ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Προσομοίωση Υβριδικών Φωτοβολταϊκων Θερμικών συστημάτων νερού με χρήση λογισμικού Energy Plus

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του

ΣΤΑΘΗ Κ. ΖΑΠΙΤΗ

Επιβλέπων: Χρήστος Τζιβανίδης
Λέκτορας Ε.Μ.Π

Αθήνα, Οκτώβριος 2010

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως κύριο σκοπό να διερευνήσει τη βελτίωση που προκύπτει στην απόδοση της τυπικής διάταξης ενός φωτοβολταϊκού θερμικού συλλέκτη «ΦΒ/Θ» νερού, το οποίο, μετατρέπει ταυτόχρονα την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική και θερμική ενέργεια, συγκριτικά με ένα συμβατικό φωτοβολταϊκό σύστημα που παράγει μόνο ηλεκτρική ενέργεια. Χρησιμοποιώντας λογισμικό Energy Plus, γίνεται προσομοίωση σε ετήσια βάση για διάφορες περιοχές, σε Ελλάδα και Κύπρο, συγκρίνοντας τις ενεργειακές αποδόσεις των δύο συστημάτων. Τέλος, θα παρουσιαστεί μια οικονομική ανάλυση των πιο πάνω συστημάτων, περίοδος απόσβεσης κτλ.

Αναλυτικά, το πρώτο κεφάλαιο της εργασίας αναφέρεται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθώς και στη φύση και τα χαρακτηριστικά της ηλιακής ακτινοβολίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται κάποια στοιχεία από τη θεωρία των ΦΒ κυττάρων, των ηλιακών συλλεκτών καθώς και τους βαθμούς απόδοσης.

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στα Υβριδικά Φωτοβολταϊκά-Θερμικά συστήματα (ΦΒ/Θ) και πιο συγκεκριμένα του νερού, τα οποία είναι ο κύριος σκοπός μελέτης της διπλωματικής.

Ακολούθως, στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται το λογισμικό Energy Plus με το οποίο θα γίνουν οι προσομοιώσεις και οι υπολογισμοί που θα ακολουθήσουν στο υπολογιστικό μέρος.

Στο πέμπτο κεφάλαιο καταγράφονται και αναλύονται τα αποτελέσματα που έχει δώσει το Energy Plus. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, γίνονται συγκρίσεις των δύο συστημάτων, ΦΒ και ΦΒ/Θ, καθώς και μεταξύ των διαφόρων πόλεων που έγιναν οι προσομειώσεις

Στο έκτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η οικονομική μελέτη. Σκοπός της οικονομικής μελέτης είναι να αναλύσει κατά πόσο μία επένδυση σε ΦΒ/Θ συστήματα είναι συμφέρουσα ή όχι.

Τέλος παρουσιάζεται ο πηγαίος κώδικας του προγράμματος Energy Plus.

Λέξεις κλειδιά

Ηλιακή ενέργεια, Φωτοβολταϊκά, Υβριδικά Θερμικά Φωτοβολταϊκά (ΦΒ/Θ), λογισμικό Energy Plus,

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μου κ. Χρήστο Τζιβανίδη, για τη βοήθεια του με πολύτιμες συμβουλές και υποδείξεις σε κάθε φάση της δημιουργία της καθώς και για τη δυνατότητα ανάληψης της διπλωματικής εργασίας.

Επίσης να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη του τομέα θερμότητας για την αμέριστη βοήθεια που μου παρείχαν. Θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη στους γονείς μου Κυριάκο και Ιωάννα για την διαρκή τους υποστήριξη, που επέτρεψε την επιτυχή διεκπεραίωση των σπουδών μου.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους και συναδέλφους μου για τα όμορφα φοιτητικά χρόνια που περάσαμε μαζί.

ΑΦΙΕΡΩΣΗ

Στον φίλο, αδελφό και κουμπάρο μου Μάριο, που μας άφησε νωρίς

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1 : Ηλιακή Ενέργεια....7
1.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας....7
1.1.1 Οικονομική Πολιτική για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας....7
1.2 Ηλιακή ακτινοβολία....8
1.2.1 Γενικά....8
1.2.2 Ηλιακή Γεωμετρία....9
1.2.3 Άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη ακτινοβολία....10
1.2.4 Ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο....11
Κεφάλαιο 2: Φωτοβολταϊκά στοιχεία....13
2.1 Ιστορία....13
2.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο....13
2.3 Αγωγοί, μονωτές και ημιαγωγοί....13
2.3.1 Ημιαγωγοί....14
2.4 Φωτοβολταικά στοιχεία Πυριτίου (Si)....16
2.4.1 Τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων πυριτίου «μεγάλου πάχους»....16
2.4.2 Φωτοβολταικα υλικά λεπτών επιστρώσεων, thin film....17
2.4.3 Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Στοιχεία....19
2.5 Αρχές λειτουργίας των ΦΒ στοιχείων....20
2.6 Ηλιακά στοιχεία....21
2.6.1 Η ιδεατή I-V καμπύλη απόδοσης....22
2.6.2 Απόδοση ΦΒ στοιχείου....23
2.7 Ηλιακοί Συλλέκτες....24
2.7.1 Ιστορική αναδρομή....24
2.7.2 Βασικές Αρχές....24
2.7.3 Απόδοση ηλιακού συλλέκτη....26

Κεφάλαιο 3: Υβριδικά Φωτοβολταϊκά-Θερμικά συστήματα (ΦΒ/Θ) 27
3.1 Βασικές Αρχές 27
3.2 Ιστορική αναδρομή ΦΒ/Θ 27
3.2.1 Προηγούμενες έρευνες 28
3.3 Τύποι ΦΒ/Θ συσκευών 29
3.3.1 ΦΒ/Θ αέρα 30
3.3.2 ΦΒ/Θ νερού 30
Κεφάλαιο 4: Προσομοίωση με λογισμικό Energy Plus 35
4.1 Εισαγωγή 35
4.2 Energy Plus 35
4.3 Google Sketch Up 35
4.4 Μετεωρολογικά Δεδομένα (Weather data/ Energy Plus) 37
4.5 Εισαγωγή Δεδομένων - IDF Editor 38
4.5.1 Μοντέλα προσομοίωσης 39
4.6 Μοντελοποίηση σπιτιού 41
4.6.1 Μοντελοποίηση σπιτιού με ΦΒ σύστημα. 41
4.6.2 Μοντελοποίηση σπιτιού με ΦΒ/Θ σύστημα 43
Κεφάλαιο 5: Ανάλυση Αποτελεσμάτων 53
5.1 Λήψη Αποτελεσμάτων 53
5.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων ΦΒ/Θ συστήματος 58
5.4 Μελέτη ιδιοκάλυψης αναγκών κατοικίας σε ηλεκτρική ενέργεια 62
5.5 Συμπεράσματα 64
Κεφάλαιο 6: Οικονομική Μελέτη 67
6.1 Περίοδος απόσβεσης του ΦΒ/Θ συστήματος 67
6.2 Καθαρή Παρούσα Αξία - Net Present Value (NPV) 69
6.3 Ανάλυση κόστους ανά παραγόμενη KWh 71
6.3.1 Επιλογή κατάλληλου συστήματος 74
6.4 Συμπεράσματα 76
6.5 Το μέλλον των ΦΒ/Θ συστημάτων 77

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 79
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α' 81
Κώδικας ΦΒ συστήματος 82
Κώδικας ΦΒ/Θ συστήματος 121

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Πορεία ήλιου

Σχήμα 1.2: Άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη ακτινοβολία

Σχήμα 1.3: Διάγραμμα υπολογισμού ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο

Σχήμα 2.1: Ενεργειακές Ζώνες

Σχήμα 2.2: Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με άτομα πρόσμιξης

Σχήμα 2.3: Εξέλιξη της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων

Σχήμα 2.4: Ισοδύναμο κύκλωμα

Σχήμα 2.5: Ηλιακό στοιχείο πυριτίου

Σχήμα 2.6: I-V καμπύλη ηλιακού μοντέλου / στοιχείου

Σχήμα 2.7: Καμπύλη I-V σε διάφορες ακτινοβολίες και συνθήκες θερμοκρασίας

Σχήμα 2.8: Ηλιακός συλλέκτης

Σχήμα 2.9: Κλειστό κύκλωμα, ενεργού θερμικού συστήματος με βοηθητικού θερμοστάτη

Σχήμα 3.1: Σχηματική απεικόνιση ΦΒ / Θ συλλέκτη

Σχήμα 3.2: Τύποι συλλέκτη ΦΒ / Θ αέρα

Σχήμα 3.3: Τύποι συλλέκτη ΦΒ / Θ νερού

Σχήμα 3.4: Διατομή επίπεδου συλλέκτη

Σχήμα 3.5: Συστήματα ΦΒ / Θ συλλεκτών

Σχήμα 4.1: Νοτιοδυτική όψη του σπιτιού

Σχήμα 4.2: Εισαγωγή κατασκευαστικών δεδομένων στο Energy Plus

Σχήμα 4.3: Εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων στο Energy Plus

Σχήμα 4.4: IDF Editor

Σχήμα 4.5: Μοντελοποίηση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας

Σχήμα 4.6: Σπίτι με ΦΒ σύστημα

Σχήμα 4.7: Δεδομένα εισόδου ΦΒ συστήματος

Σχήμα 4.8: Συνδέσεις ΦΒ / Θ συστήματος

Σχήμα 4.9: Εισαγωγή κλάδων του κυκλώματος

Σχήμα 4.10: Εισαγωγή ροής κλάδων

Σχήμα 4.11: Splitters

Σχήμα 4.42: Mixers

Σχήμα 4.13: Δύο αντλίες μεταβλητής ταχύτητας

Σχήμα 4.14: Βαλβίδα βαφής

Σχήμα 4.15 : Εισαγωγή δεδομένων για ΦΒ μέρος

Σχήμα 4.16: Εισαγωγή δεδομένων για θερμικό μέρος

Σχήμα 4.17 : Προδιαγραφές ΦΒ/ Θ πλαισίου

Σχήμα 5.1: Ανάγνωση αποτελεσμάτων

Σχήμα 5.2: Παραγωγή ενέργειας ΦΒ συστήματος

Σχήμα 5.3: Παραγωγή KWh ανά εργαζόμενα ΦΒ πάνελ

Σχήμα 5.4: Παραγωγή θερμικής ενέργειας ΦΒ/Θ συστήματος

Σχήμα 5.5: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ΦΒ/Θ συστήματος

Σχήμα 5.6: Παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος ανά εργαζόμενα ΦΒ/Θ πάνελ

Σχήμα 5.7: Παραγωγή θερμικής ενέργειας ανά εργαζόμενα ΦΒ/Θ πάνελ

Σχήμα 5.8: Σύγκριση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Αθήνα

Σχήμα 5.9: Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ΦΒ συστήματος (10 πάνελ)

Σχήμα 5.10: Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ΦΒ/Θ συστήματος (10 πάνελ)

Σχήμα 5.11: Σύγκριση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Αθήνα διαφορετικών συστημάτων και μεγέθους εγκατάστασης

Σχήμα 6.1: Νεκρό σημείο λειτουργίας κάθε πόλης

Σχήμα 6.2: Μηνιαίο κόστος ανά kWh ΦΒ συστήματος

Σχήμα 6.3: Μηνιαίο κόστος ανά kWh ηλεκτρικής ενέργειας ΦΒ/Θ συστήματος

Σχήμα 6.4: Μηνιαίο κόστος ανά kWh ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας ΦΒ/Θ συστήματος

Σχήμα 6.5: Μηνιαίο κόστος ανά kWh παραγόμενης ενέργειας στην Αθήνα

Σχήμα 6.6: Ετήσιο κόστος ανά kWh για κάθε κατηγορία εκμετάλευσης ενέργειας (4 πάνελ)

Σχήμα 6.7: Ετήσιο κόστος ανά kWh για κάθε κατηγορία εκμετάλευσης ενέργειας (πάνελ 10)

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1: Θερμική αποδοτικότητα των διάφορων συλλεκτών ΦΒ / Θ

Πίνακας 4.1: Δεδομένα εισόδου ΦΒ συστήματος

Πίνακας 4.2: Δεδομένα για ΦΒ μέρος

Πίνακας 4.3: Δεδομένα για Θερμικό μέρος

Πίνακας 5.1: Ετήσια παραγωγή ενέργειας ΦΒ συστήματος

Πίνακας 5.2: Ετήσια παραγωγή ενέργειας ΦΒ/Θ συστήματος

Πίνακας 5.3: Σύγκριση αποτελεσμάτων ΦΒ με ΦΒ/Θ

Πίνακας 6.1: Περίοδος αποπληρωμής

Πίνακας 6.2: Περίοδος αποπληρωμής ΦΒ και διαφορά με ΦΒ/Θ

Πίνακας 6.3: Καθαρή Παρούσα Αξία των ΦΒ/Θ συστημάτων

Πίνακας 6.4: Κατηγορία εγκατάστασης ανάλογα με θερμική εκμετάλευση παραγόμενης ενέργειας

Κεφάλαιο 1 : Ηλιακή Ενέργεια

1.1 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Τα τελευταία χρόνια γίνεται ολοένα πιο επιτακτική η ανάγκη αξιοποίησης εναλλακτικών μορφών ενέργειας. Η συνεχώς αυξανόμενη ενεργειακή ζήτηση, σε συνδυασμό με τη μείωση των αποθεμάτων συμβατικών καυσίμων και τις δυσμενείς επιπτώσεις στο περιβάλλον από την εκτεταμένη χρήση τους, έχουν στρέψει το παγκόσμιο ενδιαφέρον στην ανάπτυξη τεχνολογιών προς εκμετάλλευση ήπιων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το ενδιαφέρον αυτό ενισχύεται από το γεγονός ότι σε πολλές περιπτώσεις η τεχνολογία των *Α.Π.Ε.* όχι μόνο είναι οικονομικά εφικτή αλλά και αρκετά αποδοτική. Από την άλλη πλευρά, το κύριο μειονέκτημά τους είναι η ανικανότητά τους να εκμεταλλευτούν το μεγαλύτερο μέρος της διαθέσιμης ενέργειας, φαινόμενο που ισορροπείται από το γεγονός ότι οι *Α.Π.Ε.* είναι ανεξάντλητες.

Όσον αφορά την Ελλάδα, αποτελεί μία χώρα με πλούσιο ηλιακό δυναμικό, ενώ τα πολυάριθμα νησιά της, όπως και οι ακτές της, υποστηρίζουν την εγκατάσταση ανεμογεννητριών λόγω της υψηλής έντασης του ανέμου στις περιοχές αυτές. Τέλος, υπάρχουν και μερικές γεωθερμικές πηγές, που δυστυχώς παραμένουν ανεκμετάλλευτες. Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω πηγές ενέργειας η Ελλάδα θα μπορέσει να καλύψει ένα μεγάλο μέρος των ενεργειακών της αναγκών, ελαττώνοντας σημαντικά την εξάρτησή της από τα συμβατικά καύσιμα.

1.1.1 Οικονομική Πολιτική για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Η Λευκή Βίβλος και η νέα οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η οποία είναι η ευρωπαϊκή κοινοτική στρατηγική και σχέδιο δράσης, έθεσαν στόχο έως το 2020, το 12% της ενέργειας που παράγεται στην ΕΕ να είναι από τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και οι εκπομπές άνθρακα να μειωθούν κατά 20%. Ως εκ τούτου, κάθε χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, έχει δεσμευθεί να επιτύχει ένα συγκεκριμένο στόχο μέχρι το 2020.

<u>Ελλάδα</u>
Σύμφωνα με τη Λευκή Βίβλο, η Ελλάδα έχει δεσμευτεί ότι έως το 2020, το 20% της κατανάλωσης της ενέργειας πρέπει να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, από 4% το 2008. Για να επιτευχθεί αυτό, το κοινοβούλιο της Ελλάδα ψήφισε ένα νόμο που δίνει μια σειρά κινήτρων για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Για τα συστήματα ΦΒ/Θ η νομοθεσία προβλέπει ότι ένα νοικοκυριό είναι σε θέση να παράγει και να πωλεί ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο, στην τιμή των € 0,55 ανά kWh, για 25 χρόνια. Την ίδια στιγμή, το νοικοκυριό αγοράζει την ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο € 0,15 ανά kWh. Ο μόνος περιορισμός είναι ότι τα νοικοκυριά μπορούν να εγκαταστήσουν γεννήτριες με ονομαστική ισχύ μικρότερη από 10kWp.

Κύπρος
Πριν από μια δεκαετία και πριν από την είσοδο στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η Κύπρος ήταν 100% εξαρτημένη από τα ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τώρα, η Κύπρος έχει δεσμευτεί ότι μέχρι το 2020, το 13% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας θα προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Σύμφωνα με το σχέδιο δράσης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, ένα νοικοκυριό είναι σε θέση να πωλήσει το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγεται από ΦΒ, στο δίκτυο στην τιμή των € 0,38 ανά kWh. Ταυτόχρονα, η τιμή ηλεκτρισμού για τα νοικοκυριά είναι περίπου € 0,15 ανά kWh. Η ονομαστική ισχύς του συστήματος δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 20 kWp.

1.2 Ηλιακή ακτινοβολία

1.2.1 Γενικά

Η θερμοκρασία στην επιφάνεια του ήλιου υπολογίζεται ότι είναι περίπου 6000 K. Η τεράστια αυτή θερμοκρασία ηλιακής ακτινοβολίας εκπέμπει στη γη με μέγιστη πυκνότητα ροής περίπου 1,0 kW/m2 και με μήκος κύματος μεταξύ 0,3 και 2,5 μm. Αυτή είναι η λεγόμενη μικρή ακτινοβολία κυμάτων.

Από την άλλη πλευρά, η θερμοκρασία στην ατμόσφαιρα της Γης είναι περίπου 230K κατά μέσο όρο και στην επιφάνεια της Γης είναι περίπου 260-300 K , η οποία παραμένει σε κατάσταση ισορροπίας εξαιτίας της εισερχόμενης ακτινοβολίας που αντανακλά πίσω στο διάστημα. Αυτή η εξερχόμενη ακτινοβολία εμφανίζεται σε ένα μήκος κύματος υπέρυθρης ζώνης συχνοτήτων μεταξύ 5 και 25 μm, το οποίο ονομάζεται μεγάλη ακτινοβολία κυμάτων.

Η εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία στη Γη είναι 5,4 εκατ. exajoules (10^{18} joules). 30% αυτής της ακτινοβολίας αντανακλάται πίσω από την ατμόσφαιρα και το υπόλοιπο 70% μπορεί να μετατραπεί σε διάφορες μορφές ενέργειας. Αυτό το 70% (3,8 exajoules) είναι 10 000 φορές το ποσοστό της κατανάλωσης των ορυκτών και πυρηνικών καυσίμων για το 2002.

Η συνολική ενέργεια στη μονάδα του χρόνου (ισχύς) που προέρχεται από μια πηγή ακτινοβολίας και προσπίπτει σε μια μοναδιαία επιφάνεια, αποτελεί την πυκνότητα ισχύος (*Irradiance*) ή ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας και μετράται σε : $\left(\frac{W}{m^2}\right)$. Συμβολίζεται γενικά με το γράμμα G . Η τιμή της σε ορισμένη ώρα και σημείο στην επιφάνεια της γης εξαρτάται έντονα από την θέση του ήλιου στον ουρανό, αλλά και τις μετεωρολογικές συνθήκες.

Η πυκνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας στο διάστημα κυμαίνεται σε μικρά όρια περί μέση τιμή: $G_{sc} = 1353\left(\frac{W}{m^2}\right)$, και ονομάζεται ηλιακή σταθερά.

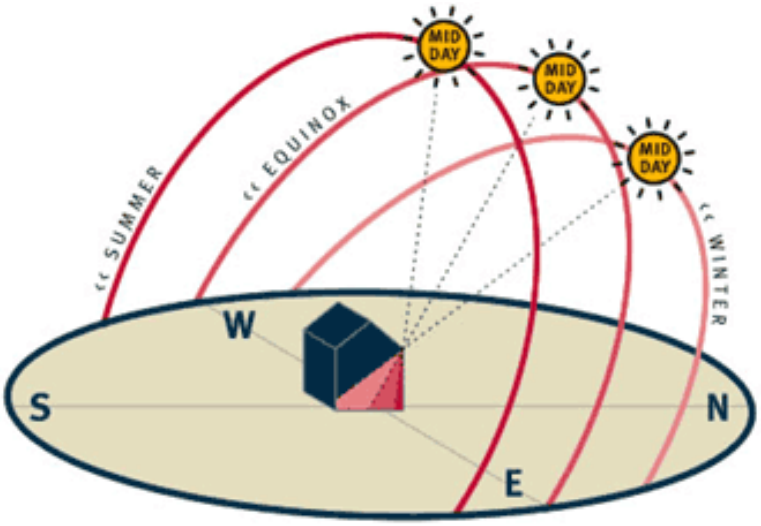
Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας εκτός της ατμόσφαιρας, η οποία εξαρτάται από την κίνηση της γης περί τον ήλιο, μπορεί να υπολογίζεται με ακρίβεια, με βάση γεωμετρικές σχέσεις. Αντίθετα η μείωση που υφίσταται αυτή, κατά την διαδρομή της

στην ατμόσφαιρα, εξαρτάται από την κατάστασή της και αποτελεί στατιστικό μέγεθος.

1.2.2 Ηλιακή Γεωμετρία

Η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζει τεράστιες διαφορές και είναι σε αναλογία με το χρόνο, την εποχή, τις κλιματολογικές συνθήκες, την υγρασία, κλπ. Επιπλέον, επιρεάζεται σημαντικά και από άλλους παράγοντες όπως η ρύπανση του περιβάλλοντος και τις ηλιακές κηλίδες.

Ο πιο σημαντικός παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η τοποθεσία που λαμβάνει την ακτινοβολία. Κατά την διάρκεια ενός έτους, λόγω της περιφοράς της γης γύρο από τον ήλιο, η τοποθεσία λαμβάνει διάφορες θέσεις και έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της απόκλισης δ˚, η οποία είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της γραμμής που αρχίζει από το κέντρο της γης μέχρι το κέντρο του ήλιου και τον Ισημερινό (Σχήμα 1.1) . Οι ακραίες τιμές για το Βόρειο ημισφαίριο είναι +23,45 ° στις 21 Ιουνίου και -23,45 ° στις 21 Δεκεμβρίου.



Σχήμα 1.1: Πορεία ήλιου

Η κλίση ενός θερμικού συστήματος ή μίας παράταξης ΦΒ πρέπει να είναι εντός αυτών των ορίων και ο καλύτερος προσανατολισμός για τα συστήματα αυτά είναι ο Νότιος (Βόρειο ημισφαίριο). Η βέλτιστη γωνία κλίσης για τα συστήματα αυτά, ανά πάσα στιγμή μπορεί να βρεθεί από τις εξισώσεις 1.1 και 1.2

(Γωνία κλίσης) β° = (Γεωγραφικό πλάτος) φ° - (Γωνία Απόκλισης) δ° (1.1)

Όπου

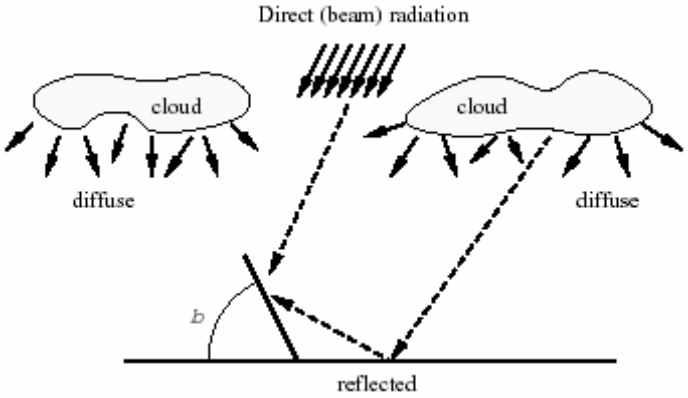
$$\delta° = 23{,}45 \times \sin\left[360 \times \frac{(284+N)}{365}\right] \quad \textbf{(1.2)}$$

N: η ημέρα του έτους κατ' αύξοντα αριθμό, με αρχή την 1η Ιανουαρίου

1.2.3 Άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη ακτινοβολία

Η συνολική ακτινοβολία (*global radiation)* που προσπίπτει σε μια επιφάνεια απαρτίζεται από τρία μέρη:

- Την *άμεση* Ib (direct ή beam radiation) που έρχεται κατ'ευθείαν από τον ήλιο,
- Την *διάχυτη* Id (diffuse radiation) που προέρχεται από ολόκληρο τον ουράνιο θόλο και γεννάται κατά τη σκέδαση της άμεσης ακτινοβολίας
- Την *ανακλώμενη* Ir (reflected radiation) που προέρχεται από διάφορες γειτονικές επιφάνειες όταν η επιφάνεια αναφοράς είναι κοντά σε κτίρια, υψώματα ή δεν είναι οριζόντια οπότε δέχεται ακτινοβολία από το έδαφος



Σχήμα 1.2: Άμεση, διάχυτη και ανακλώμενη ακτινοβολία

Επομένως η συνολική ακτινοβολία είναι: $I = Ib + Id + Ir$

Άμεση είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από τον ηλιακό δίσκο, έχει ορισμένη κατεύθυνση για ορισμένο επίπεδο αναφοράς και ορισμένη χρονική στιγμή. Με καθαρό ουρανό αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στο επίπεδο αναφοράς.

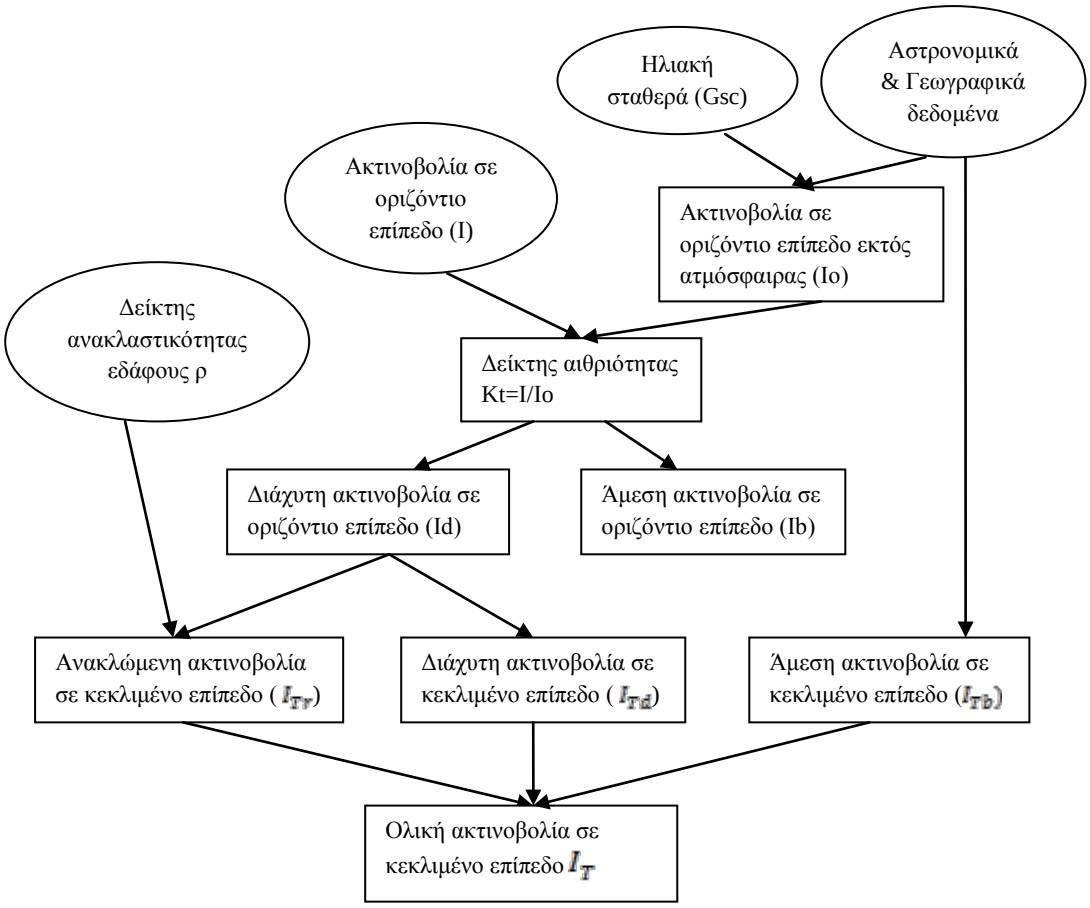
Διάχυτη είναι η ακτινοβολία που προέρχεται από όλο τον υπόλοιπο ουράνιο θόλο, εκτός του ήλιου, λόγω κάλυψης της ατμόσφαιρας από σύννεφα, υδρατμούς, σκόνη. Για το επίπεδο αναφοράς, δεν έχει ορισμένη κατεύθυνση όπως η άμεση ακτινοβολία, αλλά προέρχεται από όλα τα σημεία του ουρανού.

Η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στο επίπεδο αναφοράς μετά από ανάκλαση σε φυσικές ή τεχνικές επιφάνειες, που υπάρχουν στον περιβάλλοντα χώρο. Έτσι η γνώση της απαιτεί κάθε φορα καλή γνώση της τοπογραφίας του χώρου και του

δείκτη ανακλαστικότητας των επιφανειών, που ανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία. Οι Liu και Jordan δέχονται ως δείκτη ανακλαστικότητας του εδάφους p=0,2 ενώ της επιφάνειας που είναι στρωμένη με χιόνι 0,7.

1.2.4 Ακτινοβολία σε κεκλιμένο επίπεδο

Τα δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας δίνονται με τη μορφή της ολικής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο. Ωστόσο, όλα τα ΦΒ και ηλιακά πάνελ είναι συνήθως σε κεκλιμένο επίπεδο, εξ ου και η ακτινοβολία που λαμβάνουν είναι διαφορετική. Επιπλέον, η σωστή ηλιακή ακτινοβολία για την κεκλιμένη θέση διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό ενός φωτοβολταϊκού συστήματος. Ως εκ τούτου, η ορθή ηλιακή ακτινοβολία πρέπει να υπολογιστεί. Η ακόλουθη προσέγγιση για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο είναι ένας συνδυασμός των εργασιών της Duffie και Beckman, Lorenzo και Markvart.



Σχήμα 1.3: Διάγραμμα υπολογισμού ακτινοβολίας σε κεκλιμένο επίπεδο

Για τον υπολογισμό της ηλιακής ακτινοβολίας στο κεκλιμένο επίπεδο θα πρέπει να ληφθεί υπ' οψη για κάθε μία απο τις συνιστώσες και ένας διορθωτικός συντελεστής.

Ο διορθωτικός συντελεστής για την άμεση ηλιακή ακτινοβολία (R_b), είναι ο λόγος της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κεκλιμένο επίπεδο ($I_{b,T}$), προς αυτήν στο οριζόντιο επίπεδο (I_b).

Ο υπολογισμός της συνιστώσας για την διάχυτη ακτινοβολία βασίζεται στην υπόθεση οτι η διάχυτη είναι ισοτροπική, δηλαδή είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη απ' τον ουράνιο θόλο. Ο διορθωτικός συντελεστής για την διάχυτη ακτινοβολία (R_d) είναι ο λόγος της διάχυτης ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κεκλιμένο επίπεδο ($I_{d,T}$) προς αυτήν στο οριζόντιο (I_d).

Ο διορθωτικός συντελεστής για την ανακλώμενη ακτινοβολία (R_r), είναι ο λόγος της ανακλώμενης ακτινοβολίας που προσπίπτει στο κεκλιμένο επίπεδο ($I_{r,T}$), προς αυτήν στο οριζόντιο (I_r). Η ανακλώμενη όμως στο οριζόντιο επίπεδο είναι το γινόμενο του συντελεστή ανάκλασης ρ του εδάφους της γύρω περιοχής επι την ολική ηλιακή ακτινοβολία (I) στο οριζόντιο. Οπως και στην προηγούμενη περίπτωση έτσι και εδώ, υποθέτουμε οτι η ανακλώμενη είναι ισοτροπική.

Η ολική ηλιακή ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο I_T, ειναι :

$$I_T = I_b R_b + I_d R_d + I.\rho.R_r$$

Κεφάλαιο 2: Φωτοβολταϊκά στοιχεία

2.1 Ιστορία

Ο όρος «φωτοβολταϊκά» προέρχεται από το συνδυασμό της ελληνικής λέξης φως με τη λέξη Volt, το όνομα της μονάδας της ηλεκτρεγερτικής δύναμης που πήρε το όνομά της από τον Ιταλό φυσικό Count Alessandro Volta.

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Γάλλο φυσικό Edmond Becquerel, που παρατήρησε ότι η τάση της μπαταρίας αυξανόταν όταν οι ασημένιες πλάκες αυτής εκτίθεται σε ηλιακό φως. Ωστόσο, μόνο το 1954 χρησιμοποιήθηκε ως πηγή ενέργειας, από τους Chapin, Fuller και Pearson όταν άρχισαν να χρησιμοποιούν ενισχυμένους ημιαγωγούς πυριτίου.

2.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζετε στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών σε ατομικό επίπεδο.

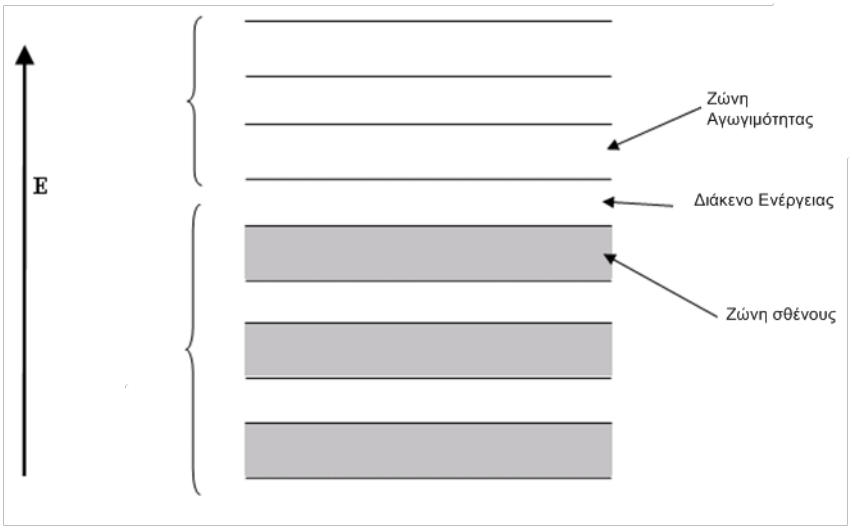
Όταν το φως προσπίπτει σε μια επιφάνεια είτε ανακλάται, είτε την διαπερνά (διαπερατότητα) είτε απορροφάται από το υλικό της επιφάνειας. Η απορρόφηση του φωτός ουσιαστικά σημαίνει την μετατροπή του σε μια άλλη μορφή ενέργειας (σύμφωνα με την αρχή διατήρησης της ενέργειας) η οποία συνήθως είναι η θερμότητα.

Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν κάποια υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπίπτοντων φωτονίων (πακέτα ενέργειας) σε ηλεκτρική ενέργεια. Αυτά τα υλικά είναι οι ημιαγωγοί και σε αυτά οφείλεται επίσης η τεράστια τεχνολογική πρόοδος που έχει συντελευτεί στον τομέα της ηλεκτρονικής και συνεπακόλουθα στον ευρύτερο χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών.

Γενικότερα τα υλικά στην φύση σε σχέση με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες, τους αγωγούς του ηλεκτρισμού, τους μονωτές και τους ημιαγωγούς. Ένας ημιαγωγός έχει την ιδιότητα να μπορεί να ελεγχθεί η ηλεκτρική του αγωγιμότητα είτε μόνιμα είτε δυναμικά.

2.3 Αγωγοί, μονωτές και ημιαγωγοί

Όπως είναι γνωστό από την φυσική, τα μέταλλα μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό συμβαίνει γιατί έχουν πολλά ηλεκτρόνια στο ζώνη αγωγής. Από την άλλη πλευρά, οι μονωτήρες, που δύσκολα μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια, δεν έχουν ηλεκτρόνια στο φάσμα αυτό.



Σχήμα 2.1: Ενεργειακές Ζώνες

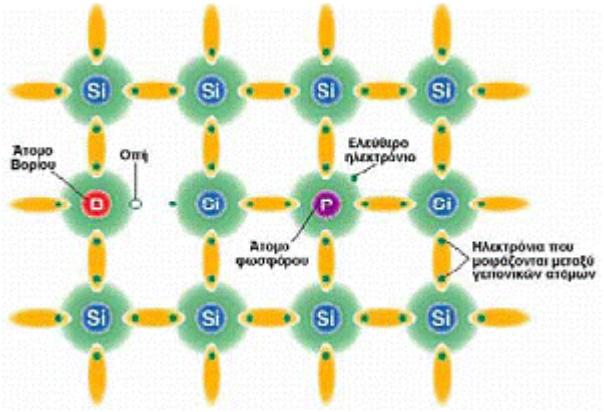
Η ποσότητα της ενέργειας που έχει ένα ηλεκτρόνιο, βρίσκεται μέσα σε μια από τις διάφορες ενεργειακές «ζώνες». Τα ηλεκτρόνια που κρατούν τα άτομα ενός υλικού μαζί, είναι στο χαμηλότερο φάσμα από κατάσταση ενέργειας, γνωστή ως «φάσμα σθένους» . Αν ένα ηλεκτρόνιο λάβει αρκετή ενέργεια, είναι δυνατόν να προχωρήσει σε μια υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση. Αυτή η κατάσταση είναι γνωστή ως «φάσμα αγωγής». Η ενέργεια που χρειάζεται για την κίνηση αυτή ονομάζεται «ενεργειακό διάκενο» και το μέγεθος της ποικίλλει. Στο φάσμα αγωγής, τα ηλεκτρόνια είναι ελεύθερα να κυκλοφορούν στο εσωτερικό του υλικού και ως αποτέλεσμα, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια.

Τα στερεά υλικά ανάλογα με τον βαθμό στον οποίο άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα κατατάσσονται σε αγωγούς , μονωτές και ημιαγωγούς . Η διαφορά τους έγκειται στο πλήθος των ελεύθερων ηλεκτρονίων, δηλαδή αυτών που μπορούν να επιταχυνθούν υπό την επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου.

