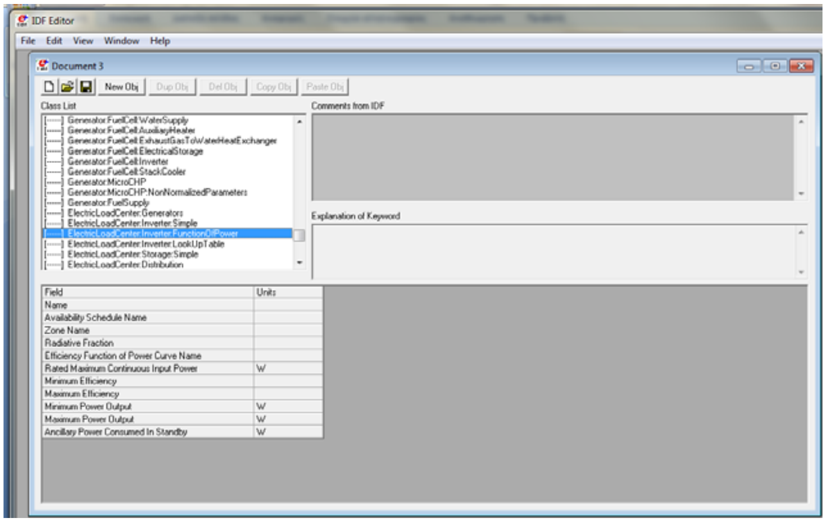
$\varepsilon_{inverter}$ είναι η απόδοση λειτουργίας του μετατροπέα

Στο EnergyPlus υπάρχουν τρεις (3) δυνατές επιλογές inverter:

- Simple
- FunctionOfPower
- LookUpTable

Η διαφορά των 3 αυτών επιλογών έχει να κάνει με τον τρόπο που ορίζεται η απόδοση του μετατροπέα. Όταν ορίζουμε Simple inverter, ο συντελεστής απόδοσης παραμένει σταθερός χωρίς να υπάρχουν θερμικές απώλειες. Αυτό βέβαια συμβαίνει σπάνια. Αντιθέτως, για το μοντέλο FunctionOfPower ο συντελεστής απόδοσης δεν παραμένει σταθερός αλλά μεταβάλλεται σύμφωνα με την καμπύλη λειτουργίας του inverter.

Για το κτίριο μας χρησιμοποιήσαμε ένα inverter τύπου FunctionOfPower τα χαρακτηριστικά του οποίου (απόδοση, μέγιστη παραγόμενη ισχύς κ.α.) περιγράφονται στην καρτέλα του σχήματος



Σχήμα 3.25: ElectricLoadCenter:Inverter:FunctionOfPower

Η περιγραφή του inverter όπως προκύπτει στο idf αρχείο φαίνεται στον επόμενο πίνακα.

ElectricLoadCenter:Inverter:FunctionOfPower

SMC 8000TL	Name
ALWAYS ON	Availability Schedule Name
	Zone Name
Inverter curve	Efficiency Function of Power Curve Name
8250	Rated Maximum Continuous Input Power {W}
0	Minimum Efficiency
0.98	Maximum Efficiency
10	Minimum Power Output {W}
8000	Maximum Power Output {W}
0	Ancillary Power Consumed In Standby {W}

Πίνακας 3.26:Περιγραφή μετατροπέα στο idf

3.4 Αποτελέσματα προσομοίωσης

3.4.1 προσδιορισμός ενεργειακών αναγκών κτιρίου

Ο βασικός εξοπλισμός του κτιρίου μας ο οποίος επηρεάζει και τις ενεργειακές του ανάγκες είναι:

- Φωτισμός
- Ηλεκτρονικοί υπολογιστές
- Σύστημα HVAC

3.4.1.1 φωτισμός

Προκειμένου να προσδιοριστούν με ακρίβεια οι ανάγκες για φωτισμό του κτιρίου και τα αποτελέσματα να είναι λογικά, ορίζουμε κάποιο schedule στο οποίο δηλώνουμε τις ώρες και τις μέρες που θα λειτουργεί ο φωτισμός. Δεδομένου ότι το κτίριο μας είναι γραφείο ορίζουμε ως ώρες λειτουργίας του 08:00π.μ έως 17:00μ.μ από Δευτέρα μέχρι Παρασκευή. Λαμβάνουμε υπόψη ακόμη και τις γιορτές των Χριστουγέννων, του Πάσχα, την $25^{η}$ Μαρτίου, την Καθαρά Δευτέρα και τέλος τις διακοπές καλοκαιριού. Επομένως ορίζονται τα παρακάτω διαστήματα λειτουργίας του κτιρίου:

Διάστημα:	
Από 01/01 έως 06/01	Κλειστά λόγω πρωτοχρονιάς
Από 07/01 έως 14/02	Ανοιχτά
15/02	Κλειστά λόγω καθαρά Δευτέρας
Από 16/02 έως 24/03	Ανοιχτά
25/03	$25^{η}$ Μαρτίου
Από 26/03 έως 31/03	Ανοιχτά
Από 01/04 έως 11/04	Κλειστά λόγω Πάσχα
Από 12/04 έως 31/07	Ανοιχτά
Από 01/08 έως 22/08	Κλειστά λόγω καλοκαιρινών διακοπών
Από 23/08 έως 21/12	Ανοιχτά
Από 22/12 έως 31/12	Κλειστά λόγω Χριστουγέννων

Πίνακας 3.27 : Χρονικά διαστήματα λειτουργίας κτιρίου

Για τα παραπάνω διαστήματα η απαιτούμενη μηνιαία ενέργεια για φωτισμό για κάθε ζώνη του κτιρίου παρουσιάζεται στον πίνακα:

Μήνας	Κατανάλωση σε φωτισμό (J): ZONE 1	Κατανάλωση σε φωτισμό (J): ZONE 2
Ιαν	$612 * 10^{6}$	$918 * 10^{6}$
Φεβ	$648 * 10^{6}$	$972 * 10^{6}$
Μαρ	$828 * 10^{6}$	$1.242 * 10^{6}$
Απρ	$468 * 10^{6}$	$702 * 10^{6}$
Μαϊ	$828 * 10^{6}$	$1.242 * 10^{6}$
Ιουν	$792 * 10^{6}$	$1.188 * 10^{6}$

Ιουλ	756 * 10^6	1.134 * 10^6
Αυγ	252 * 10^6	378 * 10^6
Σεπ	756 * 10^6	1.134 * 10^6
Οκτ	792 * 10^6	1.188 * 10^6
Νοε	792 * 10^6	1.188 * 10^6
Δεκ	540 * 10^6	810 * 10^6

Πίνακας 3.28: Κατανάλωση φωτισμού σε Joule ανά ζώνη

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, οι συνολικές ετήσιες ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου για φωτισμό είναι 20.160 * 10^6 J ή 5.600 KWh

Η μικρότερη κατανάλωση παρατηρείται το μήνα Αύγουστο. Είναι απόλυτα λογικό αφού το συγκεκριμένο μήνα το γραφείο είναι ανοιχτό μόνο επτά (7) ημέρες. Αντιθέτως, τα περισσότερα ποσά ενέργεια καταναλώνονται τον Μάρτη και Ιούνη αφού το κτίριο λειτουργεί τις περισσότερες μέρες από κάθε άλλο μήνα (23 ημέρες).

Δεν παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον να γίνει κάποια γραφική απεικόνιση της κατανάλωσης ανά μέρα λόγω του ότι για όλες τις ώρες που λειτουργεί το γραφείο απαιτούνται ισάριθμα ποσά ενέργειας.

3.4.1.2 ηλεκτρονικοί υπολογιστές (η/υ)

Όσον αφορά τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές που υπάρχουν στο γραφείο, ισχύει το ίδιο schedule με τον φωτισμό. Στην 1η ζώνη υπάρχει η/υ ο οποίος καταναλώνει 300W ενώ στη 2η ζώνη ένας άλλος με 450W. Οι συνολικές μηνιαίες απαιτήσεις για χρήση η/υ παρουσιάζονται στον πίνακα

Μήνας	Κατανάλωση σε εξοπλισμό (Η/Υ): ZONE 1	Κατανάλωση σε εξοπλισμό (Η/Υ): ZONE 2
Ιαν	1.836 * 10^5	2.601 * 10^5
Φεβ	1.944 * 10^5	2.754 * 10^5
Μαρ	2.484 * 10^5	3.519 * 10^5
Απρ	1.404 * 10^5	1.989 * 10^5
Μαϊ	2.484 * 10^5	3.519 * 10^5
Ιουν	2.376 * 10^5	3.366 * 10^5
Ιουλ	2.268 * 10^5	3.213 * 10^5
Αυγ	756 * 10^5	1.071 * 10^5
Σεπ	2.268 * 10^5	3.213 * 10^5
Οκτ	2.376 * 10^5	3.366 * 10^5
Νοε	2.376 * 10^5	3.366 * 10^5
Δεκ	1.620 * 10^5	2.295 * 10^5

Πίνακας 3.29: Κατανάλωση Η/Υ σε Joule ανά ζώνη

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, οι συνολικές ετήσιες ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου για χρήση Η/Υ είναι 58,464 * 10^5 J ή 1.624 KWh (αφού 1 J = 2.7778*10^{-7} KWh).

Δεδομένου ότι ο μόνος παράγοντας που επηρεάζει τον υπολογισμό της απαιτούμενης ενέργειας είναι ο αριθμός των ημερών που είναι ανοιχτοί οι υπολογιστές, περιμένουμε ότι οι μεγαλύτερες καταναλώσεις θα είναι το Μάρτη και τον Ιούνη, ενώ οι λιγότερες τον Αύγουστο. Αυτά επιβεβαιώνονται και από τον παραπάνω πίνακα. Επομένως, συμπεραίνουμε ότι και η προσομοίωση έχει γίνει σωστά.

3.4.1.3 σύστημα HVAC

Στο κτίριο μας έχουμε εγκαταστήσει σύστημα ψύξης – θέρμανσης μόνο στη ζώνη 1. Παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα η μηνιαία απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση και ψύξη στη ζώνη 1.

Μήνας	ενέργεια θέρμανσης (J)	ενέργεια ψύξης (J)
Ιαν	372 * 10^6	123 * 10^6
Φεβ	323 * 10^6	150 * 10^6
Μαρ	203* 10^6	324 * 10^6
Απρ	88* 10^6	317 * 10^6
Μαϊ	3* 10^6	807 * 10^6
Ιουν	0	1.143* 10^6
Ιουλ	0	1.666* 10^6
Αυγ	0	1.314* 10^6
Σεπ	0	1.574* 10^6
Οκτ	0	1.216* 10^6
Νοε	506 * 10^3	515 * 10^6
Δεκ	184 * 10^6	216 * 10^6

Πίνακας 3.30: Κατανάλωση συστήματος HVAC σε Joule για τη ZONE ONE

Κατά τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβρη, Οκτώβρη παρατηρούμε ότι φυσικά δεν υπάρχουν ενεργειακές καταναλώσεις για θέρμανση. Απόλυτα λογικό λόγω του θερμού κλίματος της χώρας μας τους μήνες αυτούς.