Οι αγωγοί έχουν άφθονα τέτοια ηλεκτρόνια, οι ημιαγωγοί (στις συνηθισμένες θερμοκρασίες) πολύ λίγα και οι μονωτές πρακτικά καθολου.

2.3.1 Ημιαγωγοί

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται κυρίως από ημιαγωγούς που είναι στοιχεία τετρασθενή με τετραεδρική κρυσταλλική δομή όπως το πυρίτιο (Si). Στα στοιχεία αυτά δεν υπάρχουν ελεύθεροι φορείς ηλεκτρικού ρεύματος και δε διαθέτουν ηλεκτρική αγωγιμότητα στην υποθετική περίπτωση που ο ημιαγωγός βρίσκεται στη θεμελιώδη ενεργειακή κατάσταση, δηλαδή είναι εντελώς υποβαθμισμένος ενεργειακά. Όταν όμως απορροφήσουν κάποια αξιόλογη ενέργεια, π.χ. με τη μορφή θερμότητας ή ακτινοβολίας, πραγματοποιείται μια ριζική μεταβολή.



Σχήμα 2.2: Κρυσταλλικό πλέγμα πυριτίου με άτομα πρόσμιξης

Η ενέργεια που παρέχεται στο σώμα και κατανέμεται στα άτομά του, προκαλεί την ελευθέρωση πολλών ηλεκτρονίων από τους δεσμούς. Τα ηλεκτρόνια αυτά απομακρύνονται από την περιοχή του δεσμού τους στο κρυσταλλικό πλέγμα, χάρη στην κινητική ενέργεια που απόκτησαν και γίνονται ευκίνητοι φορείς του ηλεκτρισμού, δίνοντας στον ημιαγωγό μια αξιόλογη ηλεκτρική αγωγιμότητα. Είναι φανερό ότι το ενεργειακό διάκενο ανάμεσα στη ζώνη σθένους και στη ζώνη αγωγιμότητας εκφράζει την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για τη διέγερση ενός ηλεκτρονίου σθένους, ώστε να μετατραπεί σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο, με ταυτόχρονη δημιουργία μιας οπής.

Αν στα ηλεκτρόνια των δεσμών του κρυστάλλου προσφερθεί μια ποσότητα ενέργειας π.χ. αν δεχθούν μια δέσμη ακτινοβολίας που αποτελείται από φωτόνια με ενέργεια hν μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο (Eg>hν), δε μπορούν να την απορροφήσουν και μένουν στη ζώνη σθένους. Αν όμως τα ενεργειακά κβάντα που προσφέρονται είναι ίσα ή μεγαλύτερα από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού (Eg<hν), τότε κάθε κβάντο μπορεί να απορροφηθεί από ένα ηλεκτρόνιο σθένους και να διεγερθεί προς τη ζώνη αγωγιμότητας, αφήνοντας στη ζώνη σθένους μία οπή. Ο παραπάνω μηχανισμός διέγερσης εξαρτάται και από το αν ο ημιαγωγός είναι άμεσος ή έμμεσος.

Αν τώρα ο τετρασθενής ημιαγωγός Si, νοθευτεί με κάποιο πεντασθενές στοιχείο (φώσφορος, P) ή με κάποιο τρισθενές στοιχείο (βόριο, B), τότε παράγεται ημιαγωγός προσμίξεως τύπου-n και τύπου-p αντίστοιχα.

Τέσσερα από τα πέντε ηλεκτρόνια σθένους κάθε ατόμου P, θα ενωθούν με ηλεκτρόνια σθένους των γειτονικών ατόμων Si και θα σχηματίσουν ομοιοπολικούς δεσμούς (Σχήμα 2.2). Το πέμπτο ηλεκτρόνιο (φορέας πλειονότητας) θα συγκρατείται πολύ χαλαρά από το θετικό πυρηνικό φορτίο του P και με λίγη ενέργεια μπορεί να αποσπασθεί και να κινήσει σαν ελεύθερο ηλεκτρόνιο, αφήνοντας ένα ανιόν (P+) που μένει ακίνητο στο πλέγμα. Δηλαδή το πεντασθενές άτομο συμπεριφέρεται στο πλέγμα σαν δότης ηλεκτρονίων (τύπος-η ημιαγωγός). Αντίστοιχα, με την πρόσμιξη τρισθενών ατόμων B σε πλεγματικές θέσεις του Si, δημιουργούνται κενές θέσεις

ηλεκτρονίων στους δεσμούς (Σχήμα 2.2). Με την απορρόφηση ενός μικρού ποσού ενέργειας, ένα ηλεκτρόνιο από ένα γειτονικό πλήρη δεσμό μπορεί να καλύψει την κενή θέση, αφήνοντας παράλληλα στην προηγούμενη θέση του μια οπή και μετατρέποντας το άτομο B σε κατιόν (B-). Δηλαδή το τρισθενές άτομο συμπεριφέρεται σαν αποδέκτης ηλεκτρονίων (φορείς μειονότητας) ή δότης οπών (τύπος-p ημιαγωγός).

2.4 Φωτοβολταικά στοιχεία Πυριτίου (Si)

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για να κατασκευαστούν φωτοβολταικά στοιχεία στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Το πυρίτιο σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών.
Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

- Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO2) (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.
- Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.
- Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125C κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου ανταπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.
- Πολύ σημαντικό στοιχείο, που συνέβαλε στην γρήγορη ανάπτυξη των φωτοβολταικών στοιχείων τα τελευταία χρόνια, ήταν η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία, στην βιομηχανία της επεξεργασίας του πυριτίου, στον τομέα της ηλεκτρονικής (υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ). Το 2007 μάλιστα ήταν η πρώτη χρονιά που υπήρχε μεγαλύτερη ζήτηση (σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου) στην αγορά των φωτοβολταϊκών στοιχειών σε σχέση με αυτήν των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής.

Μια κατηγοριοποίηση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία θα μπορούσε να γίνει με βάση το πάχος του υλικού που χρησιμοποιείται.

2.4.1 Τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων πυριτίου «μεγάλου πάχους»

- Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (SingleCrystalline Silicon, sc-Si).

Το πάχος τους είναι γύρω στα 0,3 χιλιοστά. Η απόδοση τους στην βιομηχανία κυμαίνεται από 15 - 18% για το πλαίσιο. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις έως και 24,7%. Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταικά στοιχεία

χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέση απόδοσης/επιφάνειας ή "ενεργειακής πυκνότητας". Ένα άλλο χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Βασικές τεχνολογίες παραγωγής μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών είναι η μέθοδος CZ (Czochralski) και η μέθοδος FZ (float zone). Αμφότερες βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα, είναι της SunPower με απόδοση πλαισίου 18,5%. Είναι μάλιστα το μοναδικό που έχει τις μεταλλικές επαφές στο πίσω μέρος του πάνελ αποκομίζοντας έτσι μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης με την ηλιακή ακτινοβολία.

- Φωτοβολταικα κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου (MultiCrystalline Silicon, mc-Si)

Το πάχος τους είναι επίσης περίπου 0,3 χιλιοστά. Η μέθοδος παραγωγής τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών γι' αυτό και η τιμή τους είναι συνήθως λίγο χαμηλότερη. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές. Όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταικά κελιά.

Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται με αποδόσεις από 13 έως και 15% για τα φωτοβολταϊκά πλαίσια (πάνελ). Βασικότερες τεχνολογίες παραγωγής είναι: η μέθοδος απ' ευθείας στερεοποίησης DS (directional solidification). , η ανάπτυξη λιωμένου πυριτίου ("χύτευση"), και η ηλεκτρομαγνητική χύτευση EMC.

- Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας πυριτίου (Ribbon Silicon)

Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αναπτύσεται από την Evergreen Solar. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις "παραδοσιακές τεχνικές" κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου.

Η απόδοση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του έχει φτάσει πλέον γύρω στο 12-13% ενώ το πάχος του είναι περίπου 0,3 χιλιοστά. Στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις της τάξης του 18%

2.4.2 Φωτοβολταικα υλικά λεπτών επιστρώσεων, thin film

- *Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός* (CuInSe2 ή CIS, με προσθήκη γάλλιου CIGS)

Ο Δισεληνοϊνδιούχος Χαλκός έχει εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτων φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση του με τις σύγχρονες τεχνικές κυμαίνεται στο 11% (πλαίσιο).

Εργαστηριακά έγινε εφικτή απόδοση στο επίπεδο του 18,8% η οποία είναι και η μεγαλύτερη που έχει επιτευχθεί μεταξύ των φωτοβολταϊκών τεχνολογιών λεπτής επιστρώσεως. Με προσθήκη γάλλιου CIGS η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο. Το πρόβλημα που υπάρχει είναι ότι το ίνδιο υπάρχει σε περιορισμένες ποσότητες στην φύση. Στα επόμενα χρόνια πάντως αναμένεται το κόστος του να είναι αρκετά χαμηλότερο.

- *Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου* (Amorphous ή Thin film Silicon, a-Si)

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη.

Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Οι επιδόσεις που επιτυγχάνονται χρησιμοποιώντας φωτοβολταικά thin films πυριτίου κυμαίνονται για το πλαίσιο από 6 έως 8% ενώ στο εργαστήριο έχουν επιτευχθεί αποδόσεις ακόμα και 14%.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά).

Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταικα στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσων αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγύησεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά.

- *Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe)*

Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του δίνει σοβαρά πλεονεκτήματα όπως την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι σύγχρονες τεχνικές όμως μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Στο εργαστήριο η απόδοση στα φωτοβολταικά στοιχεία έχει φθάσει το 16%.

Μελλοντικά αναμένεται το κόστος του να πέσει αρκετά. Τροχοπέδη για την χρήση του αποτελεί το γεγονός ότι το κάδμιο σύμφωνα με κάποιες έρευνες είναι

καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Επίσης προβληματίζει ή έλλειψη του Τελλουρίου. Σημαντικότερη χρήση του είναι ή ενθυλάκωση του στο γυαλί ως δομικό υλικό (ΒΙΦΒ Building Integrated Photovoltaic).

- *Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)*

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσένιο δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το αρσενικούχο γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Επίσης τα φωτοβολταικα στοιχεια GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators). Τα φωτοβολταικά στοιχεία GaAs έχουν το πλεονέκτημα ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας, για αυτό αλλά και λόγω της πολύ υψηλής απόδοσης του ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.

2.4.3 Υβριδικά Φωτοβολταϊκά Στοιχεία

Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών.

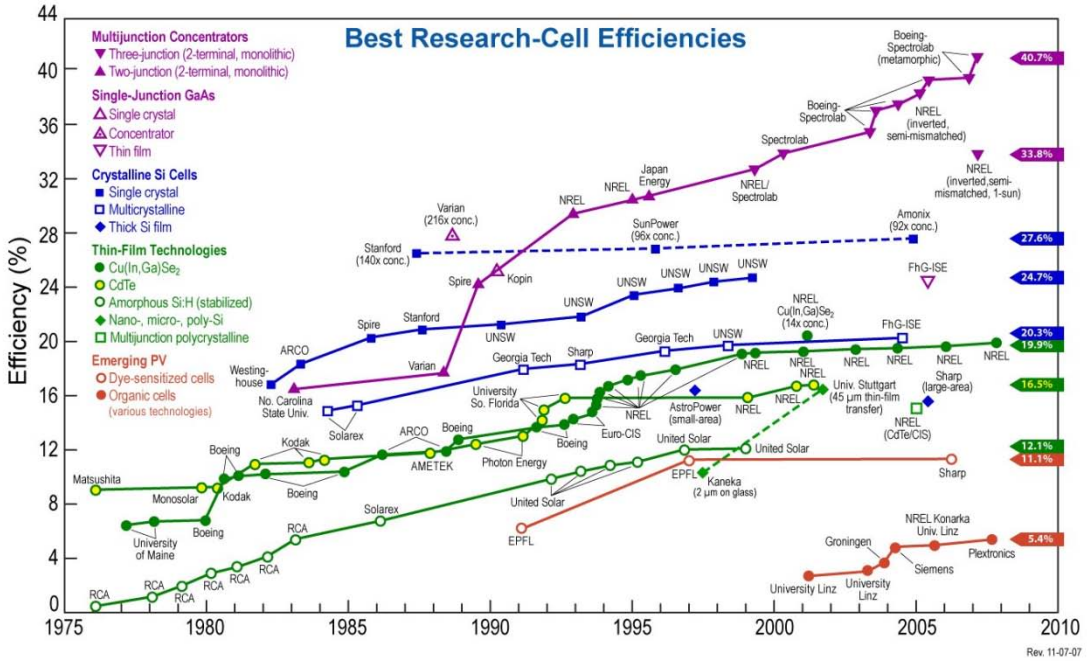
- HIT (Heterojunction with Intrinsic Thin-layer). Τα ποιο γνωστά εμπορικά υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από δύο στρώσεις άμορφου πυριτίου (πάνω και κάτω) ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2% και το οποίο σημαίνει ότι χρειαζόμαστε μικρότερη επιφάνεια για να έχουμε την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Αλλα πλεονεκτήματα για τα υβριδικά φωτοβολταικα στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία. Φυσικά, αφού προσφέρει τόσα πολλά, το υβριδικό φωτοβολταικό είναι και κάπως ακριβότερο σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταικά πλαίσια.

Αλλες τεχνολογίες

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες πατέντες. Κάποιες από τις τεχνολογίες

στα φωτοβολταικά στοιχεία που φαίνεται να ξεχωρίζουν και μελλοντικά πιθανώς να γίνει ευρεία η χρήση τους είναι:

- Νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου (nc-Si)
- Οργανικά/Πολυμερή στοιχεία



Σχήμα 2.3: *Εξέλιξη της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων*

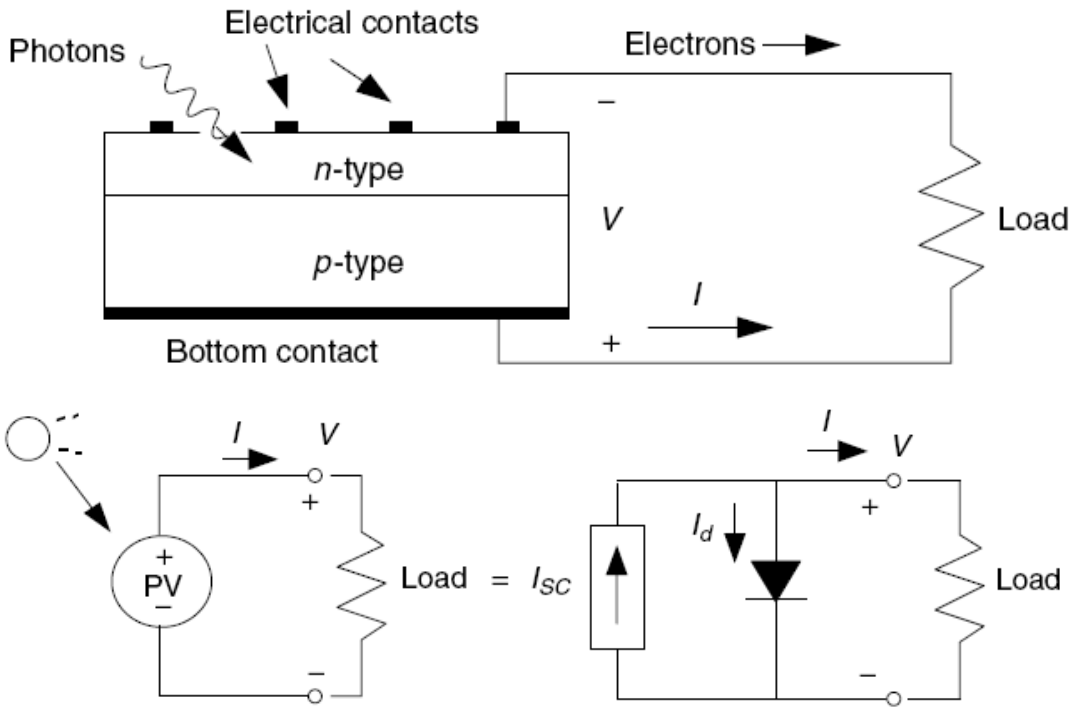
2.5 Αρχές λειτουργίας των ΦΒ στοιχείων

Τα ηλιακά στοιχεία αποτελούνται από δύο λεπτά, με προσμείξεις, ημιαγωγά υλικά. Το ανώτερο στρώμα είναι ένα n-τύπου (negative -) και έχει δημιουργηθεί από πρόσμιξη πυριτίου με φώσφορο. Το χαμηλότερο στρώμα είναι p-τύπου (positive +) και έχει δημιουργηθεί από πρόσμιξη πυριτίου με βόριο.

Η λειτουργία των ηλιακών στοιχείων βασίζεται στη διαμόρφωση μιας διασταύρωσης μεταξύ του n-τύπου και του p-τύπου ημιαγωγών. Μια διασταύρωση p-n σχηματίζεται από πρόσμιξη γειτονικών περιοχών των ημιαγωγών με p-τύπου και n-τύπου, δημιουργώντας ένα στρώμα εγγενών υλικών, η οποία έχει ως αποτέλεσμα μια ευρύτερη ζώνη μετάβασης.

Όλες οι διασταυρώσεις ημιαγωγών περιλαμβάνουν ένα ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο. Το φως θεωρείται ως ροή σωματιδίων. Αυτά τα σωματίδια-φωτόνια φέρουν ένα ποσό ενέργειας. Όταν το φως χτυπά την p-n διασταύρωση, τα ηλεκτρόνια κινούνται σε υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση. Ως αποτέλεσμα, μια ‘οπή’ θα μείνει, δημιουργόντας αύξηση του αριθμού των ζευγών ηλεκτρονίων. Κατόπιν, τα ηλεκτρόνια από την n-τύπου πλευρά, διέρχεται ηλεκτρική ενέργεια από το εξωτερικό κύκλωμα και στη συνέχεια πίσω στην p-πλευρά όπου επανασυνδέονται με την οπή.

Ως εκ τούτου, η απορρόφηση φωτονίων στην διασταύρωση p-n, δίνει μια πηγή συνεχούς ρεύματος. Αυτή η κίνηση των ηλεκτρονίων και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να περιγραφεί από ένα ισοδύναμο κύκλωμα (Σχήμα 2.4).

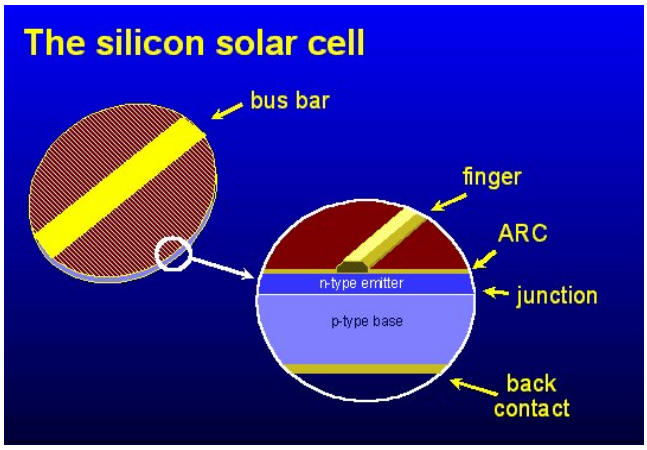


Σχήμα 2.4: Ισοδύναμο κύκλωμα

2.6 Ηλιακά στοιχεία

Στο πειραματικό μέρος αυτής της εργασίας θα χρησιμοποιηθούν μονοκρυσταλλικά φωτοβολταικά στοιχεία πυριτίου. Αυτά τα ηλιακά στοιχεία έχουν την εξής δομη:

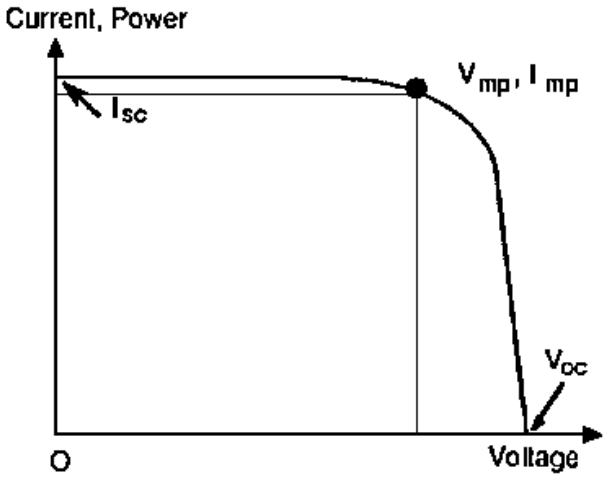
- Την άνω επιφάνεια που επιτρέπει στο φως να περάσει
- Ένα στρώμα διηλεκτρικού υλικού (ARC) για αποτροπή της αντανάκλασης του φωτός
- Το n-τύπου πομπό
- Τη διασταύρωση
- Η p-τύπου βάση
- Η κάτω επαφή



Σχήμα 2.5: Ηλιακό στοιχείο πυριτίου

2.6.1 Η ιδεατή I-V καμπύλη απόδοσης

Για να εκτιμηθεί η απόδοση του ΦΒ στοιχείου, χρησιμοποιείται η γραφική παράσταση της σχέσης μεταξύ της έντασης και της τάσης, η λεγόμενη I-V καμπύλη. Κάθε ΦΒ στοιχείο έχει τη δική της καμπύλης I-V, η οποία δείχνει όλες τις δυνατότητες συνδυασμών της έντασης και τάσης, υπό κανονικές συνθήκες δοκιμής. Από την καμπύλη I-V μπορούν να βρεθούν όλα τα σημαντικά σημεία ενός ΦΒ, τα οποία είναι:



Σχήμα 2.6: I-V καμπύλη ηλιακού μοντέλου / στοιχείου

- Η τάση ανοικτού κυκλώματος (V_{OC}), η οποία εξαρτάται από τον αριθμό των στοιχείων που συνδέονται σε σειρά
- Το ρεύμα βραχυκυκλώσεως (I_{SC})
- Η Τάση στη μέγιστη ισχύ (V_{mp})
- Η ένταση στη μέγιστη ισχύ (I_{mp})

Σε ένα βραχυκυκλωμένο ή ανοικτό κύκλωμα, δεν παράγειται ενέργεια. Η μέγιστη παραγόμενη ισχύς Pmax του ΦΒ στοιχείου δίνεται από τον:

$$P\max = Vm\,\mathrm{Im} = FFVocIsc \quad (1.3)$$

Όπου:
Pmax [W]: είναι η μέγιστη ισχύς εξόδου του ΦΒ στοιχείου
Vmp [V]: η τάση στο ανώτατο σημείο λειτουργίας του ΦΒ στοιχείου .
Imp [A]: το ρεύμα στο μέγιστο σημείο λειτουργίας του ΦΒ στοιχείου.
FF: Fill Factor. Είναι ο λόγος της πραγματικής μέγιστης Pmax, με την φανταστική, αλλά ιδανική ενέργεια που θα προκύψει από τη λειτουργία σε Isc και Voc
Voc [V]: η τάση ανοικτού κυκλώματος ΦΒ στοιχείου
Isc [A]: το ρεύμα βραχυκυκλώσεως του ΦΒ στοιχείου

2.6.2 Απόδοση ΦΒ στοιχείου

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες του ΦΒ στοιχείου είναι η απόδοση. Απόδοση ορίζεται ως η ισχύς (Pmax) που παράγεται από το στοιχείο στο μέγιστο σημείο ισχύος υπό κανονικές συνθήκες δια τη δύναμη της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε αυτήν και την επιφάνεια των ΦΒ στοιχείων. Μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$n = \frac{P\max}{E.A} \quad (1.4)$$

Όπου:
E [W / m²]: εισερχόμενη ακτινοβολία (W / m²)
A [m²]: επιφάνεια ΦΒ

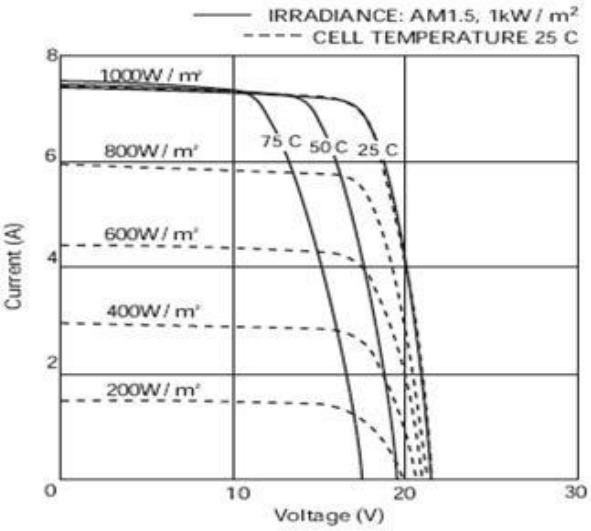
Η εξίσωση (1,5) καταδεικνύει σαφώς την θερμοκρασιακή εξάρτηση των ΦΒ στοιχείων. Καθώς η θερμοκρασία του στοιχείου (T_{pv}) αυξάνεται, η ηλεκτρική απόδοση των στοιχείων γίνεται όλο και χαμηλότερη από την απόδοση σε κανονικές συνθήκες. Αυτό συμβαίνει επειδή το ποσό των ηλεκτρονίων που απελευθερώνονται από τα εισερχόμενα φωτόνια παραμένει σταθερή με την αύξηση της θερμοκρασίας, ωστόσο, το ρεύμα διαρροής αυξάνεται.

$$n_e = n_o[1 - 0,0045(T_{pv} - 25)] \quad (1.5)$$

Όπου:
n_e : Είναι η απόδοση του κελιού ΦΒ στοιχείου σε κανονικές συνθήκες
T_{pv} [℃]: η θερμοκρασία του ΦΒ στοιχείου

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση των ΦΒ στοιχείων είναι η ένταση της ακτινοβολίας. Τα ΦΒ στοιχεία δοκιμάζονται σε κανονικές συνθήκες με ακτινοβολία 1000 W/m² (έναν ήλιο). Η μεταβολή της ακτινοβολίας θα μεταβάλει και την ισχύ των ΦΒ στοιχείων (Σχήμα 2.7). Με μεγαλύτερη ακτινοβολία, πιο πολλά

ηλεκτρόνια θα κινηθούν προς την υψηλότερη ενεργειακή κατάσταση η οποία θα έχει ως αποτέλεσμα, μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 2.7: Καμπύλη I-V σε διάφορες ακτινοβολίες και συνθήκες θερμοκρασίας

2.7 Ηλιακοί Συλλέκτες

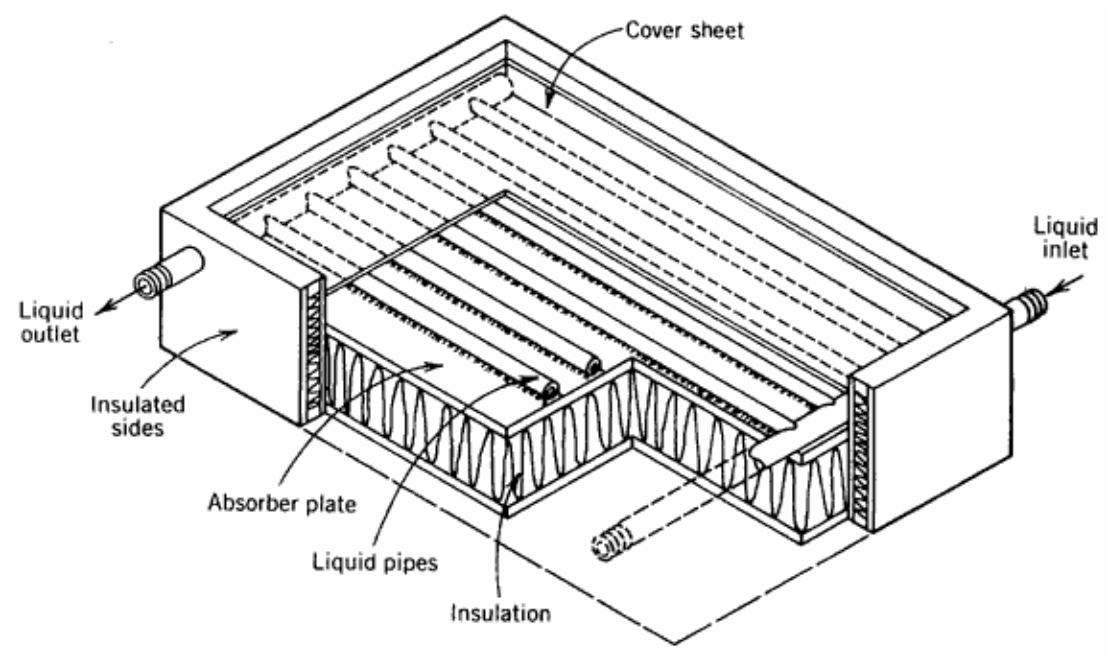
2.7.1 Ιστορική αναδρομή

Η πρώτη μορφή ηλιακού συλλέκτη είχε κατοχυρωθεί με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1909 από τον William J. Bailey στην Καλιφόρνια. Χρησιμοποιήθηκε η αρχή φυσικής κυκλοφορίας (θερμοσιφωνικά) , για την κυκλοφορία του ζεστού νερού και είχε μια δεξαμενή με μόνωση για να κρατήσει το νερό ζεστό καθ 'όλη τη διάρκεια της νύχτας. Η εταιρεία του Baily ονομάστηκε ‘Day and Night’ εταιρία ηλιακής θέρμανσης νερού’. Έκλεισε την επιχείρησή του κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1920, λόγω της ανακάλυψης του φθηνού φυσικού αερίου. Η αύξηση στις πωλήσεις ηλιακών συλλεκτών συνέβη στην δεκαετία του 1970 λόγω της ανόδου της τιμής του πετρελαίου. Τώρα είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο είδος συλλεκτών για οικιακή ηλιακή θέρμανση νερού. Πάνω από 57 εκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα ηλιακών συλλεκτών έχουν εγκατασταθεί σε παγκόσμιο επίπεδο.

2.7.2 Βασικές Αρχές

Ο ηλιακός συλλέκτης είναι ένα ειδικό είδος εναλλάκτη θερμότητας που μετατρέπει την ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα. Αποτελείται από ένα ορθογώνιο, μονωμένο και αδιάβροχο κουτί (Σχήμα 2.8), το οποίο περιέχει μια μαύρη απορροφητική πλάκα κάτω από ένα ή περισσότερα διαφανή καλύμματα. Η απορροφητική πλάκα έχει είσοδο και έξοδο πολλαπλών σωλήνων (manifolds) και κάτω από αυτή. Το εργαζόμενο ρευστό, νερό τις περισσότερες φορές, εισέρχεται από

το manifold. Η απορροφητική πλάκα απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία και θερμαίνει το ρευστό στο εσωτερικό των σωλήνων. Το ζεστό υγρό εξέρχεται από τον ηλιακό συλλέκτη από την έξοδο και ακολούθως στη δεξαμενή αποθήκευσης. Το εύρος λειτουργίας ενός ηλιακού συλλέκτη είναι από 0 ° C έως 100 ° C.

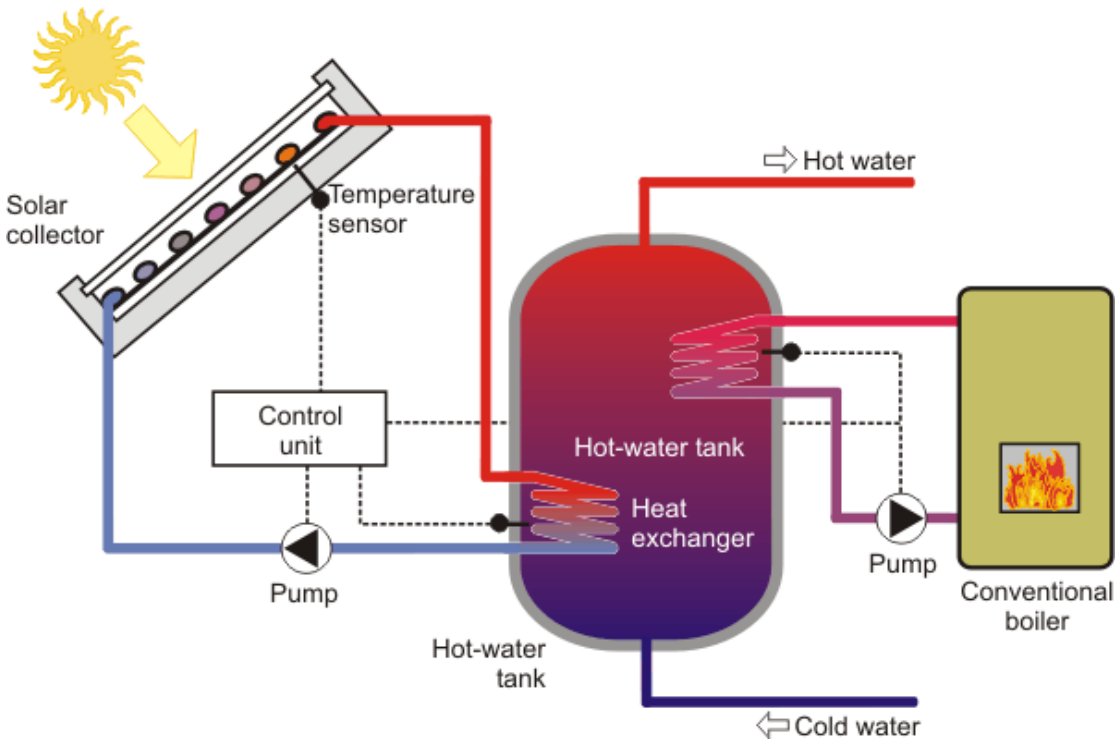


Σχήμα 2.8: Ηλιακός συλλέκτης

Υπάρχουν διάφορα συστήματα ηλιακής θέρμανσης νερού για οικιακή εφαρμογή. Πρώτα απ 'όλα μια δεξαμενή αποθήκευσης χρησιμοποιείται για την αποθήκευση και διατήρηση του νερού σε υψηλή θερμοκρασία. Επιπλέον, ένας ελεγκτής θερμοκρασίας είναι επίσης απαραίτητος προκειμένου το νερό στη δεξαμενή αποθήκευσης να μην υπερβαίνει μία συγκεκριμένη θερμοκρασία. Στις περισσότερες από τις εφαρμογές, χρησιμοποιείται θερμοστάτης για τη θέρμανση του νερού σε συννεφιασμένη ή κρύα ημέρα (Σχήμα2.9).

Υπάρχουν τα συστήματα *ανοικτού βρόχου*, όπου το ρευστό μέσα στο συλλέκτη είναι ίδιο με το ρευστό της δεξαμενής αποθήκευσης, και τα συστήματα *κλειστού βρόχου*, όπου το ρευστό μέσα στο συλλέκτη είναι διαφορετικό. Η τελευταία χρησιμοποιείται για αποφυγή δημιουργίας πάγου στο εσωτερικό του συλλέκτη σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από 0 ° C.

Υπάρχει επίσης και το παθητικό σύστημα όπου η κυκλοφορία του ρευστού γίνεται με τη βοήθεια της φυσικής κυκλοφορίας και το ενεργό σύστημα ή αναγκαστικής κυκλοφορίας, όπου η κυκλοφορία γίνεται με τη χρήση αντλίας



Σχήμα 2.9: Κλειστό κύκλωμα, ενεργού θερμικού συστήματος με βοηθητικού θερμοστάτη

2.7.3 Απόδοση ηλιακού συλλέκτη

Η στιγμιαία απόδοση n ενός ηλιακού συλλέκτη μπορεί να ορίζεται ως ο λόγος της ωφέλιμης θερμότητας $\dot{Q}$ [W] παρέχεται ανά επιφάνεια A [m²] και η ένταση της ακτινοβολίας I [W / m²] (Εξίσωση 1.6).

$$n = \frac{\dot{Q}}{A.I} \qquad (1.6)$$

Όταν, η χρήσιμη θερμότητα είναι σχετική με το ρυθμό ροής $\dot{m}$ [σε kg / sec], ειδική θερμότητα σε σταθερή πίεση C [KJ / kg ° K], και θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου από την (Εξίσωση 1.7).

$$\dot{Q} = \dot{m}c\,(T_{out} - T_{in}) \qquad (1.7)$$

Τέλος, η στιγμιαία απόδοση του ηλιακού συλλέκτη υπολογίζεται από την (Εξίσωση 1,8)

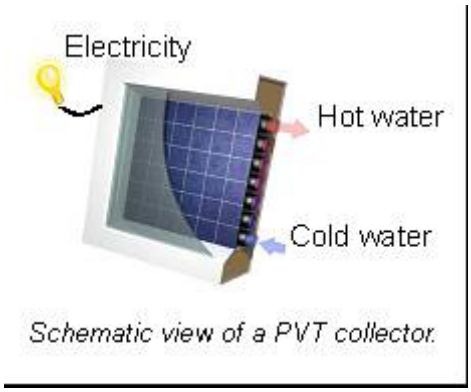
$$n = \frac{\dot{m}c\,(T_{out} - T_{in})}{A.I} \qquad (1.8)$$

Κεφάλαιο 3: Υβριδικά Φωτοβολταϊκά-Θερμικά συστήματα (ΦΒ/Θ)

3.1 Βασικές Αρχές

Τα υβριδικά ΦΒ/Θ συστήματα αποτελούνται από φωτοβολταϊκά πλαίσια με ενσωματωμένη θερμική μονάδα απολαβής της θερμότητας όπου κυκλοφορεί το εργαζόμενο μέσο. Με τη χρήση της θερμότητας που παράγεται στο ΦΒ , η συσκευή ΦΒ/Θ δεν παράγει μόνο ηλεκτρική, αλλά και θερμική ενέργεια.

Ένας κοινός ΦΒ/Θ συλλέκτης είναι εφοδιασμένος με ΦΒ στοιχεία που συνδέονται με μία απορροφητική πλάκα (Σχήμα 3.1). Σκοπός της απορροφητικής πλάκας είναι διπλός. Πρώτον, για την ψύξη των ΦΒ, βελτιώνοντας την ηλεκτρική του απόδοση και, δεύτερον, να συλλέγει τη θερμική ενέργεια που παράγεται. Η θερμότητα που συλλέγεται μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορες εφαρμογές, όπως ζέσταμα νερού για οικιακή χρήση ή για βιομηχανικούς σκοπούς σε βιομηχανίες τροφίμων και κλωστοϋφαντουργίας.



Σχήμα 3.1: Σχηματική απεικόνιση ΦΒ/Θ συλλέκτη

3.2 Ιστορική αναδρομή ΦΒ/Θ

Οι ηλιακοί συλλέκτες ήταν γνωστοί και εμπορικά διαθέσιμοι από τον 19ο αιώνα. Τα ΦΒ στοιχεία έγιναν ευρέως εμπορικά διαθέσιμα κατά τη δεκαετία του 1950, αλλά χρησιμοποιόνταν μόνο από την διαστημική βιομηχανία. Ωστόσο, μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973, η έρευνα για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυξήθηκαν ραγδαία όπου ενθαρρυνόταν έντονα από τις κυβερνήσεις. Αυτή ήταν η αρχή για να ξεκινήσει η έρευνα για τα ΦΒ/Θ.
Η πρώτη εργασία πάνω στα ΦΒ/Θ με επίπεδους συλλέκτες έγινε από τον Martin Wolf, το 1976. Το συμπέρασμά της έρευνας ήταν ότι αυτό το είδος συστήματος είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτή.

Η έρευνα για τα ΦΒ/Θ νερού συνεχίστηκε από διάφορες ομάδες και επιστήμονες. Μία από αυτές τις ομάδες ήταν από το MIT και τον καθηγητή Boer, που το 1978 εγκατέστησε 13 συλλέκτες ΦΒ/Θ (νερού) στο σπίτι του. Το ίδιο έτος, στο εργαστήριο Lincoln του MIT κατάφεραν να αποκτήσουν τρεις πρωτότυπους επίπεδους συλλέκτες ΦΒ/Θ κανονικών διαστάσεων. Αυτοί οι τρεις συλλέκτες κατασκευάστηκαν από την ARCO (η ARCO κατασκεύασε και ΦΒ/Θ και νερού και αέρα) και την Spectrolab (η Spectrolab κατασκεύασε ΦΒ/Θ μόνο αέρα).

Παρότι οι περισσότερες έρευνες γίνονταν στην Αμερική, κάποιες ερευνητικές προσπάθειες γίνονταν και σε ορισμένα άλλα μέρη του κόσμου. Στην Ιαπωνία, η Sharp κατασκεύασε δύο πρωτότυπους επίπεδους ΦΒ/Θ συλλέκτες. Στην Γερμανία, η Karl, μαζί με την AEG-Telefunken, ανέπτυξαν και δοκίμασε φωτοβολταϊκό από κρυσταλλικό πυρίτιο (c-Si) με γυάλινο κάλυμμα. Διάφορες μελέτες πάνω στα ΦΒ/Θ συστήματα με συμπυκνωτές έγιναν επίσης και στη Γαλλία.

Ωστόσο, το 1982 λόγω της πετρελαϊκής κρίση δημιουργήθηκε μεγάλο παγκόσμιο ενδιαφέρον προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και κυρίως προς την ηλιακή ενέργεια. Παρόλα αυτά, στην Αμερική το ενδιαφέρον προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν ήταν το ίδιο έντονο. Κατά τη διάρκεια της διακυβέρνησης Ρίγκαν, ο περιορισμός των χρηματοδοτήσεων στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προκάλεσε την παύση όλων των ερευνών. Μόνο μετά από μια δεκαετία, το ενδιαφέρον για ΦΒ/Θ αυξήθηκε εκ νέου και πολλά ιδρύματα σε συνεργασία με τις μεταποιητικές εταιρείες άρχισαν την έρευνα σχετικά με ΦΒ/Θ.

3.2.1 Προηγούμενες έρευνες

Μια σειρά μελετών, τόσο θεωρητικές και πειραματικές, διενεργήθηκαν μετά την πρώτη εμφάνιση του ΦΒ/Θ στη δεκαετία του 1970. Οι μελέτες αυτές χρησιμοποιούσαν αναλυτικά και πειραματικά μοντέλα, λογισμικά προσομοίωσης και επιπλέον επικεντρώθηκαν σε διάφορες παραμέτρους που επηρεάζουν την απόδοση ενός ΦΒ/Θ.

Για να προβλεφθεί η απόδοση του ΦΒ/Θ συλλέκτη, δημιουργήθηκαν ορισμένα αναλυτικά μοντέλα. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιούσαν κυρίως τη θεωρία των ηλιακών συλλεκτών και δημιούργησαν νέα αναλυτικά μοντέλα που προσπαθούσαν να λάβουν υπόψη την παρουσία των ηλιακών στοιχείων στην απορροφητική πλάκα.

Ο Florschuetz τροποποίησε το πρότυπο Hottel-Willier για επίπεδους συλλέκτες, προκειμένου να παραμείνει συμβατό με τις ήδη υπάρχουσες ενδείξεις και πληροφορίες στη βιβλιογραφία. Για παράδειγμα, για πρακτικούς λόγους ο συντελεστής απόδοσης F' και ο παράγοντας απομάκρυνσης θερμότητας F_R μπορεί να θεωρηθεί παρόμοιο με το F και F_R των κοινών θερμικών ηλιακών συλλεκτών.

Οι Bergene και Lovvik ανέπτυξαν ένα λεπτομερές μοντέλο για την πρόβλεψη της απόδοσης των ΦΒ/Θ συλλέκτων. Βασίστηκε στην ανάλυση μεταφοράς ενέργειας και χρησιμοποίησε τα μοντέλα των Duffie και Beckman για ηλιακούς συλλέκτες. Αυτό το μοντέλο προέβλεπε ότι η συνολική απόδοση των ΦΒ/Θ, ηλεκτρική και θερμική μαζί, είναι κάπου μεταξύ 60-80%.

Οι Sandnes και Rekstag ανέπτυξαν ένα αναλυτικό μοντέλο για τους ΦΒ/Θ συλλέκτες. Τροποποίησαν επίσης το μοντέλο των Hottel και Willier για επίπεδους συλλέκτες, λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις των ηλιακών στοιχείων. Επίσης ανέπτυξαν και δοκίμασαν ένα PV /T συλλέκτη όπου διαπίστωσαν ότι το μοντέλο που προτείναν είχε παρόμοια αποτελέσματα με το πειραματικό έργο τους.

Οι Τριπαναγνοστόπουλος και Καλογύρου μοντελοποίησαν και προσωμοίωσαν ένα ΦΒ/Θ σε τρεις διαφορετικές θέσεις σε, Αθήνα/Ελλάδα, Λευκωσία/Κύπρος και Μάντισον/Ουισκόνσιν ΗΠΑ. Συμπέραναν ότι ένα μη υβριδικό σύστημα PV παράγει περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια κατά 30% περίπου αλλά το σύστημα ΦΒ/Θ καλύπτει, ανάλογα με τη θέση, ένα μεγάλο ποσοστό της εσωτερικής ανάγκης ζεστού νερού ενός σπιτιού.

Παράλληλα με τις προσομοιώσεις και τη μοντελοποίηση, πραγματοποιήθηκαν διάφορες πειραματικές μελέτες που προσπάθησαν να ερευνήσουν την απόδοση των διάφορων συλλεκτών ΦΒ/Θ, έχοντας διαφορετικά ηλιακά κύτταρα με ή χωρίς συγκεντροτικούς καθρέφτες. Ο Τριπαναγνοστόπουλος και οι συνεργάτες του κατσκεύασαν και δοκίμασαν καλυμμένους και ακάλυπτους συλλέκτες ΦΒ/Θ νερού και αέρα. Χρησιμοποίησαν τους διασκορπισμένους ανακλαστήρες κατασκευασμένοι από επίπεδα φύλλα αλουμινίου και διαπίστωσαν ότι η απόδοση των συλλεκτών ΦΒ/Θ ήταν υψηλότερη. Παραδείγματος χάριν ένα σύστημα PC-Si ΦΒ/Θ με έναν διάχυτο ανακλαστήρα που έχει μια αναλογία συγκέντρωσης C= 1.35 μπορεί να οδηγήσει σε μια υψηλότερη ηλεκτρική απόδοση μέχρι και 19.2%.

Ο Zondag σύγκρινε την απόδοση επτά διαφορετικών συστημάτων ΦΒ/Θ. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1.

Panel type	Thermal efficiency	Electrical efficiency
PV panel	–	0.097
Sheet and tube PV/T, no cover	0.52	0.097
Sheet and tube PV/T, 1 cover	0.58	0.089
Sheet and tube PV/T, 2 covers	0.58	0.081
PV/T collector with cannel above PV	0.65	0.084
PV/T collector with cannel below opaque PV	0.60	0.090
PV/T collector with cannel below transparent PV	0.63	0.090
Free flow PV/T collector	0.64	0.086
Two-absorber PV/T collector (insulated type)	0.66	0.085
Two-absorber PV/T collector (noninsulated type)	0.65	0.084
Thermal collector	0.83	–

Πίνακας 3.1: Θερμική απόδοση των διάφορων συλλεκτών ΦΒ/Θ

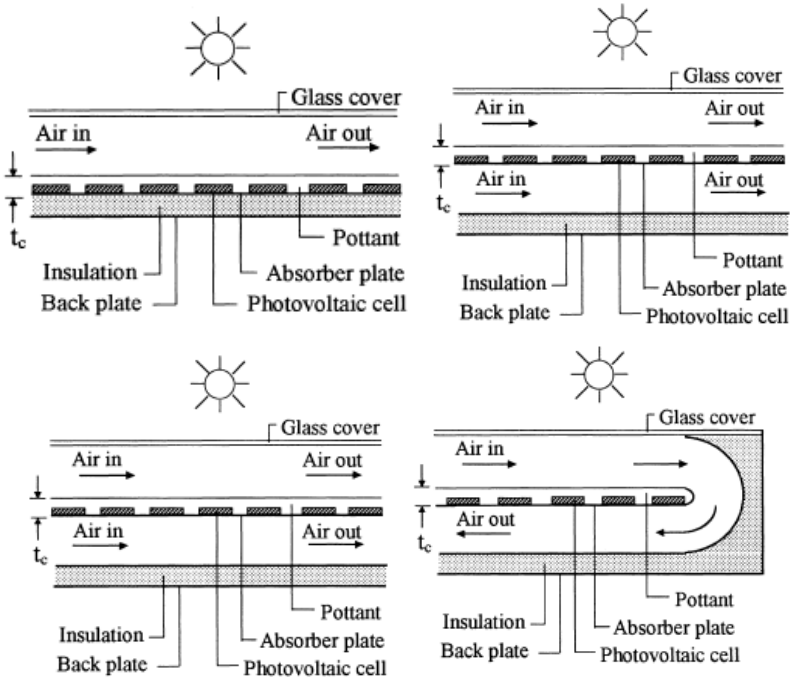
3.3 Τύποι ΦΒ/Θ συσκευών

Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι ΦΒ/Θ και κατατάσσονται ανάλογα με το εργαζόμενο ρευστό που χρησιμοποιούν. Το ρευστό μπορεί να είναι είτε το νερό, οπότε τα ΦΒ/Θ ονομάζονται ΦΒ/Θ υγρού ή νερού, ή του αέρα, οπότε ονομάζονται ΦΒ/Θ αέρα.

3.3.1 ΦΒ/Θ αέρα

Είναι κυρίως σχεδιασμένα ώστε να χρησιμοποιούν απευθείας τον αέρα για θέρμανση χώρου και για χώρες όπου η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος κυμαίνεται μεταξύ 15 και 25 ° C [10]. Εμπορικά γιάλυνα ΦΒ/Θ αέρα είναι επίσης διαθέσιμα, ώστε να μειωθεί το κόστος και για πιο αποτελεσματική ψύξη των ηλιακών στοιχείων. Λόγω του υψηλού κόστους τους και των περιορισμένων εφαρμογών, τα ΦΒ/Θ αέρα έχουν μερίδιο αγοράς μικρότερο από 1% της παγκόσμιας αγοράς ηλιακού συλλέκτη. Ωστόσο, εκτιμάται ότι η ζήτηση για τα συστήματα αυτά θα αυξηθεί στο μέλλον.

Οι ΦΒ/Θ συλλέκτες αέρα κατηγοριοποιούνται, σύμφωνα με τα πρότυπα ροής του αέρα. Οι κατηγορίες είναι: ροή πάνω από τον απορροφητήρα, κάτω από τον απορροφητήρα, και στις δύο πλευρές του απορροφητήρα και στο διπλό πέρασμα (Σχήμα 3.2).



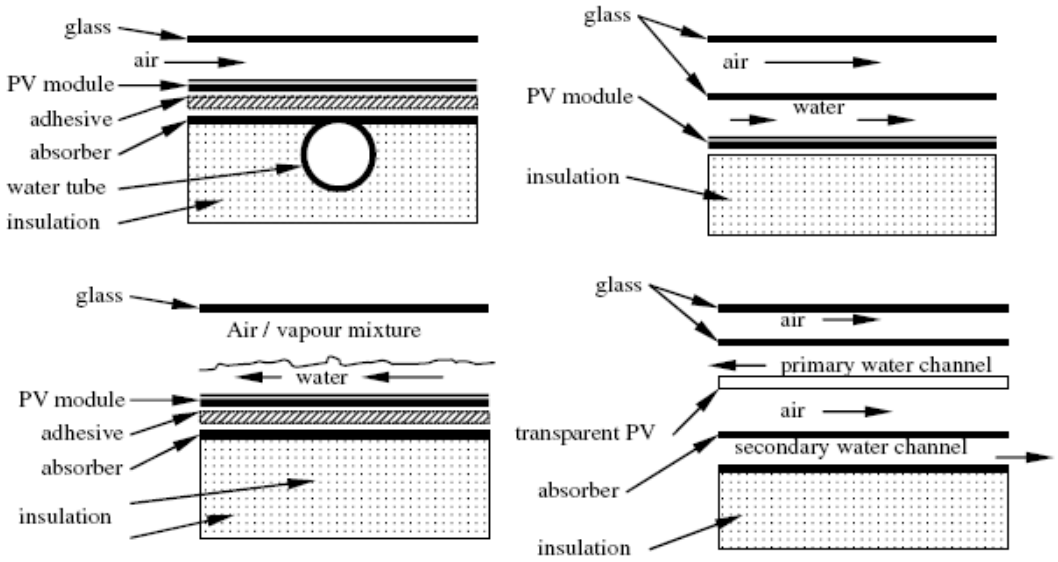
Σχήμα 3.2: Τύποι συλλέκτη ΦΒ/Θ αέρα

3.3.2 ΦΒ/Θ νερού

Η απαγωγή θερμότητας με κυκλοφορία νερού θεωρείται πιο πρακτική στις περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη από τους 20C^o, επειδή η θερμοκρασία του νερού του δικτύου είναι κάτω από τους 20 C^o σχεδόν όλο το χρόνο. Γενικά τα ΦΒ/Θ συστήματα νερού είναι πιο ελκυστικά λόγω της φύσης του ρευστού που επιτρέπει καλύτερη εξαγωγή θερμότητας και με αυτά θα ασχοληθούμε στην εργασία αυτή.

Η απόδοση του ΦΒ/Θ έχει να κάνει με τον τύπο της μονάδας απαγωγής θερμότητας που χρησιμοποιείται γιατί η απόδοση στην συναλλαγή θερμικής ενέργειας από το ΦΒ καθορίζει την απόδοση μετατροπής και του ηλεκτρισμού και της θερμότητας

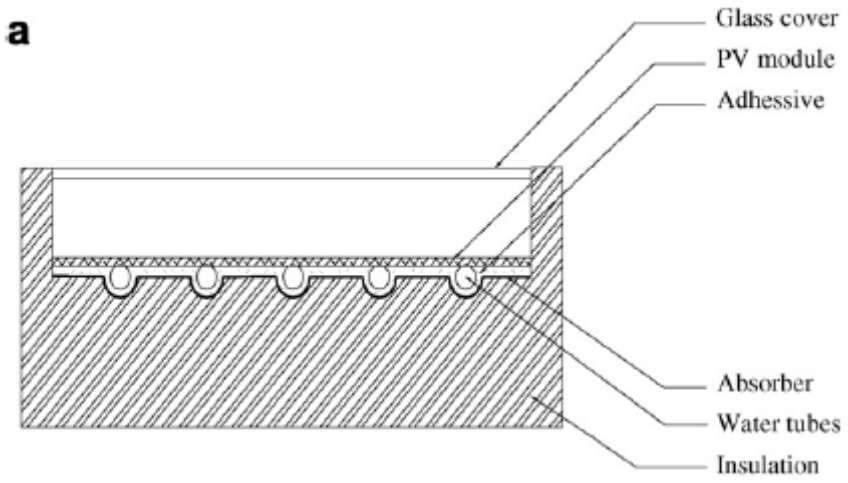
Τα συστήματα ΦΒ/Θ νερού κατατάσσονται σε κατηγορίες σύμφωνα με τα πρότυπα ροής του νερού. Οι κατηγορίες είναι: οι επίπεδοι συλλέκτες (flatplate collectors ή sheet-and-tube PVT-collectors), οι συλλέκτες ΦΒ/Θ με κανάλια (channel PVT-collectors), οι ελεύθερης ροής ΦΒ/Θ συλλέκτες (free flow PVT-collectors), και οι ΦΒ/Θ συλλέκτες διπλής απορρόφησης (two-absorber PVT-collectors). (Σχήμα 3.3)



Σχήμα 3.3: Τύποι συλλέκτη ΦΒ/Θ νερού

3.3.2.1 Τύποι ΦΒ/Θ νερού

a. Οι **επίπεδοι συλλέκτες** (flat-plate collectors ή sheet-and tube PVT-collectors) είναι οι πιο διαδεδομένοι και παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες με τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες. Η μόνη σημαντική διαφορά όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί είναι τα φωτοβολταϊκά πανέλ που είναι προσαρτημένα στην κορυφή της απορροφητική πλάκας



Σχήμα 3.4: Διατομή επίπεδου συλλέκτη

b. **Οι συλλέκτες ΦΒ/Θ με κανάλια** (channel PVT-collectors) φαίνονται στο ακόλουθο σχήμα. Αυτού του τύπου οι συλλέκτες υπόκεινται σε περιορισμούς όσον αναφορά τον τύπο του υγρού που θα χρησιμοποιηθεί. Το απορροφητικό φάσμα του υγρού που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να είναι αρκετά διαφορετικό από το απορροφητικό φάσμα του φωτοβολταϊκού ώστε να επιτρέπει στο φωτοβολταϊκό να απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία. Το μειονέκτημα αυτού του τύπου είναι ότι εάν χρησιμοποιηθεί αρκετά πλατύ κανάλι , το γυάλινο κάλυμμα θα πρέπει να είναι μεγάλο και αρκετά παχύ για να αντέξει την πίεση του νερού.

c. **Οι ελεύθερης ροής ΦΒ/Θ συλλέκτες** (free flow PVT collectors).
Σε αυτούς τους συλλέκτες η ροή του νερού γίνεται πάνω από τον απορροφητή χωρίς περιορισμό όπως φαίνεται στην φωτογραφία που ακολουθεί. Σε σύγκριση με τους συλλέκτες ΦΒ/Θ με κανάλια εδώ δεν έχουμε το επιπλέον γυάλινο κάλυμμα. Κατά συνέπεια η αντανάκλαση και το κόστος υλικών μειώνεται, ενώ επιπρόσθετα το πρόβλημα αντοχής του επιπλέον γυαλιού εξαλείφεται. Στον αντίποδα το μειονέκτημα του είναι οι αυξημένες θερμικές απώλειες λόγω εξάτμισης.

d. **Οι ΦΒ/Θ συλλέκτες διπλής απορρόφησης** (two-absorber PVT-collectors) χρησιμοποιούν ένα διάφανο φωτοβολταϊκό φύλλο σαν κύριο απορροφητή και μια μαύρη μεταλλική πλάκα σαν δεύτερο απορροφητή. Το σύστημα έχει δύο κανάλια το ένα πάνω στο άλλο. Η εισαγωγή του νερού γίνεται από το πάνω κανάλι και η επιστροφή από το κάτω κανάλι.

e. **ΦΒ/Θ συλλέκτες συγκέντρωσης**.
Το κόστος των ηλιακών στοιχείων είναι αρκετά υψηλό και έτσι οι συγκεντρωτές χρησιμοποιούνται συχνά για να αυξηθεί το επίπεδο ακτινοβολισμού στο στοιχείο. Αυτό οδηγεί στην αύξηση της απόδοσης του συστήματος. Ως αποτέλεσμα, η τιμή των εν λόγω συστημάτων είναι πολύ υψηλότερη σε σύγκριση με της επίπεδης πλάκας ΦΒ/Θ. Τα συστήματα αυτά είναι κατάλληλα για ξενοδοχεία και αθλητικές εγκαταστάσεις (Σχήμα 3.5).

i) επίπεδοι συλλέκτες

ii) ΦΒ/Θ συγκέντρωσης

Σχήμα 3.5: Συστήματα ΦΒ/Θ συλλεκτών

Κεφάλαιο 4: Προσομοίωση με λογισμικό Energy Plus

4.1 Εισαγωγή

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα και τις προδιαγραφές από τις κατασκευαστικές εταιρίες των ΦΒ και ΦΒ/Θ , πραγματοποιήθηκαν προσομοιώσεις της ενεργειακής απόδοσης ενός τυπικού σπιτιού με λογισμικό Energy Plus. Το τμήμα προσομοίωση αποτελείται από δύο μέρη τα οποία είναι:

- Μοντελοποίηση σπιτιού με ΦΒ σύστημα
- Μοντελοποίηση σπιτιού με ΦΒ/Θ σύστημα

4.2 Energy Plus

Το λογισμικό Energy Plus είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης κατανάλωσης ενέργειας για τη μοντελοποίηση θέρμανσης κτιρίων, ψύξης, φωτισμού, αερισμού, και άλλων ροών ενέργειας και έχει αναπτυχθεί από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ. Αν και βασίζεται στα πιο δημοφιλή χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες των BLAST και DOE-2, περιλαμβάνει πολλές καινοτόμες δυνατότητες προσομοίωσης, όπως είναι τα βήματα με χρόνο λιγότερο από μία ώρα.

Το λογισμικό ενεργειακής ανάλυσης και προσομοίωσης κτιρίων Energy Plus αποτελεί ένα εξαιρετικά ευέλικτο και προσαρμοστικό λογισμικό ανοιχτού κώδικα, το οποίο παρέχεται χωρίς χρέωση. Η λειτουργία του απαιτεί την φυσική περιγραφή του υπό μελέτη κτιρίου μέσω σχεδιαστικού λογισμικού CAD, στην παρούσα εργασία έχει γίνει στο Google Sketch Up, την εισαγωγή των κατασκευαστικών του δεδομένων, το διαχωρισμό του σε θερμικές ζώνες, την αναλυτική εισαγωγή των εσωτερικών κερδών, την εισαγωγή των μετεωρολογικών δεδομένων, την ενσωμάτωση των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, κλπ.

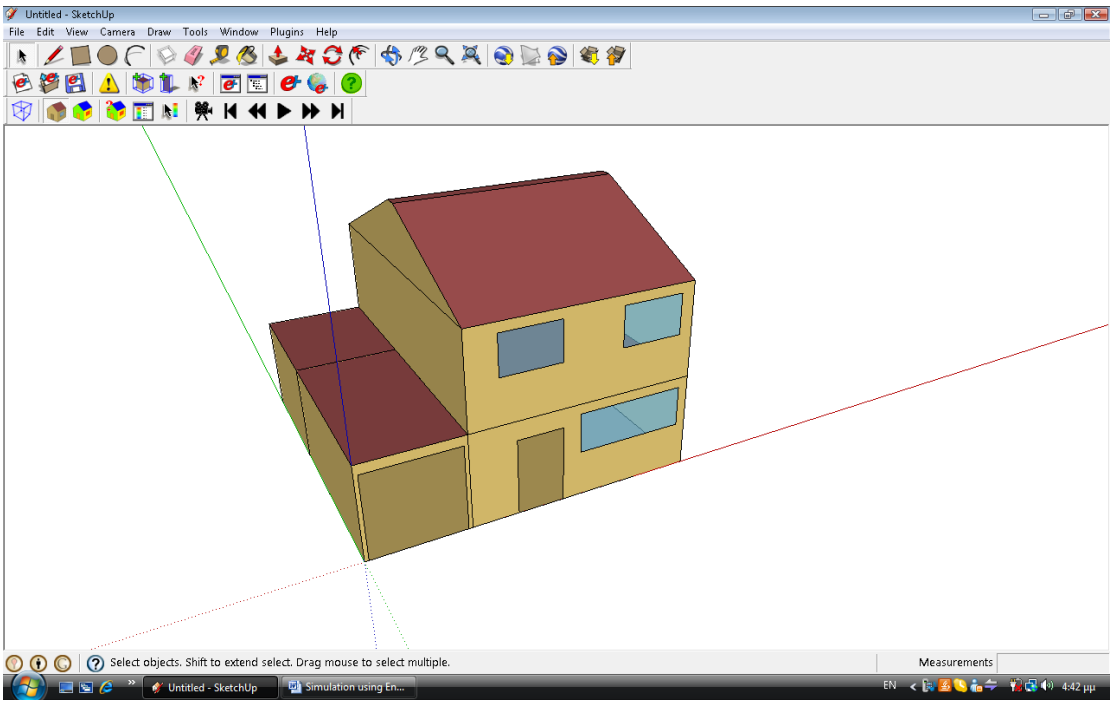
Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού σε ωριαία βάση, των θερμικών και ψυκτικών φορτίων του κτιρίου, της ενεργειακής κατανάλωσης των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης, τον υπολογισμό των θερμοκρασιών των θερμικών ζωνών καθώς και των επιφανειακών εσωτερικών και εξωτερικών θερμοκρασιών των δομικών στοιχείων, κλπ.

4.3 Google Sketch Up

Για να προσομοιωθεί ένα σπίτι στο Energy Plus, πρέπει να εισαχθεί η γεωμετρία του σπιτιού από ένα λογισμικό με μια πιο κατάλληλη επιφάνεια εργασίας. Το Open Studio, το οποίο στην πραγματικότητα είναι το γνωστό λογισμικό Google Sketch Up

με ένα επιπλέον plug-in που εκδίδετε από το Υπουργείο Ενέργειας των ΗΠΑ, είναι το κατάλληλο λογισμικό. Το Google Sketch Up είναι ένα λογισμικό ικανό να δημιουργήσει 3D μοντέλα πιο εύκολα από οποιοδήποτε άλλο πρόγραμμα CAD. Είναι κατάλληλο για αρχιτέκτονες και πολιτικούς μηχανικούς. Με το Open Studio plug-in ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί τα εργαλεία του Energy Plus για να δημιουργήσει και να επεξεργαστεί ενεργειακές ζώνες και επιφάνειες.

Η γεωμετρία μιας τυπικής οικίας συμπεριλαμβανομένων σχεδιαστικών υλικών τα οποία είναι διαθέσιμα από το Google Sketch Up, παρουσιάζονται στο (σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1: Νοτιοδυτική όψη του σπιτιού

Ο σχεδιασμός στο Google Sketch Up είναι απλός και εύχρηστος στον κάθε χρήστη χωρίς να είναι εξειδικευμένος σε προγραμμα cad.

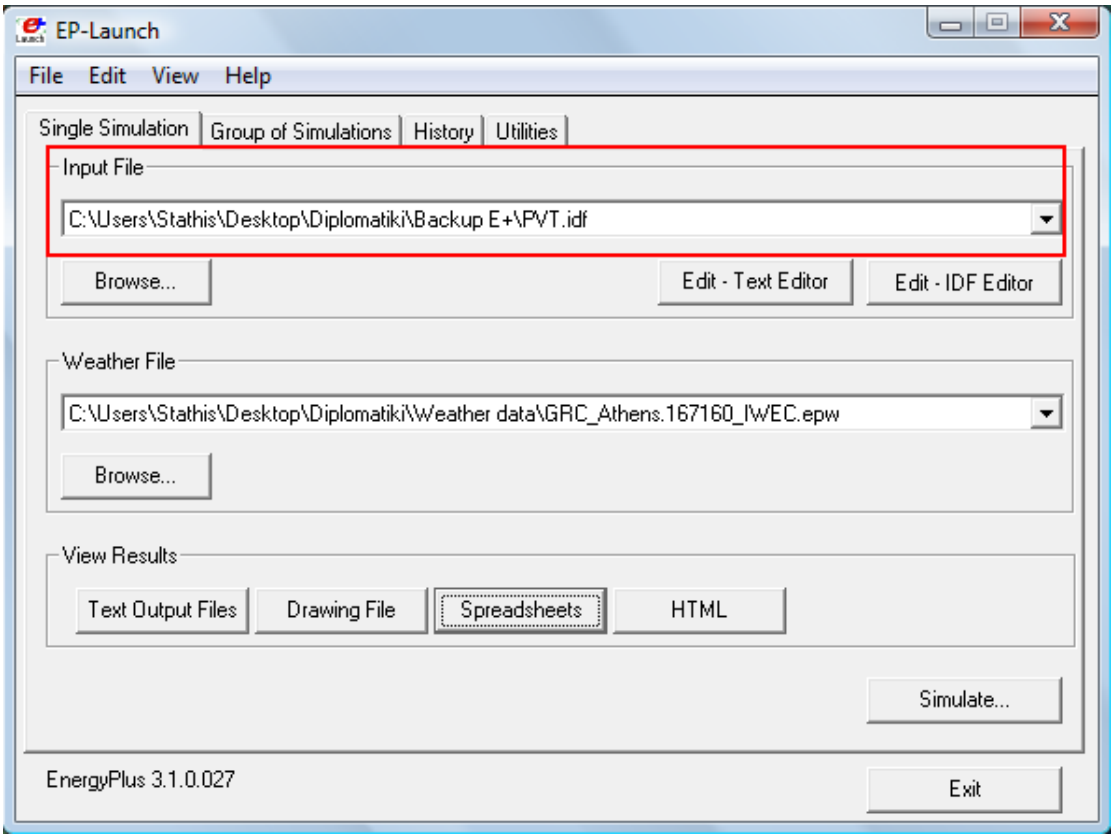
Αρχικά, καθορίζουμε ότι το μοντέλο που πρόκειται να σχεδιάσουμε θα είναι εισερχόμενο δεδομένο του Energy Plus χρησιμοποιώντας το εικονίδιο e^+ που βρίσκεται στη δεύτερη σειρά επιλογών.

Το πρώτο βήμα στο σχεδιασμό είναι η χοροθέτηση της επιφάνεια της οικίας και ακολούθως με το εικονίδιο push/pull θέτουμε το ύψος. Τα παράθυρα, οι πόρτες, και γενικά επιφάνειες με μεγάλο ποσοστό μεταφοράς θερμότητας (U Value), εισέρχονται ως δεδομένα στο πρόγραμμα Energy Plus. Δεν επιρεάζουν όμως τα αποτέλεσματα της μελέτης μας καθώς μας ενδιαφέρει μόνο η παραγωγή ενέργειας από τα φωτοβολταικά και όχι η θερμική απόδοση της οικίας. Με απλούς χειρισμούς σχεδιάστηκε μία τυπική οικία 140 τ.μ.

Η τοποθέτηση των ΦΒ πλαισίων στο σχεδιαστικό γίνεται με σκιασμένες επιφάνειες (shading surfaces).

Το σχεδιαστικό, περιέχει πολλές πληροφορίες όπως ο όγκος της οικίας, ο προσανατολισμός, οι επιφάνειες εναλλαγής θερμότητας, το μέγεθος των ΦΒ. Όλες αυτές οι πληροφορίες, με την βοήθεια του plug-in Open Studio, του Google Sketchup, εισέρχονται ως δεδομένα στο Energy Plus.

Στην κύρια κονσόλα του λογισμικού, σχήμα 4.2, εισέρχεται το σχεδιαστικό ως Input File.

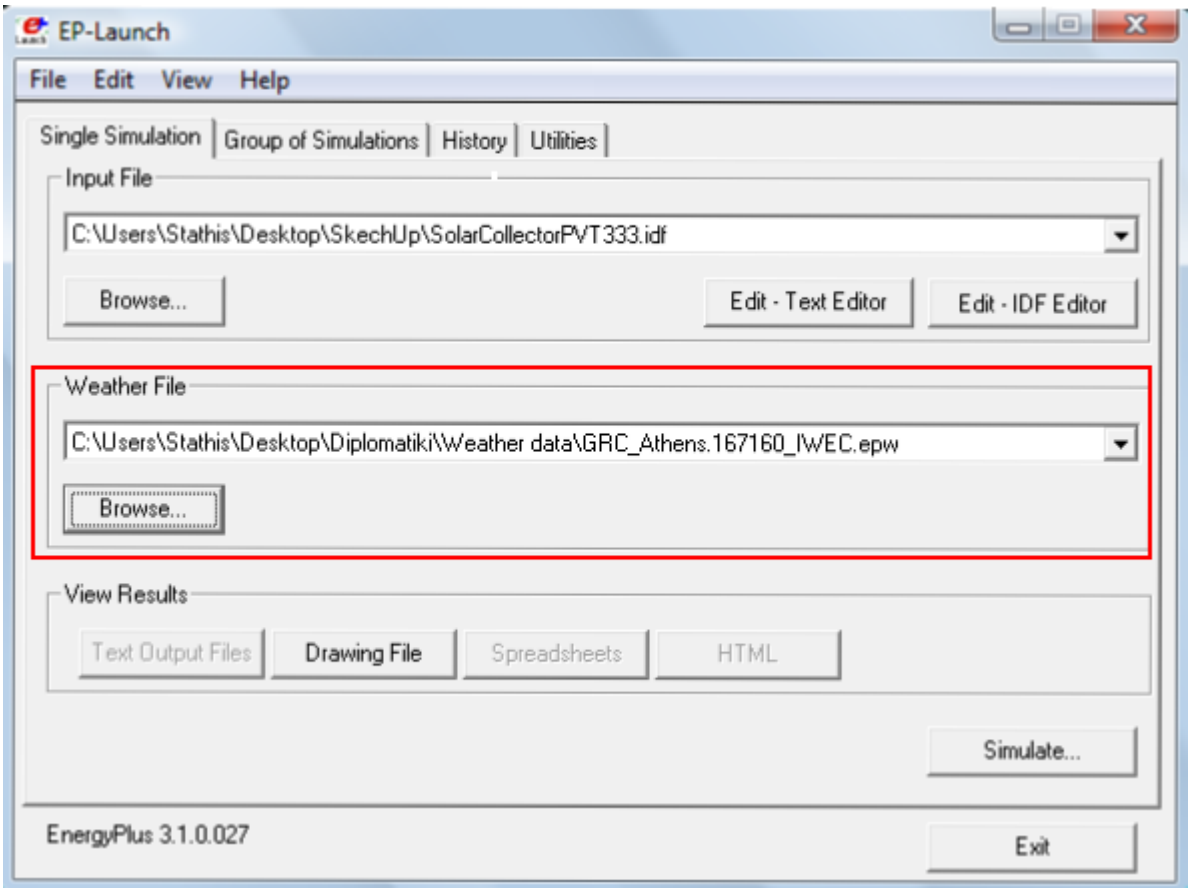


. Σχήμα 4.2: Εισαγωγή κατασκευαστικών δεδομένων στο Energy Plus

4.4 Μετεωρολογικά Δεδομένα (Weather data/ Energy Plus)

Για την προσομοίωση και τον υπολογισμό της ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας που παράγουν τα ΦΒ και ΦΒ/Θ, χρειαζόμαστε πακέτα μετεωρολογικών δεδομένων τα οποία θα εισαχθούν στο λογισμικό ώστε να γίνει η κατάλληλη προσομοίοση. Στην ιστοσελίδα του Energy Plus μπορούμε να βρούμε καιρικά στοιχεία για περισσότερες από 2100 τοποθεσίες παγκόσμια, από τις οποίες για την Ελλάδα βρίσκουμε τις πόλεις των Αθηνών, Θεσσαλονίκης, Ανδραβίδας και για την Κύπρο την πόλη της Λάρνακας.

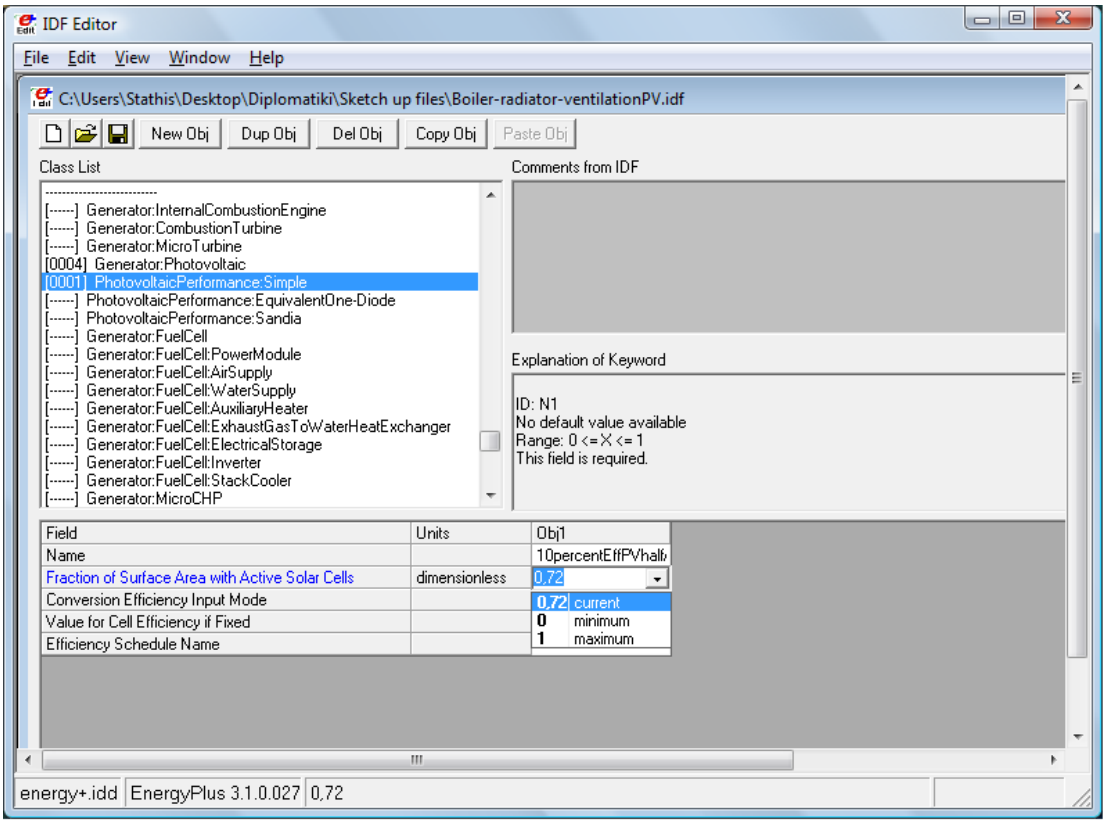
Τα μετεωρολογικά δεδομένα εισέρχονται κι αυτά μέσω της κύριας κονσόλας, (σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3: Εισαγωγή μετεωρολογικών δεδομένων στο Energy Plus

4.5 Εισαγωγή Δεδομένων - IDF Editor

Το IDF Editor παρέχει στο χρήστη ένα απλό και εύκολο τρόπο για την δημιουργία ή επεξεργασία των εισερχόμενων αρχείων δεδομένων (IDF). Κάθε εισερχόμενο δεδομένο μπορεί να μελετηθεί και να επεξεργαστεί χρησιμοποιώντας ένα υπολογιστικό φύλλο σε μορφή πλέγματος. Για δεδομένα με ορισμένες επιλογές, οι επιλογές αυτές παρέχονται σε λίστα για την εύκολη επιλογή τους από το χρήστη. Όταν το δεδομένο είναι αριθμητικό, εμφανίζεται το εύρος στο οποίο πρέπει να βρίσκεται. Παρέχει επίσης αυτόματα μια λίστα με τα ονόματα των αντικειμένου, όταν ένα αντικείμενο πρέπει να συνδέεται με ένα άλλο. Με την εμφάνιση όλων των αντικειμένων του ίδιου τύπου το ένα δίπλα στο άλλο σε ένα πλέγμα, είναι εύκολο να δούμε τις διαφορές των δεδομένων στο κτίριο.