Οι ετήσιες συνολικές καταναλώσεις για θέρμανση και ψύξη είναι 2.928 KWh.

Συγκεντρωτικά παρουσιάζεται ο επόμενος πίνακας.

Φωτισμός	Ηλεκτρονικοί υπολογιστές (Η/Υ)	Σύστημα HVAC	Σύνολο
5.600 KWh	1.624 KWh	2.928 KWh.	***10.152 KWh***

Πίνακας 3.31: Συνολικές ετήσιες ενεργειακές ανάγκες κτιρίου

3.4.2 προσδιορισμός παραγόμενης φωτοβολταϊκής ενέργειας

Όπως προαναφέραμε, για την παραγωγή μεγάλης ποσότητας ενέργειας δεν αρκεί να χρησιμοποιήσουμε μόνο ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Για το λόγο αυτό δημιουργούμε μία συστοιχία προσπαθώντας να επιτύχουμε μία επιθυμητή παραγωγή ενέργειας. Στο κτίριο, εγκαταστήσαμε λοιπόν 4 φβ συστοιχίες. Η κάθε φωτοβολταϊκή συστοιχία αποτελείται από 5 φωτοβολταϊκά πλαίσια στη σειρά και 4 παράλληλα. Σημαντικό ρόλο στην παραγόμενη ενέργεια παίζει η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας η οποία προσπίπτει στην συστοιχία. Είναι λοιπόν αναμενόμενο να παρουσιάζεται μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όταν υπάρχει έντονη ηλιακή ακτινοβολία. Αυτό που πρέπει να τονιστεί είναι ότι στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο δεν προσπίπτει μόνο η άμεση (direct) ηλιακή ακτινοβολία. Το σύνολο της ακτινοβολίας G που προσπίπτει στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο είναι:

$$G = direct + diffuse + groung\ reflected$$

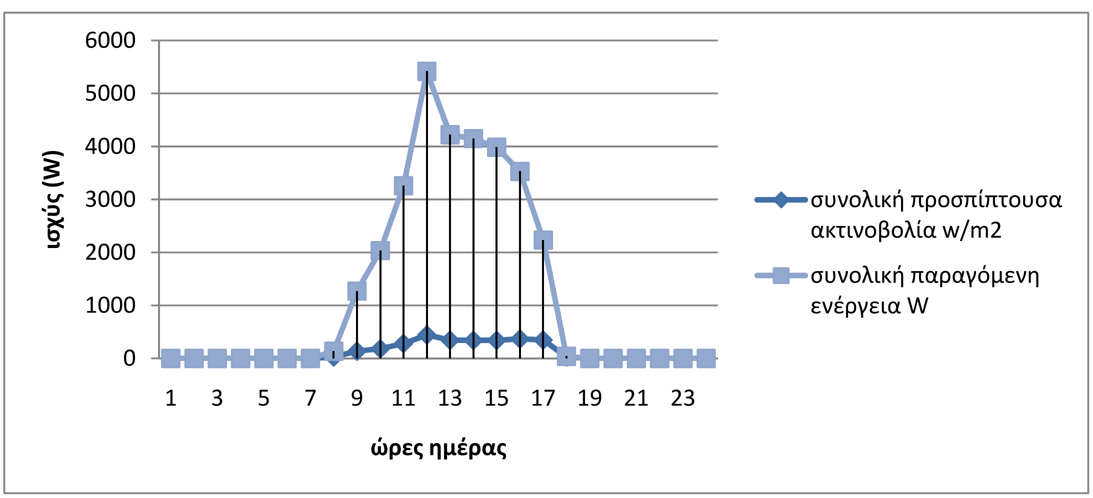
όπου:

direct είναι η απευθείας ακτινοβολία από τον ουράνιο θόλο που προσπίπτει στην επιφάνεια

diffuse είναι η διάχυτη ακτινοβολία που καταλήγει στην επιφάνειά μας

ground reflected είναι η ακτινοβολία που καταλήγει στο έδαφος και αντανακλάται κάποιο μέρος της στην επιφάνειά μας

Στην επόμενη γραφική παράσταση παρουσιάζεται η συνολική ακτινοβολία που προσπίπτει όλο το 24ωρο για τις 3 Ιανουαρίου στη συστοιχία μας καθώς και η ενέργεια που παράγεται. Θα πρέπει να υπάρχει μία αναλογική σχέση μεταξύ των δύο αυτών ποσοτήτων δεδομένου ότι όσο πιο έντονη είναι η ακτινοβολία που προσπίπτει τόσο μεγαλύτερη ενέργεια παράγεται.



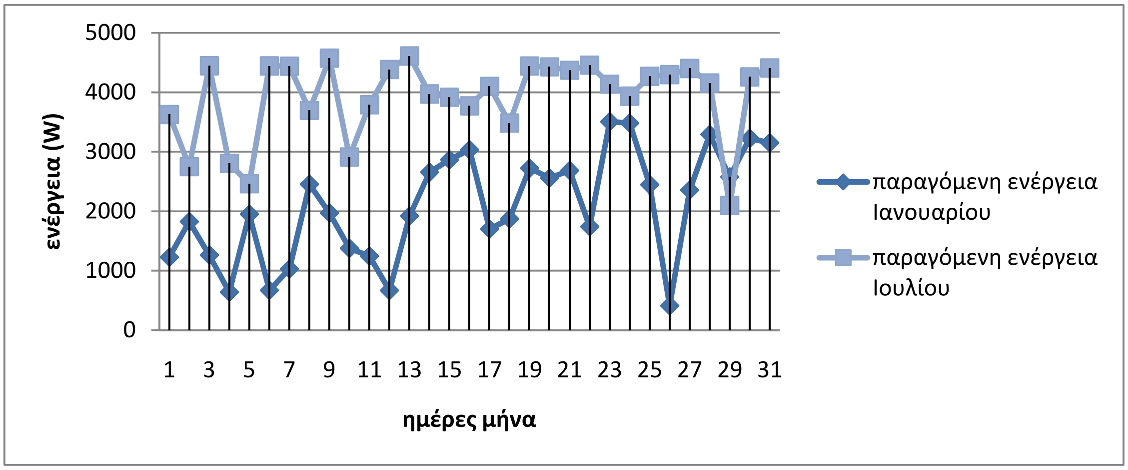
Σχήμα 3.32: Σύγκριση ακτινοβολίας – παραγόμενης ενέργειας για τις 3 Ιανουαρίου

Παρατηρούμε από το διάγραμμα ότι όταν η G είναι μηδενική, μηδενική είναι και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Γενικά, όταν αυξάνεται η ένταση της ακτινοβολίας, αυξάνεται και η ενέργεια και το αντίθετο όταν μειώνεται. Για καλύτερη κατανόηση παρουσιάζεται και ο πίνακας με τις αντίστοιχες τιμές.

ημέρα / ώρα	**προσπίπτουσα ακτινοβολία G (W/m^2)**	**παραγόμενη ενέργεια (W)**
01/03 01:00:00	0	0
01/03 02:00:00	0	0
01/03 03:00:00	0	0
01/03 04:00:00	0	0
01/03 05:00:00	0	0
01/03 06:00:00	0	0
01/03 07:00:00	0	0
01/03 08:00:00	26,34	135,37
01/03 09:00:00	137,44	1.270,28
01/03 10:00:00	183,03	2.034,18
01/03 11:00:00	280,87	3.259,01
01/03 12:00:00	443,58	5.416,69
01/03 13:00:00	344,77	4.219,79
01/03 14:00:00	341,75	4.147,89
01/03 15:00:00	341,8	3.985,41
01/03 16:00:00	368,4	3.528,16
01/03 17:00:00	348,65	2.233,54
01/03 18:00:00	27,14	38,51
01/03 19:00:00	0	0
01/03 20:00:00	0	0
01/03 21:00:00	0	0
01/03 22:00:00	0	0
01/03 23:00:00	0	0
01/03 24:00:00	0	0

Πίνακας 3.33: Παρουσίαση παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας αναλογικά με την προσπίπτουσα ακτινοβολία

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μία γραφική αναπαράσταση της ενέργειας που παράγεται συνολικά τον Ιανουάριο και τον Ιούλιο. Με αυτό τον τρόπο θέλουμε να δείξουμε τι διαφορά που υπάρχει στην ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.



Σχήμα 3.34: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τους μήνες Ιανουάριο και Ιούλιο

Από την πορεία και των δύο γραφικών, παρατηρούμε ότι το μήνα Ιούλιο παράγεται περισσότερη ενέργεια συνολικά απ'ότι τον Ιανουάριο. Δεδομένου του κλίματος της χώρας μας, αυτό είναι απόλυτα λογικό. Αυτό που πρέπει να σχολιάσουμε είναι την ενέργεια που παράγεται την $29^{η}$ μέρα. Σε αυτό μόνο το σημείο, η ενέργεια που παράγεται τον Ιανουάριο είναι μεγαλύτερη από τον Ιούλιο. Παρατηρώντας όμως το αρχείο καιρού που χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση, βλέπουμε ότι πράγματι στις 29Ιουλίου η κάλυψη του ουρανού από σύννεφα είναι 80% δηλαδή total sky cover = 8 ενώ στις 29Ιανουαρίου total sky cover = 5. Πρόκειται λοιπόν για μία συννεφιασμένη μέρα του Ιουλίου.

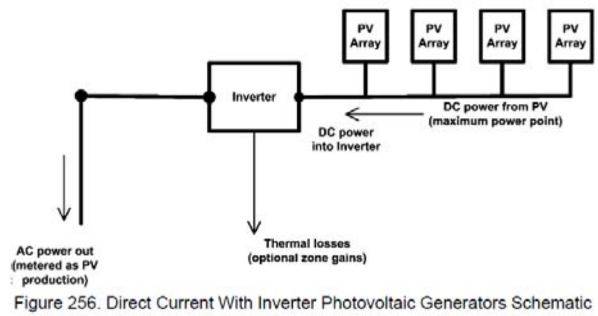
Τα αποτελέσματα που δίνει η προσομοίωσή των φωτοβολταϊκών παρουσιάζονται στον πίνακα

Μήνας	Παραγόμενη ισχύς (DC) $P_{DC,in}$ (W)	Παραγόμενη ισχύς (AC) $P_{AC,out}$ (W)
Ιαν	2.080	1.848
Φεβ	2.182	1.886
Μαρ	2.964	2.435
Απρ	3.314	2.692
Μαϊ	3.720	3.022
Ιουν	3.689	2.982
Ιουλ	3.930	3.105
Αυγ	3.936	3.058
Σεπ	3.914	2.970
Οκτ	3.859	2.868
Νοε	2.131	1.839
Δεκ	1.771	1.617

Πίνακας 3.35: Παραγόμενη εναλλασσόμενη ισχύς φωτοβολταϊκών

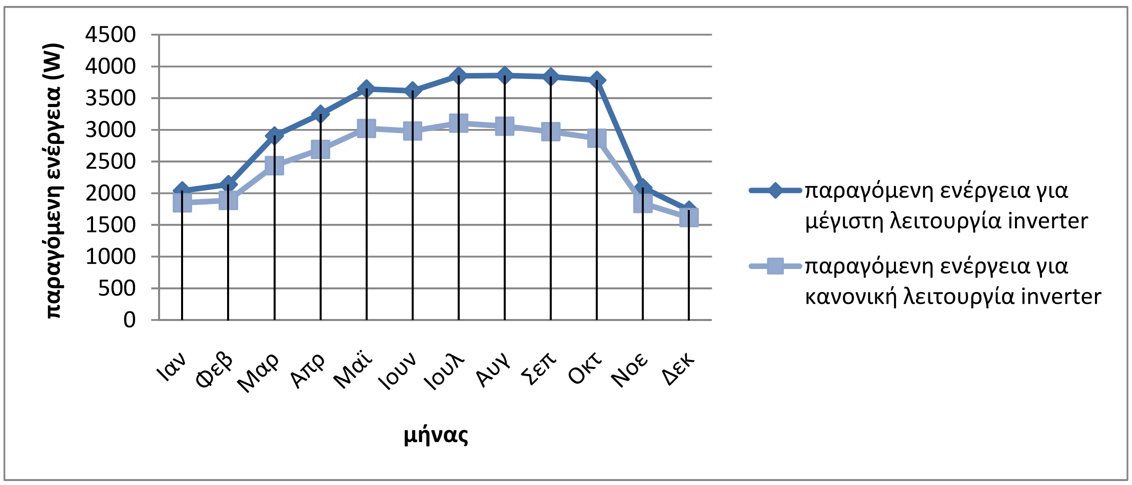
Αυτό που παρατηρούμε είναι ότι το inverter δεν δούλεψε στη μέγιστη απόδοσή του. Εάν δούλευε στο 98% τότε για παράδειγμα στον Ιανουάριο η AC ισχύς θα έπρεπε να ήταν *2.039W*

Η διαφορά $P_{DC,in}$ - $P_{AC,out}$ μας δίνει τις θερμικές απώλειες που υπάρχουν. Για παράδειγμα, οι θερμικές απώλειες για το μήνα Φεβρουάριο είναι 296 W.



Σχήμα 3.36: Σχηματική απεικόνιση μετατροπής συνεχούς ενέργειας σε εναλλασσόμενη

Στην γραφική παράσταση που ακολουθεί παρουσιάζεται η καμπύλη της παραγόμενης ενέργειας όταν ο μετατροπέας λειτουργεί στη μέγιστη απόδοσή του και η καμπύλη της ενέργειας που παράγεται τελικά. Συμπεραίνουμε ότι το inverter έχει δουλέψει με απόδοση περίπου 82%.



Σχήμα 3.37:Παραγωγή ενεργειας για μέγιστη και πραγματική λειτουργία inverter

Τέλος, στον επόμενο πίνακα παρουσιάζεται η μηνιαία εναλλασσόμενη (AC) παραγόμενη ενέργεια που προκύπτει κατά την προσομοίωση.

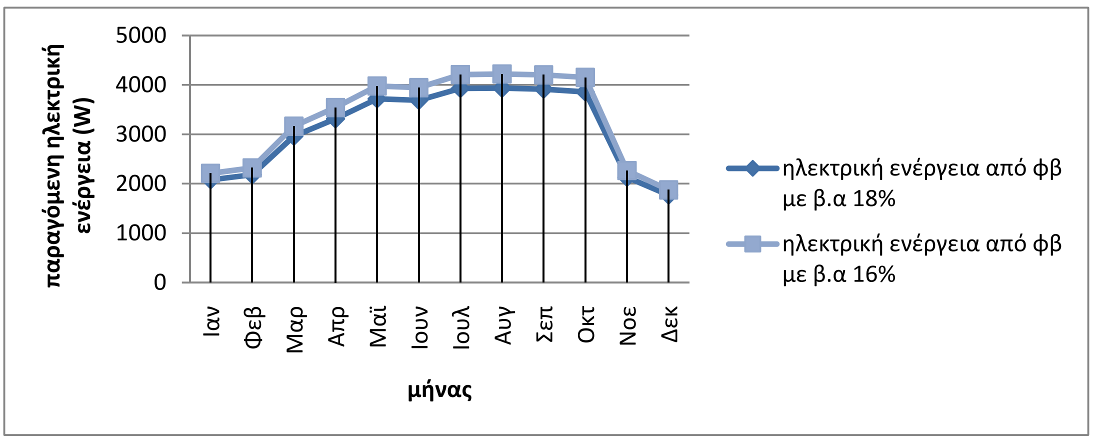
Μήνας	Παραγόμενη ισχύς (AC) $P_{AC,out}$ (W)
Ιαν	1.848
Φεβ	1.886
Μαρ	2.435
Απρ	2.692
Μαϊ	3.022

Ιουν	2.982
Ιουλ	3.105
Αυγ	3.058
Σεπ	2.970
Οκτ	2.868
Νοε	1.839
Δεκ	1.617

Πίνακας 3.38:Μηνιαία παραγωγή ενέργειας AC από τις συστοιχίες

Η συνολική ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προκύπτει ίση με *30.322*W

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφέρουμε ότι αν είχαμε χρησιμοποιήσει φωτοβολταϊκά πλαίσια για τη συστοιχία μας με μεγαλύτερο συντελεστή απόδοσης τα αποτελέσματα θα ήταν και αυτά μεγαλύτερα. Για παράδειγμα, στην επόμενη γραφική παράσταση φαίνεται η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκά πλαίσια με συντελεστή απόδοσης 18% για ένα χρόνο, συγκριτικά με αυτά που παρήγαγαν οι συστοιχίες που τοποθετήσαμε στο κτίριο που είχαν συντελεστή απόδοσης 16%.



Σχήμα 3.39: παραγωγή ενέργειας από φβ με διαφορετικό βαθμό απόδοσης (β.α)

3.5 Παράγοντες που επιδρούν στην απόδοση των φωτοβολταϊκών

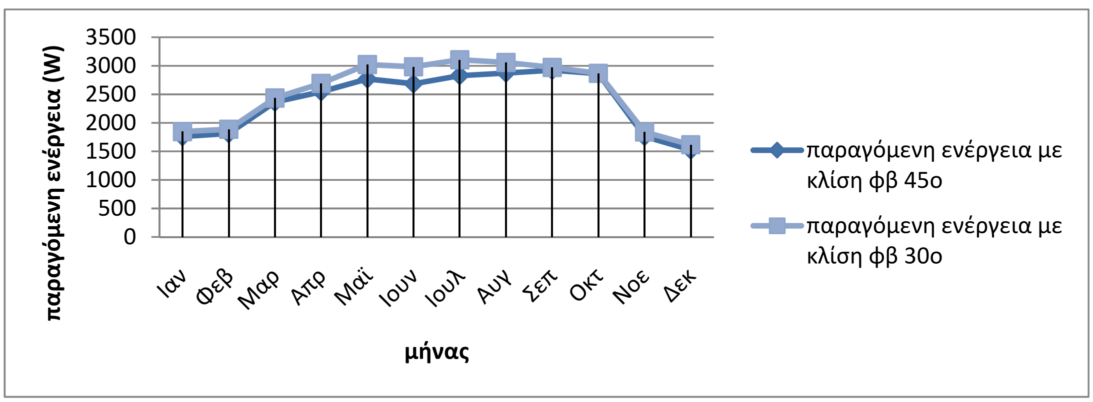
3.5.1 αλλαγή κλίσης φβ συστοιχίας

Η κλίση παίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοση των φωτοβολταϊκών. Ανάλογα με την περιοχή στην οποία εγκαθίστανται φωτοβολταϊκά, βέλτιστη κλίση θεωρούμε τη γωνία περίπου ίση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής. Αν τώρα μεταβάλουμε την γωνία κλίσης, τα αποτελέσματα θα αλλάξουν, είτε αυτή είναι μικρότερη είτε μεγαλύτερη από τη βέλτιστη. Έτσι λοιπόν, για κλίση της συστοιχίας ίση με 45^{o} προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Μήνας	Ισχύς (AC) $P_{AC,out}$ (W) για κλίση 45ο
Ιαν	1.760
Φεβ	1.815
Μαρ	2.365
Απρ	2.545
Μαϊ	2.770
Ιουν	2.685
Ιουλ	2.828
Αυγ	2.873
Σεπ	2.921
Οκτ	2.862
Νοε	1.763
Δεκ	1.527

Πίνακας 3.40: Μηνιαία παραγωγή ενέργειας AC από τις συστοιχίες για κλίση 45^o

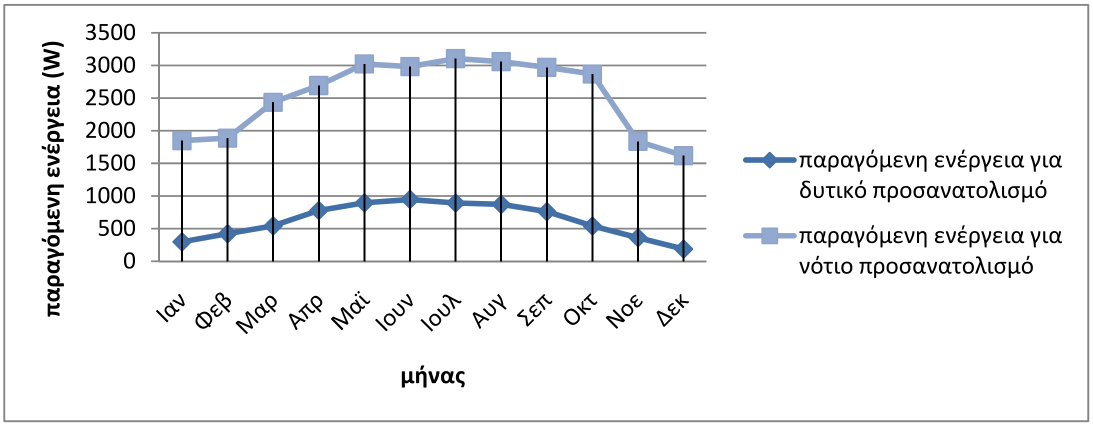
Συγκριτικά με τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά την προσομοίωση για κλίση 30^o , παρατηρείται μία μείωση των ποσών ενέργειας. Αυτό φαίνεται και στο σχήμα 19



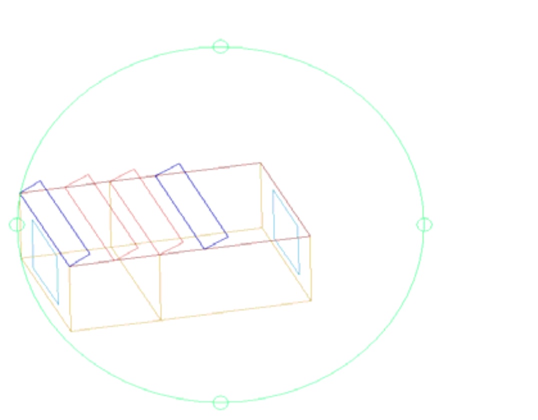
Σχήμα 3.41: Παραγόμενη ενέργεια για διαφορετικές κλίσης φβ συστοιχίας

3.5.2 αλλαγή προσανατολισμού

Μία άλλη παράμετρος που διαφοροποιεί την απόδοση των φωτοβολταϊκών είναι ο προσανατολισμός που θα έχουν. Δεδομένου ότι η καλύτερη απόδοση επιτυγχάνεται με νότιο προσανατολισμό, οποιαδήποτε άλλη φορά των συστοιχιών θα αποφέρει και μικρότερα αποτελέσματα. Κρατώντας λοιπόν σταθερή την κλίση στις 30^o και αλλάζοντας μόνο τον προσανατολισμό από νότιο σε δυτικό παράγονται λιγότερα W. Αυτό εύκολα παρατηρείται και στην γραφική που ακολουθεί.