Σχήμα 4.4: IDF Editor

Τα κύρια κεφάλαια εισαγωγής δεδομένων είναι:

- Παραμέτροι προσομοίωσης
- Τοποθεσίας και κλίματος
- Δομικά στοιχεία επιφάνειας
- Θερμικές ζώνες και επιφάνειες
- Ηλιακοί συλλέκτες
- Ηλεκτρικό φορτίο - προδιαγραφές γεννήτριας

Από τα οποία όσα έχουν σχέση με κατασκευαστικές προδιαγραφές και γεωμετρίας του κτιρίου εισάγονται αυτόματα μέσω google sketch up, καθώς επείσης και τα μετεωρολογικά δεδομένα.

Για την διαμόρφωση, μοντελοποίειση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας στο Energy Plus δίνεται η δυνατότητα προσομοίωσης σε τρία διαφορετικά μοντέλα ΦΒ.

4.5.1 Μοντέλα προσομοίωσης

Το Energy Plus δίνει τη δυνατότητα να προσομοιώσει τρία διαφορετικά μοντέλα ΦΒ που αναφέρονται ως Simple (Απλή), Equivalent One-Diode (Ισοδύναμη μιας-διόδου) και Sandia. Κάθε ένα από αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιεί διαφορετικά δεδομένα εισόδου και διαφορετικά μαθηματικά μοντέλα κατά τη διαδικασία προσομοίωσης.

Το μοντέλο Simple **(Απλή)** περιγράφει το απλούστερο μοντέλο για την πρόβλεψη της φωτοβολταϊκής παραγωγής ενέργειας. Στο μοντέλο αυτό ο χρήστης μπορεί να καθορίσει τον βαθμό απόδοσης με τον οποίο οι σκιασμένες επιφάνειες (ΦΒ πλαίσια) μετατρέπουν την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Η χρησιμοποιήσιμη ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από μια επιφάνεια ΦΒ με αυτό το μοντέλο είναι:

$$P = A_{surf} \cdot f_{activ} . G_T . n_{cell} n_{invert} \qquad (4.1)$$

Όπου:

P : Παραγόμενη Ηλεκτρική ισχύς [W]

A_{surf} : Καθαρό εμβαδόν της επιφάνειας των ΦΒ [m²]

f_{activ} : Αναλογία επιφάνειας των ΦΒ με ενεργητικά ηλιακά κύτταρα

G_T : Συνολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην ΦΒ συστοιχία [W / m²]

n_{cell} : Απόδοση μετατροπής πλαισίου

n_{invert} : Απόδοση μετατροπής από DC σε AC

Το σημαντικό χαρακτηριστικό για αυτό το μοντέλο είναι ότι εκτός από την ηλιακή ακτινοβολία, που είναι μέρος των αρχείων Μετεωρολογικών Δεδομένων (Weather Data) όλα τα υπόλοιπα δεδομένα εισόδου δίνονται από τον χρήστη.

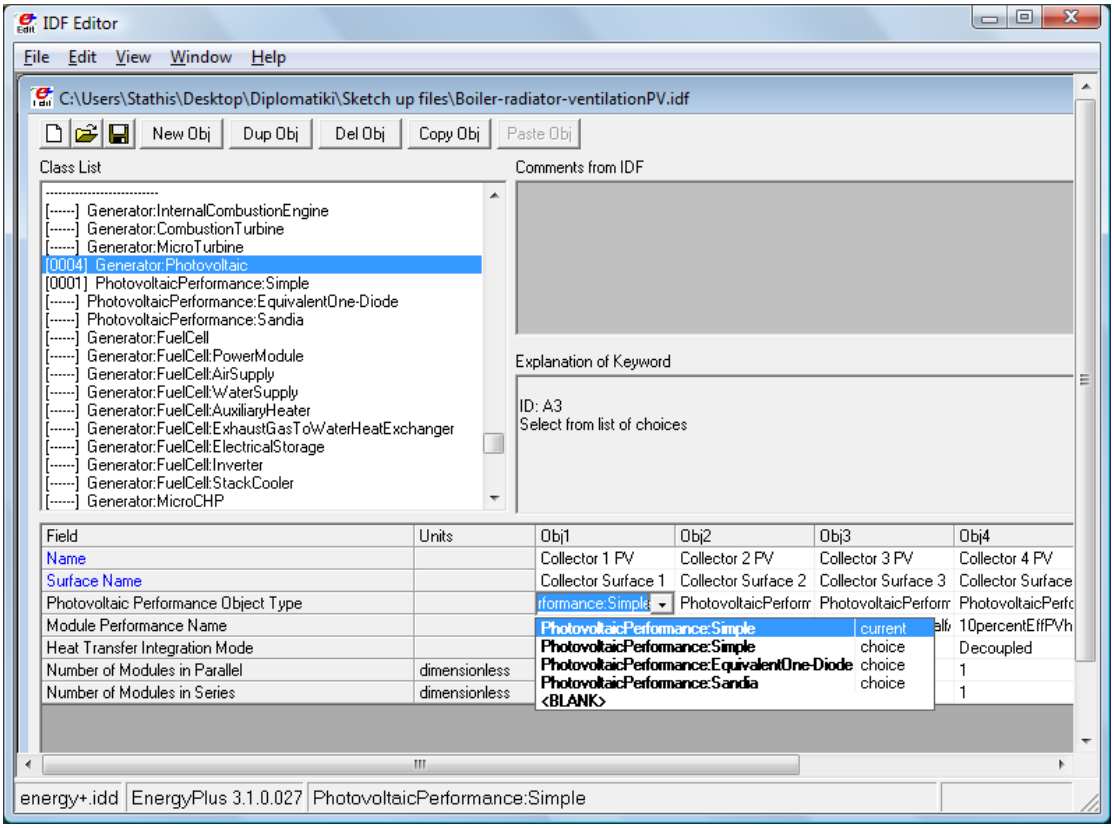
Το μοντέλο Equivalent One-Diode **(Ισοδύναμη μιας-διόδου)** είναι επίσης γνωστό ως TRNSYSPV ή «μοντέλο πέντε-παράμετρων (Five-parameter)» επειδή χρησιμοποιεί ένα ισοδύναμο κύκλωμα πέντε παράμετρων στην μοντελοποίηση των κρυσταλλικών ΦΒ πλαισίων και οι τιμές των παραμέτρων αυτών δεν μπορούν κατά κανόνα να λαμβάνονται απευθείας από τον κατάλογό του κατασκευαστή.

Το μοντέλο **Sandia** αποτελείται από μια σειρά εμπειρικών σχέσεων με συντελεστές, οι οποίοι υπολογίζονται βάσει του πραγματικού ελέγχου. Μόλις οι συντελεστές για ένα συγκεκριμένο πλαίσιο είναι διαθέσιμες, τότε είναι εύκολο στη χρήση των εξισώσεων για να υπολογιστούν πέντε επιλεγμένα σημεία από την καμπύλη I-V.

Ένα άλλο δεδομένο το οποίο εισέρχεται στο Energy Plus αφορά τον τρόπο με τον οποίο συνδέεται το ΦΒ με την επιφάνεια του κτιρίου. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επιλέξει μεταξύ των «αποσυνδεδεμένων» , σε περίπτωση που καμία προσαρμογή δεν έγινε για τον υπολογισμό της ενέργειας που εξάγεται με τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας και της «συνδεδεμένης» (integrated) όταν η ενέργεια που εξάγεται με τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, έχει αφαιρεθεί από τους υπολογισμούς κατά την μεταφορά της θερμότητας . Η προσομοίωση της φωτοβολταϊκή γεννήτριας σε αυτή την εργασία είναι «αποσυνδεδεμένες» (decoupled), ώστε τα αποτελέσματα να μην επηρεασθούν από το συγκεκριμένο σχεδιασμό του σπιτιού.

Στην παρούσα προσομοίωση επιλέχθηκε το απλό μοντέλο γιατί ήταν το μόνο μοντέλο με αυτό το δυναμικό. Το μόνο σημείο που τα δεδομένα δεν παρέχουν πληροφορίες

είναι η απόδοση του μετατροπέα (inverter) . Για το λόγο αυτό, τα δεδομένα από τη διαδικασία της προσομοίωσης είναι: «*PV Generator DC Energy [J]*», η οποία είναι η ενέργεια σε συνεχόμενο ρεύμα από το πρότυπο σύστημα ΦΒ και η απόδοση του μετατροπέα δεν επηρεάζει την τιμή αυτή.

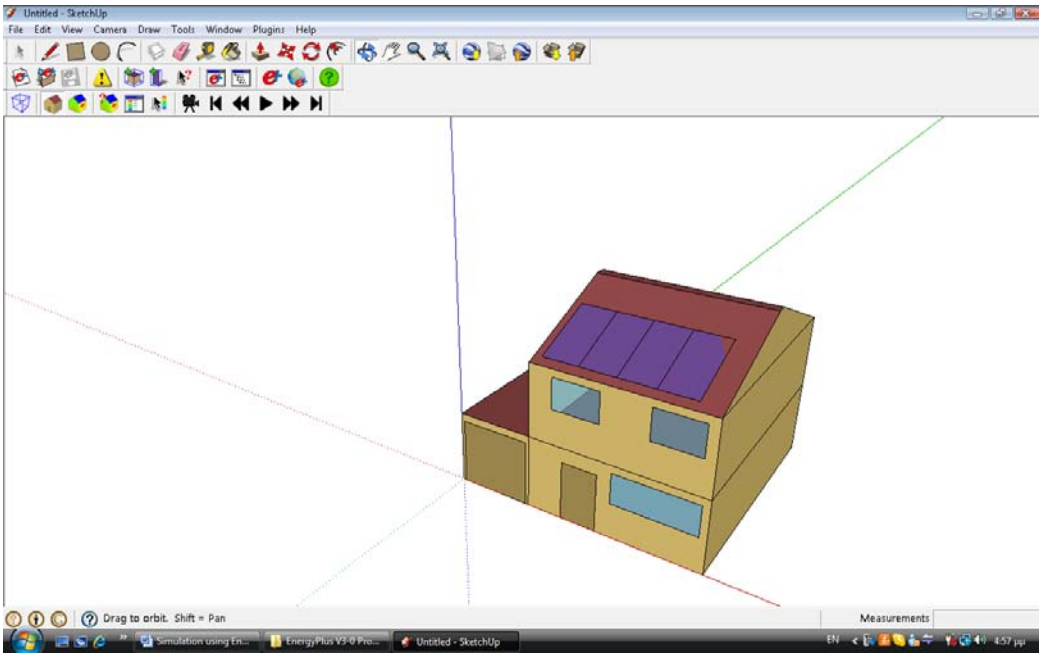


Σχήμα 4.5: Μοντελοποίηση της φωτοβολταϊκής γεννήτριας

4.6 Μοντελοποίηση σπιτιού

4.6.1 Μοντελοποίηση σπιτιού με ΦΒ σύστημα.

Ο επόμενος στόχος είναι η μοντελοποίηση του συστήματος ΦΒ στο λογισμικό Energy Plus. Αρχικά γίνεται ο σχεδιασμός των επιφανειών των πλαισίων στη στέγη του σπιτιού. Το ΦΒ πλαίσιο έχει εμβαδόν Α = 2,728 τ.μ. που αποτελεί το μέσο μέγεθος μεταξύ των ΦΒ πάνελ και ηλιακών συλλεκτών. Το μήκος των πλαισίων είναι 2,20 μ. και το πλάτος είναι 1,24 μ. Τοποθετήθηκαν στη νότια οροφή του σπιτιού (Σχήμα 4.6) και έχουμε την δυνατότητα να τοποθετήσουμε μόνο τέσσερα πλαίσια λόγω περιορισμένου χώρου. Τα πλαίσια στο Energy Plus προσομοιώνονται ως σκιασμένες επιφάνειες (shading surfaces).



Σχήμα 4.6: Σπίτι με ΦΒ σύστημα

Τα άλλα δεδομένα εισόδου στο απλό μοντέλο ΦΒ παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1

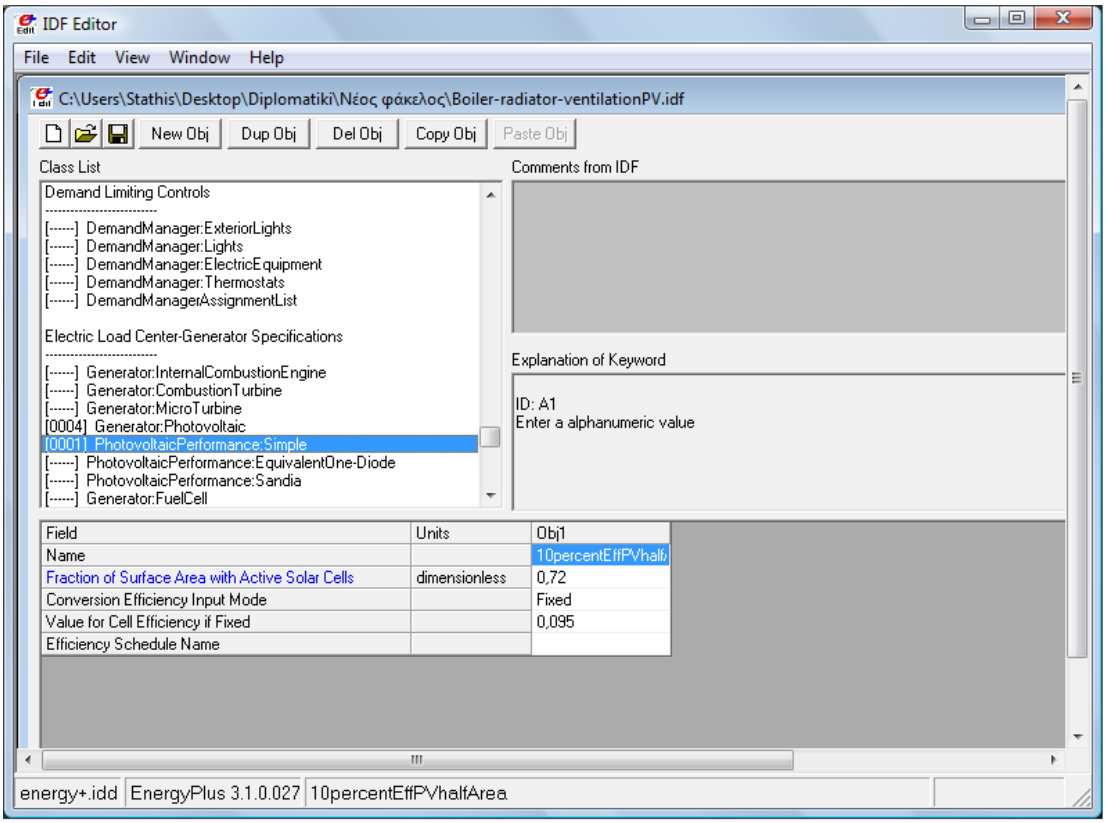
A_{surf}	2,73m²
f_{activ}	0,72*
n_{cell}	0,095**

Πίνακας 4.1: Δεδομένα εισόδου ΦΒ συστήματος

{* Η αναλογία επιφάνειας των ΦΒ με τα ενεργητικά ηλιακά κύτταρα υπολογίστηκαν περίπου 72% επειδή η επιφάνεια του συλλέκτη ήταν 0,28 μ ² και τα ηλιακά κύτταρα 0,21 m². Το υπόλοιπο 28% είναι η ενεργός περιοχή του ηλιακού συλλέκτη. ** Η απόδοση των κυττάρων υπολογίστηκε σε 1000 W / m² *** Η ονομαστική ισχύς εξόδου του κάθε ΦΒ υπολογίστηκε να είναι στα P = 0,32 kWp. Στο ΦΒ πλαίσιο των 2,723 m ², 144 ηλιακά κύτταρα θα δώσουν αυτή την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η απόδοση του μετατροπέα, n(inverter) είναι 0,88 και δεν εισάγεται στο Energy Plus αλλά υπολογίζεται αργότερα μέσω Excel}.

Ακολούθος εισάγονται στο λογισμικό μέσω IDF Editor (σχήμα 4.7)



Σχήμα 4.7: Δεδομένα εισόδου ΦΒ συστήματος

4.6.2 Μοντελοποίηση σπιτιού με ΦΒ/Θ σύστημα

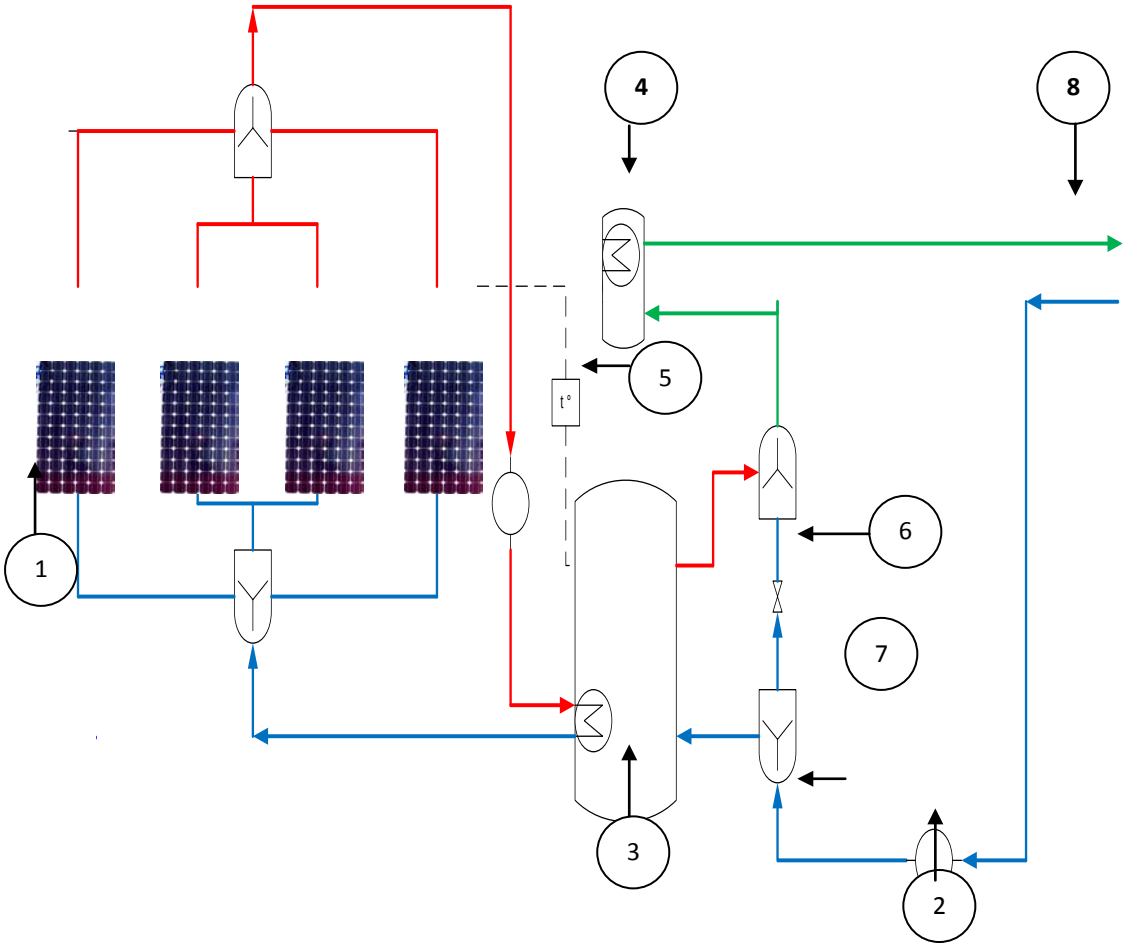
Μετά την προσομοίωση του φωτοβολταϊκού συστήματος, θα σχεδιαστεί το ΦΒ/Θ σύστημα. Το Energy Plus διαθέτει ένα απλό μοντέλο, βασισμένο στον καθορισμό της απόδοσης από το χρήστη. Το μοντέλο αυτό προσομοιώνει ταυτόχρονα τη λειτουργεία του ΦΒ και του ηλιακού συλλέκτη.

Το λογισμικό Energy Plus προσομοιώνει το ΦΒ/Θ σύστημα ως ένα θερμικό σύστημα και χρησιμοποιεί το φωτοβολταϊκό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, χωρίς να είναι σε θέση να μειώσει τη θερμοκρασία του ηλιακών κυττάρων λόγω ροής του υγρού ή την μικρότερη ηλεκτρική απόδοση των ΦΒ κυττάρων λόγω του καλύματος. Μία διαφορά σε αυτό το μέρος της προσομοίωσης είναι ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα δεν «αποσυνδέεται» από την παραγωγή, αλλά μπαίνει σε Φωτοβολταϊκή Θερμική κατάσταση. Αυτός ο τρόπος χρησιμοποιείται μόνο για σκοπούς βρόγχου. Η απόδοση του ΦΒ/Θ συστήματος στο τμήμα αυτό ορίστηκε υψηλότερο. Επιπλέον, το ΦΒ/Θ σύστημα χρησιμοποιεί στον προσωμοιωτή Energy Plus την ίδια επιφάνεια σκίασης με το φωτοβολταϊκό σύστημα.

Για την προσομοίωση του ΦΒ/Θ νερού στο σύστημα Energy Plus, πρέπει να εισαχθούν όλες οι συνδέσεις των υποδομών του θερμικού συστήματος. Η επιφάνεια που χρησιμοποιείται στην προσομοίωση είναι η ίδια με το φωτοβολταϊκό σύστημα (A = 2,723 m²).

Όπως απεικονίζεται στο σχήμα 4.8 το ΦΒ/Θ σύστημα αποτελείται από:

1. Τέσσερις ΦΒ/Θ συλλέκτες
2. Δύο αντλίες μεταβλητής ταχύτητας
3. Δεξαμενή αποθήκευσης (1,5 m³)
4. Βοηθητική δεξαμενή (0,00567 m³) με μια ηλεκτρική θερμάστρα θερμοχωρητικότητας 80kW.
5. Διαφορικός θερμοστάτης
6. Βαλβίδα προσμίξεως
7. Mixers και splitters
8. Τόπος ζήτησης.Το Ζεστό νερό είναι συνδεδεμένο με 2 νιπτήρες και ντους, ώστε να κλείσει το βρόχο και να εκτελέσει επιτυχημένες προσομοιώσεις.



Σχήμα 4.8: Συνδέσεις ΦΒ/Θ συστήματος

Επιλέχθηκε ένα σύστημα με βοηθητική δεξαμενή και θερμοσίφωνα επειδή παρέχει πρόσθετη θερμότητα αν το νερό της δεξαμενής αποθήκευσης δεν είναι αρκετά ζεστό, και επιπλέον με αυτόν τον τρόπο είναι κατασκευασμένα η πλειοψηφία των ΦΒ συστημάτων.

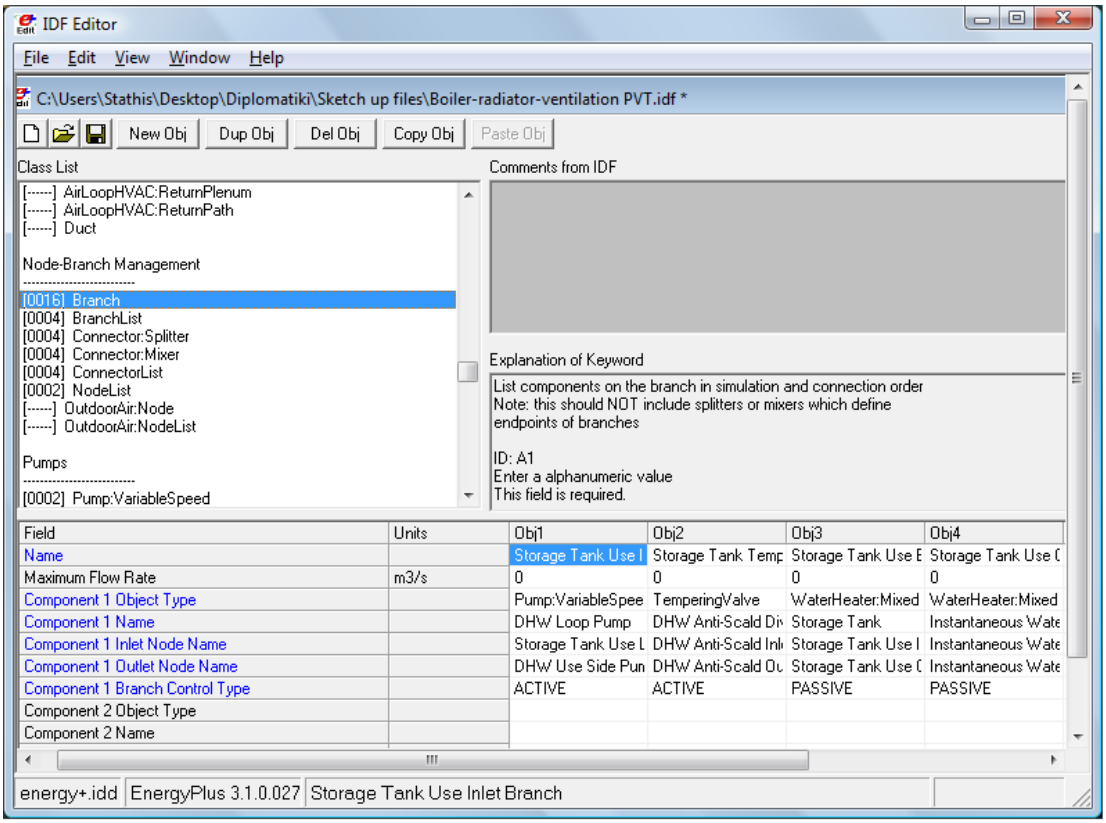
Για να αποφευχθούν οι καυτές θερμοκρασίες, το νερό που εξέρχεται από τη δεξαμενή αποθήκευσης σχεδιάστηκε να μετριάζεται με κρύο νερό, χρησιμοποιώντας μια τριπλή βαλβίδα για να επιτευχθεί η σωστή θερμοκρασία.

Για τον καλύτερο έλεγχο του βρόγχου του συλλέκτη τοποθετήθηκε ένας διαφορικός θερμοστάτης για τη σύγκριση της θερμοκρασίας του θερμοσίφωνα με τη θερμοκρασία στο συλλέκτη ώστε η αντλία να ενεργοποιείται μόνο όταν υπάρχει ωφέλιμη θερμότητα.

Η εισαγωγή του κυκλώματος (σχήμα 4.8) στο Energy Plus μέσω του IDF Editor γίνεται όπως φαίνεται πιο κάτω (σχήματα 4.9 – 4.14). Στον τομέα Node-Branch Management, καθορίζονται οι κόμβοι και οι κλάδοι του κυκλώματος, οι mixers και οι splitters, η βαλβίδα και οι αντλίες.

Υπάρχουν 16 κλάδοι οι οποίοι πρέπει να ονομαστούν και να καθοριστούν. Σε κάθε αντικείμενο / κόμβο, αφού τον ονομάσουμε, έπειτα ορίζουμε τον αρχικό (Inlet Node Name) και τον τελικό (Outlet Node Name) κόμβο. Επείσης χαρακτηρίζεται ο τύπος του κλάδου, δηλαδή αν είναι ενεργητικός ή παθητικός. Από τώρα και στο εξής οι ονομασίες θα αναγράφονται σε λίστα για την επιλογή του αντικειμένου.

Στο σχήμα 4.9 παρουσιάζεται η εισαγωγή των κλάδων στα δεδομένα του IDF Editior



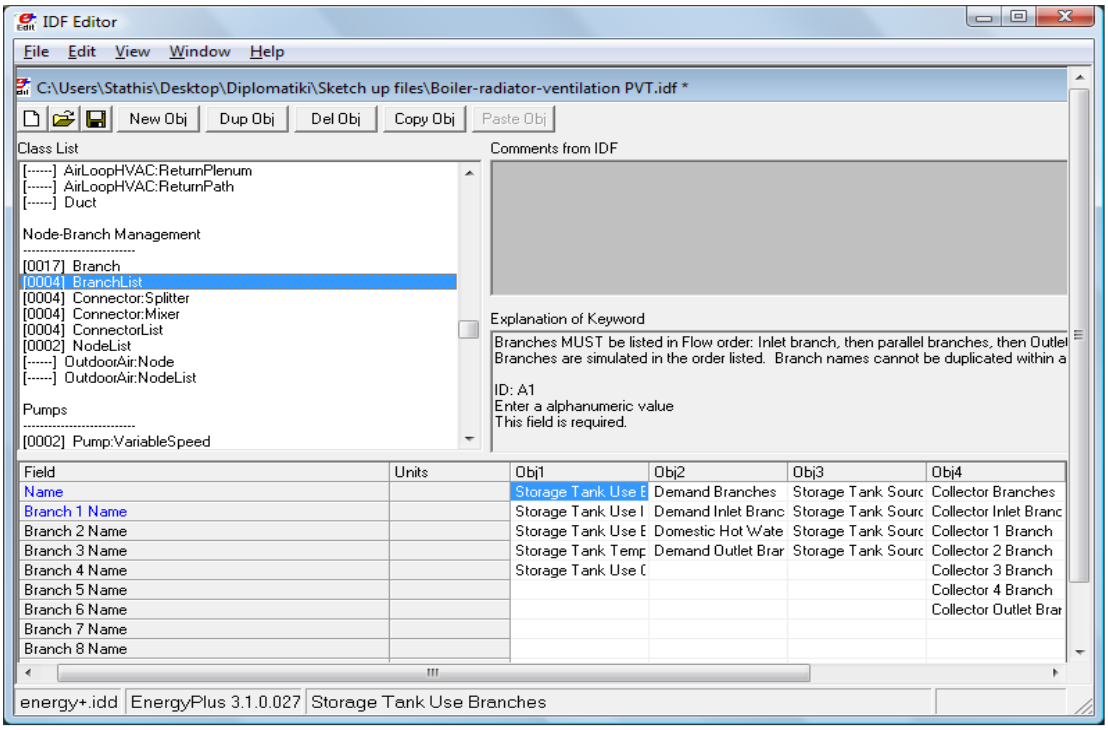
Field	Units	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Name		Demand Inlet Branc	Domestic Hot Wate	Demand Outlet Brar	Storage Tank Sourc
Maximum Flow Rate	m3/s	0	0	0	0
Component 1 Object Type		Pipe:Adiabatic	WaterUse:Connecti	Pipe:Adiabatic	Pump:VariableSpee
Component 1 Name		Demand Inlet Pipe	Domestic Hot Wate	Demand Outlet Pipe	Collector Loop Pum
Component 1 Inlet Node Name		Demand Inlet Node	Domestic Hot Wate	Demand DHW-Pipe	Storage Tank Sourc
Component 1 Outlet Node Name		Demand Pipe-DHW	Domestic Hot Wate	Demand Outlet Nod	Storage Tank Sourc
Component 1 Branch Control Type		PASSIVE	ACTIVE	PASSIVE	ACTIVE
Component 2 Object Type					
Component 2 Name					

Field	Units	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12
Name		Storage Tank Sourc	Storage Tank Sourc	Collector Inlet Branc	Collector 1 Branch
Maximum Flow Rate	m3/s	0	0	0	0
Component 1 Object Type		WaterHeater:Mixed	Pipe:Adiabatic	Pipe:Adiabatic	SolarCollector:FlatPl
Component 1 Name		Storage Tank	Storage Tank Sourc	Collector Inlet Pipe	Collector 1
Component 1 Inlet Node Name		Storage Tank Sourc	Storage Tank Sourc	Collector Loop Inlet	Collector 1 Inlet Noc
Component 1 Outlet Node Name		Storage Tank Sourc	Storage Tank Sourc	Collector Pipe-Collec	Collector 1 Outlet N
Component 1 Branch Control Type		PASSIVE	PASSIVE	PASSIVE	ACTIVE
Component 2 Object Type					
Component 2 Name					

Field	Units	Obj13	Obj14	Obj15	Obj16
Name		Collector 2 Branch	Collector 3 Branch	Collector 4 Branch	Collector Outlet Brar
Maximum Flow Rate	m3/s	0	0	0	0
Component 1 Object Type		SolarCollector:FlatPl	SolarCollector:FlatPl	SolarCollector:FlatPl	Pipe:Adiabatic
Component 1 Name		Collector 2	Collector 3	Collector 4	Collector Outlet Pipe
Component 1 Inlet Node Name		Collector 2 Inlet Noc	Collector 3 Inlet Noc	Collector 4 Inlet Noc	Collector Collector-F
Component 1 Outlet Node Name		Collector 2 Outlet N	Collector 3 Outlet N	Collector 4 Outlet N	Collector Loop Outle
Component 1 Branch Control Type		ACTIVE	ACTIVE	ACTIVE	PASSIVE
Component 2 Object Type					
Component 2 Name					

Σχήμα 4.9: Εισαγωγή κλάδων του κυκλώματος

Εφόσον κάθε κλάδος έχει ονομασθεί και κατοχυρωθεί, τοποθετούμε τους κλάδους σε σείρα, ανάλογα με τη ροή του κυκλώματος (σχήμα 4.10).

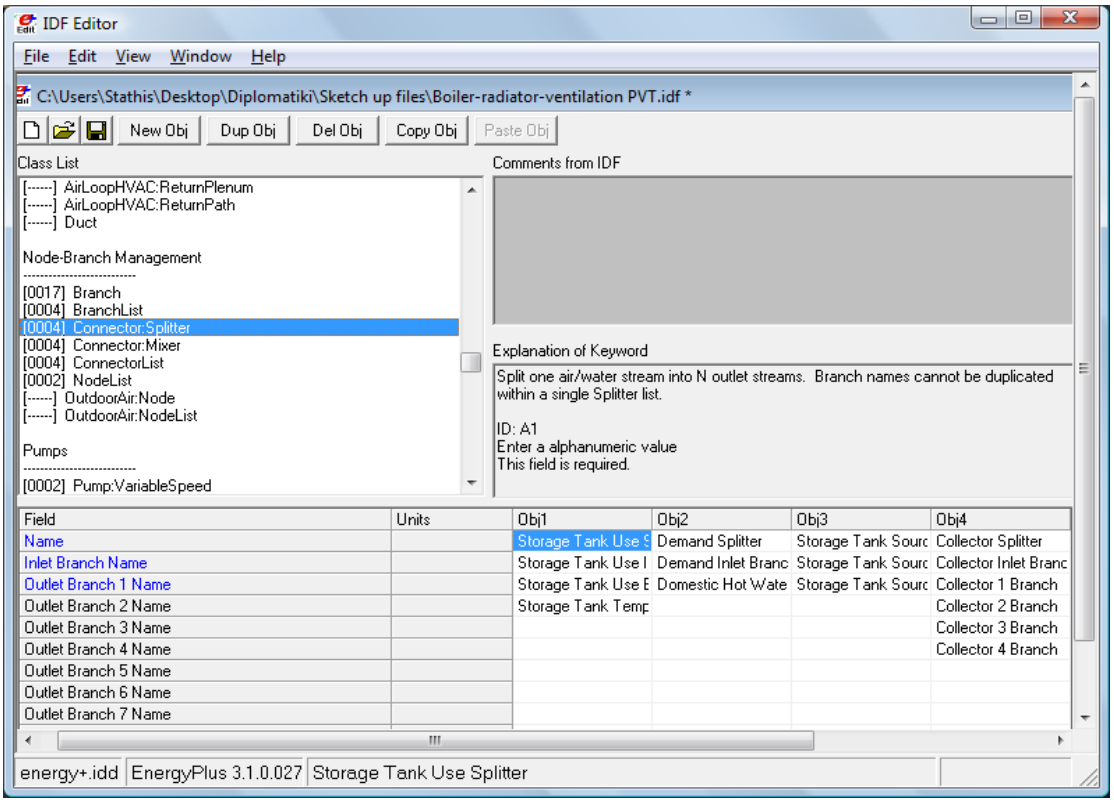


Σχήμα 4.10: Εισαγωγή ροής κλάδων

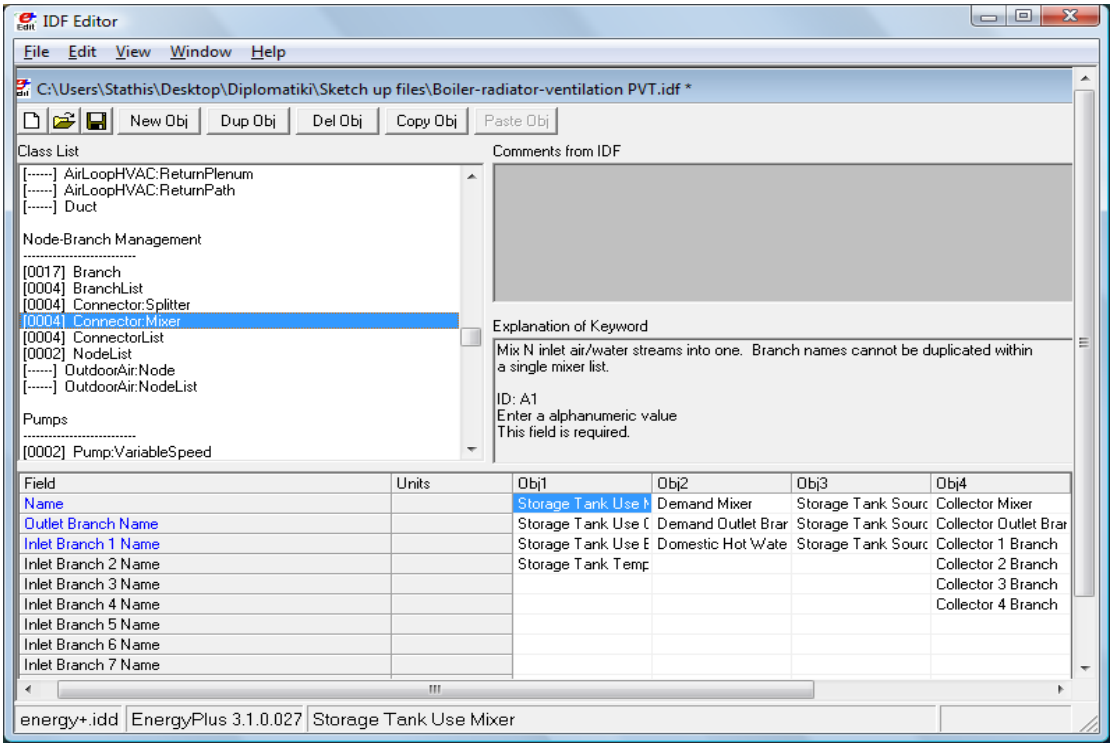
Σ’ αυτό το σημείο καθορίζουμε τους διαχωριστές (splitters). Αφού τους ονομάσουμε, καθορίζουμε τον εισερχόμενο και έπειτα τους εξερχόμενους κλάδους (σχήμα 4.11).