Σχήμα 3.42: Παραγόμενη ενέργεια για διαφορετικό προσανατολισμό φβ συστοιχίας

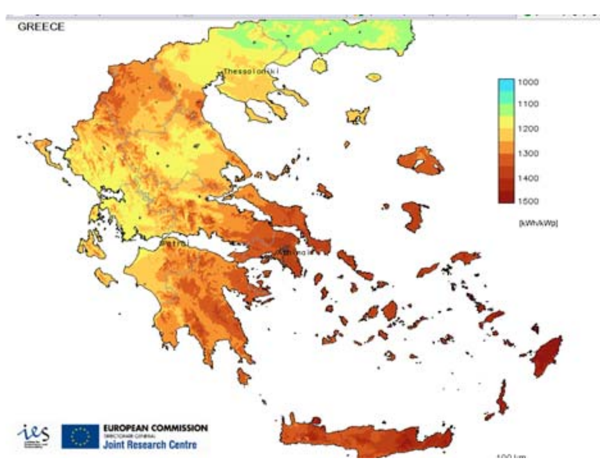


Σχήμα 3.43: δυτικός προσανατολισμός φωτοβολταϊκών συστοιχιών

Κεφάλαιο 4: Στοιχεία και Μοντελοποίηση Κτιρίου Τεχνικής Υπηρεσίας

4.1 Εισαγωγή

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με χρήση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας ώστε να καλυφθεί ένα μεγάλο μέρος των ενεργειακών αναγκών του υπό εξέταση κτιρίου με περιβαλλοντικά φιλικό τρόπο. Λόγω του υψηλού ηλιακού δυναμικού που παρουσιάζει η Κρήτη σε σχέση με την υπόλοιπη Ελλάδα, ενδείκνυται η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων. Για την υλοποίηση της μελέτης μας, χρησιμοποιήθηκε το κτίριο της Τεχνικής Υπηρεσίας του Πολυτεχνείου Κρήτης το οποίο βρίσκεται στην περιοχή Κουνουπιδιανά του νομού Χανίων. Σύμφωνα με το χάρτη στο σχήμα 1, υπολογίζεται ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε ετήσια βάση θα είναι 1500KWh για κάθε KWp εγκατεστημένης ισχύος. Προκειμένου να πραγματοποιήσουμε μία αξιόπιστη μελέτη, δεν αρκεστήκαμε σε απλές και προσεγγιστικές μεθόδους αλλά στη χρήση του λογισμικού EnergyPlus. Αρχικά, χρησιμοποιήθηκε θερμικό μοντέλο προσομοίωσης του υπό μελέτη κτιρίου[], βάσει του οποίου υπολογίζονται οι συνολικές ανάγκες σε φωτισμό, ηλεκτρικό εξοπλισμό όπως ηλεκτρονικοί υπολογιστές (Η/Υ), φωτοτυπικά, αλλά και σε θέρμανση και ψύξη. Στη συνέχεια υπολογίζεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστοιχιών στην οροφή του κτιρίου. Απαραίτητη πληροφορία για να μπορεί να υλοποιηθεί η μοντελοποίηση φωτοβολταϊκών στο EnergyPlus είναι ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών της ηλιακής ακτινοβολίας, ένταση και γωνία πρόσπτωσης. Σε αυτό, σημαντικό ρόλο παίζει το αρχείο καιρού που χρησιμοποιούμε για την προσομοίωση αλλά και οι συντεταγμένες της περιοχής (γεωγραφικό πλάτος και μήκος), στοιχεία τα οποία δίνουν σημαντικές πληροφορίες στο πρόγραμμα σχετικά με τα χαρακτηριστικά τα προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (ένταση και γωνία κλίσης)



Σχήμα 4.1: Χάρτης ηλιακού δυναμικού Ελλάδος

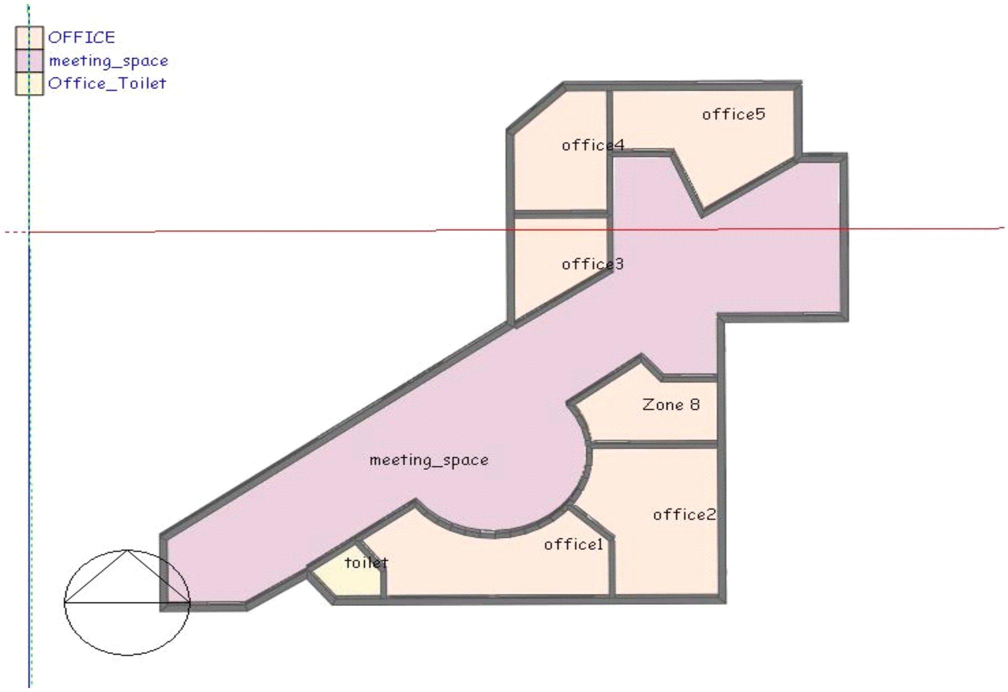
4.2 Περιγραφή κτιρίου

Το κτίριο της Τεχνικής Υπηρεσίας του Πολυτεχνείου Κρήτης βρίσκεται στα Χανιά και συγκεκριμένα στην περιοχή Κουνουπιδιανά του δήμου Ακρωτηρίου. Βρίσκεται σε υψόμετρο 137 μέτρα. Το γεωγραφικό μήκος της περιοχής είναι 24^{o} 12’ και το γεωγραφικό πλάτος 35^{o} 48’.

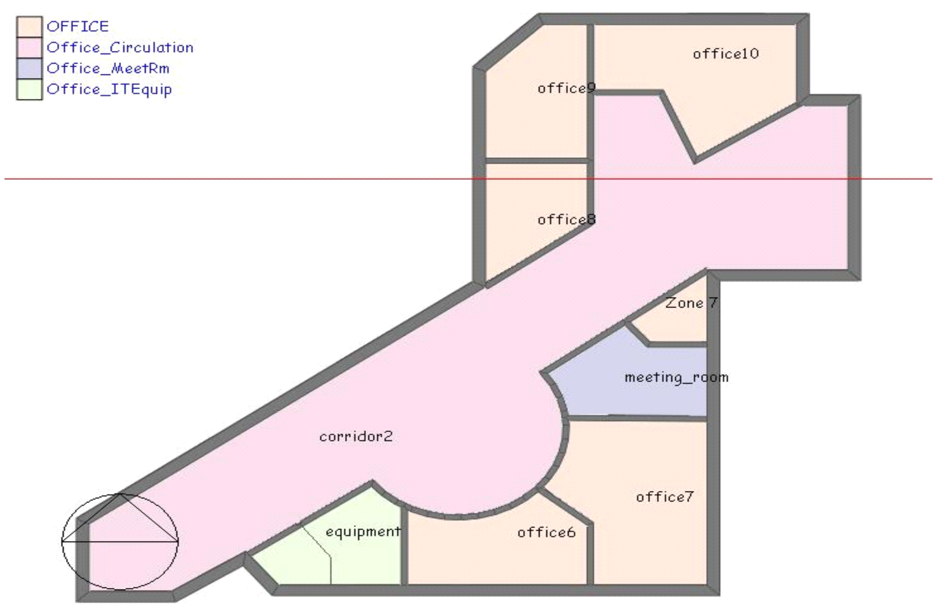
Το κτίριο αποτελείται από δύο ορόφους και χωρίζεται συνολικά σε δέκα γραφεία, ένα δωμάτιο εξοπλισμού, τέσσερις διαδρόμους, μία τουαλέτα, ένα χώρο συνάντησης και την κεντρική είσοδο. Οι δύο όροφοι έχουν το ίδιο εμβαδό, ίσο με 157 m^2 . Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες φωτογραφίες του κτιρίου.

Σχήμα 4.2:Πρόσοψη του κτιρίου

Σχήμα 4.3:Το κτίριο σχεδιασμένο στο DesignBuilder



Σχήμα 4.4:Κάτοψη πρώτου ορόφου από το DesignBuilder



Σχήμα 4.5:Κάτοψη δεύτερου ορόφου από το DesignBuilder

Αυτό που αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό είναι ότι η οροφή του δεύτερου ορόφου αποτελείται από επίπεδα. Δεν βρίσκεται όλη η οροφή στο ίδιο επίπεδο. Αναλυτικά παρουσιάζεται ο επόμενος πίνακας που προσδιορίζει τα ύψη των χώρων του δεύτερου ορόφου.

Δωμάτιο - Χώρος	Ύψος
Γραφείο Νο 6	6,5
Γραφείο Νο 7	6,5
Γραφείο Νο 8	6,5
Γραφείο Νο 9	6,95
Γραφείο Νο 10	6,95
Διάδρομος 1	7,45
Διάδρομος 2	7,45
Χώρος Συσκέψεων	6,95

Πίνακας 4.6: Ύψη δωματίων δεύτερου ορόφου

Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε τα επίπεδα της οροφής γιατί αυτό θα μας βοηθήσει να ορίσουμε με ακρίβεια τις συντεταγμένες των επιφανειών που θα τοποθετηθούν οι συστοιχίες μας για να γίνει μία σωστή προσομοίωση των φωτοβολταϊκών που θα τοποθετηθούν εκεί.