Αντίστοιχα καθορίζουμε και τους μίξερς. Όπως και στους διαχωριστές (splitters), τους ονομάζουμε και ακολούθως καθορίζουμε τους εισερχόμενους και τον εξερχόμενο κλάδους (σχήμα 4.12).

Η μέθοδος εισαγωγής των splitters και mixers παρουσιάζονται στη συνέχεια



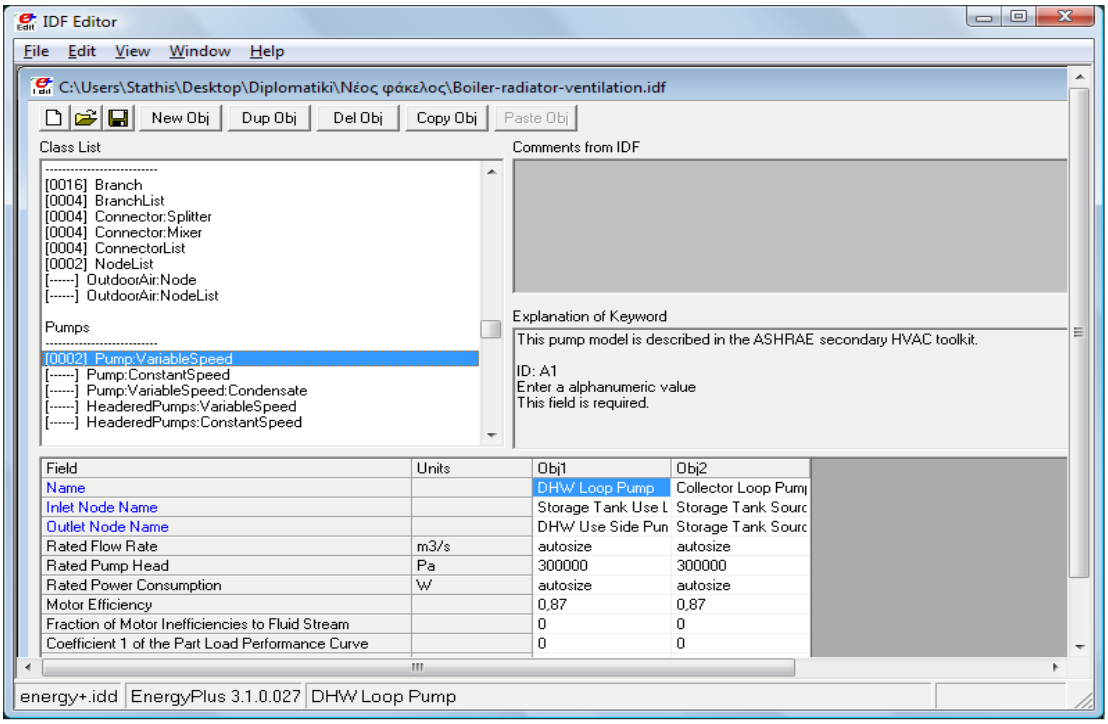
Σχήμα 4.11: Splitters



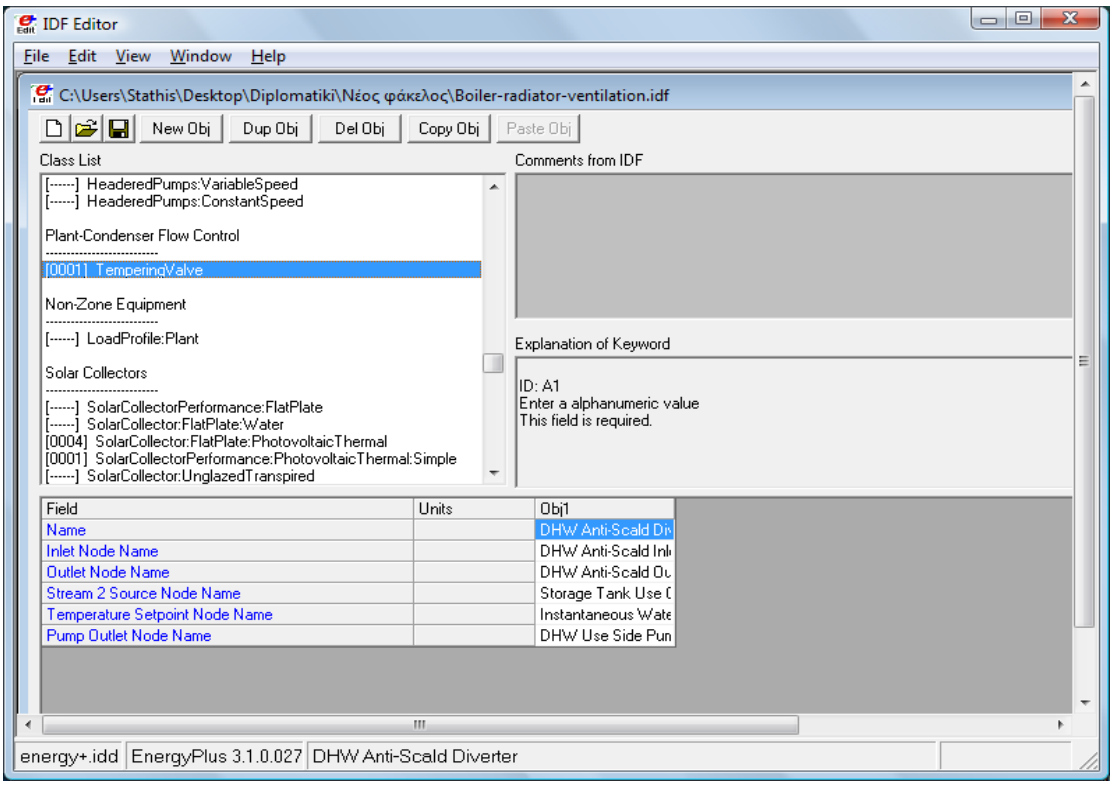
Σχήμα 4.12: Mixers

Ακολούθως εισάγουμε τα χαρακτηριστηκά των δύο αντλιών μεταβλητής ταχύτητας των δύο κυκλωμάτων (κύκλωμα ζεστού νερού οικιακής χρήσης και κύκλωμα

συλλεκτών) του συστήματος και της βαλβίδας βαφής όπως φαίνονται στο (σχήμα.4.13) και (σχήμα 4.14) αντίστοιχα.



Σχήμα 4.13: Δύο αντλίες μεταβλητής ταχύτητας



Σχήμα 4.14: Βαλβίδα βαφής

Το λογισμικό Energy Plus προσομοιώνει το ΦΒ/Θ σύστημα ως φωτοβολταϊκό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και ταυτόχρονα ως ένα θερμικό σύστημα.

Τα δεδομένα εισόδου για τα ΦΒ μέρη και τα θερμικά μέρη του ΦΒ/Θ συστήματος φαίνονται στους πίνακες 4.2 και 4.3, αντίστοιχα.

A_{surf}	2,73m²
f_{activ}	0,72*
n_{cell}	0,16**

Πίνακας 4.2: Δεδομένα για ΦΒ μέρος

A_{surf}	2,73m²
f_{activ}	0,28*
n_{th}	0,32***
$\dot{m}$	0,01 kg/s

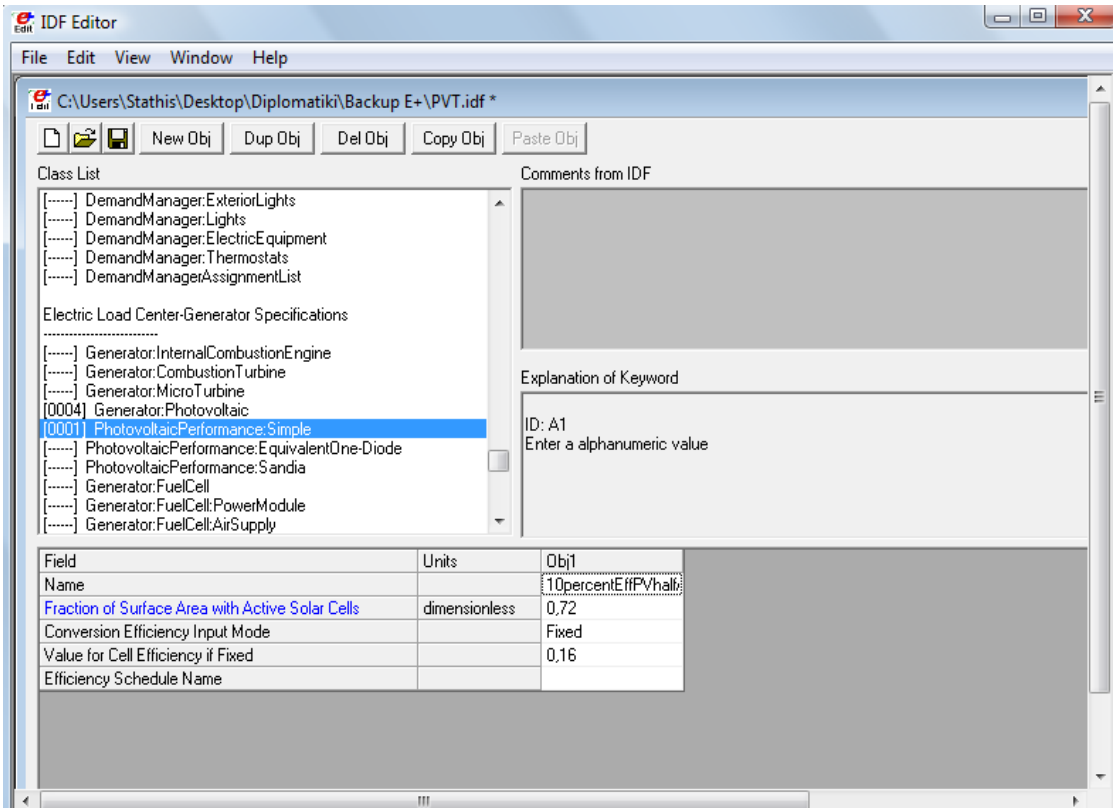
Πίνακας 4.3:Δεδομένα για Θερμικό μέρος

{* Η αναλογία επιφάνειας των ΦΒ με τα ενεργητικά ηλιακά κύτταρα υπολογίστηκε περίπου 72% επειδή η επιφάνεια του συλλέκτη ήταν 0,28 μ ² και τα ηλιακά κύτταρα 0,21 m². Το υπόλοιπο 28% είναι η ενεργός περιοχή του ηλιακού συλλέκτη.
** Η απόδοση των κυττάρων υπολογίστηκε σε 1000 W / m²
*** Η ονομαστική ισχύς εξόδου του κάθε ΦΒ υπολογίστηκε να είναι στα P = 0,32 kWp. Στο ΦΒ πλαίσιο των 2,728 m ², 144 ηλιακά κύτταρα θα δώσουν αυτή την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

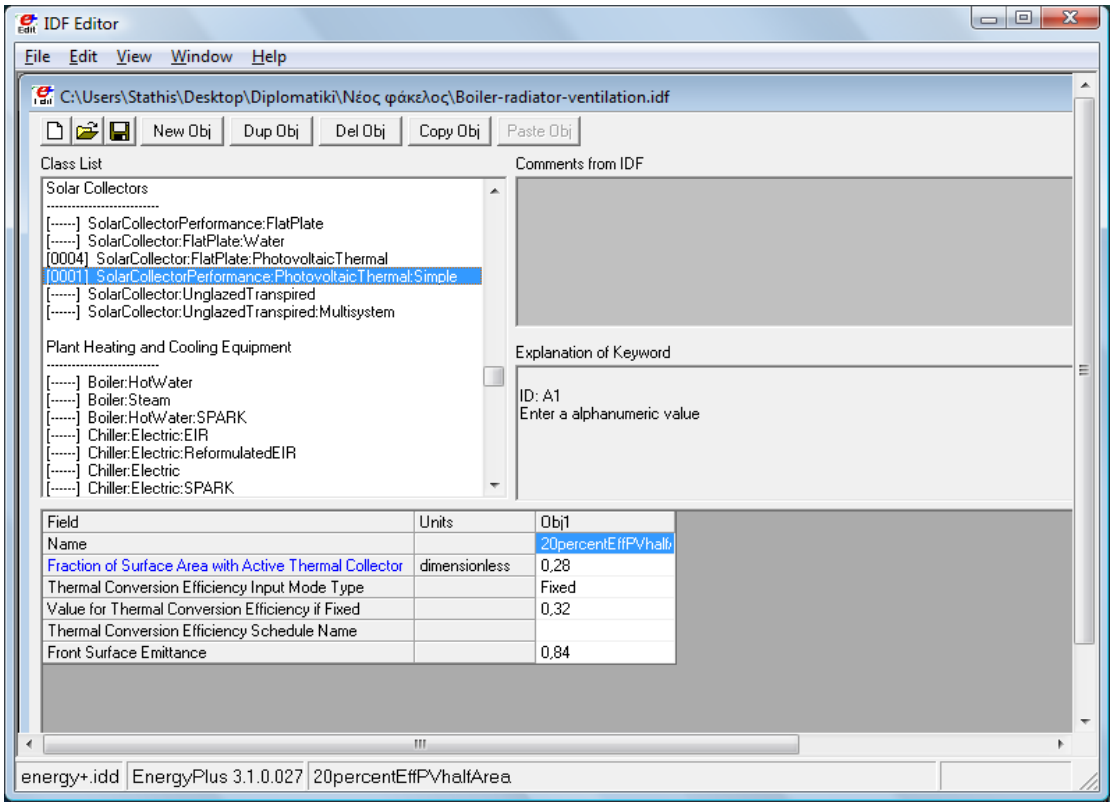
Η απόδοση του μετατροπέα, n(inverter) είναι 0,88 και δεν εισάγεται στο Energy Plus αλλά υπολογίζεται αργότερα μέσω Excel

Τα δεδομένα από τη διαδικασία της προσομοίωσης είναι σε: «*PV Generator DC Energy [J]* and *Generator Thermal Energy Produced [J»]*, η οποία είναι η ενέργεια σε συνεχόμενο ρεύμα και θερμική ενέργεια σε [J].}

Εισάγονται στο λογισμικό μέσω IDF Editor (σχήμα 4.15) και (σχήμα 4.16) αντίστοιχα.

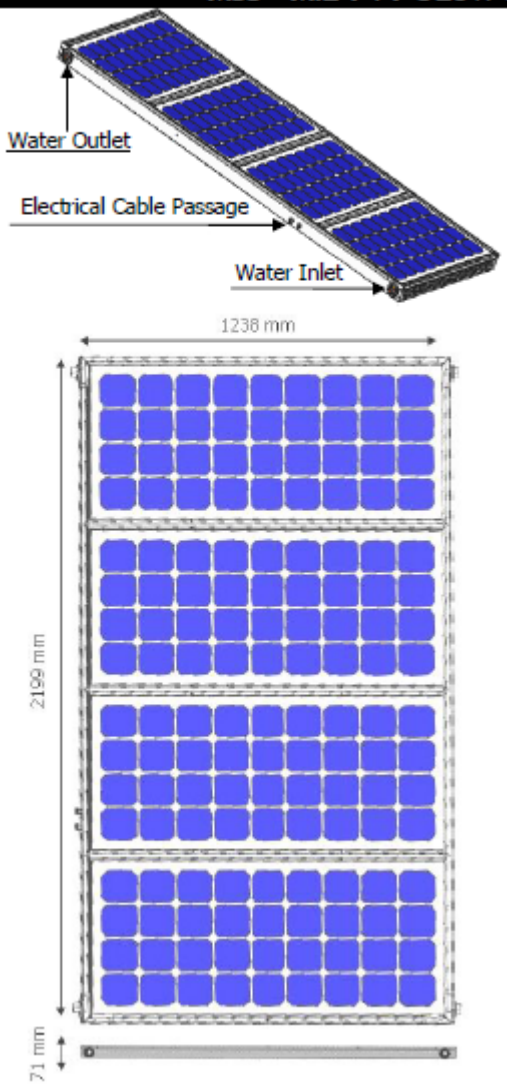


Σχήμα 4. 15 : Εισαγωγή δεδομένων για ΦΒ μέρος



Σχήμα 4. 16: Εισαγωγή δεδομένων για θερμικό μέρος

MILLENNIUM ELECTRIC
MSS - MIL-PVT-320W-MO2 DATA SHEET



Electrical Specifications

Manufacturer	Millennium Electric
Type	MIL-PV-320W-M02
Pnom	320W
Power tolerance	+/-5%
Origin	Israel/Cyprus
BIPV	No
Module efficiency	14.2%
Cell manufacturer	Motech/Gintech/Q-cell/Sharp
Cell type	Mono-crystalline, textured and anti-reflectivity layered
Cell size	125 mmX125 mm
Cell efficiency	16%
Cells per Module	144
Power guarantee	80% performance after 25 years ;90% after 10 years
Distribution	worldwide
Produced from	1991
Approvals	IEC 61215, Safety class II
Length	2.199 m
Width	1.238 m
Thickness	71mm
Frame type	aluminium
Output Terminal	junction box Tyco
Net Collector Weight	38 kg
Voc	44.2 V
Isc	9.94 A
NOCT	47 °C
Vmpp at 1000W/m2	36.72 V
Impp at 1000W/m2	9.16 A

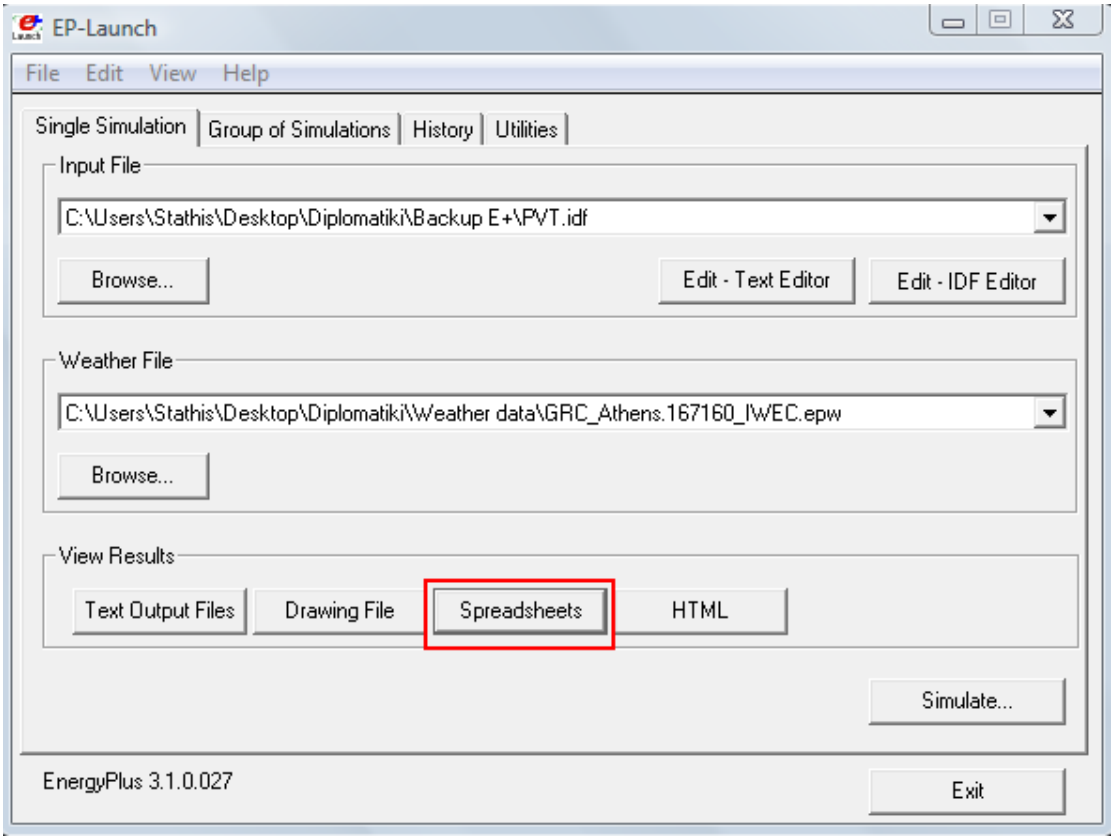
Σχήμα 4.17 : Προδιαγραφές ΦΒ/ Θ πλαισίου

Στο σχήμα 4.17 παρουσιάζονται οι προδιαγραφές ενός ΦΒ/Θ πλαισίου γνωστής κατασκευάστριας εταιρίας. Αυτό το πλαίσιο ΦΒ/Θ είναι το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για την προσομείωση στο λογισμικό Energy Plus.

Κεφάλαιο 5: Ανάλυση Αποτελεσμάτων

5.1 Λήψη Αποτελεσμάτων

Συμπληρώνοντας το IDF Editor και τρέχοντας την προσομοίωση (simulate), τότε λάμβουμε τα αποτελέσματα και τα αποτυπόνουμε σε πρόγραμμα excel με την επιλογή Spreadsheets (σχήμα 5.1).



Σχήμα 5.1: Ανάγνωση αποτελεσμάτων

Το λογισμικό Energy Plus μας δίνει λεπτομερείς αποτελέσματα για την παραγόμενη ενέργεια των ΦΒ και ΦΒ/Θ συστημάτων για κάθε πάνελ ξεχωριστά ανά μήνα. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται σε Joule και θα χρειαστεί μετατροπή τους σε KWh (1 KWh = 3600000 J). Η απόδοση του μετατροπέα, $\eta_{(inverter)}$ = 0,88, δεν εισάγεται στο Energy Plus αλλά γίνεται μέσω Excel. Έτσι βρίσκουμε την παραγωγή σε εναλλασσόμενο ρεύμα AC.

Με την χρήση του υπολογιστικού προγράμματος Excel, κάνοντας τις απαραίτητες αριθμητικές πράξεις, συγκεντρώθηκαν τα αποτελέσματα και παρουσιάζονται στη συνέχεια.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1			PV DC Energy						
2	**Larnaka**								
3	Date/Time	COLLECTOR 1 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 2 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 3 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 4 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly)				
4	January	80878074,86	80878072,3	80878076,46	80878073,13				
5	February	88273756,54	88273753,42	88273758,49	88273754,43				
6	March	117427668,56	117427664	117427671,41	117427665,47				
7	April	135543056,9	135543052,02	135543059,94	135543053,6				
8	May	152654300,23	152654295,05	152654303,46	152654296,72				
9	June	164151612,89	164151608,71	164151615,49	164151610,06				
10	July	169822948,25	169822944,29	169822950,71	169822945,57				
11	August	166660699,51	166660696,13	166660701,62	166660697,22				
12	September	149413307,84	149413305,09	149413309,56	149413305,98				
13	October	122223029,41	122223026,4	122223031,28	122223027,38				
14	November	91366977,12	91366974,62	91366978,68	91366975,43				
15	December	79610030,42	79610028,05	79610031,89	79610028,82				
16									
17	**Athens**								
18	Date/Time	COLLECTOR 1 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 2 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 3 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 4 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly)				
19	January	64729066,51	64729064,24	64729067,92	64729064,97				
20	February	71796820,32	71796817,36	71796822,16	71796818,32				
21	March	103899085,93	103899081,75	103899088,53	103899083,1				
22	April	120125668,77	120125663,84	120125671,84	120125665,43				
23	May	141624580,91	141624575,32	141624584,39	141624577,13				
24	June	161219542,92	161219537,97	161219546,01	161219539,57				
25	July	170241037,15	170241032,65	170241039,95	170241034,1				
26	August	159318729,92	159318725,47	159318732,69	159318726,91				
27	September	137391462,22	137391458,56	137391464,5	137391459,75				
28	October	98651265,08	98651261,6	98651267,25	98651262,73				
29	November	61049078,03	61049075,48	61049079,61	61049076,31				
30	December	56782213,15	56782211	56782214,48	56782211,69				
31									
32	**Thessaloniki**								
33	Date/Time	COLLECTOR 1 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 2 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 3 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 4 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly)				
34	January	55893546,62	55893544,65	55893547,85	55893545,28				
35	February	80674791,91	80674789,69	80674793,28	80674790,41				
36	March	105093047,01	105093042,56	105093049,77	105093044				
37	April	115184976,65	115184971,69	115184979,74	115184973,3				
38	May	139652431,85	139652425,94	139652435,52	139652427,85				
39	June	155476913,22	155476907,43	155476916,83	155476909,3				
40	July	162409728,62	162409723,58	162409731,76	162409725,21				
41	August	152238964,55	152238959,9	152238967,45	152238961,4				
42	September	120743196,96	120743192,91	120743199,48	120743194,22				
43	October	90400939,55	90400936,53	90400941,43	90400937,51				
44	November	58770131,7	58770129,55	58770133,04	58770130,24				
45	December	46882188,05	46882186,15	46882189,24	46882186,76				
46									
47	**Andravida**								
48	Date/Time	COLLECTOR 1 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 2 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 3 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 4 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly)				
49	January	51188385,07	51188382,56	51188386,64	51188383,37				
50	February	62007436,34	62007433,23	62007438,27	62007434,24				
51	March	86153398,37	86153393,69	86153401,28	86153395,2				
52	April	105250456,65	105250451,19	105250460,04	105250452,96				
53	May	133933953,37	133933947,4	133933957,09	133933949,33				
54	June	140215156,65	140215151,13	140215160,08	140215152,91				
55	July	165705070,54	165705065,66	165705073,57	165705067,24				
56	August	157168377,46	157168373	157168380,23	157168374,44				
57	September	121991888,99	121991884,66	121991891,69	121991886,06				
58	October	76684701,61	76684697,8	76684703,99	76684699,03				
59	November	52923160,89	52923158,08	52923162,63	52923158,99				
60	December	40584231,61	40584229,38	40584232,99	40584230,1				
61									

Φύλλο1

Σχήμα 5.1.1 Αποτελέσματα Energy Plus της παραγωγής συνεχές ρεύματος για ΦΒ σύστημα

	A	B	C	D	E	F
1			PVT Thermal Energy			
2	**Larnaka**					
3	Date/Time	COLLECTOR 1:Generator Thermal Energy Produced [J](Monthly	COLLECTOR 2:Generator Thermal Energy Produced [J](Monthly	COLLECTOR 3:Generator Thermal Energy Produced [J](Monthly	COLLECTOR 4:Generator Thermal Energy Produced [J](Monthly	COLLECTOR 1 PV:PV Generatc
4	January	105945548,36	105945545	105945550,45	105945546,08	
5	February	115633458,86	115633454,77	115633461,41	115633456,09	
6	March	153823378,7	153823372,72	153823382,43	153823374,65	
7	April	177553478,04	177553471,65	177553482,02	177553473,72	
8	May	199968206,15	199968199,36	199968210,38	199968201,55	
9	June	215029013,37	215029007,9	215029016,78	215029009,67	
10	July	222458131,04	222458125,86	222458134,26	222458127,53	
11	August	218315770,12	218315765,69	218315772,88	218315767,12	
12	September	195722695,65	195722692,04	195722697,9	195722693,21	
13	October	160105020,98	160105017,04	160105023,44	160105018,32	
14	November	119685396,94	119685393,65	119685398,98	119685394,71	
15	December	104284484,29	104284481,19	104284486,22	104284482,19	
16						
17	**Athens**					
18	Date/Time	COLLECTOR 1:Generator Thermal Energy Produced [J](Monthly	COLLECTOR 2:Generator Thermal Energy Produced [J](Monthly	COLLECTOR 3:Generator Thermal Energy Produced [J](Monthly	COLLECTOR 4:Generator Thermal Energy Produced [J](Monthly	COLLECTOR 1 PV:PV Generatc
19	January	84791291,8	84791288,83	84791293,66	84791289,79	
20	February	94049635,98	94049632,1	94049638,39	94049633,36	
21	March	136101726,6	136101721,12	136101730,01	136101722,89	
22	April	157357601,2	157357594,73	157357605,22	157357596,82	
23	May	185519918,85	185519911,53	185519923,41	185519913,9	
24	June	211188173,19	211188166,69	211188177,23	211188168,79	
25	July	223005803,05	223005797,15	223005806,72	223005799,06	
26	August	208698219,31	208698213,49	208698222,94	208698215,37	
27	September	179974780,93	179974776,13	179974783,91	179974777,68	
28	October	129227388,18	129227383,62	129227391,01	129227385,09	
29	November	79970722,09	79970718,76	79970724,17	79970719,84	
30	December	74381378,63	74381375,81	74381380,38	74381376,72	
31						
32	**Thessaloniki**					
33	Date/Time	COLLECTOR 1:Generator Thermal Energy Produced [J](Monthly	COLLECTOR 2:Generator Thermal Energy Produced [J](Monthly	COLLECTOR 3:Generator Thermal Energy Produced [J](Monthly	COLLECTOR 4:Generator Thermal Energy Produced [J](Monthly	COLLECTOR 1 PV:PV Generatc
34	January	73217277,44	73217274,86	73217279,05	73217275,69	
35	February	105679259,57	105679256,67	105679261,38	105679257,61	
36	March	137665745,79	137665739,96	137665749,41	137665741,84	
37	April	150885583,45	150885576,96	150885587,5	150885579,06	
38	May	182936518,91	182936511,17	182936523,72	182936513,67	
39	June	203665664,1	203665656,51	203665668,83	203665658,97	
40	July	212747246,85	212747240,24	212747250,96	212747242,38	
41	August	199424140,7	199424134,6	199424144,5	199424136,57	
42	September	158166527,02	158166521,71	158166530,32	158166523,42	
43	October	118419944,21	118419940,25	118419946,67	118419941,53	
44	November	76985435,68	76985432,86	76985437,43	76985433,77	
45	December	61412924,7	61412922,2	61412926,26	61412923,01	
46						
47	**Andravida**					
48	Date/Time	COLLECTOR 1:Generator Thermal Energy Produced [J](Monthly	COLLECTOR 2:Generator Thermal Energy Produced [J](Monthly	COLLECTOR 3:Generator Thermal Energy Produced [J](Monthly	COLLECTOR 4:Generator Thermal Energy Produced [J](Monthly	COLLECTOR 1 PV:PV Generatc
49	January	67053790,97	67053787,68	67053793,02	67053788,75	
50	February	81226115,44	81226111,37	81226117,97	81226112,69	
51	March	112855913,65	112855907,52	112855917,47	112855909,5	
52	April	137871943,21	137871936,07	137871947,66	137871938,38	
53	May	175445646,53	175445638,7	175445651,4	175445641,23	
54	June	183673655,49	183673648,26	183673659,99	183673650,6	
55	July	217063952,05	217063945,66	217063956,02	217063947,73	
56	August	205881383,33	205881377,5	205881386,97	205881379,38	
57	September	159802240,55	159802234,88	159802244,08	159802236,71	
58	October	100452474,63	100452469,63	100452477,74	100452471,25	
59	November	69326245,84	69326242,17	69326248,12	69326243,35	
60	December	53162970,06	53162967,14	53162971,87	53162968,08	
61						

Φύλλο1

Σχήμα 5.1.2 Αποτελέσματα Energy Plus της παραγωγής θερμικής ενέργειας για ΦΒ/Θ σύστημα

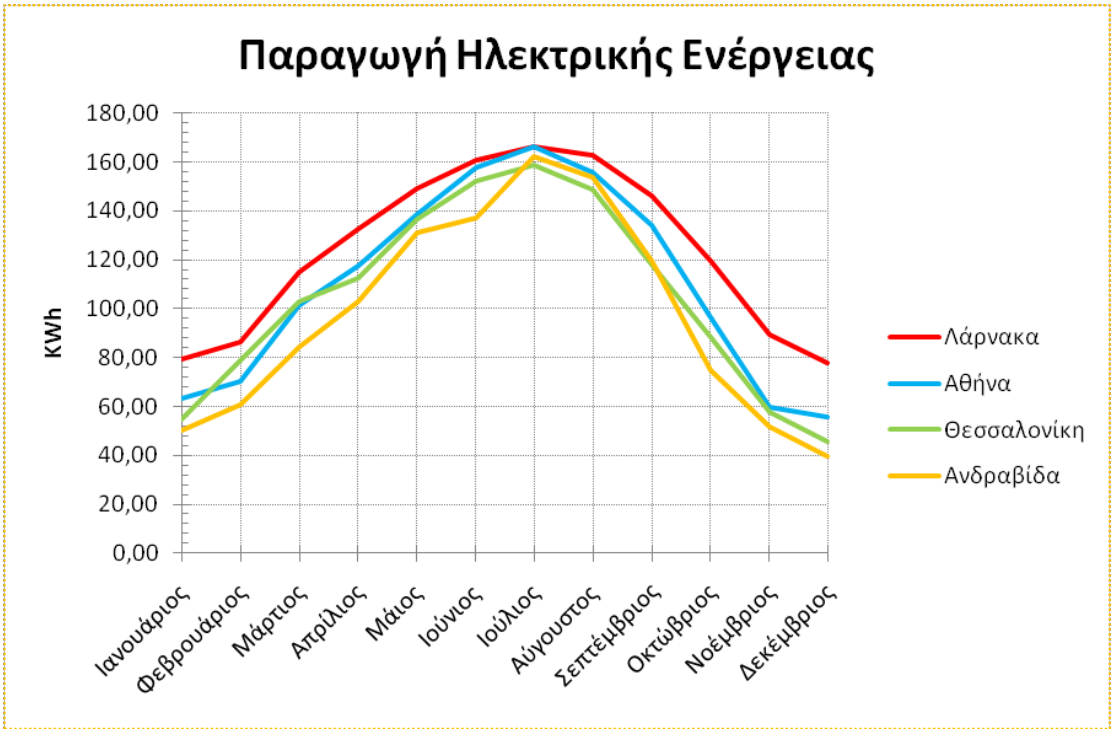
	E	F	G	H	I	J
1		PVT DC Energy				
2	**Larnaka**					
3	Date/Time	COLLECTOR 1 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 2 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 3 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 4 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly)	
4	January	85134815,65	85134812,94	85134817,33	85134813,82	
5	February	92919743,73	92919740,44	92919745,77	92919741,5	
6	March	123608072,17	123608067,36	123608075,16	123608068,92	
7	April	142676902	142676896,87	142676905,19	142676898,52	
8	May	160688737,09	160688731,63	160688740,48	160688733,39	
9	June	172791171,46	172791167,06	172791174,2	172791168,48	
10	July	178760998,15	178760993,99	178761000,75	178760995,34	
11	August	175432315,28	175432311,72	175432317,49	175432312,87	
12	September	157277166,15	157277163,25	157277167,95	157277164,18	
13	October	128655820,43	128655817,27	128655822,4	128655818,29	
14	November	96175765,39	96175762,76	96175767,04	96175763,61	
15	December	83800032,02	83800029,53	83800033,57	83800030,33	
16						
17	**Athens**					
18	Date/Time	COLLECTOR 1 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 2 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 3 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 4 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly)	
19	January	68135859,48	68135857,09	68135860,97	68135857,86	
20	February	75575600,34	75575597,23	75575602,28	75575598,23	
21	March	109367458,87	109367454,47	109367461,61	109367455,9	
22	April	126448072,39	126448067,2	126448075,62	126448068,88	
23	May	149078506,22	149078500,34	149078509,88	149078502,24	
24	June	169704782,03	169704776,81	169704785,27	169704778,49	
25	July	179201091,74	179201086,99	179201094,69	179201088,53	
26	August	167703926,23	167703921,55	167703929,15	167703923,07	
27	September	144622591,82	144622587,96	144622594,21	144622589,21	
28	October	103843436,93	103843433,27	103843439,21	103843434,45	
29	November	64262187,4	64262184,72	64262189,06	64262185,59	
30	December	59770750,68	59770748,42	59770752,09	59770749,15	
31						
32	**Thessaloniki**					
33	Date/Time	COLLECTOR 1 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 2 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 3 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 4 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly)	
34	January	58835312,23	58835310,15	58835313,52	58835310,82	
35	February	84920833,59	84920831,25	84920835,04	84920832,01	
36	March	110624260,01	110624255,33	110624262,92	110624256,84	
37	April	121247343,85	121247338,63	121247347,1	121247340,31	
38	May	147002559,84	147002553,62	147002563,71	147002555,63	
39	June	163659908,65	163659902,56	163659912,45	163659904,53	
40	July	170957609,07	170957603,77	170957612,38	170957605,48	
41	August	160251541,64	160251536,73	160251544,69	160251538,32	
42	September	127098102,07	127098097,8	127098104,72	127098099,18	
43	October	95158883,74	95158880,56	95158885,72	95158881,59	
44	November	61863296,53	61863294,26	61863297,94	61863294,99	
45	December	49349671,64	49349669,63	49349672,89	49349670,28	
46						
47	**Andravida**					
48	Date/Time	COLLECTOR 1 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 2 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 3 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly	COLLECTOR 4 PV:PV Generator DC Energy [J](Monthly)	
49	January	53882510,6	53882507,96	53882512,25	53882508,81	
50	February	65270985,62	65270982,35	65270987,65	65270983,41	
51	March	90687787,76	90687782,83	90687790,82	90687784,42	
52	April	110789954,37	110789948,63	110789957,94	110789950,48	
53	May	140983108,81	140983102,52	140983112,73	140983104,56	
54	June	147594901,73	147594895,92	147594905,35	147594897,8	
55	July	174426390,04	174426384,91	174426393,23	174426386,57	
56	August	165440397,32	165440392,63	165440400,24	165440394,15	
57	September	128412514,73	128412510,17	128412517,57	128412511,64	
58	October	80720738,54	80720734,52	80720741,04	80720735,82	
59	November	55708590,41	55708587,45	55708592,24	55708588,41	
60	December	42720243,8	42720241,45	42720245,26	42720242,21	
61						

Φύλλο1

Σχήμα 5.1.3 Αποτελέσματα Energy Plus της παραγωγής συνεχές ρεύματος για ΦΒ/Θ σύστημα

5.2 Ανάλυση αποτελεσμάτων ΦΒ συστήματος

Η μηνιαία παραγωγή ενέργειας, σε εναλλασσόμενο ρεύμα, της ΦΒ γεννήτριας στην Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Ανδραβίδα και τη Λάρνακα, όπως προσομοιώθηκε στο Energy Plus απεικονίζεται στο (σχήμα 5.2).