4.3 Μοντελοποίηση κτιρίου

4.3.1 Περιγραφή κτιρίου στο idf

Μέσω του idf περιγράφονται αναλυτικά στο EnergyPlus τα χαρακτηριστικά του υπό μελέτη κτιρίου τα οποία επηρεάζουν τη θερμική του συμπεριφορά.

4.3.1.1 γεωγραφικά στοιχεία τοποθεσίας κτιρίου

Δηλώνονται αρχικά τα βασικά στοιχεία της τοποθεσίας του κτιρίου.

Building:	
Όνομα κτιρίου:	BSD_TUC
Προσανατολισμός (μοίρες):	45^{o}
Περιοχή:	Suburbs
Site:Location	
Όνομα περιοχής:	Chania
Γεωγραφικό πλάτος περιοχής:	35ο 48’
Γεωγραφικό μήκος περιοχής:	24ο 12’
Υψόμετρο:	151m.

Πίνακας 4.7: Γεωγραφικά χαρακτηριστικά κτιρίου NOC

Site:Location

Chania	!- Name
35.48	!- Latitude {deg}
24.12	!- Longitude {deg}
2.0	!- Time Zone {hr}
151	!- Elevation {m}

Building

NOC	!- Name
0.0	!- North Axis {deg}
Suburbs	!- Terrain

Πίνακας 4.8: Περιγραφή τοποθεσίας στο idf

Είναι πολύ σημαντικό να ορίσουμε με ακρίβεια τα χαρακτηριστικά της τοποθεσίας του κτιρίου (γεωγραφικό πλάτος και γεωγραφικό μήκος) αφού από αυτά προσδιορίζεται η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας όλες τις ώρες και τις μέρες του χρόνου στη συγκεκριμένη περιοχή.

4.3.1.2 προσδιορισμός επιφανειών κτιρίου

Για το σχεδιασμό του κτιρίου ορίζουμε τις επιφάνειες που το απαρτίζουν στην καρτέλα BuildingSurface:Detailed. Κάθε επιφάνεια περιγράφεται από ένα σύνολο σημείων συντεταγμένων σε ένα τρισδιάστατο σύστημα (x,y,z). Σε κάθε επιφάνεια ορίζουμε και τις εξωτερικές συνθήκες που επικρατούν έτσι ώστε κατά την προσομοίωση να συμπεριληφθεί στους υπολογισμούς ο συντελεστής συναγωγής / αγωγής.

Οι βασικές επιλογές είναι:

- Surface, όταν έξω από την επιφάνεια υπάρχει άλλη επιφάνεια
- Outdoors, όταν η επιφάνεια έρχεται σε επαφή με τον αέρα περιβάλλοντος
- Ground, όταν η επιφάνεια βρίσκεται στο έδαφος (συνήθως δηλώνεται για την επιφάνεια του δαπέδου)
- Otherside conditions model, όταν εξωτερικά της επιφάνειας είναι προσαρτημένη άλλη επιφάνεια η οποία επηρεάζει το θερμικό ισοζύγιο του κτιρίου

BuildingSurface:Detailed

Office_3_floor	!- Name
Floor	!- Surface Type
Exterior Floor	!- Construction Name
Office_3	!- Zone Name
Ground	!- Outside Boundary Condition
	!- Outside Boundary Condition Object
NoSun	!- Sun Exposure
NoWind	!- Wind Exposure
0.0	!- View Factor to Ground
7	!- Number of Vertices
31.361807, 29.630523, 0	!- X,Y,Z 1 {m}
36.004773, 29.630523, 0	!- X,Y,Z 2 {m}
36.004773, 27.173510, 0	!- X,Y,Z 3 {m}
34.354593, 25.522334, 0	!- X,Y,Z 4 {m}
32.608589, 25.522334, 0	!- X,Y,Z 5 {m}
32.608589, 25.847334, 0	!- X,Y,Z 6 {m}
31.361807, 25.847334, 0	!- X,Y,Z 7 {m}

Πίνακας 4.9: Περιγραφή επιφανειών στο idf

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζεται το πώς περιγράφεται μία επιφάνεια και συγκεκριμένα το δάπεδο του γραφείου 3, στο idf. Παρατηρούμε ότι αποτελείται από ένα σύστημα 7 συντεταγμένων με εξωτερικές συνθήκες: ground.

Για την περιγραφή των παραθύρων υπάρχει η καρτέλα FenestrationSurface:Detailed. Οι συντεταγμένες των παραθύρων ορίζονται και αυτές με τον ίδιο τρόπο όπως και οι υπόλοιπες επιφάνειες του κτιρίου.

4.3.1.3 περιγραφή υλικών επιφανειών κτιρίου

Τα υλικά κατασκευής των επιφανειών ενός κτιρίου επηρεάζουν σημαντικά την ενεργειακή του συμπεριφορά. Απαιτείται η κατασκευή επιφανειών με τέτοιο τρόπο ώστε να μην χάνονται μεγάλα ποσά ενέργειας από το κτίριο προς το περιβάλλον κατά τη διάρκεια του χειμώνα και το αντίστροφο το καλοκαίρι. Συνεπώς, για τη σωστή θερμική συμπεριφορά ενός κτιρίου θεωρείται απαραίτητο κατά την κατασκευή των επιφανειών να τοποθετείται μόνωση. Τα υλικά κατασκευής των επιφανειών του κτιρίου είναι ίδια με αυτά που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη του κεφαλαίου 3 και παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

	μπετό	τούβλα	ελαφρύ μπετό	μάρμαρο	μόνωση	γυψοσανίδα
Σκληρότητα	Σκληρό (rough)	Μεσαίο (medium rough)	Μεσαίο (medium rough)	Μαλακό (smooth)	Μεσαίο (medium rough)	Μεσαίο μαλακό (medium smooth)
Πάχος (mm)	200 / 350	50	50	3	50	20
Συντελεστής αγωγής (W/m*K)	1,4	0,034	0,42	2	0,034	0,16
Πυκνότητα (kg/m3)	2100	25	1200	2500	25	800
Specific heat (J/kg*K)	828	1224	1008	792	1224	1008
Συντελεστής θερμικής απορρόφησης	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	
Συντελεστής ηλιακής απορρόφησης	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	
Συντελεστής Visible απορρόφησης	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	

Πίνακας 4.10: Ιδιότητες υλικών κατασκευής επιφανειών

Οι βασικές κατηγορίες επιφανειών από τις οποίες αποτελείται το κτίριο είναι:

- δάπεδο: μπετό 200mm – μάρμαρο 3mm
- εξωτερικός τοίχος: μπετό 200mm – μόνωση 50mm – τούβλο 50mm

- εσωτερικός τοίχος 1: δύο στρώσεις γυψοσανίδα 20mm – μόνωση 50mm - δύο στρώσεις γυψοσανίδα 20mm
- εσωτερικός τοίχος 2: μπετό 200mm
- εσωτερικός τοίχος 3: δύο στρώσεις τούβλο 50mm
- εξωτερική οροφή: ελαφρύ μπετό 50mm – μόνωση 50mm – μπετό 350mm
- εσωτερική οροφή: μπετό 200mm – μάρμαρο 3mm

Παρατηρούμε ότι οι βασικοί τοίχοι του κτιρίου περιέχουν μόνωση για τον καλύτερο σχεδιασμό του κτιρίου από ενεργειακής άποψης.

Όσον αφορά τα χαρακτηριστικά κατασκευής των παραθύρων, σημαντικό ρόλο παίζει το πάχος του τζαμιού, ο συντελεστής ηλιακής απορρόφησης και ο συντελεστής αγωγιμότητας.

Στο κτίριο μας, τα τζάμια αποτελούνται από γυαλί πάχους 3mm, αέρα 13mm και ξανά γυαλί 3mm. Παρατηρούμε ότι τα τζάμια είναι διπλά για μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας. Ο συντελεστής αγωγιμότητας είναι 0,9W/m*k ενώ ο συντελεστής ηλιακής διαπερατότητας είναι 0,837.

WindowMaterial:Glazing,

Clear 3mm	!- Name
SpectralAverage	!- Optical Data Type
	!- Window Glass Spectral Data Set Name
0.003	!- Thickness {m}
0.837	!- Solar Transmittance at Normal Incidence
0.075	!- Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence
0.075	!- Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence
0.898	!- Visible Transmittance at Normal Incidence
0.081	!- Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence
0.081	!- Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence
0	!- Infrared Transmittance at Normal Incidence
0.84	!- Front Side Infrared Hemispherical Emissivity
0.84	!- Back Side Infrared Hemispherical Emissivity
0.9	!- Conductivity {W/m-K}

Πίνακας 4.11: ιδιότητες τζαμιού παραθύρων στο idf

4.3.1.4 προσδιορισμός ηλεκτρικών φορτίων

- ***Φωτισμός***

Για να μπορέσουμε να προσδιορίσουμε με ακρίβεια τις καταναλώσεις των γραφείων σε φωτισμό θα πρέπει πρώτα να προσδιορίσουμε τις ώρες και τις ημέρες λειτουργίας του κτιρίου. Σύμφωνα με το ωράριο που υπάρχει στο Πολυτεχνείο, το κτίριο λειτουργεί από Δευτέρα έως Παρασκευή από τις 08:00 έως τις 14:00. Το κτίριο παραμένει κλειστό και στις επίσημες εορτές και αργίες. Επομένως το ωράριο για όλο το έτος 2010, για το οποίο θα πραγματοποιηθεί η προσομοίωση, διαμορφώνεται ως εξής:

Διάστημα:	
Από 01/01 έως 06/01	Κλειστά λόγω πρωτοχρονιάς
Από 07/01 έως 14/02	Ανοιχτά
15/02	Κλειστά λόγω καθαρά Δευτέρας
Από 16/02 έως 24/03	Ανοιχτά
25/03	25η Μαρτίου
Από 26/03 έως 31/03	Ανοιχτά
Από 01/04 έως 11/04	Κλειστά λόγω Πάσχα
Από 12/04 έως 31/07	Ανοιχτά
Από 01/08 έως 22/08	Κλειστά λόγω καλοκαιρινών διακοπών
Από 23/08 έως 21/12	Ανοιχτά
Από 22/12 έως 31/12	Κλειστά λόγω Χριστουγέννων

Πίνακας 4.12: Ετήσιο πρόγραμμα λειτουργίας κτιρίου

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται τα επίπεδα φωτισμού για 3 γραφεία όπως αυτά περιγράφονται στο idf. Οι μέγιστες ανάγκες για φωτισμό όπως ορίζονται από το χρήστη, για τα γραφεία 1,2,3,6,7,8 είναι 144W ενώ διπλάσιες στα 288W για τα γραφεία 4,5. Τέλος, στα γραφεία 9,10 είναι τριπλάσιες δηλαδή 432W.