Σχήμα 5.2: Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ΦΒ συστήματος

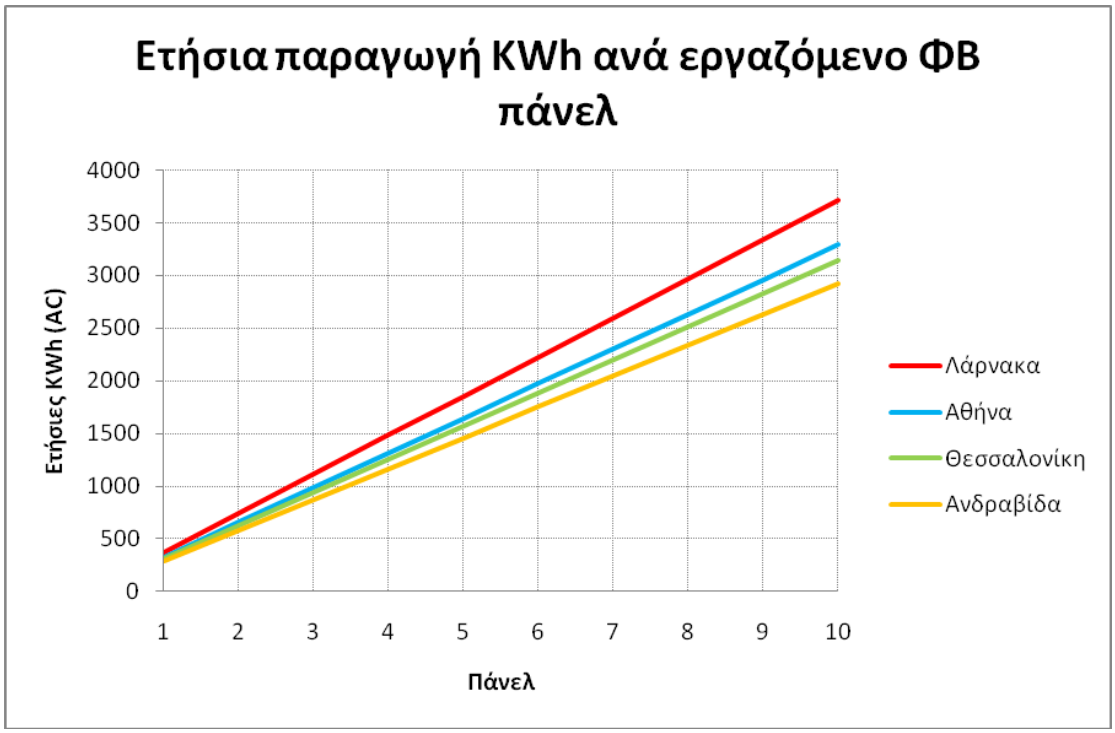
Ο πίνακας 5.1 δείχνει την ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε πόλη σε kWh

Λάρνακα	Αθήνα	Θεσσαλονίκη	Ανδραβίδα
1484	**1317**	**1255**	**1167**

Πίνακας 5. 1: Ετήσια παραγωγή ενέργειας ΦΒ συστήματος

Η ετήσια παραγωγή εναλλασόμενου ρεύματος στις τέσσερις πόλεις ανά μέγεθος συστήματος, καλυμμένης επιφάνειας από ΦΒ. Το κάθε ΦΒ πάνελ έχει επιφάνεια 2,728 m^2 . Η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε με 4 πάνελ.

Το ακόλουθο σχήμα 5.3, δείχνει την ετήσια παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος που επιτυγχάνεται σε κάθε εξεταζόμενη πόλη, ανάλογα με το μέγεθος του ΦΒ συστήματος δηλαδή των εργαζόμενων πάνελ.

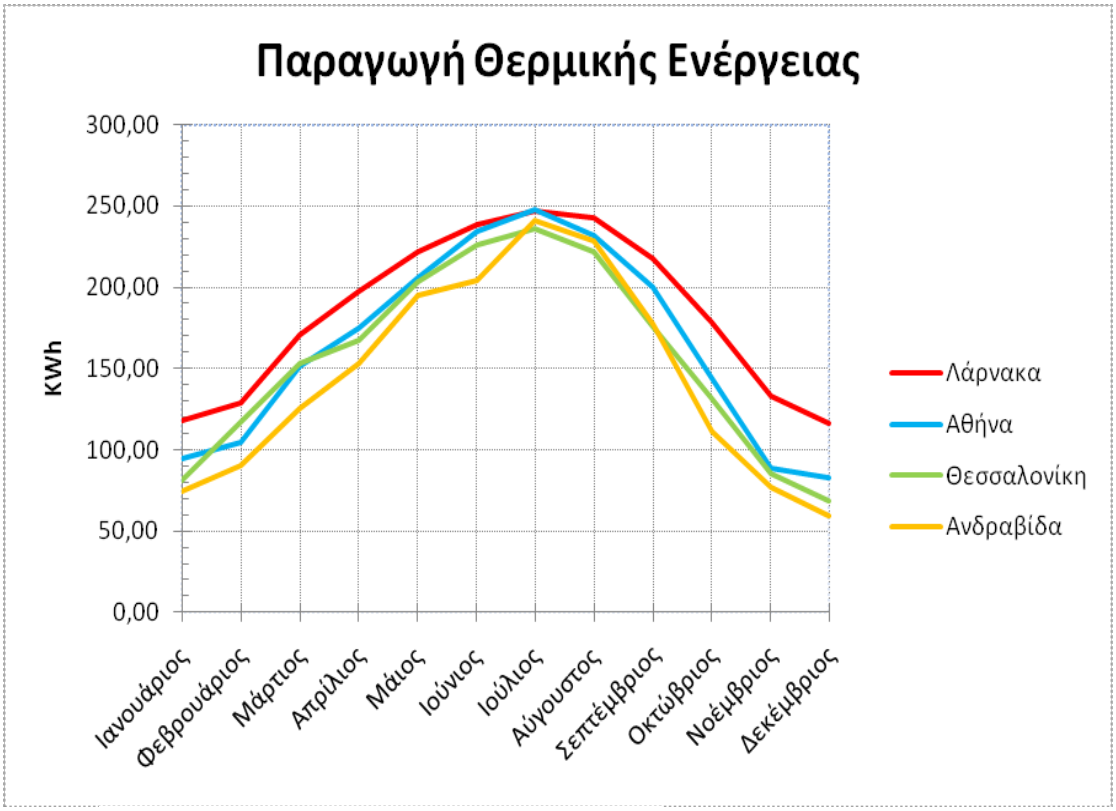


Σχήμα 5.3: Παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος ανά εργαζόμενα ΦΒ πάνελ

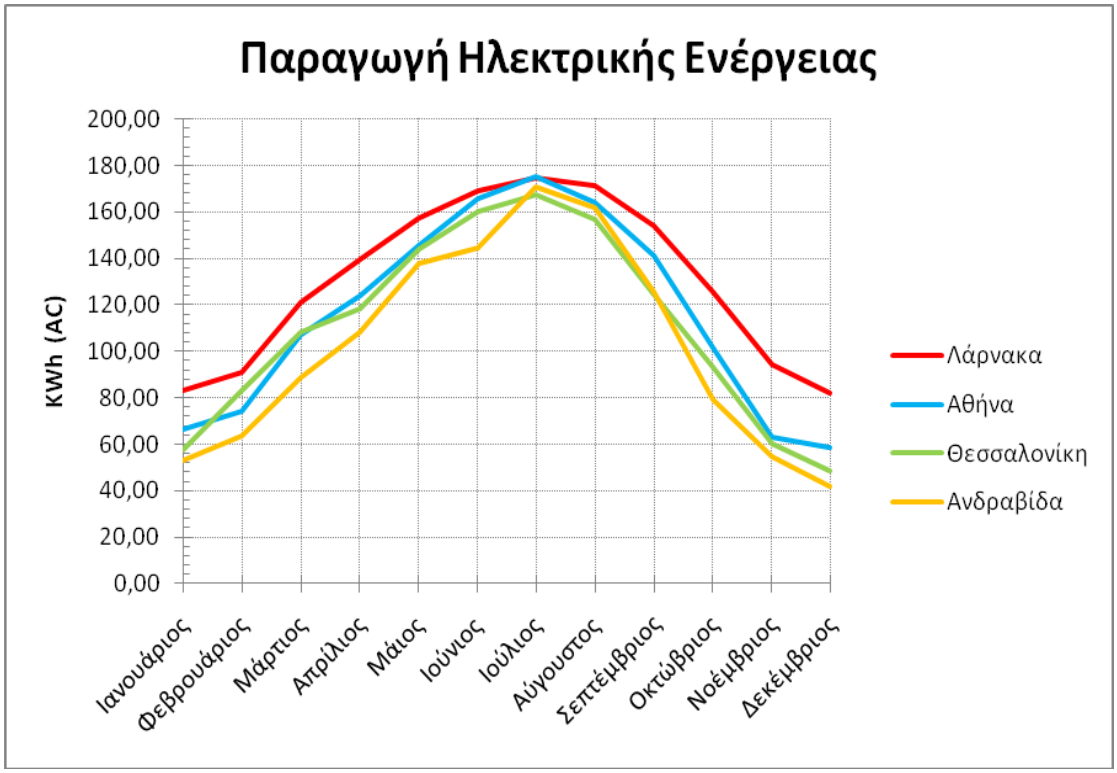
Με δεδομένο ότι η ετήσια κατανάλωση μίας τυπικής κατοικίας είναι 3.000 KWh, εξαιρουμένης της θέρμανσης, τότε για πλήρη κάλυψη των αναγκών σε ρεύμα απαιτούνται στη Λάρνακα 8 πάνελ συνολικής έκτασης 21,83 m^2 , στην Αθήνα 9 πάνελ συνολικής έκτασης 24,55 m^2 , στην Θεσσαλονίκη και Ανδραβίδα περίπου 10 πάνελ συνολικής έκτασης 27,28 m^2.

5.3 Ανάλυση αποτελεσμάτων ΦΒ/Θ συστήματος

Η μηνιαία ηλεκτρική και θερμική παραγωγή ενέργειας όπως υπολογίστηκε από την προσομοίωση ΦΒ/Θ συστήματος σε κάθε πόλη απεικονίζεται στα σχήματα 5.4 και 5.5 αντίστοιχα.



Σχήμα 5.4: Παραγωγή θερμικής ενέργειας ΦΒ/Θ συστήματος



Σχήμα 5.5: Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ΦΒ/Θ συστήματος

Ο πίνακας 5.2 δείχνει την ετήσια θερμική και ηλεκτρική παραγωγή ενέργειας σε κάθε πόλη σε kWh.

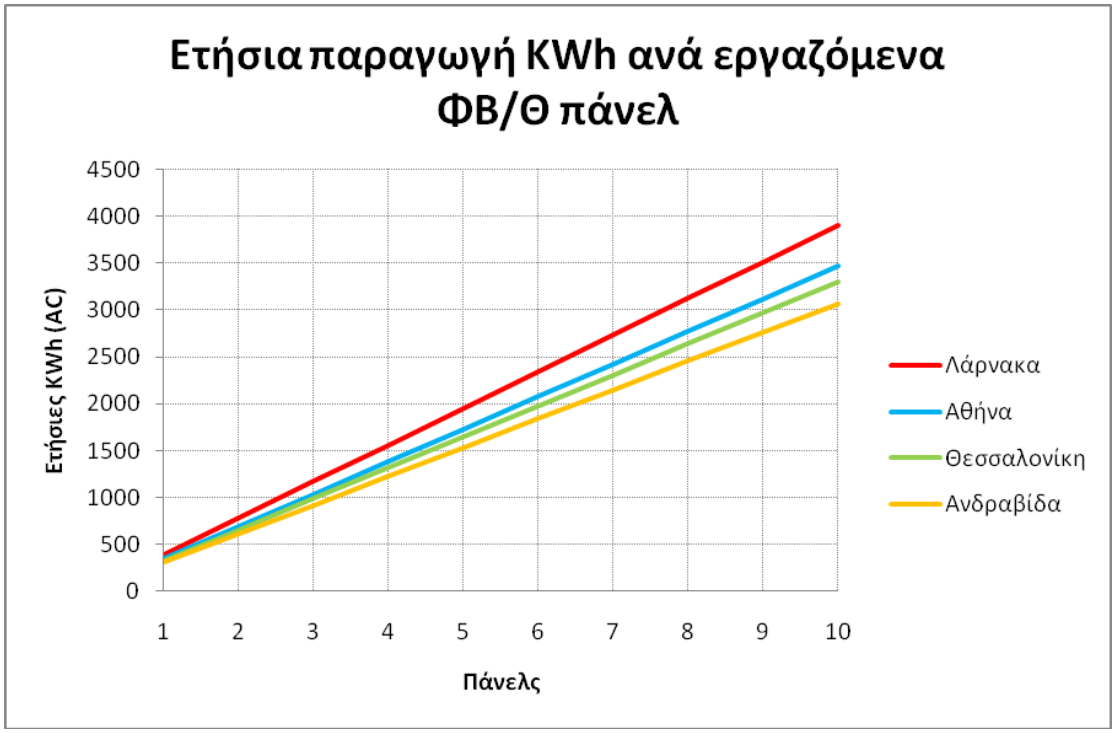
Λάρνακα		Αθήνα		Θεσσαλονίκη		Ανδραβίδα	
Θερμική	Ηλεκτρ.	Θερμική	Ηλεκτρ.	Θερμική	Ηλεκτρ.	Θερμική	Ηλεκτρ.
2209	**1562**	**1960**	**1386**	**1868**	**1321**	**1738**	**1229**

Πίνακας 5.2: Ετήσια παραγωγή ενέργειας ΦΒ/Θ συστήματος

Τα ακόλουθα σχήματα 5.6 και 5.7 , δείχνουν την ετήσια παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος και θερμικής ενέργειας αντίστοιχα, που επιτυγχάνεται σε κάθε εξεταζόμενη πόλη, ανάλογα με το μέγεθος του ΦΒ/Θ συστήματος, δηλαδή των εργαζόμενων πάνελ.

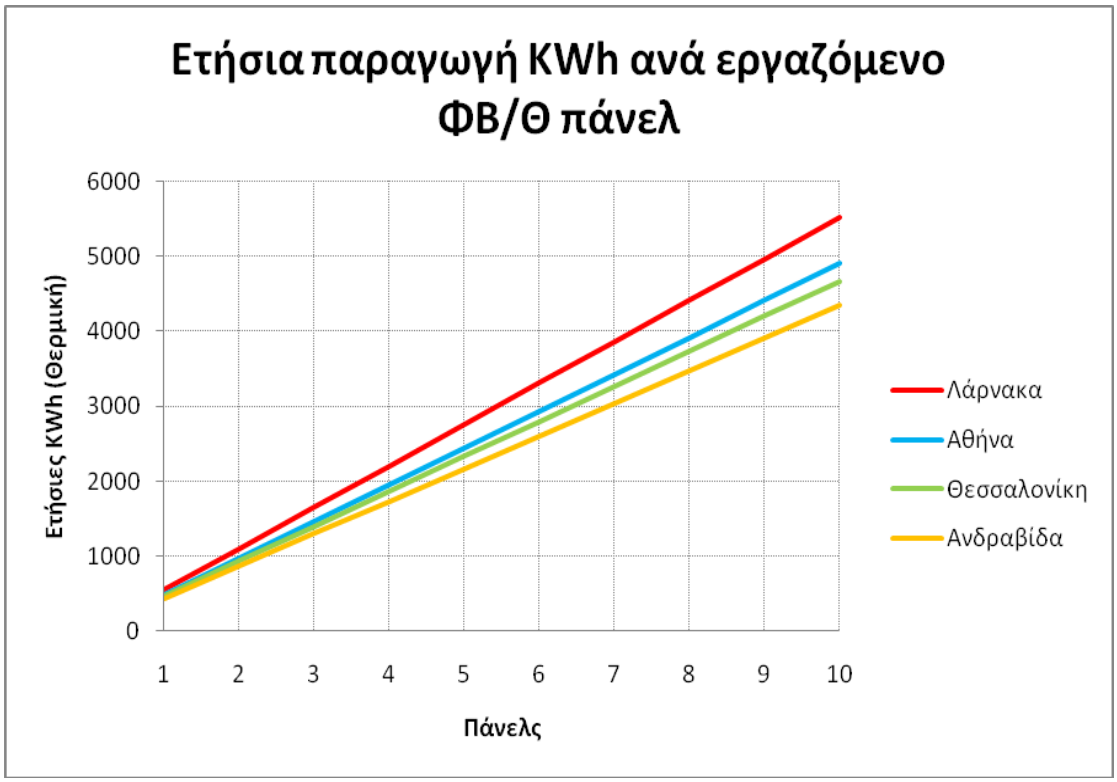
Η γραφική παράσταση αποτυπώθηκε ως γραμμική καθώς τα αποτελέσματα του Energy Plus για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε πάνελ έχουν απόκλυση μερικές μονάδες σε Joule. Ο λόγος είναι γιατί τα πάνελ συνδέθηκαν σε σειρά

Το κάθε ΦΒ/Θ πάνελ έχει επιφάνεια A=2,728 m^2 . Η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε με 4 πάνελ.



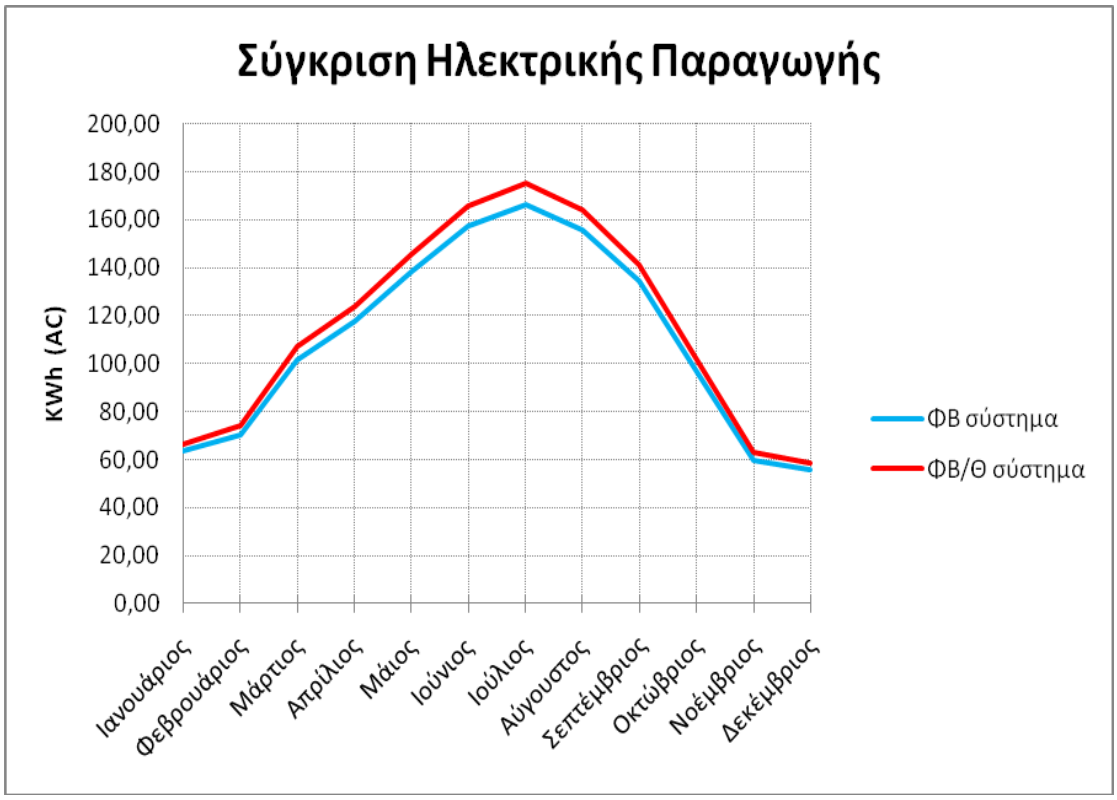
Σχήμα 5.6: Παραγωγή εναλλασσόμενου ρεύματος ανά εργαζόμενα ΦΒ/Θ πάνελ

Με δεδομένο ότι η ετήσια κατανάλωση μίας τυπικής κατοικίας είναι 3.000 KWh, εξαιρουμένης της θέρμανσης η οποία μπορεί να καλυφθεί με την θερμική ενέργεια που παράγεται, τότε για πλήρη κάλυψη των αναγκών σε ρεύμα απαιτούνται στη Λάρνακα 8 πάνελ συνολικής έκτασης 21,83 m^2 , στην Αθήνα 9 πάνελ συνολικής έκτασης 24,55 m^2 , στην Θεσσαλονίκη και Ανδραβίδα περίπου 10 πάνελ συνολικής έκτασης 27,28 m^2.



Σχήμα 5.7: Παραγωγή θερμικής ενέργειας ανά εργαζόμενα ΦΒ/Θ πάνελ

Ακολούθος γίνεται μία σύγκριση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Αθήνα μεταξύ ΦΒ και ΦΒ/Θ συστήματος και απεικονίζεται στο (σχήμα 5.8).

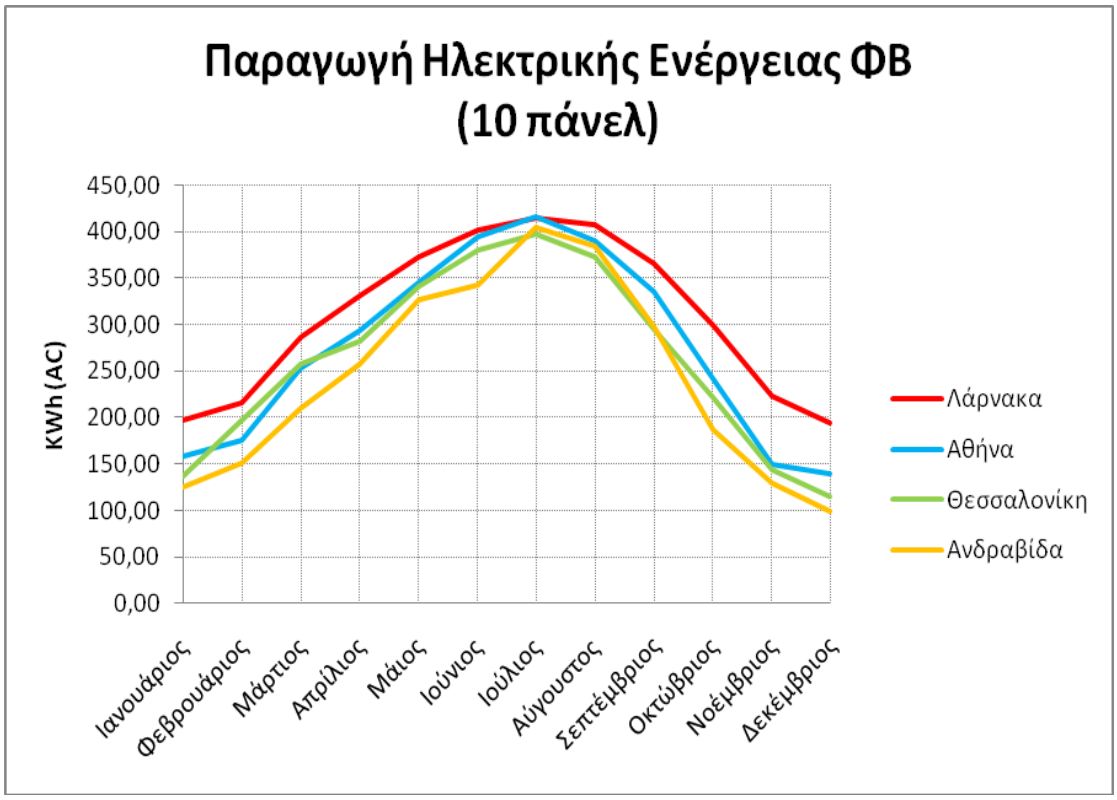


Σχήμα 5.8: Σύγκριση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας AC στην Αθήνα

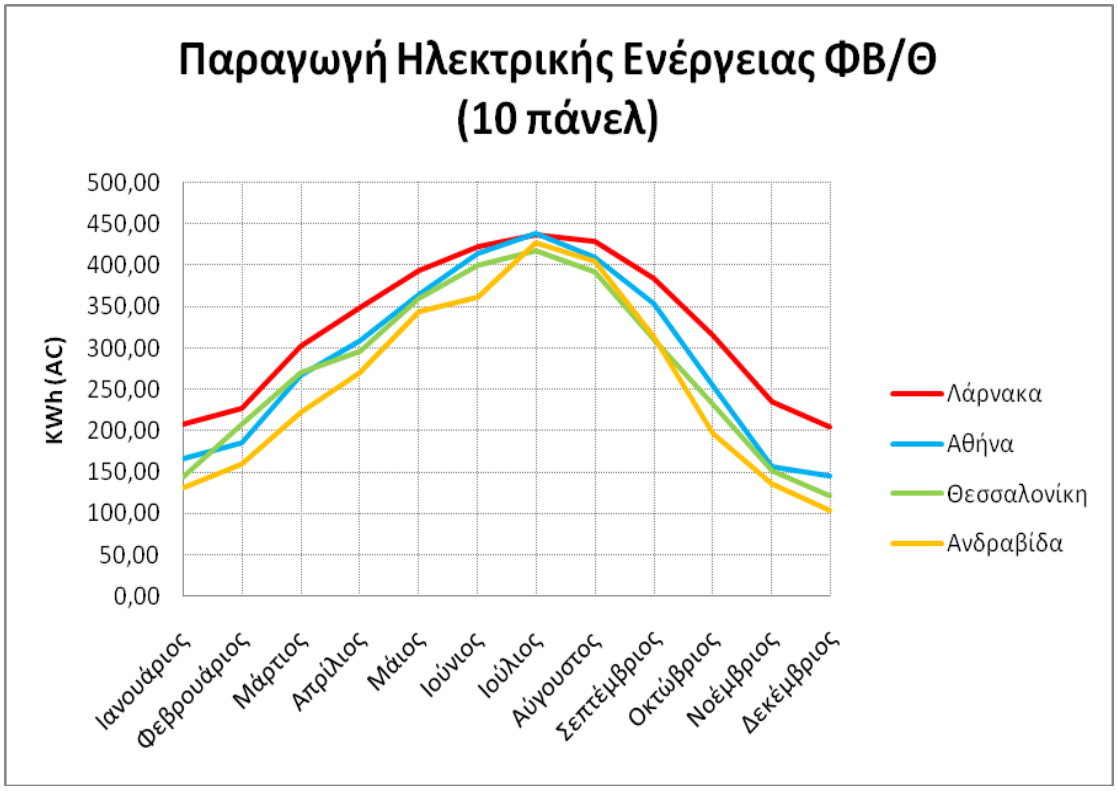
5.4 Μελέτη ιδιοκάλυψης αναγκών κατοικίας σε ηλεκτρική ενέργεια

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, μελετώντας τα σχεδιαγράμματα 5.3 και 5.6, για να επιτευχθεί η κάλυψη των αναγκών και στην πιο δυσμενή περιοχή (Ανδραβίδα) θα χρειαστεί εγκατάσταση δέκα πάνελ ΦΒ και ΦΒ/Θ αντίστοιχα, ελάχιστης έκτασης 27,28m^2. Θεωρούμε βάση στατιστικών ότι μία μέση τετραμελής ελληνική οικογένεια καταναλώνει περίπου 3000 KWh ετησίως.

Η μηνιαία παραγωγή ενέργειας σε εναλλασσόμενο ρεύμα, της ΦΒ και ΦΒ/Θ γεννήτριας στην Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Ανδραβίδα και τη Λάρνακα, της επεκτεινόμενης εγκατάστασης σε δέκα πάνελ, παρουσιάζεται στα ακόλουθα σχήματα 5.9 και 5.10 αντίστοιχα.



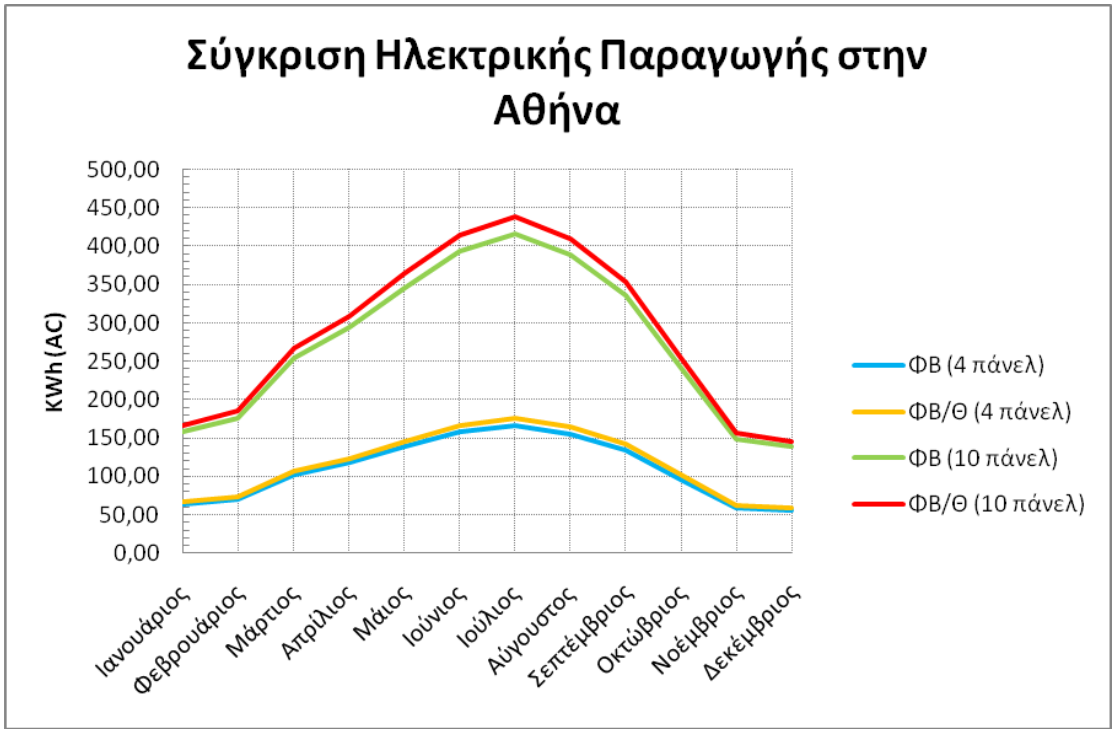
Σχήμα 5.9: Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ΦΒ συστήματος (10 πάνελ)



Σχήμα 5.10: Μηνιαία παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ΦΒ/Θ συστήματος (10 πάνελ)

Στο σχήμα 5.11 γίνεται σύγκριση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην Αθήνα, των ΦΒ και ΦΒ/Θ συστημάτων, ανάλογα με την έκταση της εγκατάστασης

των συστημάτων. Των τεσσάρων (4) πάνελ, που γίνεται η παρούσα μελέτη και η προσομοίωση στο Energy Plus, και των δέκα (10) πάνελ που είναι η ελάχιστη εγκατάσταση για κάλυψη των ιδίων αναγκών μιας τυπικής κατοικίας στην Ελλάδα.



Σχήμα 5.11: Σύγκριση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Αθήνα διαφορετικών συστημάτων και μεγέθους εγκατάστασης

5.5 Συμπεράσματα

Οι ηλιακοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορες χώρες σε όλο τον κόσμο. Μέχρι το τέλος του 2002, 77,9 εκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα ηλιακών συλλεκτών χρησιμοποιούνταν για την παραγωγή ζεστού νερού. Επιπλέον, κατασκευάζονται κάθε χρόνο 6791 MW ΦΒ . Η κύρια ιδέα πίσω από το ΦΒ/ Θ σύστημα είναι να συνδυάσει αυτά τα δύο συστήματα για την παραγωγή ηλεκτρισμού και ζεστού νερού χρήσης στην ίδια επιφάνεια για ένα σπίτι.

Η συνολική επιφάνεια των συλλεκτών κατά την προσομοίωση ήταν A = 10.912m². Το φωτοβολταϊκό σύστημα παράγει μόνο ηλεκτρική ενέργεια. Αλλά το ΦΒ/Θ σύστημα, με την ίδια επιφάνεια παράγεται ηλεκτρική και θερμική ενέργεια. Όπως ήταν αναμενόμενο η ηλεκτρική ενέργεια του ΦΒ/Θ σύστημα ήταν υψηλότερη. Αυτό συνέβη επειδή στο ΦΒ/Θ σύστημα πέφτει η θερμοκρασία λειτουγείας των φβ κελιών, κρατώντας έτσι το βαθμό απόδοσης σε ψηλά επίπεδα.

Όπως υπολογίστηκε από την προσομοίωση με Energy Plus, η ενέργεια που παράγει το ΦΒ/ Θ, είναι κατά 154% υψηλότερη από την ενέργεια που παράγεται με το φωτοβολταϊκό σύστημα (Πίνακας 5.3).

	ΦΒ	**ΦΒ/Θ**			Διαφορά
	Παραγόμενη Ενέργεια (kWh)	Ηλεκτρική παραγόμενη ενέργεια (kWh)	Θερμική παραγόμενη ενέργεια (kWh)	Συνολική παραγόμενη ενέργεια (kWh)	
Λάρνακα	**1484**	**1562**	**2209**	**3771**	**+154%**
Αθήνα	**1317**	**1386**	**1960**	**3346**	
Θεσσαλονίκη	**1255**	**1321**	**1868**	**3189**	
Ανδραβίδα	**1167**	**1229**	**1738**	**2967**	

Πίνακας 5.3: Σύγκριση αποτελεσμάτων ΦΒ με ΦΒ/Θ

Κεφάλαιο 6: Οικονομική Μελέτη

6.1 Περίοδος απόσβεσης του ΦΒ/Θ συστήματος

Η πιο κοινή και ταυτόχρονα πιο εύκολη στην χρήση μέθοδος για την αξιολόγηση των οικονομικών επιδόσεων του συστήματος γίνεται με «απλή ανάλυση περιόδου απόσβεσης» η οποία είναι ο λόγος του αρχικού κόστους 'ΔΚ' με την ετήσια εξοικονόμηση 'S' σε κάθε μία από τις τοποθεσίες που προσομοιώθηκαν στο λογισμικό Energy Plus (Εξίσωση 6.1).

$$\textit{Περίοδος Απόσβεσης} = \frac{\textit{Αρχικό κόστος } \Delta_K}{\textit{Ετήσια εξοικονόμηση } S} \quad (6.1)$$

Τα διαθέσιμα στο εμπόριο ΦΒ/ Θ συστήματα νερού έχουνε κόστος περίπου € 500,00 ανά m². Το συνολικό αρχικό κόστος για το συγκεκριμένο σύστημα που προσομοιώθηκε, με επιφάνεια A = 10,912m² είναι €5456

Όπως αναφέρθηκε και στο θεωρητικό μέρος, η νομοθεσία προβλέπει, αναφορικά με την Ελλάδα, ότι ένα νοικοκυριό είναι σε θέση να παράγει και να πωλεί ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο, στην τιμή των € 0,55 ανά kWh, για 25 χρόνια. Την ίδια στιγμή, το νοικοκυριό αγοράζει την ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο € 0,15 ανά kWh. Όσων αφορά την Κύπρο, ένα νοικοκυριό είναι σε θέση να πωλήσει το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΦΒ, στο δίκτυο στην τιμή των € 0,38 ανά kWh. Ταυτόχρονα, η τιμή ηλεκτρισμού για τα νοικοκυριά είναι περίπου € 0,15 ανά kWh.

Για να υπολογιστεί η ετήσια εξοικονόμηση χρημάτων από την χρήση των ΦΒ/Θ συστημάτων σε κάθε περιοχή, υπολογίζουμε τα έσοδα απο την πώληση στο δίκτυο του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται, που είναι οι παραγώμενες kWh πολλαπλασιασμένες με την διαφορά πώλησης και αγοράς στο δύκτιο , €0,55- €0,15 = €0,40 ανά kWh για την Ελλάδα και €0,38 - €0,15 = €0,23 ανά kWh για την Κύπρο. Επείσης προσθέτουμε την εξοικονόμηση από την θερμική παραγωγή πολλαπλασιάζοντας τις παραγόμενες kWh θερμικής ενέργειας με το κόστος της kWh, €0,15. Εξίσωση 6.2.

$$S = \text{Ηλεκτρ. Ενεργ. (kWh)} * \Delta€ + \text{Θερμικ. Ενεργ. (kWh)} * \ €0{,}15 \quad (6.2)$$

Λάρνακα: $S = 1562 \text{ kWh} * €0{,}23 + 2209 \text{ kWh} * \ €0{,}15 = \ €690{,}61$

$$\Pi.A = \frac{5456}{690{,}61} = 7{,}900$$

Αθήνα: $S = 1386\ \text{kWh} * €0{,}40 + 1960\ \text{kWh} * €0{,}15 = €848{,}40$

$$\Pi.A = \frac{5456}{848{,}40} = 6.431$$

Θεσσαλονίκη: $S = 1321\ \text{kWh} * €0{,}40 + 1868\ \text{kWh} * €0{,}15 = €808{,}60$

$$\Pi.A = \frac{5456}{808{,}60} = 6{,}747$$

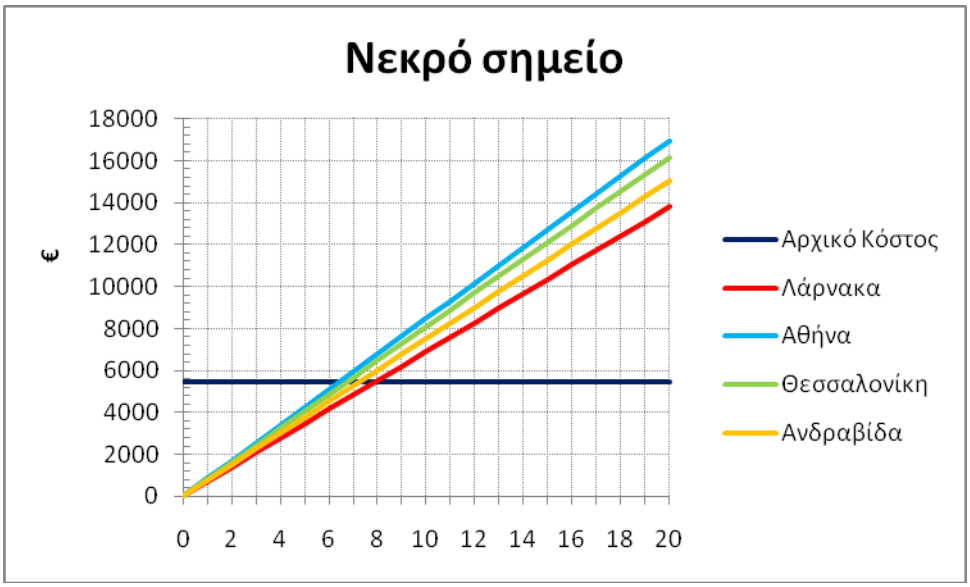
Ανδραβίδα: $S = 1229\ \text{kWh} * €0{,}40 + 1738\ \text{kWh} * €0{,}15 = €752{,}30$

$$\Pi.A = \frac{5456}{752{,}30} = 7{,}252$$

Ο χρόνος αποπληρωμής για κάθε θέση παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.1 και το νεκρό σημείο στο Σχήμα 6.1

Πόλη	**Λάρνακα**	**Αθήνα**	**Θεσσαλονίκη**	**Ανδραβίδα**
Περίοδος Αποπληρωμής (Έτη)	7,9	6,4	6,7	7,2

Πίνακας 6.1: Περίοδος αποπληρωμής



Σχήμα 6.1: Νεκρό σημείο κάθε πόλης

Το θερμικό μέρος του ΦΒ/Θ συστήματος εκτιμάται ότι κοστίζει το 25% του συνόλου του ΦΒ/Θ συστήματος. Ως εκ τούτου, η εκτιμώμενη τιμή για το ΦΒ σύστημα είναι €4092.

Λάρνακα: $S = 1484\ \text{kWh} * €0{,}23 = €341{,}32$

$$\Pi.A = \frac{4092}{341{,}32} = 11{,}988$$

Αθήνα: $S = 1317\ \text{kWh} * €0{,}40 = €526{,}80$

$$\Pi.A = \frac{4092}{526{,}80} = 7{,}767$$

Θεσσαλονίκη: $S = 1255\ \text{kWh} * €0{,}40 = €502{,}00$

$$\Pi.A = \frac{4092}{502{,}00} = 8{,}151$$

Ανδραβίδα: $S = 1167\ \text{kWh} * €0{,}40 = €466{,}80$

$$\Pi.A = \frac{4092}{466{,}80} = 8{,}766$$

Ο Πίνακας 6.2 δείχνει την περίοδος αποπληρωμής για το ΦΒ σύστημα και το ποσοστό διαφοράς με το ΦΒ/Θ σύστημα.

Πόλη	**Λάρνακα**	**Αθήνα**	**Θεσσαλονίκη**	**Ανδραβίδα**
Περίοδος Αποπληρωμής (Έτη)	12	7,8	8,1	8,8
Διαφορά με ΦΒ/Θ	52%	22%	21%	22%

Πίνακας 6.2: Περίοδος αποπληρωμής ΦΒ και διαφορά με ΦΒ/Θ

6.2 Καθαρή Παρούσα Αξία - Net Present Value (NPV)

Η μέθοδος NPV είναι η πιο κοινή μέθοδος που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση μιας επένδυσης, και για ένα νοικοκυριό αν το σύστημα θα έχει μεγάλο αρχικό κόστος και ετήσια ταμειακή ροή τότε πρέπει να θεωρηθεί ως επένδυση.

Για να έχουμε μια πιο σοβαρή ανάλυση σχετικά με το εξεταζόμενο σύστημα, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η διαχρονική αξία του χρήματος. Για να ληφθούν υπόψη οι διαφορές, είναι χρήσιμη η ανάλυσης της παρούσας αξίας στην οποία όλες οι μελλοντικές δαπάνες μετατρέπονται ισοδύναμα στην παρούσα αξία. Η Εξίσωση 6.2 δίνει την παρούσα αξία P του συστήματος.

$$P = \Gamma_\tau * \Pi A(\rho, \tau) \qquad (6.2)$$

Γ_τ : οι καθαρές ταμειακές ροές (το ποσό μετρητών) στο χρόνο τ.
τ : ο χρόνος των ταμειακών ροών
ρ : το ποσοστό έκπτωσης (το ποσοστό επιστροφής που θα μπορούσε να κερδηθεί σε μια επένδυση στις χρηματιστικές αγορές με τον παρόμοιο κίνδυνο, εδώ 0,6 όσο και το μέγιστο επιτόκιο ενός τραπεζικού γραμματίου)

Π.Α(ρ,τ): ο συντελεστής παρούσας αξίας που δίνεται από την εξίσωση 6.3

$$\Pi A(\rho, \tau) = \frac{(1+\rho)^\tau - 1}{\rho(1+\rho)^\tau} \qquad (6.3)$$

Η Ανάλυση της Καθαρής Παρούσας Αξίας των ΦΒ/Θ συστημάτων θα είναι για 20 χρόνια, επειδή τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα είναι σε θέση να δουλεύουν αποτελεσματικά για όλα αυτά τα χρόνια. Η ετήσια ταμειακή ροή είναι η ίδια με την ετήσια εξοικονόμηση 'S' από την απλή περίοδο αποπληρωμής.

Η Καθαρής Παρούσας Αξίας (NPV) βρίσκεται από την εξίσωση 6.4

$$\mathrm{NPV} = \sum_{\tau=1}^{N} \Pi A(\rho, \tau) \text{ - } \textit{Αρχικό Κόστος} \qquad (6.4)$$

όπου N: ο συνολικός χρόνος του προγράμματος (20 χρόνια)

Ο NPV είναι ένας δείκτης που εκτιμά κατά πόσο μια επένδυση ή το πρόγραμμα προσθέτει στην αξία της εταιρίας.

Αν NPV > 0 τότε η επένδυση θα προσθέσει αξία στην εταιρία, ενώ αν

NPV < 0 τότε η επένδυση θα αφαιρέσει αξία από την εταιρία

Ο Πίνακας 6.3 παρουσιάζει τα NPV, για κάθε τοποθεσία.

Πόλη	**Λάρνακα**	**Αθήνα**	**Θεσσαλονίκη**	**Ανδραβίδα**
NPV (€)	2465,24	4275,08	3818,58	3172,82

Πίνακας 6.3: Καθαρή Παρούσα Αξία των ΦΒ/Θ συστημάτων

Η ανάλυση της επένδυσης καθορίστηκε για είκοσι χρόνια λειτουργίας, που είναι λιγότερα χρόνια από τη εγγύηση διάρκειας ζωής ενός τέτοιου συστήματος. Η διάρκεια ζωής των ΦΒ/Θ όμως ξεπερνά τα εικοσιπέντε χρόνια, με πτώση της απόδοσης ισχύος κατά την πάροδο του χρόνου.

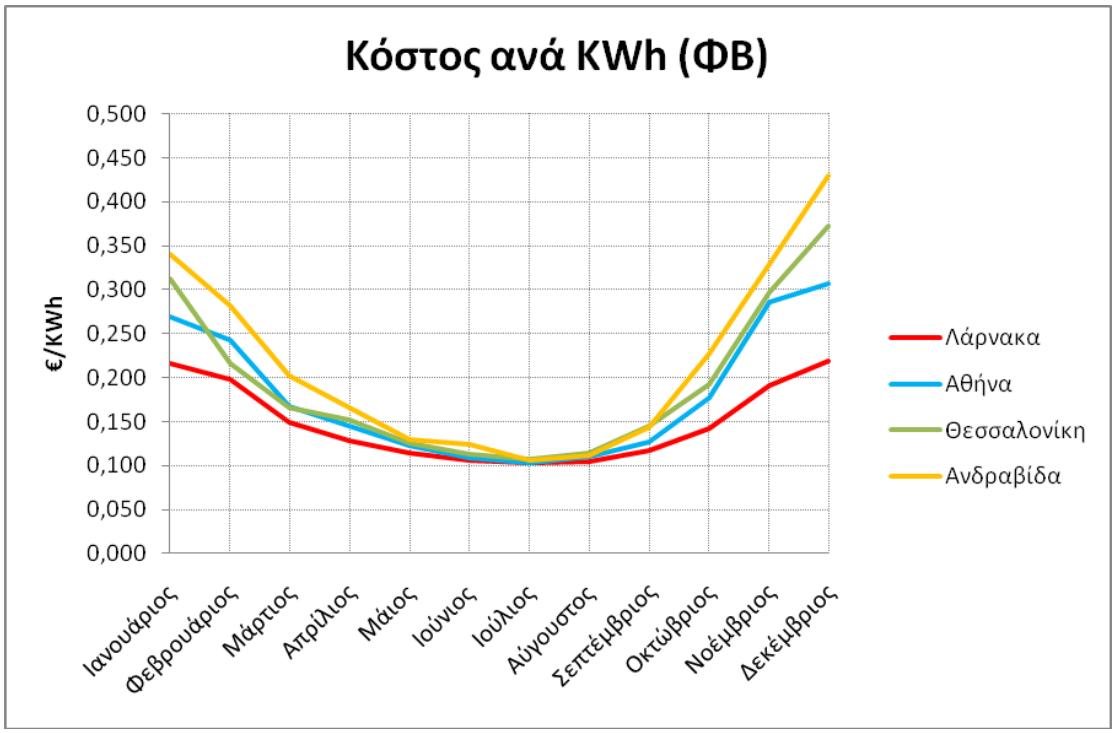
Δεδομένω των θετικών αποτελεσμάτων της Καθαρής Παρούσας Αξίας στα λιγότερα χρόνια συμπερένουμε ότι και στις τέσσερις πόλεις η εγκατάσταση των ΦΒ/Θ είναι αρκετά συμφέρουσα επένδυση.

6.3 Ανάλυση κόστους ανά παραγόμενη kWh

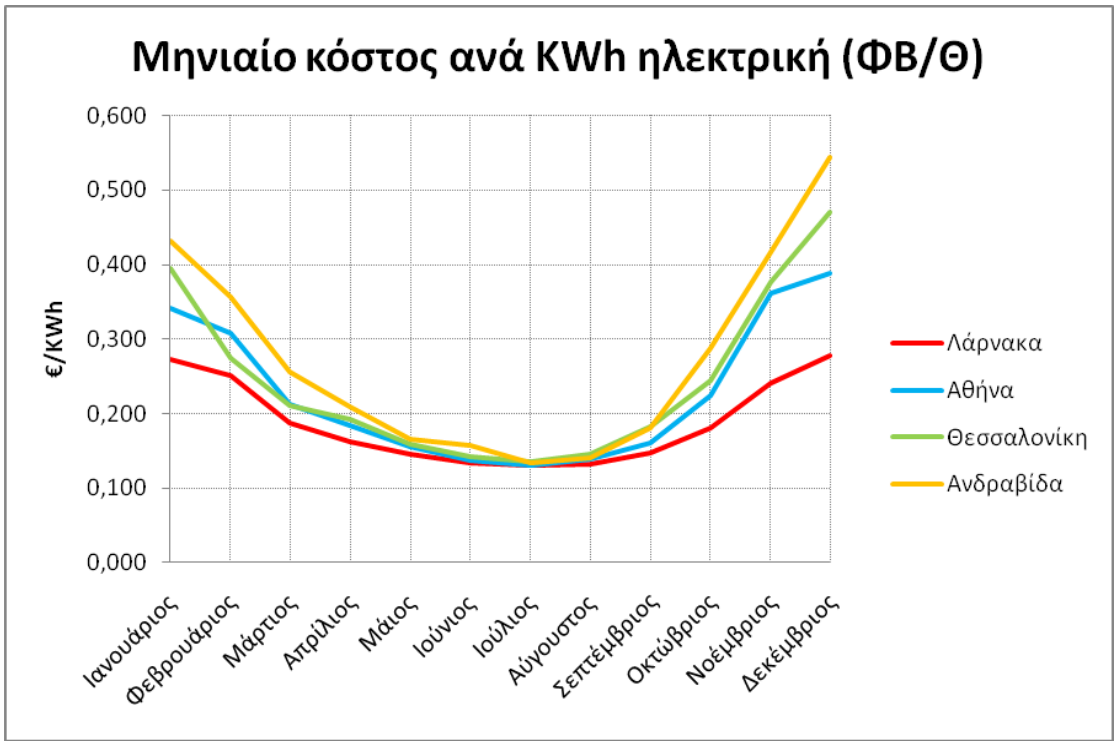
Ένας σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την αξία μιας επένδυσης στα Φωτοβολταικά και γενικά στις γεννήτριες, είναι το κόστος της παραγόμενης kWh. Όσο μικρότερο είναι το κόστος, τόσο πιο συμφέρουσα είναι η επένδυση.

Για να μελετήσουμε το κόστος ανά kWh, θεωρήσαμε ότι το συνολικό κόστος επένδυσης θα κατανεμηθεί ισοδύναμα σε είκοσι χρόνια, ενώ στις προδιαγραφές του ΦΒ/Θ μοντέλου προσομοίωσης αναφέρει Εγγύηση Ενέργειας 90% για τα πρώτα δέκα χρόνια και 80% μέχρι τα εικοσιπέντε χρόνια. Όπως έχουμε ήδη υπολογίσει, το κόστος των συστημάτων που προσομοιώθηκαν είναι €4092 για ΦΒ και €5456 για ΦΒ/Θ.

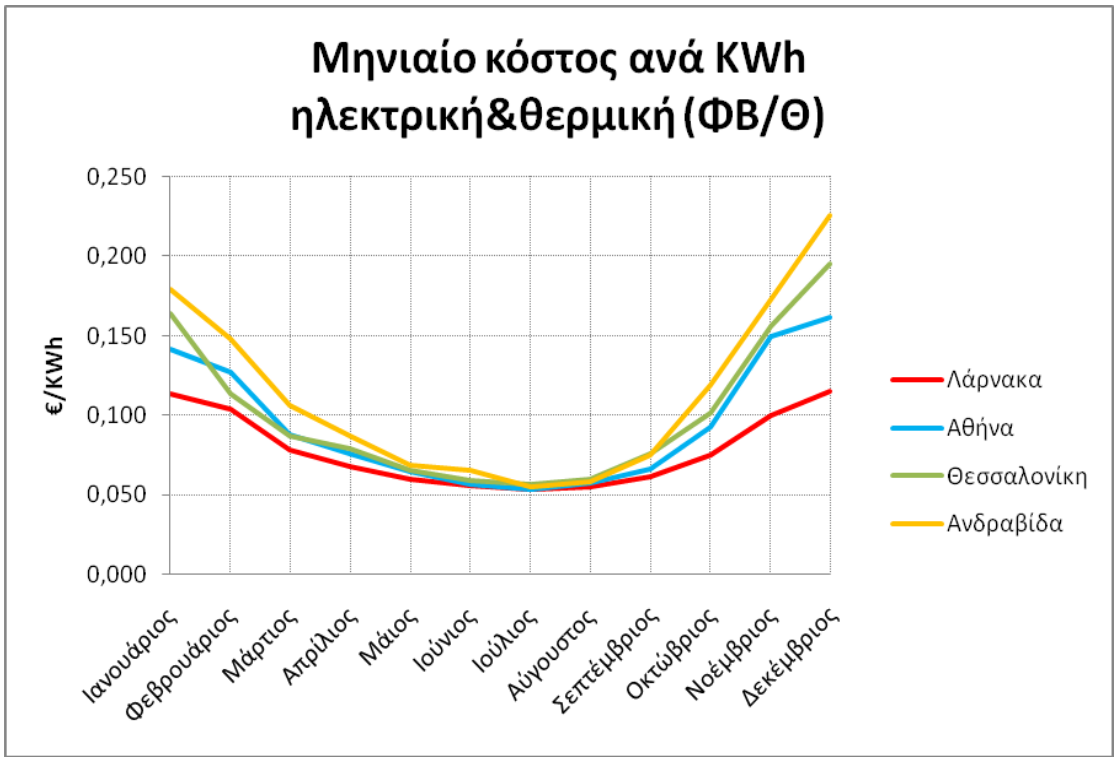
Ακολούθως παρουσιάζονται τα μηνιαία κόστη λειτουργείας €/kWh στις τέσσερις υπό μελέτη πόλεις.



Σχήμα 6.2: Μηνιαίο κόστος ανά kWh ΦΒ συστήματος



Σχήμα 6.3: Μηνιαίο κόστος ανά kWh ηλεκτρικής ενέργειας ΦΒ/Θ συστήματος



Σχήμα 6.4: Μηνιαίο κόστος ανά kWh ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας ΦΒ/Θ συστήματος

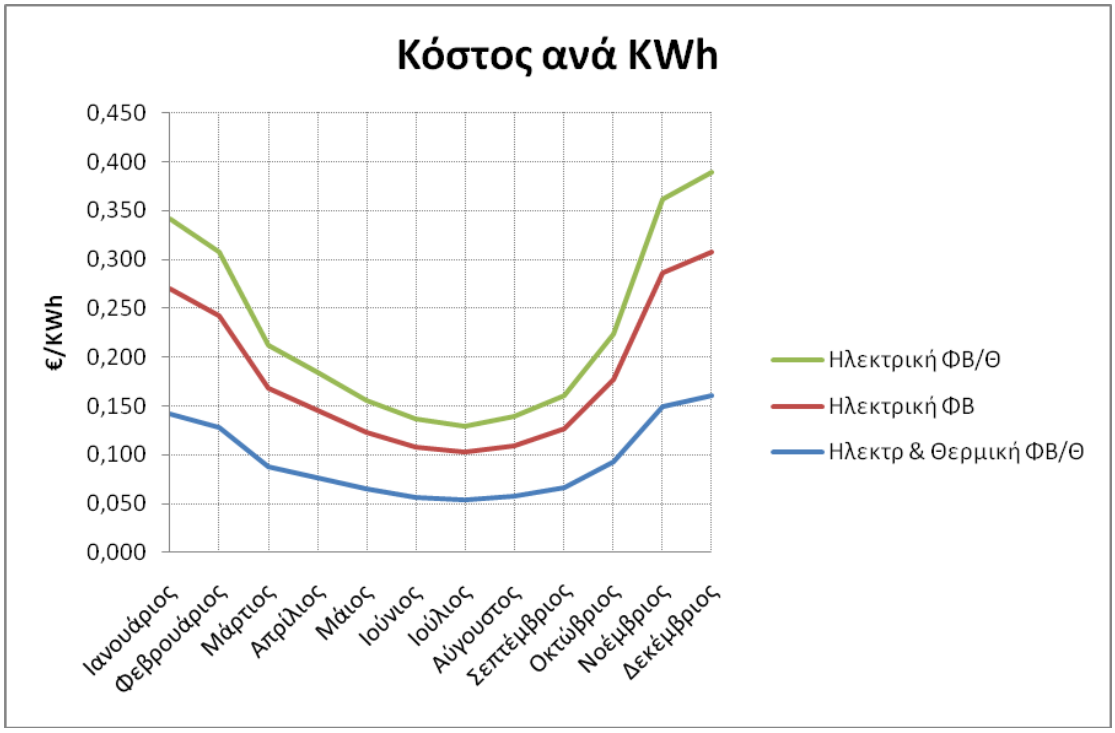
Το κόστος ανά kWh του ΦΒ/Θ συστήματος αναλύθηκε για χρήση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, και σε χρήση μόνο ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό γιατί η θερμική ενέργεια που παράγεται από τα ΦΒ/Θ συστήματα δεν είναι πάντα πλήρως εκμεταλεύσιμη και η ενδεχόμενη περίσσια θερμικής ενέργειας δεν μπορεί να πωληθεί, όπως γίνεται με την ηλεκτρική ενέργεια που συνδέεται και πωλείται στο δίκτυο.

Για να γίνει καλύτερα αντιληπτό, παρουσιάζεται το ακόλουθο διάγραμμα κόστους ανά kWh στην Αθήνα για τις περιπτώσεις

α) παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ΦΒ συστήματος

β) χρήση μόνο της ηλεκτρικής ενέργειας του ΦΒ/Θ συστήματος

γ) πλήρης ηλεκτρική και θερμική εκμετάλευση της παραγωγής του ΦΒ/Θ συστήματος



Σχήμα 6.5: Μηνιαίο κόστος ανά kWh παραγόμενης ενέργειας στην Αθήνα

Όπως παρατηρείται από το πιο πάνω διάγραμμα η επιλογή του καταλληλότερου συστήματος εξαρτάται από το μέγεθος εκμετάλευσης της θερμικής ενέργειας.

Η αύξηση της απόδοσης των ΦΒ/Θ λόγω πτώσης της θερμοκρασίας, μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, δεν υπερκαλύπτει το αυξημένο κόστος των συγκεκριμένων συστημάτων.

6.3.1 Επιλογή κατάλληλου συστήματος

Θα επιχειχηρηθεί η κατάλληλη επιλογή συστήματος ανάλογα με

i) τη χρήση του υποστατικού και τις ανάγκες σε θερμική ενέργεια

ii) το μέγεθος των ΦΒ/Θ συστημάτων (υπό μελέτη μοντέλο 4 πάνελ/10 πάνελ)

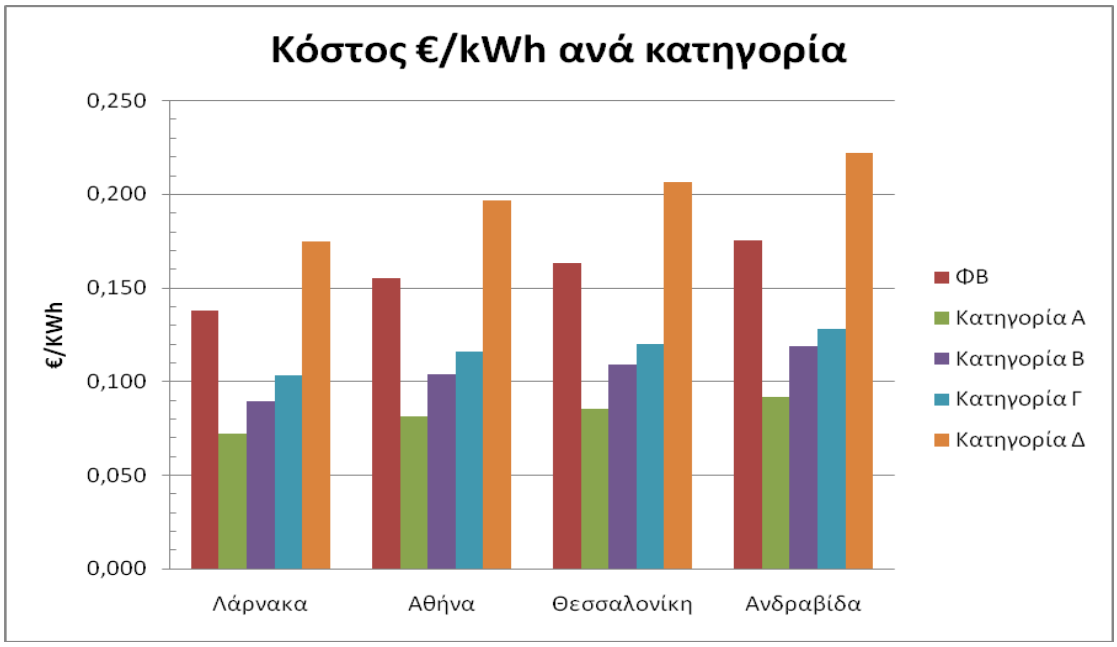
συγκρινόμενα πάντα με ΦΒ σύστημα

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια εκμεταλεύται πλήρως καθώς μπορεί να πωληθεί στο δίκτυο ενώ η εκμετάλευση της παραγόμενη θερμικής ενέργειας για εξοικονόμιση ενέργειας ποικίλει ανάλογα με τη χρήση και την ανάγκη σε ζεστό νερό. Έτσι χωρίζουμε τα υποστατικά σε κατηγορίες ανάλογα με τις ανάγκες θερμικής κατανάλωσης.

Κατηγορία	**Εγκαταστάσεις /Υποστατικά**	**Εκμετάλευση Παραγόμενης Ενέργειας**
Α	Ξενοδοχεία, νοσοκομεία, εργοστάσια, αθλητικές εγκαταστάσεις	Πλήρης εκμετάλευση όλης της παραγωγής
Β	Σχολεία, κτήρια με ενδοδαπέδια θέρμανση ή πισίνα	Πλήρης εκτός καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος)
Γ	Τυπική κατοικία	Μερική εκμετάλευση, ανάγκες μόνο σε ζεστό νερό χρήσης (max 120kWh/μήνα)
Δ	Ηλιακά Πάρκα	Μόνο ηλεκτρική ενέργεια, καθόλου θερμική

Πίνακας 6.4: Κατηγορία εγκατάστασης ανάλογα με θερμική εκμετάλευση παραγόμενης ενέργειας

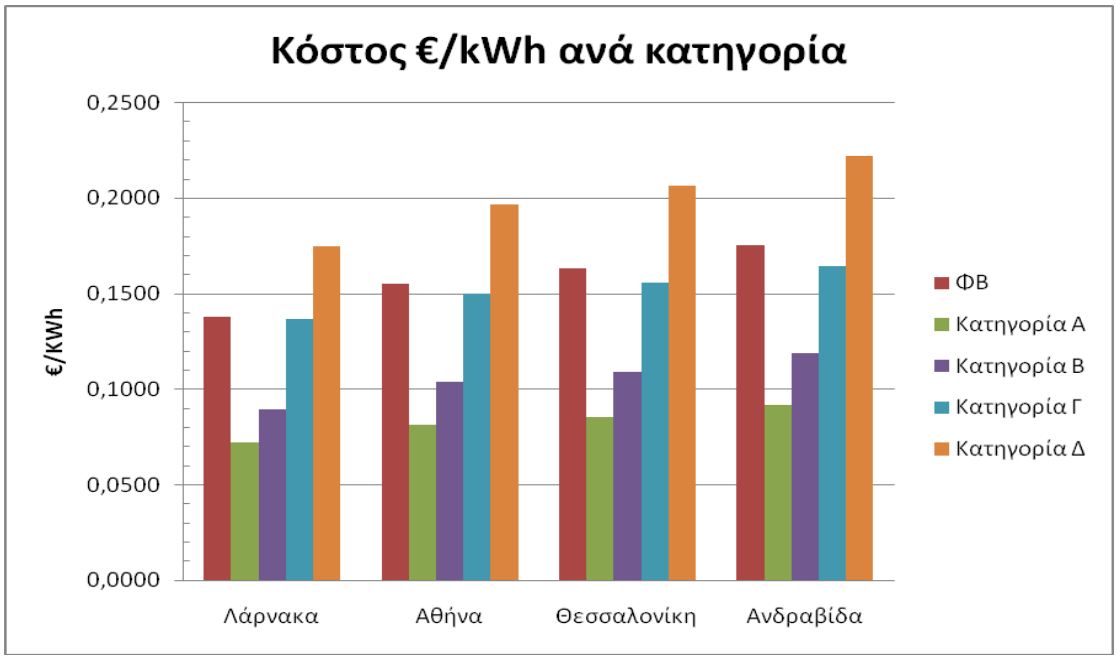
Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται το κόστος ανά kWh των κατηγοριών εκμετάλευσης του ΦΒ/Θ και του ΦΒ , σε κάθε πόλη.



Σχήμα 6.6: Ετήσιο κόστος ανά kWh για κάθε κατηγορία εκμετάλευσης ενέργειας (4 πάνελ)

Παρατηρούμε ότι η χρήση των ΦΒ/Θ συστημάτων είναι η καταλληλότερη σε όλες τις περιπτώσεις εκτός και αν δεν έχουμε σκοπό να εκμεταλευτούμε καθόλου τη θερμική ενέργεια που παράγεται. Για την κατηγορία Δ, δηλαδή για τα ηλιακά πάρκα, κρίνεται πλέον ασύμφορη η χρήση ενός τέτοιου συστήματος.

Ακολούθος εξετάζεται μια μεγαλύτερη εγκατάσταση από το μοντέλο προσομοίωσης, δέκα πάνελ 27,28 m^2 , που όπως έχει προαναφερθεί καλύπτει πλήρως τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια μιας μέσης τετραμελής ελληνικής οικογένειας που καταναλώνει περίπου 3000 KWh ετησίως.



Σχήμα 6.7: Ετήσιο κόστος ανά kWh για κάθε κατηγορία εκμετάλευσης ενέργειας (πάνελ 10)

Παρατηρούμε την οριακή τιμή της κατηγορίας Γ (τυπική κατοικία) σε σχέση με τη λειτουργεία ΦΒ. Γεγονός που οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η εγκατάσταση ΦΒ/Θ συστημάτων μεγαλύτερες από 30 m^2 σε τυπικές κατοικίες δεν είναι συμφέρουσα πλέον και προτιμότερο είναι η εγκατάσταση ΦΒ συστημάτω

6.4 Συμπεράσματα

Το βασικό πλεονέκτημα, όπως δηλώνεται και από τους κατασκευαστές των ΦΒ/Θ συστημάτων, είναι ότι τα ΦΒ/Θ συστήματα έχουν μικρότερη χρονική διάρκεια αποπληρωμής. Το γεγονός αυτό επαληθεύτηκε και με τη παρούσα μελέτη προσομοιώσης των συστημάτων στο Energy Plus καθώς υπολογίστηκε ότι ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης στα ΦΒ/Θ συστήματα είναι περίπου 20% υψηλότερος από τα ΦΒ συστήματα, ενώ σε ειδικές περιπτώσεις όπως στην πόλη της Λάρνακας ξεπερνά το 50%. Επείσης, η συνολική παραγόμενη ενέργεια των ΦΒ/Θ είναι κατά 154% μεγαλύτερη από την παραγόμενη ενέργεια των ΦΒ για την ίδια επιφάνεια λειτουργίας,

Με βάση την οικονομική μελέτη υπολογίστηκε ότι τα ΦΒ/Θ μπορούν να θεωρηθούν ως μια πολύ προσοδοφόρα επένδυση στην Ελλάδα και Κύπρο και γενικότερα σε όλες τις μεσογειακές χώρες, κάτι που θα ενισχύσει το μερίδιο αγοράς του συστήματος. Αν ένα νοικοκυριό στην Αθήνα αποφασίσει να επενδύσει σε ένα ΦΒ/Θ με παρόμοιες επιδόσεις όπως σ’αυτά που προσομοιώθηκαν , θα έχει ένα κέρδος €4275 μέσα σε είκοσι χρόνια, ακόμα και με προεξοφλητικό επιτόκιο της τάξης του 6%. (συνολικό κέρδος €17816,4 χωρίς να λαμβάνουμε υπόψει άλλους παράγοντες)

Ενώ στη Λάρνακα παρατηρείται η μεγαλύτερη απόδοση τόσο σε ηλεκτρική όσο και σε θερμική ενέργεια, κατά την οικονομική μελέτη παρουσιάζει την μικρότερη αξία επένδυσης και μεγαλύτερη περίοδο αποπληρωμής σχετικά με άλλες πόλεις τις Ελλάδας, κάτι που μπορεί να οδηγήσει αρκετούς μελλοντικούς επενδυτές να την θεωρούν ασύμφορη. Αυτό γιατί ο παροχέας ρεύματος στην Κύπρο αγοράζει σε πολύ χαμηλότερη τιμή τις παραγόμενες από τα ΦΒ kWh συγκριτικά με την Ελλάδα. Αυτό καταδεικνύει πόσο σημαντικό είναι οι διάφοροι φορείς να δίνουν μεγαλύτερα κίνητρα για την χρήση των φωτοβολταικών.

Η χρήση ΦΒ/Θ συστημάτων ενδύκνειτε για περιπτώσεις όπου υπάρχει μεγάλη εκμετάλευση της θερμικής ενέργειας που παράγεται. Η ενέργεια αυτή καλύπτει τις ανάγκες σε ζεστό νερό και έτσι εξοικονομείται περισσότερη ενέργεια. Γενικά, λόγο του αυξημένου κόστους ενός ΦΒ/Θ συστήματος συγκριτικά με ένα ΦΒ, χρήσιμο θα ήταν να γίνεται μια οικονομική μελέτη, πέρα από την τεχνική μελέτη, αναλύοντας τις θερμικές ανάγκες του κτηρίου, έτσι ώστε να γίνει κατάλληλη επιλογή του βέλτιστου συστήματος. Οι γενικότερες ευεργετικές επιπτώσεις που μπορεί να υπάρχουν απότ τη μαζική εγκατάσταση τέτοιων συστημάτων, ως συνήθως ενδιαφέρουν λίγο ή ελάχιστα τον επενδυτή

6.5 Το μέλλον των ΦΒ/Θ συστημάτων

Εκτιμάται από την EPIA (European Photovoltaic Industry Association), ότι έως το 2020 οι τιμές των ΦΒ θα είναι ανταγωνιστικές προς τις συμβατικές τιμές τις ηλεκτρικής ενέργειας. Ως εκ τούτου, αναμένεται ότι οι στέγες με ΦΒ θα γίνουν ο κανόνας και όχι η εξαίρεση.

Αυτή η αναμενόμενη αύξηση στις εγκατάστασεις των ΦΒ θα αυξήσει επίσης της αγορά των ΦΒ/Θ συστημάτων. Σε περίπτωση που ένα νοικοκυριό θα πρέπει να επιλέξει μεταξύ την εγκατάσταση είτε χωριστών ηλιακών θερμικών και ΦΒ πλαισίων ή ΦΒ/Θ πάνελ, τα πλεονεκτήματα των ΦΒ/Θ συστημάτων, τόσο οικονομικά όσο και αισθητικά, είναι προφανείς. Ως εκ τούτου, το μέλλον των ΦΒ/Θ συστημάτων αναμένεται λαμπρό όπως και ο ήλιος.

Επιπλέον, κατά την τελευταία δεκαετία, η ηλιακή θερμική αγορά υφίσταται σημαντικές αλλαγές. Η επίπεδοι συλλέκτες, ακόμα και αν έχουν χαμηλές τιμές, είναι πλέον ανταγωνίσιμες με τις τεχνολογίες evacuated tube και heat pipes που κατασκευάζονται στην Κίνα. Για να αντέξει αυτόν τον ανταγωνισμό, οι κατασκευαστές ηλιακών συλλεκτών πρέπει να ενσωματώσουν καινοτομίες στα προϊόντα τους και να καταστούν αποδοτικές ώστε να ανοίξουν νέα μερίδια αγοράς για τα προϊόντα τους.