Lights

Office_1_Lights	Office_4_Lights	Office_10_Lights	Name
Office_1	Office_4	Office_10	Zone Name
Lights_Year	Lights_Year	Lights_Year	Schedule Name
LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel	Design Level Calculation Method
144	288	432	Lighting Level {W}

Πίνακας 4.13: Περιγραφή επιπέδου φωτισμού στο idf

- ***Ηλεκτρικός εξοπλισμός***

Για τη λειτουργία του ηλεκτρικού εξοπλισμού όπως Η/Υ, εκτυπωτές ορίζεται το ίδιο `schedule` με το φωτισμό. Και οι Η/Υ και οι εκτυπωτές ορίζεται ότι λειτουργούν καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του κτιρίου.

Για όλα τα γραφεία έχουν οριστεί ως μέγιστη κατανάλωση 300W

ElectricEquipment,	
Equipment_Office_1	!- Name
Office_1	!- Zone Name
Persons_Year	!- Schedule Name
EquipmentLevel	!- Design Level Calculation Method
300	!- Design Level {W}

Πίνακας 4.14: Περιγραφή επιπέδου ηλ.εξοπλισμού στο idf

- ***Εγκατάσταση συστήματος HVAC***

Στο κτίριο μας έχει εγκατασταθεί η πιο απλή μορφή συστήματος θέρμανσης – ψύξης (HVAC). Χρησιμοποιείται ένα τέτοιο σύστημα για να μελετηθεί η ενεργειακή συμπεριφορά ενός κτιρίου στη λειτουργία ενός ιδανικού συστήματος HVAC. Στον επόμενο πίνακα βλέπουμε πως αυτό το σύστημα περιγράφεται στο EnergyPlus.

ZoneHVAC:IdealLoadsAirSystem

Office 1 HVAC	!- Name
Office 1 Inlet	!- Zone Supply Air Node Name
50	!- Heating Supply Air Temperature {C}
13	!- Cooling Supply Air Temperature {C}

0.01	!- Heating Supply Air Humidity Ratio {kg-H2O/kg-air}
0.015	!- Cooling Supply Air Humidity Ratio {kg-H2O/kg-air}
NoLimit	!- Heating Limit
NoLimit	!- Cooling Limit
autosize	!- Maximum Heating Air Flow Rate {m3/s}
autosize	!- Maximum Cooling Air Flow Rate {m3/s}
NoOutdoorAir	!- Outdoor Air
autosize	!- Outdoor Air Flow Rate {m3/s}

Πίνακας 4.15: Περιγραφή συστήματος HVAC στο idf

4.3.2 Περιγραφή φωτοβολταϊκών συστημάτων

Για το κτίριο μας επιλέξαμε να εγκαταστήσουμε φωτοβολταϊκά στα επίπεδα τμήματα της οροφής του, δίνοντας τους την απαραίτητη κλίση. Συνολικά η οροφή του κτιρίου καλύπτει μία μεγάλη έκταση η οποία θα μπορούσε να καλυφθεί με αρκετές φωτοβολταϊκές συστοιχίες για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία θα μπορούσε πιθανόν να καλύψει συνολικά τις ενεργειακές του απαιτήσεις. Τα διαφορετικά επίπεδα όμως της οροφής του κτιρίου μας, μας εμποδίζουν στο να τοποθετήσουμε μεγάλες συστοιχίες. Ακόμη, το ότι η πιο φαρδιά πλευρά του κτιρίου έχει νοτιοδυτικό προσανατολισμό και τα φωτοβολταϊκά θα πρέπει να τοποθετηθούν με αυτόν τον προσανατολισμό συνεπάγεται και μειωμένη παραγωγή ενέργειας.

Επιλέξαμε λοιπόν να εγκατασταθούν φωτοβολταϊκά στα εξής τμήματα του κτιρίου:

- **ΤΜΗΜΑ Α:** Είναι το μέρος της οροφής που βρίσκεται πάνω από τα γραφεία 6 και 8 σε ύψος 6.5m
- **ΤΜΗΜΑ Β:** Είναι το μέρος της οροφής πάνω από τα γραφεία 9 και 10 σε ύψος 6.95m
- **ΤΜΗΜΑ Γ:** Είναι το μέρος της οροφής κατά μήκος του διαδρόμου σε ύψος 7.45m

Από τις επιλογές φωτοβολταϊκών πλαισίων που δίνει το EnergyPlus [] επιλέξαμε την Equivalent One Diode. Επιλέξαμε το συγκεκριμένο τύπο λόγω του ακριβέστερου μαθηματικού αλγορίθμου που χρησιμοποιείται κατά την προσομοίωση για τον υπολογισμό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Συνεπώς, τα αποτελέσματα που θα προκύψουν θα είναι πολύ κοντά στα πραγματικά ποσά ενέργειας.

Αναλυτικά για κάθε τμήμα ακολουθεί περιγραφή της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης που πραγματοποιήσαμε.

4.3.2.1 ΤΜΗΜΑ Α

Δημιουργήσαμε για το τμήμα Α, δύο σειρές φωτοβολταϊκών συστοιχιών όπου η κάθε μία θα αποτελείται από τρία (3) φωτοβολταϊκά πλαίσια στη σειρά και δύο (4) παράλληλα. Και οι 2 συστοιχίες θα τοποθετηθούν με κλίση 30^o και νότιο προσανατολισμό στις Shading:Zone:Detailed επιφάνειες που θα ορίσουμε. Ορίζουμε λοιπόν τις επιφάνειες PVsurfaceA1 και PVsurfaceA2. Μέσω του idf οι επιφάνειες περιγράφονται ως εξής:

Shading:Zone:Detailed

PVsurfaceA1	PVsurfaceA2	!- Name
Office_6_ceiling	Office_8_ceiling	!- Base Surface Name
		!- Transmittance Schedule Name
4	4	!- Number of Vertices
36, 27.15, 6.5	36, 28.67, 6.5	!- X,Y,Z 1 {m}
36, 27.96, 7	36, 29.49, 7	!- X,Y,Z 2 {m}
30, 27.96, 7	30, 29.49, 7	!- X,Y,Z 3 {m}
30, 27.15, 6.5	30, 28.67, 6.5	!- X,Y,Z 4 {m}

Πίνακας 4.16: Περιγραφή επιφανειών τοποθέτησης φβ συστοιχιών τμήματος Α

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια από τα οποία αποτελούνται οι συστοιχίες μας είναι μονοκρυσταλλικά πλαίσια σιλικόνης της εταιρείας GH SOLAR. Το μοντέλο είναι το GH180M125 και αποτελείται από 36 φωτοβολταϊκά στοιχεία σε σειρά. Οι διαστάσεις του πλαισίου είναι 1602X812X35 mm ενώ ζυγίζει 16kg. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πλαισίου παρουσιάζονται στον πίνακα…

Όνομα πλαισίου	GH165M125
Τύπος φωτοβολταϊκού στοιχείου	μονοκρυσταλλική σιλικόνη
Αριθμός φβ στοιχέιων στη σειρά	36
Ενεργή περιοχή φβ πλαισίου	1,125m^2
Αποδοτικότητα πλαισίου	0,16
Ισχύς αιχμής (Peak power)	180Wp
Ηλεκτρική τάση στο σημείο αιχμής	35,85 V
Ηλεκτρικό ρεύμα στο σημείο αιχμής	4,04 A
Τάση ανοιχτού κυκλώματος	44,78 V
Ρεύμα βραχυκύκλωσης	5,43 A
Θερμικός συντελεστής ρεύματος βραχυκύκλωσης	0,09%/oC
Θερμικός συντελεστής τάσης ανοιχτού κυκλώματος	-0,34%/oC
Ονομαστική θερμοκρασία λειτουργίας φβ στοιχείου (NOCT)	47oC

Πίνακας 4.17: Χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκού πλαισίου

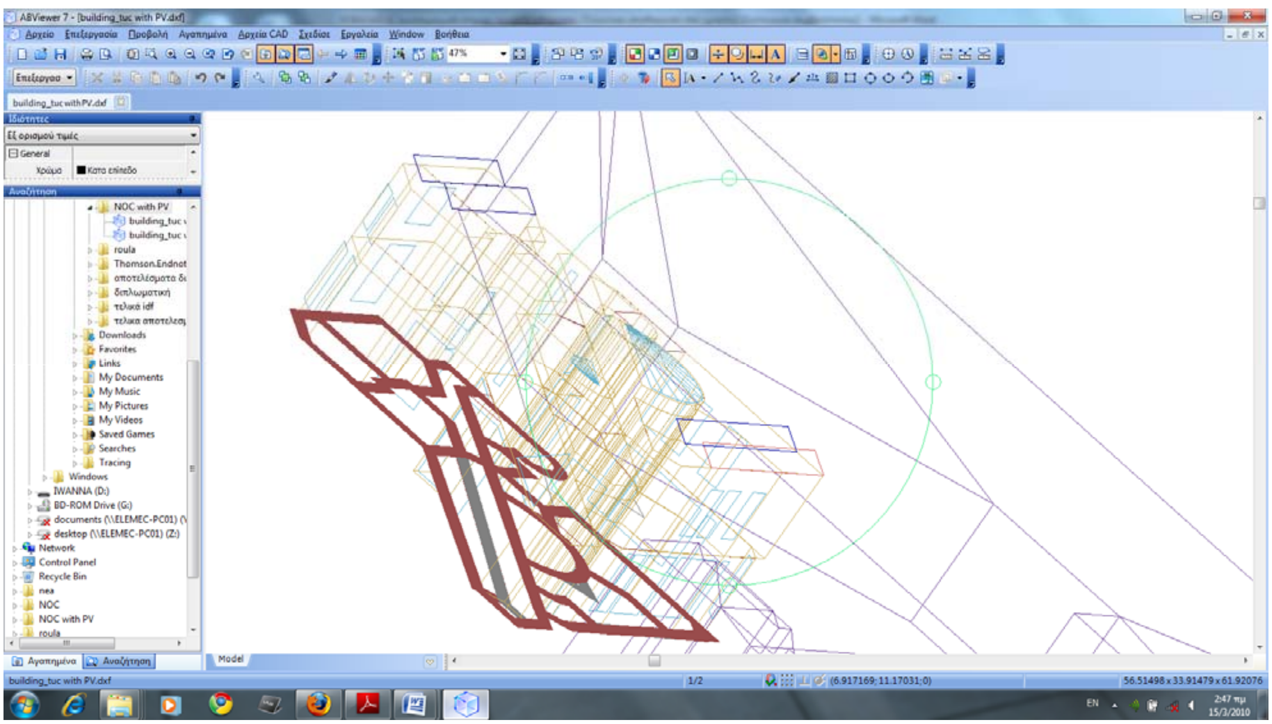
4.3.2.2 ΤΜΗΜΑ Β

Στο τμήμα Β, επιλέξαμε να εγκαταστήσουμε δύο σειρές φωτοβολταϊκών συστοιχιών όπου η κάθε μία θα αποτελείται από τρία (4) φωτοβολταϊκά πλαίσια στη σειρά και δύο (4) παράλληλα. Και οι 2 συστοιχίες θα έχουν κλίση 30^{o} και νότιο προσανατολισμό. Οι Shading:Zone:Detailed επιφάνειες που θα τοποθετηθούν είναι οι PVsurfaceB1 και PVsurfaceB2. Η περιγραφή τους στο EnergyPlus φαίνεται στον επόμενο πίνακα.

Shading:Zone:Detailed

PVsurfaceB1	PVsurfaceB2	!- Name
Office_9_ceiling		!- Base Surface Name
		!- Transmittance Schedule Name
4	4	!- Number of Vertices
26.2, 11.99, 6.95	26.2, 13.3, 6.95	!- X,Y,Z 1 {m}
26.2, 12.8, 7.42	26.2, 14.12, 7.42	!- X,Y,Z 2 {m}
34.23, 12.8, 7.42	34.23, 14.12, 7.42	!- X,Y,Z 3 {m}
34.23, 11.99, 6.95	34.23, 13.3, 6.95	!- X,Y,Z 4 {m}

Πίνακας 4.18: Περιγραφή επιφανειών τοποθέτησης φβ συστοιχιών τμήματος Β



Σχήμα 4.19: Απεικόνιση των φωτοβολταϊκών στο ABViewer 7

4.3.2.3 ΤΜΗΜΑ Γ

Στο τμήμα αυτό του κτιρίου επειδή καλύπτει μεγάλη επιφάνεια επιλέξαμε να τοποθετήσουμε μία συστοιχία η οποία αποτελείται από δεκαπέντε (15) πλαίσια στη σειρά και δύο (2) παράλληλα. Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα πρέπει όμως να τοποθετηθούν με προσανατολισμό νοτιοανατολικό όπως είναι και η επιφάνεια. Δεν μπορούμε να τα τοποθετήσουμε προς το νότο λόγω έλλειψης χώρου. Συνεπώς, η παραγόμενη ενέργεια θα είναι μικρότερη από αυτή που θα παραγόταν εάν τα τοποθετούσαμε προς το νότο.

Shading:Zone:Detailed

PVsurfaceC1	!- Name
Corridor_2_a_1	!- Base Surface Name
	!- Transmittance Schedule Name
4	!- Number of Vertices
22.5, 12.5, 7.45	!- X,Y,Z 1 {m}
31.5, 21, 7.45	!- X,Y,Z 2 {m}
30, 21.8, 8	!- X,Y,Z 3 {m}
21.2, 13.2, 8	!- X,Y,Z 4 {m}

Πίνακας 4.20: Περιγραφή επιφάνειας τοποθέτησης φβ συστοιχίας τμήματος Γ

4.3.2.3 επιλογή inverter

Για την φωτοβολταϊκή μας εγκατάσταση χρησιμοποιήσαμε έναν μετατροπέα συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη της εταιρείας SMA. Πρόκειται για το μοντέλο SMC 8000TL το οποίο έχει μέγιστο βαθμό απόδοσης 0,98. Η μέγιστη τάση εισόδου είναι 700V και το μέγιστο ρεύμα 25A. Τα χαρακτηριστικά του περιγράφονται στον επόμενο πίνακα.

ElectricLoadCenter:Inverter:FunctionOfPower

SMC 8000TL	Name
ALWAYS ON	Availability Schedule Name
	Zone Name
8250	Rated Maximum Continuous Input Power {W}
0	Minimum Efficiency
0.98	Maximum Efficiency
10	Minimum Power Output {W}
8000	Maximum Power Output {W}
0	Ancillary Power Consumed In Standby {W}

Πίνακας 4.21:Περιγραφή μετατροπέα στο idf

4.3.3 Αρχείο καιρού (weather file)

Το αρχείο καιρού αποτελεί σημαντικό στοιχείο της ορθής προσομοίωσης του θερμικού μοντέλου ενός κτιρίου καθώς μας παρέχει πληροφορία σχετικά με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή που εντοπίζεται το προς μελέτη κτίριο, πληροφορία η οποία επηρεάζει απόλυτα τη θερμική απόδοση του κτιρίου. Καθοριστική είναι η σημασία του weather file και για την προσομοίωση φωτοβολταϊκών σε ένα κτίριο. Στοιχεία όπως συνολική κάλυψη του ουρανού (total sky cover), αδιαφανής κάλυψη ουρανού (opaque sky cover), θερμοκρασία ξηρού βολβού (dry bulb temperature), σχετική υγρασία (relative humidity) κ.α. βοηθούν στο να προσδιοριστεί με ακρίβεια η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει ση συγκεκριμένη περιοχή. Παρουσιάζονται στη συνέχεια τα στοιχεία καιρού που περιγράφονται σε ένα weather file που χρησιμοποιείται από το EnergyPlus.

- **Θερμοκρασία ξηρού βολβού (Dry bulb temperature)** Η θερμοκρασία ξηρού βολβού είναι η θερμοκρασία του αέρα που μετριέται από ένα θερμόμετρο το όποιο εκτίθεται στον αέρα αλλά προστατεύεται από την ακτινοβολία και την υγρασία.

- **Θερμοκρασία σημείου δρόσου (Dew point temperature)** Σημείο δρόσου ή καλύτερα θερμοκρασία σημείου δρόσου είναι η θερμοκρασία στην οποία μια συγκεκριμένη ποσότητα αέρα υπό σταθερή πίεση και υγρασιακό φορτίο φθάνει σε σχετική υγρασία 100%.

- **Σχετική υγρασία (Relative humidity)** Η σχετική υγρασία relative humidity συνήθως εκφράζεται σε ποσοστό επί τοις εκατό (%) και αναφέρεται στην ποσότητα των υδρατμών που υπάρχουν σε συγκεκριμένο όγκο ατμοσφαιρικού αέρα σε σχέση με τη μέγιστη ποσότητα των υδρατμών που θα μπορούσαν να υπάρχουν

- **Ατμοσφαιρική στατική πίεση (Atmospheric Station Pressure)** Ατμοσφαιρική πίεση ονομάζεται η πίεση που ασκεί η ατμόσφαιρα, με το βάρος της, στην επιφάνεια της Γης.

- **Κατεύθυνση Ανέμου (Wind Direction)** Η κατεύθυνση αέρα είναι η κατεύθυνση από την οποία ένας αέρας προέρχεται. Συνήθως εκφράζεται με τις βασικές κατευθύνσεις ή σε βαθμούς αζιμουθίου.

- **Ταχύτητα Ανέμου (Wind Speed)**

- **Συνολική Κάλυψη Ουρανού (Total Sky Cover)** Η συνολική κάλυψη ουρανού είναι το ποσοστό ουρανού που καλύπτεται από τα σύννεφα εκφρασμένο σε δέκατα (δηλ., τιμή ίση με 1 σημαίνει ότι το 1/10 του ουρανού καλύπτεται από σύννεφα. Τιμή ίση με 10 δηλώνει ολική κάλυψη).

- **Αδιαφανής Κάλυψη Ουρανού (Opaque Sky Cover)** Η αδιαφανής κάλυψη ουρανού είναι το ποσό ουρανού που καλύπτεται από τα αδιαφανή σύννεφα σε εκφρασμένο σε δέκατα.

- **Βάθος χιονιού (Snow Depth)** Πρόκειται για την απόσταση του ανώτερου στρώματος του χιονιού από την επιφάνεια της γης στην περιοχή που βρίσκεται το κτίριο που προσομοιώνουμε και μετριέται σε cm.

Για την εφαρμογή της μελέτης μας επιλέξαμε το λογισμικό Meteonorm και το αρχείο καιρού chaniaweather.epw. Το Meteonorm μπορεί να χρησιμοποιείται όταν δεν υπάρχει κανένα στοιχείο μέτρησης κοντά στη περιοχή του κτιρίου που προσομοιάζεται. Υπολογίζει προσεγγιστικά ωριαία στοιχεία από τα στατιστικά στοιχεία που διατίθενται για την περιοχή προσομοίωσης. Όταν τα στατιστικά αυτά στοιχεία δεν είναι διαθέσιμα, το Meteonorm τα υπολογίζει με παρεμβολή στατιστικών στοιχείων άλλων κοντινών περιοχών. Θα πρέπει να υπογραμμιστεί ότι μια στατιστική προσέγγιση πρέπει να είναι η τελευταία λύση καθώς τα αρχεία καιρού που δημιουργούνται από στατιστικά στοιχεία δεν θα μας πληροφορήσουν για την πραγματική ωριαία ή καθημερινή μεταβλητότητα των καιρικών συνθηκών, πληροφορία που μας δίνουν τα στοιχεία από πραγματικές μετρήσεις.

4.4 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Έχοντας δημιουργήσει με μεγάλη ακρίβεια το θερμικό μοντέλο του κτιρίου της Τεχνικής Υπηρεσίας αλλά και έχοντας περιγράψει πλήρως τα φωτοβολταϊκά συστήματα που θα τοποθετηθούν, απομένει να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση. Σκοπός της προσομοίωσης είναι να υπολογιστούν οι συνολικές ετήσιες ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου και τα ποσά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το σύστημα φωτοβολταϊκών συστοιχιών που εγκαταστήσαμε.

4.4.1 ενεργειακές ανάγκες σε φωτισμό

Σύμφωνα με τις μέρες λειτουργίας του κτιρίου και έχοντας αφαιρέσει τα σαββατοκύριακα προκύπτει ο επόμενος πίνακας με τις συνολικές μέρες λειτουργίας του κτιρίου κάθε μήνα.

Μήνας	Ημέρες λειτουργίας
Ιαν	17
Φεβ	18
Μαρ	23
Απρ	13
Μαϊ	23
Ιουν	22
Ιουλ	21
Αυγ	7
Σεπ	21
Οκτ	22
Νοε	22
Δεκ	15

Πίνακας 4.22: Συνολικές ημέρες λειτουργίας κτιρίου

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, αναμένουμε ότι οι περισσότερες απαιτήσεις για φωτισμό θα είναι τον Μάρτιο και Μάιο αφού εκείνους τους μήνες το κτίριο είναι περισσότερες μέρες ανοιχτό ενώ οι λιγότερες τον Αύγουστο. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τον πίνακα που ακολουθεί.

Μήνας	Κατανάλωση σε φωτισμό (J)
Ιαν	$987 * 10^6$
Φεβ	$1.045 * 10^6$
Μαρ	$1.335 * 10^6$
Απρ	$755 * 10^6$
Μαϊ	$1.335 * 10^6$
Ιουν	$1.277 * 10^6$
Ιουλ	$1.219* 10^6$
Αυγ	$407 * 10^6$

Σεπ	$1.219 * 10^6$
Οκτ	$1.277 * 10^6$
Νοε	$1.277 * 10^6$
Δεκ	$871 * 10^6$

Πίνακας 4.23: Μηνιαίες ενεργειακές ανάγκες κτιρίου για φωτισμό (J)

Επομένως οι συνολικές ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου για φωτισμό είναι $13.004 * 10^6$ J ή 3.612KWh

4.4.2 ενεργειακές ανάγκες σε ηλεκτρικό εξοπλισμό

Για τον ηλεκτρικό εξοπλισμό ισχύει ο ίδιος αριθμός ημερών λειτουργίας όπως και για τον φωτισμό. Λογικό είναι λοιπόν, να υπάρχει μεγαλύτερη κατανάλωση τον Μάρτη και Μάη και μικρότερη τον Αύγουστο.

Μήνας	Ενεργειακή κατανάλωση για ηλεκτρικό εξοπλισμό (J)
Ιαν	$1.285 * 10^6$
Φεβ	$1.361 * 10^6$
Μαρ	$1.739 * 10^6$
Απρ	$983* 10^6$
Μαϊ	$1.739* 10^6$
Ιουν	$1.663* 10^6$
Ιουλ	$1.588* 10^6$
Αυγ	$529 * 10^6$
Σεπ	$1.588* 10^6$
Οκτ	$1.663* 10^6$
Νοε	$1.663* 10^6$
Δεκ	$1.134* 10^6$

Πίνακας 4.24: Μηνιαίες ενεργειακές ανάγκες ηλεκτρικού εξοπλισμού

Σύμφωνα με τον πίνακα.. οι ετήσιες καταναλώσεις για ηλεκτρικό εξοπλισμό είναι $16.935 * 10^6$ J δηλαδή 4.704KWh

4.4.3 ενεργειακές ανάγκες σε ψύξη – θέρμανση

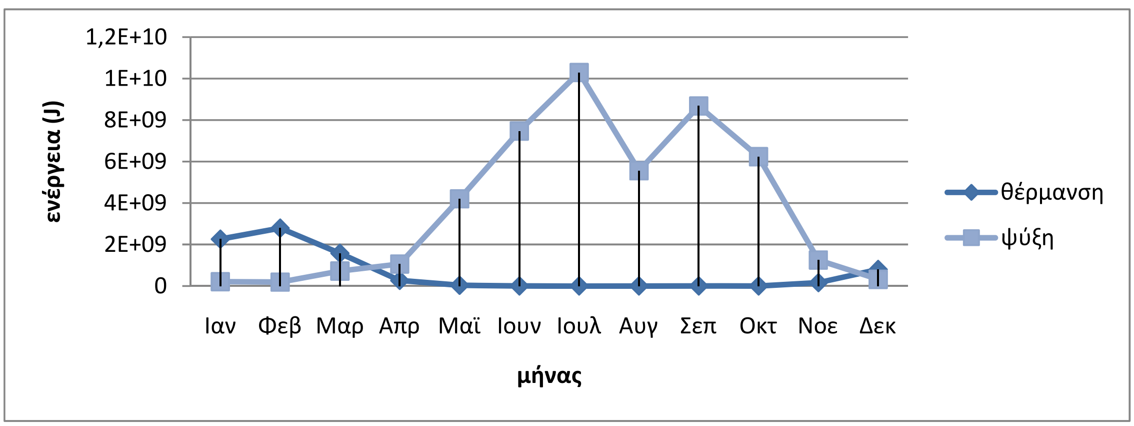
Όπως είναι αναμενόμενο και παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα, τους καλοκαιρινούς μήνες δεν υπάρχουν ανάγκες για θέρμανση των χώρων του γραφείου.

Μήνας	ενέργεια θέρμανσης (J)	ενέργεια ψύξης (J)
Ιαν	2.261 * 10^6	208 * 10^6
Φεβ	2.792 * 10^6	187 * 10^6
Μαρ	1.580 * 10^6	718 * 10^6
Απρ	269 * 10^6	1.059 *10^6
Μαϊ	37 * 10^6	4.203 *10^6
Ιουν	0	7.471 * 10^6
Ιουλ	0	10.294 * 10^6
Αυγ	0	5.557 * 10^6
Σεπ	0	8.679 * 10^6
Οκτ	2.000	6.234 * 10^6
Νοε	161 * 10^6	1.252 * 10^6
Δεκ	798 *10^6	323 * 10^6

Πίνακας 4.25: Μηνιαίες ενεργειακές ανάγκες συστήματος HVAC

Οι ετήσιες συνολικές καταναλώσεις του κτιρίου για θέρμανση είναι 7.896 * 10^6 J, ενώ για ψύξη είναι 46.188 * 10^6 J.

Παρατηρούμε ότι οι ανάγκες για θέρμανση είναι χαμηλότερες απ' ότι για ψύξη. Καθ' όλη τη διάρκεια του έτους οι ανάγκες για θέρμανση είναι υψηλές Νοέμβρη, Δεκέμβρη, Ιανουάριο, Φεβρουάριο και σιγά σιγά μετά αρχίζουν να ελαττώνονται. Αντιθέτως, οι ανάγκες για δροσιά είναι χαμηλές τον Ιανουάριο, Φεβρουάριο, αυξάνονται μέχρι το Σεπτέμβρη με μία μικρή πτώση μόνο τον Αύγουστο και στη συνέχεια πάλι ελαττώνονται.



Σχήμα 4.26: Πορεία ενεργειακών απαιτήσεων για θέρμανση – ψύξη για όλο το έτος

Συγκεντρωτικά παρουσιάζεται ο επόμενος πίνακας.

Φωτισμός	Ηλεκτρικός εξοπλισμός	Σύστημα HVAC	Σύνολο
3.612 KWh	4.704 KWh	15.023 KWh.	***23.339 KWh***

Πίνακας 4.27: Συνολικές ετήσιες ενεργειακές ανάγκες κτιρίου

4.4.4 παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από φωτοβολταϊκά συστήματα

Η συνολικά παραγόμενη ενέργεια που προκύπτει κατά την προσομοίωση παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα.

Μήνας	Παραγόμενη ισχύς $P_{DC,in}$ (W)	Παραγόμενη ισχύς $PA_{C,out}$ (W)
Ιαν	1.547	1.497
Φεβ	1.639	1.572
Μαρ	2.307	2.125
Απρ	2.669	2.418
Μαϊ	3.069	2.782
Ιουν	3.083	2.768
Ιουλ	3.256	2.892
Αυγ	3.214	2.838
Σεπ	3.057	2.697
Οκτ	2.914	2.593
Νοε	1.583	1.528
Δεκ	1.309	1.280

Πίνακας 4.28: Παραγόμενη ισχύς φωτοβολταϊκών

Από τον παραπάνω πίνακα διαπιστώνουμε ότι το inverter δεν έχει δουλέψει στη μέγιστη απόδοση του. Για μέγιστη απόδοση από τον μετατροπέα η παραγόμενη εναλλασσόμενη ενέργεια θα είχε τις παρακάτω τιμές.

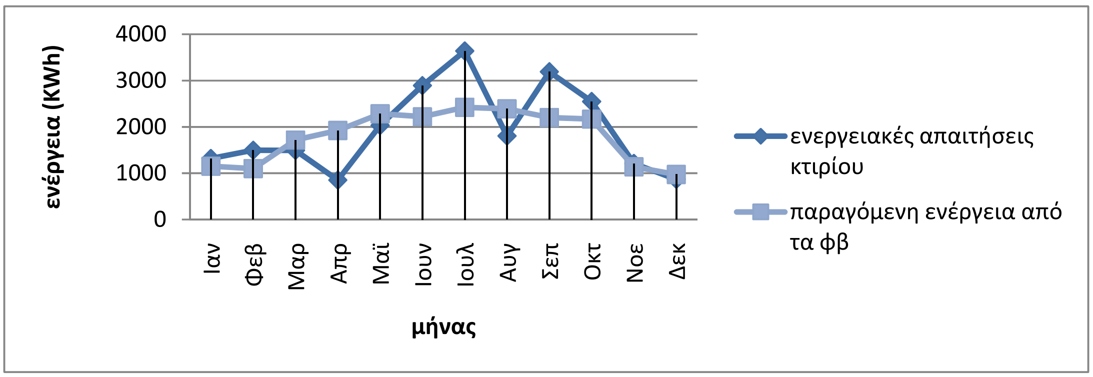
Μήνας	Παραγόμενη ισχύς $PA_{C,out}$ (W)
Ιαν	1.516
Φεβ	1.606
Μαρ	2.260
Απρ	2.616
Μαϊ	3.008
Ιουν	3.021
Ιουλ	3.191
Αυγ	3.149

Σεπ	2.996
Οκτ	2.855
Νοε	1.551
Δεκ	1.283

Πίνακας 4.29: Παραγόμενη ισχύς για μέγιστη λειτουργία inverter

Συνολικά, οι ετήσια παραγωγή ενέργειας είναι 78.086 * 10^6 J, δηλαδή 21.690KWh. Δεδομένου ότι οι συνολικές ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου σε ένα χρόνο είναι 23.339KWh, συμπεραίνουμε ότι το μεγαλύτερο μέρος αυτών καλύπτονται από τα φωτοβολταϊκά συστήματα που έχουν εγκατασταθεί.

Τέλος, στον επόμενο πίνακα παρατηρούμε ποιες είναι οι απαιτήσεις του κτιρίου κάθε μήνα σε ενέργεια και τι παράγουν οι φωτοβολταϊκές μας συστοιχίες.



Σχήμα 4.30: Παραγόμενη ενέργεια από τα φβ και συνολικές ανάγκες κτιρίου

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα

5.1 Αξιολόγηση της εγκατάστασης

Από τα αποτελέσματα που προκύπτουν κατά την προσομοίωση, παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο μέρος των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου καλύπτεται από τα εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά συστήματα. Δημιουργήθηκε μία μεγάλη διάταξη και αρκετά δαπανηρή. Συνολικά τοποθετήθηκαν 86 φωτοβολταϊκά πλαίσια, ένας μετατροπέας τάσης (inverter), τα στηρίγματα των πλαισίων και οι απαραίτητες καλωδιώσεις. Σύμφωνα με τις τιμές που υπάρχουν στην αγορά σήμερα, το κόστος μιας τέτοιας εγκατάστασης ανέρχεται περίπου στα 60.000,00€. Είναι μία αρκετά μεγάλη επένδυση η οποία δύσκολα αποφέρει κέρδη. Δεδομένου του χρόνου ζωής των φωτοβολταϊκών πλαισίων (περίπου 20 χρόνια), δεν προλαβαίνει να γίνει απόσβεση του συτήματος.

Από οικονομικής πλευράς συμπεραίνουμε ότι η επένδυση αυτή δεν είναι συμφέρουσα. Αντιθέτως, τα οφέλη προς το περιβάλλον είναι τεράστια. Αρκεί μόνο να σκεφτούμε ότι για κάθε KWh ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά, αποφεύγεται η έκλυση περίπου 0,9kg ρύπων που θα εκπέμπονταν εάν χρησιμοποιούνταν συμβατικά καύσιμα. Κατά τη λειτουργία τους τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν εκλύουν ρύπους και δεν παράγουν απόβλητα. Συνεπώς, ελαχιστοποιείται η ποσότητα διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) στην ατμόσφαιρα που προκαλεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Βιβλιογραφία

1. Ι.Ε.Φραγκιαδάκης, ed. *Φωτοβολταϊκά Συστήματα* 2009.
2. *ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Ι 4*. Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ.
3. *http://www.solarwind.gr/?p=p_71*.

1. Σ.Δ., Π., *Ενεργειακή απόδοση κτιρίων και κατασκευή κήπων σε δώματα*. 2006.