Από την άλλη πλευρά, η χαμηλότερη ηλεκτρική και θερμική απόδοση των καλυπτόμενων ΦΒ/Θ συστημάτων σε σύγκριση με τα ΦΒ και τους ηλιακούς συλλέκτες αντίστοιχα, είναι ένα μειονέκτημα σε κάθε αύξηση του μεριδίου αγοράς του εν λόγω συστήματος. Τα ΦΒ/Θ στο μέλλον θα είναι κατάλληλα για πολυκατοικίες και κτίρια όπου ο χώρος είναι περιορισμένος, για την αύξηση της θερμοκρασίας σε πισίνες όπου χρησιμοποιείται η πλειονότητα των ακάλυπτων ηλιακών συλλεκτών και οι ΦΒ/Θ συλλέκτες συγκέντρωσης, σε αθλητικά σωματεία και ξενοδοχεία όπου ο χώρος είναι περιορισμένος και η ζήτηση για ζεστό νερό και ηλεκτρικό ρεύμα είναι μεγάλη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

H.A. Zondag "*Flat-plate PV-Thermal collectors and systems: A review*"
W.G.J van Helden and H.A Zondeg " *Photovoltaic Thermal Panels: On the brin of demonstration"*
S.A. Kalogirou, Y. Tripanagnostopoulos *"Industrial application of PV/T solar energy systems "*
Y. Tripanagnostopoulos *" Hybrid Photovoltaic/Thermal Solar Systems"*
S. Kalogirou and Y. Tripanagnostopoulos *"Performance of a Hybrid PV/T Thermosyphon System"*
Soteris A. Kalogirou *"Solar thermal collectors and applications"*
E.U. White Paper "*Energy for the future: Renewable Sources of Energy"*
T.N. Anderson a,*, M. Duke a, G.L. Morrison *"Performance of a building integrated photovoltaic/thermal (BIPVT) solar collector "*

Κίμωνας Α. Αντωνόπουλος " *Θερμικά – Ηλιακά συστήματα*"
Ανδρέας Ε. Μοσχάτος " *Συνιστώσες της ηλιακής θερμικής διαδικασίας*"

Πηγές διαδυκτίου
www.bp.com
www.ypeka.gr
www.mcit.gov.cy
www.e-fotovoltaika.com
www.greenenergia.gr
www.pvresources.com/en/glossary.php
www.millenniumsolar.com
www.pvtwins.nl
www.rpc.com.au
http://energypoint.gr
http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus
http://sketchup.google.com
http://solarwall.com

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α’

ΠΗΓΑΙΟΣ ΚΩΔΙΚΑΣ

Κώδικας ΦΒ συστήματος

```
!-Generator IDFEditor 1.33c
!-Option SortedOrder UseSpecialFormat
!-NOTE: All comments with '!-' are ignored by the IDFEditor and are generated automatically.
!-      Use '!' comments if they need to be retained when using the IDFEditor.
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: VERSION ===========
Version,3.1;
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: SIMULATIONCONTROL ===========
SimulationControl,
    Yes,                    !- Do Zone Sizing Calculation
    Yes,                    !- Do System Sizing Calculation
    Yes,                    !- Do Plant Sizing Calculation
    No,                     !- Run Simulation for Sizing Periods
    Yes;                    !- Run Simulation for Weather File Run Periods
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: BUILDING ===========
Building,
    Semi Detached,          !- Name
    0.0,                    !- North Axis {deg}
    City,                   !- Terrain
    0.04,                   !- Loads Convergence Tolerance Value
    0.4,                    !- Temperature Convergence Tolerance Value {deltaC}
    FullInteriorAndExteriorWithReflections,  !- Solar Distribution
    25;                     !- Maximum Number of Warmup Days
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: TIMESTEP ===========
Timestep,4;
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: SITE:LOCATION ===========
Site:Location,
    97E39F,                 !- Name
    37.0,                   !- Latitude {deg}
```

```
   23.0,                !- Longitude {deg}
   +2.0,                !- Time Zone {hr}
   0.0;                 !- Elevation {m}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: SIZINGPERIOD:DESIGNDAY ===========
SizingPeriod:DesignDay,
   GR/CY 99% Condns DB,     !- Name
   -17.3,               !- Maximum Dry-Bulb Temperature {C}
   0.0,                 !- Daily Temperature Range {deltaC}
   -17.3,               !- Humidity Indicating Conditions at Maximum Dry-Bulb
   99063.,              !- Barometric Pressure {Pa}
   4.9,                 !- Wind Speed {m/s}
   270,                 !- Wind Direction {deg}
   0.00,                !- Sky Clearness
   0,                   !- Rain Indicator
   0,                   !- Snow Indicator
   21,                  !- Day of Month
   1,                   !- Month
   WinterDesignDay,         !- Day Type
   0,                   !- Daylight Saving Time Indicator
   WetBulb;             !- Humidity Indicating Type
SizingPeriod:DesignDay,
   GE/CY 1% Condns DB=>MWB, !- Name
   31.5,                !- Maximum Dry-Bulb Temperature {C}
   10.7,                !- Daily Temperature Range {deltaC}
   23,                  !- Humidity Indicating Conditions at Maximum Dry-Bulb
   99063.,              !- Barometric Pressure {Pa}
   5.3,                 !- Wind Speed {m/s}
   230,                 !- Wind Direction {deg}
   1.00,                !- Sky Clearness
   0,                   !- Rain Indicator
```

```
   0,                    !- Snow Indicator
   21,                   !- Day of Month
   7,                    !- Month
   SummerDesignDay,      !- Day Type
   0,                    !- Daylight Saving Time Indicator
   WetBulb;              !- Humidity Indicating Type
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: RUNPERIOD ===========
RunPeriod,
   1,                    !- Begin Month
   1,                    !- Begin Day of Month
   12,                   !- End Month
   31,                   !- End Day of Month
   TUESDAY,              !- Day of Week for Start Day
   YES,                  !- Use Weather File Holidays and Special Days
   YES,                  !- Use Weather File Daylight Saving Period
   NO,                   !- Apply Weekend Holiday Rule
   YES,                  !- Use Weather File Rain Indicators
   YES;                  !- Use Weather File Snow Indicators
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: SITE:WATERMAINSTEMPERATURE
===========
Site:WaterMainsTemperature,
   CORRELATION,          !- Calculation Method
   ,                     !- Temperature Schedule Name
   9.69,                 !- Annual Average Outdoor Air Temperature {C}
   28.1;                 !- Maximum Difference In Monthly Average Outdoor Air Temperatures {deltaC}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: SCHEDULETYPELIMITS ===========
ScheduleTypeLimits,
   Any Number;           !- Name
ScheduleTypeLimits,
   Fraction,             !- Name
```

```
   0.0 : 1.0,              !- Range
   CONTINUOUS;             !- Numeric Type
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: SCHEDULE:COMPACT ===========
Schedule:Compact,
   AlwaysOnSchedule,       !- Name
   Fraction,               !- Schedule Type Limits Name
   THROUGH: 12/31,         !- Field 1
   FOR: AllDays,           !- Field 2
   UNTIL: 24:00, 1.0;      !- Field 4
Schedule:Compact,
   Loop Temperature Schedule,  !- Name
   Any Number,             !- Schedule Type Limits Name
   THROUGH: 12/31,         !- Field 1
   FOR: AllDays,           !- Field 2
   UNTIL: 24:00, 60.0;     !- Field 4
Schedule:Compact,
   Hot Water Setpoint Temp Schedule,  !- Name
   Any Number,             !- Schedule Type Limits Name
   THROUGH: 12/31,         !- Field 1
   FOR: AllDays,           !- Field 2
   UNTIL: 24:00, 50.0;     !- Field 4
Schedule:Compact,
   Sinks and Showers Temp Schedule,  !- Name
   Any Number,             !- Schedule Type Limits Name
   THROUGH: 12/31,         !- Field 1
   FOR: AllDays,           !- Field 2
   UNTIL: 24:00, 43.3;     !- Field 4
Schedule:Compact,
   Washers Temp Schedule,   !- Name
   Any Number,             !- Schedule Type Limits Name
```

```
    THROUGH: 12/31,          !- Field 1
    FOR: AllDays,            !- Field 2
    UNTIL: 24:00, 50.0;      !- Field 4
Schedule:Compact,
    Ambient Temp Schedule,   !- Name
    Any Number,              !- Schedule Type Limits Name
    THROUGH: 12/31,          !- Field 1
    FOR: AllDays,            !- Field 2
    UNTIL: 24:00, 22.0;      !- Field 4
Schedule:Compact,
    Sinks,                   !- Name
    Fraction,                !- Schedule Type Limits Name
    Through: 12/31,          !- Field 1
    For: AllDays,            !- Field 2
    Until: 7:00, 0.0,        !- Field 4
    Until: 8:00, 0.3,        !- Field 6
    Until: 9:00, 0.7,        !- Field 8
    Until: 11:00, 0.0,       !- Field 10
    Until: 12:00, 0.1,       !- Field 12
    Until: 13:00, 0.3,       !- Field 14
    Until: 17:00, 0.0,       !- Field 16
    Until: 18:00, 0.2,       !- Field 18
    Until: 19:00, 0.5,       !- Field 20
    Until: 20:00, 0.2,       !- Field 22
    Until: 24:00, 0.0;       !- Field 24
Schedule:Compact,
    Showers,                 !- Name
    Fraction,                !- Schedule Type Limits Name
    Through: 12/31,          !- Field 1
    For: AllDays,            !- Field 2
```

```
    Until: 7:00, 0.0,        !- Field 4
    Until: 7:30, 0.2,        !- Field 6
    Until: 8:00, 0.8,        !- Field 8
    Until: 8:30, 0.1,        !- Field 10
    Until: 19:00, 0.0,       !- Field 12
    Until: 19:30, 0.3,       !- Field 14
    Until: 24:00, 0.0;       !- Field 16
Schedule:Compact,
    Clotheswasher,           !- Name
    Fraction,                !- Schedule Type Limits Name
    Through: 12/31,          !- Field 1
    For: Weekends SummerDesignDay WinterDesignDay,  !- Field 2
    Until: 10:00, 0.0,       !- Field 4
    Until: 11:00, 1.0,       !- Field 6
    Until: 24:00, 0.0,       !- Field 8
    For: AllOtherDays,       !- Field 9
    Until: 24:00, 0.0;       !- Field 11
Schedule:Compact,
    Dishwasher,              !- Name
    Fraction,                !- Schedule Type Limits Name
    Through: 12/31,          !- Field 1
    For: AllDays,            !- Field 2
    Until: 20:00, 0.0,       !- Field 4
    Until: 20:30, 1.0,       !- Field 6
    Until: 24:00, 0.0;       !- Field 8
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: MATERIAL ===========
Material,
    F08 Metal surface,       !- Name
    Smooth,                  !- Roughness
    0.0008,                  !- Thickness {m}
```

```
   45.28,                  !- Conductivity {W/m-K}
   7824,                   !- Density {kg/m3}
   500;                    !- Specific Heat {J/kg-K}
Material,
   I01 25mm insulation board,  !- Name
   MediumRough,            !- Roughness
   0.0254,                 !- Thickness {m}
   0.03,                   !- Conductivity {W/m-K}
   43,                     !- Density {kg/m3}
   1210;                   !- Specific Heat {J/kg-K}
Material,
   I02 50mm insulation board,  !- Name
   MediumRough,            !- Roughness
   0.0508,                 !- Thickness {m}
   0.03,                   !- Conductivity {W/m-K}
   43,                     !- Density {kg/m3}
   1210;                   !- Specific Heat {J/kg-K}
Material,
   G01a 19mm gypsum board,  !- Name
   MediumSmooth,           !- Roughness
   0.019,                  !- Thickness {m}
   0.16,                   !- Conductivity {W/m-K}
   800,                    !- Density {kg/m3}
   1090;                   !- Specific Heat {J/kg-K}
Material,
   M11 100mm lightweight concrete,  !- Name
   MediumRough,            !- Roughness
   0.1016,                 !- Thickness {m}
   0.53,                   !- Conductivity {W/m-K}
   1280,                   !- Density {kg/m3}
```

```
    840;                    !- Specific Heat {J/kg-K}
Material,
    F16 Acoustic tile,      !- Name
    MediumSmooth,           !- Roughness
    0.0191,                 !- Thickness {m}
    0.06,                   !- Conductivity {W/m-K}
    368,                    !- Density {kg/m3}
    590;                    !- Specific Heat {J/kg-K}
Material,
    M01 102mm brick,        !- Name
    MediumRough,            !- Roughness
    0.1016,                 !- Thickness {m}
    0.89,                   !- Conductivity {W/m-K}
    1920,                   !- Density {kg/m3}
    790;                    !- Specific Heat {J/kg-K}
Material,
    M15 200mm heavyweight concrete,  !- Name
    MediumRough,            !- Roughness
    0.2032,                 !- Thickness {m}
    1.95,                   !- Conductivity {W/m-K}
    2240,                   !- Density {kg/m3}
    900;                    !- Specific Heat {J/kg-K}
Material,
    M05 200mm concrete block,!- Name
    MediumRough,            !- Roughness
    0.2032,                 !- Thickness {m}
    1.11,                   !- Conductivity {W/m-K}
    800,                    !- Density {kg/m3}
    920;                    !- Specific Heat {J/kg-K}
Material,
```

```
   G05 25mm wood,          !- Name
   MediumSmooth,           !- Roughness
   0.0254,                 !- Thickness {m}
   0.15,                   !- Conductivity {W/m-K}
   608,                    !- Density {kg/m3}
   1630;                   !- Specific Heat {J/kg-K}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: MATERIAL:AIRGAP ===========
Material:AirGap,
   F04 Wall air space resistance,  !- Name
   0.15;                   !- Thermal Resistance {m2-K/W}
Material:AirGap,
   F05 Ceiling air space resistance,  !- Name
   0.18;                   !- Thermal Resistance {m2-K/W}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: WINDOWMATERIAL:GLAZING ===========
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}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: WINDOWMATERIAL:GAS ===========
```

```
WindowMaterial:Gas,
    Air 13mm,               !- Name
    Air,                    !- Gas Type
    0.0127;                 !- Thickness {m}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: CONSTRUCTION ===========
Construction,
    Exterior Floor,         !- Name
    M01 102mm brick,        !- Outside Layer
    I02 50mm insulation board,  !- Layer 2
    M01 102mm brick;        !- Layer 3
Construction,
    Interior Floor,         !- Name
    M11 100mm lightweight concrete;  !- Outside Layer
Construction,
    Exterior Wall,          !- Name
    M01 102mm brick,        !- Outside Layer
    F04 Wall air space resistance,  !- Layer 2
    M01 102mm brick,        !- Layer 3
    G01a 19mm gypsum board;  !- Layer 4
Construction,
    Interior Wall,          !- Name
    G01a 19mm gypsum board,  !- Outside Layer
    M01 102mm brick,        !- Layer 2
    G01a 19mm gypsum board;  !- Layer 3
Construction,
    Exterior Roof,          !- Name
    M11 100mm lightweight concrete;  !- Outside Layer
Construction,
    Interior Ceiling,       !- Name
    M11 100mm lightweight concrete;  !- Outside Layer
```

```
Construction,
    Exterior Window,         !- Name
    Clear 3mm,               !- Outside Layer
    Air 13mm,                !- Layer 2
    Clear 3mm;               !- Layer 3
Construction,
    Interior Window,         !- Name
    Clear 3mm;               !- Outside Layer
Construction,
    Exterior Door,           !- Name
    F08 Metal surface,       !- Outside Layer
    I01 25mm insulation board;  !- Layer 2
Construction,
    Interior Door,           !- Name
    G05 25mm wood;           !- Outside Layer
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: GLOBALGEOMETRYRULES ===========
GlobalGeometryRules,
    UpperLeftCorner,         !- Starting Vertex Position
    Counterclockwise,        !- Vertex Entry Direction
    World;                   !- Coordinate System
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: ZONE ===========
Zone,
    Garage,                  !- Name
    0.0,                     !- Direction of Relative North {deg}
    0.0, 0.0, 0.0,                    !- X,Y,Z  {m}
    ,                        !- Type
    1;                       !- Multiplier
Zone,
    Z2_Kit,                  !- Name
    0.0,                     !- Direction of Relative North {deg}
```

```
   0.0, 0.0, 0.0,                  !- X,Y,Z  {m}
   ,                    !- Type
   1;                   !- Multiplier
Zone,
   Z3_GrdL1,            !- Name
   0.0,                 !- Direction of Relative North {deg}
   0.0, 0.0, 0.0,                  !- X,Y,Z  {m}
   ,                    !- Type
   1;                   !- Multiplier
Zone,
   Z1_FlrL2,            !- Name
   0.0,                 !- Direction of Relative North {deg}
   0.0, 0.0, 0.0,                  !- X,Y,Z  {m}
   ,                    !- Type
   1;                   !- Multiplier
Zone,
   Z5_Attic,            !- Name
   0.0,                 !- Direction of Relative North {deg}
   0.0, 0.0, 0.0,                  !- X,Y,Z  {m}
   ,                    !- Type
   1;                   !- Multiplier
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: BUILDINGSURFACE:DETAILED ===========
BuildingSurface:Detailed,
   6DEB3D,              !- Name
   Floor,               !- Surface Type
   Exterior Floor,      !- Construction Name
   Garage,              !- Zone Name
   Ground,              !- Outside Boundary Condition
   ,                    !- Outside Boundary Condition Object
   NoSun,               !- Sun Exposure
```

```
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    0.000000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    0.000000, 4.880000, 0.000000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    472F1C,                 !- Name
    Roof,                   !- Surface Type
    Exterior Roof,          !- Construction Name
    Garage,                 !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 4.880000, 2.500000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    0.000000, 4.880000, 2.500000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    0.000000, 0.000000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    329408,                 !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Garage,                 !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
```

```
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    0.000000, 4.880000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    0.000000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    0.000000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    0.000000, 0.000000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    62567F,                 !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Garage,                 !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    0.000000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    0.000000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 0.000000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    9E0612,                 !- Name
    Floor,                  !- Surface Type
    Exterior Floor,         !- Construction Name
    Z2_Kit,                 !- Zone Name
    Ground,                 !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
```

```
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    0.000000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    0.000000, 4.880000, 0.000000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    68530E,                 !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z2_Kit,                 !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    0.000000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    0.000000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    0.000000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    0.000000, 4.880000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    kitchenwall,            !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z2_Kit,                 !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
```

```
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    0.000000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    0.000000, 8.170000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    4EAF85,                 !- Name
    Floor,                  !- Surface Type
    Exterior Floor,         !- Construction Name
    Z3_GrdL1,               !- Zone Name
    Ground,                 !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 0.000000, 0.000000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    44F93D,                 !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z3_GrdL1,               !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    44F93D,                 !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
```

```
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    8.430000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    8.430000, 8.170000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    z3wall front,           !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z3_GrdL1,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    8.430000, 0.000000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    groundbackwall,         !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z3_GrdL1,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
```

```
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    8.430000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 8.170000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    2nd-ground,             !- Name
    Floor,                  !- Surface Type
    Interior Floor,         !- Construction Name
    Z1_FlrL2,               !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    2nd-ground,             !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 0.000000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    B645A6,                 !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z1_FlrL2,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
```

```
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 8.170000, 5.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 0.000000, 5.000000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    front1stfloorwall,      !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z1_FlrL2,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 0.000000, 5.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    8.430000, 0.000000, 5.000000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    back1stfloorwall,       !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z1_FlrL2,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
```

```
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    8.430000, 8.170000, 5.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 8.170000, 5.000000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    2FCCFE,                 !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z1_FlrL2,               !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    2FCCFE,                 !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    8.430000, 0.000000, 5.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    8.430000, 8.170000, 5.000000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    4272EE,                 !- Name
    Roof,                   !- Surface Type
    Exterior Roof,          !- Construction Name
    Z2_Kit,                 !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
```

```
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 4.880000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    0.000000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    0.000000, 4.880000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    D585DA,                 !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z5_Attic,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 8.170000, 5.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 0.000000, 5.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 3.900351, 6.623157,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 4.269649, 6.623157;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    F00CAF,                 !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z5_Attic,               !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    F00CAF,                 !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
```

```
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    8.430000, 0.000000, 5.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 8.170000, 5.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 4.269649, 6.623157,       !- X,Y,Z  3 {m}
    8.430000, 3.900351, 6.623157;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    B0110C,                 !- Name
    Roof,                   !- Surface Type
    Exterior Roof,          !- Construction Name
    Z5_Attic,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 3.900351, 6.623157,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 0.000000, 5.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 0.000000, 5.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    8.430000, 3.900351, 6.623157;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    roof-2nd,               !- Name
    Floor,                  !- Surface Type
    Interior Ceiling,       !- Construction Name
    Z5_Attic,               !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    roof-2nd,               !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
```

```
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    8.430000, 0.000000, 5.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 0.000000, 5.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 8.170000, 5.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    8.430000, 8.170000, 5.000000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    garage-groudfloor,      !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Interior Wall,          !- Construction Name
    Garage,                 !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    interior wall ground-garage,  !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 4.880000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    garage-kitchen,         !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Interior Wall,          !- Construction Name
    Garage,                 !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    garage-kitchen,         !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
```

```
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 4.880000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    0.000000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    0.000000, 4.880000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    ground floor,           !- Name
    ceiling,                !- Surface Type
    Interior Floor,         !- Construction Name
    Z3_GrdL1,               !- Zone Name
    zone,                   !- Outside Boundary Condition
    Z1_FlrL2,               !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    8.430000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 0.000000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    interior wall ground-garage,  !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Interior Wall,          !- Construction Name
    Z3_GrdL1,               !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    garage-groudfloor,      !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
```

```
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 4.880000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 0.000000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    2nd-roof,               !- Name
    Ceiling,                !- Surface Type
    Interior Ceiling,       !- Construction Name
    Z1_FlrL2,               !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    roof-2nd,               !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 0.000000, 5.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 0.000000, 5.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 8.170000, 5.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 8.170000, 5.000000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    kitchen-ground floor,   !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Interior Wall,          !- Construction Name
    Z2_Kit,                 !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    groung interio-kitchen, !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
```

```
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 4.880000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 8.170000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    kitchen-garage,         !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Interior Wall,          !- Construction Name
    Z2_Kit,                 !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    garage-kitchen,         !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    0.000000, 4.880000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    0.000000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 4.880000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    B13AF0,                 !- Name
    Roof,                   !- Surface Type
    Exterior Roof,          !- Construction Name
    Z5_Attic,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
```

```
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    8.430000, 4.269649, 6.623157,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 8.170000, 5.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 8.170000, 5.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 4.269649, 6.623157;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    9F8E2A,                 !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z5_Attic,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    3,                      !- Number of Vertices
    8.430000, 3.900351, 6.623157,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 4.269649, 6.623157,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 4.017676, 6.633700;       !- X,Y,Z  3 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    AB82B7,                 !- Name
    Roof,                   !- Surface Type
    Exterior Floor,         !- Construction Name
    Z5_Attic,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
```

```
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 3.900351, 6.623157,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 3.900351, 6.623157,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 4.269649, 6.623157,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 4.269649, 6.623157;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    5A7D83,                 !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z5_Attic,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    3,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 4.269649, 6.623157,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 3.900351, 6.623157,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 4.017676, 6.633700;       !- X,Y,Z  3 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    groung interio-kitchen,  !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Interior Wall,          !- Construction Name
    Z3_GrdL1,               !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    kitchen-ground floor,   !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
```

```
   4,                    !- Number of Vertices
   2.570000, 8.170000, 2.500000,      !- X,Y,Z  1 {m}
   2.570000, 8.170000, 0.000000,      !- X,Y,Z  2 {m}
   2.570000, 4.880000, 0.000000,      !- X,Y,Z  3 {m}
   2.570000, 4.880000, 2.500000;      !- X,Y,Z  4 {m}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: FENESTRATIONSURFACE:DETAILED
===========
FenestrationSurface:Detailed,
   z3window,              !- Name
   Window,                !- Surface Type
   Exterior Window,       !- Construction Name
   z3wall front,          !- Building Surface Name
   ,                      !- Outside Boundary Condition Object
   ,                      !- View Factor to Ground
   ,                      !- Shading Control Name
   ,                      !- Frame and Divider Name
   ,                      !- Multiplier
   4,                     !- Number of Vertices
   5.420000, 0.000000, 2.240000,      !- X,Y,Z  1 {m}
   5.420000, 0.000000, 1.190000,      !- X,Y,Z  2 {m}
   8.190000, 0.000000, 1.190000,      !- X,Y,Z  3 {m}
   8.190000, 0.000000, 2.240000;      !- X,Y,Z  4 {m}
FenestrationSurface:Detailed,
   z3doorfromt,           !- Name
   Door,                  !- Surface Type
   Exterior Door,         !- Construction Name
   z3wall front,          !- Building Surface Name
   ,                      !- Outside Boundary Condition Object
   ,                      !- View Factor to Ground
   ,                      !- Shading Control Name
```

```
    ,                   !- Frame and Divider Name
    ,                   !- Multiplier
    4,                  !- Number of Vertices
    3.760000, 0.000000, 2.000000,      !- X,Y,Z  1 {m}
    3.760000, 0.000000, 0.000000,      !- X,Y,Z  2 {m}
    4.950000, 0.000000, 0.000000,      !- X,Y,Z  3 {m}
    4.950000, 0.000000, 2.000000;      !- X,Y,Z  4 {m}
FenestrationSurface:Detailed,
    garagedoor,             !- Name
    Door,                   !- Surface Type
    Exterior Door,          !- Construction Name
    62567F,                 !- Building Surface Name
    ,                   !- Outside Boundary Condition Object
    ,                   !- View Factor to Ground
    ,                   !- Shading Control Name
    ,                   !- Frame and Divider Name
    ,                   !- Multiplier
    4,                  !- Number of Vertices
    0.100000, 0.000000, 2.240000,      !- X,Y,Z  1 {m}
    0.100000, 0.000000, 0.000000,      !- X,Y,Z  2 {m}
    2.470000, 0.000000, 0.000000,      !- X,Y,Z  3 {m}
    2.470000, 0.000000, 2.240000;      !- X,Y,Z  4 {m}
FenestrationSurface:Detailed,
    zone1window1,           !- Name
    Window,                 !- Surface Type
    Exterior Window,        !- Construction Name
    front1stfloorwall,      !- Building Surface Name
    ,                   !- Outside Boundary Condition Object
    ,                   !- View Factor to Ground
    ,                   !- Shading Control Name
```

```
    ,                    !- Frame and Divider Name
    ,                    !- Multiplier
    4,                    !- Number of Vertices
    3.360000, 0.000000, 4.740000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    3.360000, 0.000000, 3.690000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    4.940000, 0.000000, 3.690000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    4.940000, 0.000000, 4.740000;       !- X,Y,Z  4 {m}
FenestrationSurface:Detailed,
    z1window2,              !- Name
    Window,                 !- Surface Type
    Exterior Window,        !- Construction Name
    front1stfloorwall,      !- Building Surface Name
    ,                    !- Outside Boundary Condition Object
    ,                    !- View Factor to Ground
    ,                    !- Shading Control Name
    ,                    !- Frame and Divider Name
    ,                    !- Multiplier
    4,                    !- Number of Vertices
    6.520000, 0.000000, 4.740000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    6.520000, 0.000000, 3.690000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.100000, 0.000000, 3.690000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    8.100000, 0.000000, 4.740000;       !- X,Y,Z  4 {m}
FenestrationSurface:Detailed,
    zone1backwindow2,       !- Name
    Window,                 !- Surface Type
    Exterior Window,        !- Construction Name
    back1stfloorwall,       !- Building Surface Name
    ,                    !- Outside Boundary Condition Object
    ,                    !- View Factor to Ground
    ,                    !- Shading Control Name
```

```
    ,                    !- Frame and Divider Name
    ,                    !- Multiplier
    4,                    !- Number of Vertices
    7.900000, 8.170000, 4.740000,      !- X,Y,Z  1 {m}
    7.900000, 8.170000, 3.690000,      !- X,Y,Z  2 {m}
    6.320000, 8.170000, 3.690000,      !- X,Y,Z  3 {m}
    6.320000, 8.170000, 4.740000;      !- X,Y,Z  4 {m}
FenestrationSurface:Detailed,
    Zone1backwindow1,        !- Name
    Window,                  !- Surface Type
    Exterior Window,         !- Construction Name
    back1stfloorwall,        !- Building Surface Name
    ,                    !- Outside Boundary Condition Object
    ,                    !- View Factor to Ground
    ,                    !- Shading Control Name
    ,                    !- Frame and Divider Name
    ,                    !- Multiplier
    4,                    !- Number of Vertices
    4.740000, 8.170000, 4.740000,      !- X,Y,Z  1 {m}
    4.740000, 8.170000, 3.690000,      !- X,Y,Z  2 {m}
    3.160000, 8.170000, 3.690000,      !- X,Y,Z  3 {m}
    3.160000, 8.170000, 4.740000;      !- X,Y,Z  4 {m}
FenestrationSurface:Detailed,
    z2wind,                  !- Name
    Window,                  !- Surface Type
    Exterior Window,         !- Construction Name
    kitchenwall,             !- Building Surface Name
    ,                    !- Outside Boundary Condition Object
    ,                    !- View Factor to Ground
    ,                    !- Shading Control Name
```

```
    ,                    !- Frame and Divider Name
    ,                    !- Multiplier
    4,                    !- Number of Vertices
    2.540000, 8.170000, 2.370000,      !- X,Y,Z  1 {m}
    2.540000, 8.170000, 1.320000,      !- X,Y,Z  2 {m}
    1.490000, 8.170000, 1.320000,      !- X,Y,Z  3 {m}
    1.490000, 8.170000, 2.370000;      !- X,Y,Z  4 {m}
FenestrationSurface:Detailed,
    z2door,                !- Name
    Door,                  !- Surface Type
    Exterior Door,         !- Construction Name
    kitchenwall,           !- Building Surface Name
    ,                    !- Outside Boundary Condition Object
    ,                    !- View Factor to Ground
    ,                    !- Shading Control Name
    ,                    !- Frame and Divider Name
    ,                    !- Multiplier
    4,                    !- Number of Vertices
    1.450000, 8.170000, 2.370000,      !- X,Y,Z  1 {m}
    1.450000, 8.170000, 0.000000,      !- X,Y,Z  2 {m}
    0.450000, 8.170000, 0.000000,      !- X,Y,Z  3 {m}
    0.450000, 8.170000, 2.370000;      !- X,Y,Z  4 {m}
FenestrationSurface:Detailed,
    z3backwindowsmall,      !- Name
    Window,                !- Surface Type
    Exterior Window,        !- Construction Name
    groundbackwall,         !- Building Surface Name
    ,                    !- Outside Boundary Condition Object
    ,                    !- View Factor to Ground
    ,                    !- Shading Control Name
```

```
    ,                    !- Frame and Divider Name
    ,                    !- Multiplier
    4,                   !- Number of Vertices
    4.650000, 8.170000, 2.370000,      !- X,Y,Z  1 {m}
    4.650000, 8.170000, 1.320000,      !- X,Y,Z  2 {m}
    3.070000, 8.170000, 1.320000,      !- X,Y,Z  3 {m}
    3.070000, 8.170000, 2.370000;      !- X,Y,Z  4 {m}
FenestrationSurface:Detailed,
    z3backwindBig,          !- Name
    Window,                 !- Surface Type
    Exterior Window,        !- Construction Name
    groundbackwall,         !- Building Surface Name
    ,                    !- Outside Boundary Condition Object
    ,                    !- View Factor to Ground
    ,                    !- Shading Control Name
    ,                    !- Frame and Divider Name
    ,                    !- Multiplier
    4,                   !- Number of Vertices
    8.020000, 8.170000, 2.370000,      !- X,Y,Z  1 {m}
    8.020000, 8.170000, 0.370000,      !- X,Y,Z  2 {m}
    6.020000, 8.170000, 0.370000,      !- X,Y,Z  3 {m}
    6.020000, 8.170000, 2.370000;      !- X,Y,Z  4 {m}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: SHADING:BUILDING:DETAILED ===========
Shading:Building:Detailed,
    Collector Surface 1,     !- Name
    ,                    !- Transmittance Schedule Name
    4,                   !- Number of Vertices
    2.814831, 2.553619, 6.062706,      !- X,Y,Z  1 {m}
    2.814831, 0.310136, 5.129065,      !- X,Y,Z  2 {m}
    4.034831, 0.310136, 5.129065,      !- X,Y,Z  3 {m}
```

```
   4.034831, 2.553619, 6.062706;       !- X,Y,Z  4 {m}
Shading:Building:Detailed,
   Collector Surface 2,     !- Name
   ,                        !- Transmittance Schedule Name
   4,                       !- Number of Vertices
   4.034831, 2.553619, 6.062706,       !- X,Y,Z  1 {m}
   4.034831, 0.310136, 5.129065,       !- X,Y,Z  2 {m}
   5.254831, 0.310136, 5.129065,       !- X,Y,Z  3 {m}
   5.254831, 2.553619, 6.062706;       !- X,Y,Z  4 {m}
Shading:Building:Detailed,
   Collector Surface 3,     !- Name
   ,                        !- Transmittance Schedule Name
   4,                       !- Number of Vertices
   5.254831, 2.553619, 6.062706,       !- X,Y,Z  1 {m}
   5.254831, 0.310136, 5.129065,       !- X,Y,Z  2 {m}
   6.474831, 0.310136, 5.129065,       !- X,Y,Z  3 {m}
   6.474831, 2.553619, 6.062706;       !- X,Y,Z  4 {m}
Shading:Building:Detailed,
   Collector Surface 4,     !- Name
   ,                        !- Transmittance Schedule Name
   4,                       !- Number of Vertices
   6.474831, 2.553619, 6.062706,       !- X,Y,Z  1 {m}
   6.474831, 0.310136, 5.129065,       !- X,Y,Z  2 {m}
   7.694831, 0.310136, 5.129065,       !- X,Y,Z  3 {m}
   7.694831, 2.553619, 6.062706;       !- X,Y,Z  4 {m}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: GENERATOR:PHOTOVOLTAIC ===========
Generator:Photovoltaic,
   Collector 1 PV,          !- Name
   Collector Surface 1,     !- Surface Name
   PhotovoltaicPerformance:Simple,  !- Photovoltaic Performance Object Type
```

```
   10percentEffPVhalfArea,  !- Module Performance Name
   Decoupled,               !- Heat Transfer Integration Mode
   1.0,                     !- Number of Modules in Parallel {dimensionless}
   1.0;                     !- Number of Modules in Series {dimensionless}
Generator:Photovoltaic,
   Collector 2 PV,          !- Name
   Collector Surface 2,     !- Surface Name
   PhotovoltaicPerformance:Simple,  !- Photovoltaic Performance Object Type
   10percentEffPVhalfArea,  !- Module Performance Name
   Decoupled,               !- Heat Transfer Integration Mode
   1.0,                     !- Number of Modules in Parallel {dimensionless}
   1.0;                     !- Number of Modules in Series {dimensionless}
Generator:Photovoltaic,
   Collector 3 PV,          !- Name
   Collector Surface 3,     !- Surface Name
   PhotovoltaicPerformance:Simple,  !- Photovoltaic Performance Object Type
   10percentEffPVhalfArea,  !- Module Performance Name
   Decoupled,               !- Heat Transfer Integration Mode
   1.0,                     !- Number of Modules in Parallel {dimensionless}
   1.0;                     !- Number of Modules in Series {dimensionless}
Generator:Photovoltaic,
   Collector 4 PV,          !- Name
   Collector Surface 4,     !- Surface Name
   PhotovoltaicPerformance:Simple,  !- Photovoltaic Performance Object Type
   10percentEffPVhalfArea,  !- Module Performance Name
   Decoupled,               !- Heat Transfer Integration Mode
   1.0,                     !- Number of Modules in Parallel {dimensionless}
   1.0;                     !- Number of Modules in Series {dimensionless}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: PHOTOVOLTAICPERFORMANCE:SIMPLE
===========
```

```
PhotovoltaicPerformance:Simple,
   10percentEffPVhalfArea,  !- Name
   0.72,                    !- Fraction of Surface Area with Active Solar Cells {dimensionless}
   Fixed,                   !- Conversion Efficiency Input Mode
   0.095;                   !- Value for Cell Efficiency if Fixed
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: ELECTRICLOADCENTER:GENERATORS
===========
ElectricLoadCenter:Generators,
   Generator List,          !- Name
   Collector 1 PV,          !- Generator 1 Name
   Generator:Photovoltaic,  !- Generator 1 Object Type
   320,                     !- Generator 1 Rated Electric Power Output
   AlwaysOnSchedule,        !- Generator 1 Availability Schedule Name
   ,                        !- Generator 1 Rated Thermal to Electrical Power Ratio
   Collector 2 PV,          !- Generator 2 Name
   Generator:Photovoltaic,  !- Generator 2 Object Type
   320,                     !- Generator 2 Rated Electric Power Output
   AlwaysOnSchedule,        !- Generator 2 Availability Schedule Name
   ,                        !- Generator 2 Rated Thermal to Electrical Power Ratio
   Collector 3 PV,          !- Generator 3 Name
   Generator:Photovoltaic,  !- Generator 3 Object Type
   320,                     !- Generator 3 Rated Electric Power Output
   AlwaysOnSchedule,        !- Generator 3 Availability Schedule Name
   ,                        !- Generator 3 Rated Thermal to Electrical Power Ratio
   Collector 4 PV,          !- Generator 4 Name
   Generator:Photovoltaic,  !- Generator 4 Object Type
   320,                     !- Generator 4 Rated Electric Power Output
   AlwaysOnSchedule,;       !- Generator 4 Availability Schedule Name
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS:
ELECTRICLOADCENTER:INVERTER:LOOKUPTABLE ===========
ElectricLoadCenter:Inverter:LookUpTable,
```

```
   PV Inverter,            !- Name
   AlwaysOnSchedule,       !- Availability Schedule Name
   ,                       !- Zone Name
   0.25,                   !- Radiative Fraction
   14000,                  !- Rated Maximum Continuous Output Power {W}
   200.0,                  !- Night Tare Loss Power {W}
   368,                    !- Nominal Voltage Input {V}
   0.839,                  !- Efficiency at 10% Power and Nominal Voltage
   0.897,                  !- Efficiency at 20% Power and Nominal Voltage
   0.916,                  !- Efficiency at 30% Power and Nominal Voltage
   0.931,                  !- Efficiency at 50% Power and Nominal Voltage
   0.934,                  !- Efficiency at 75% Power and Nominal Voltage
   0.930;                  !- Efficiency at 100% Power and Nominal Voltage
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: ELECTRICLOADCENTER:STORAGE:SIMPLE
===========
ElectricLoadCenter:Storage:Simple,
   Battery,                !- Name
   AlwaysOnSchedule,       !- Availability Schedule Name
   ,                       !- Zone Name
   0.2,                    !- Radiative Fraction for Zone Heat Gains
   0.7,                    !- Nominal Energetic Efficiency for Charging
   0.7,                    !- Nominal Discharging Energetic Efficiency
   2.0E11,                 !- Maximum Storage Capacity {J}
   50000,                  !- Maximum Power for Discharging {W}
   25000,                  !- Maximum Power for Charging {W}
   7.1E10;                 !- Initial State of Charge {J}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: ELECTRICLOADCENTER:DISTRIBUTION
===========
ElectricLoadCenter:Distribution,
   PV Array Load Center,   !- Name
   Generator List,         !- Generator List Name
```

```
   TrackElectrical,        !- Generator Operation Scheme Type
   0,                      !- Demand Limit Scheme Purchased Electric Demand Limit {W}
   ,                       !- Track Schedule Name Scheme Schedule Name
   ,                       !- Track Meter Scheme Meter Name
   DirectCurrentWithInverterDCStorage,  !- Electrical Buss Type
   PV Inverter,            !- Inverter Object Name
   Battery;                !- Electrical Storage Object Name

!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: OUTPUT:REPORTS ===========
Output:Reports,VariableDictionary;
Output:Reports,Surfaces,DXF;

!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: OUTPUT:TABLE:SUMMARYREPORTS
===========
Output:Table:SummaryReports,
   AllSummary;             !- Report 1 Name
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: OUTPUTCONTROL:TABLE:STYLE
===========
OutputControl:Table:Style,
   HTML;                   !- Column Separator

!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: OUTPUT:VARIABLE ===========
Output:Variable,*,PV Generator DC Energy ,Monthly;

!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: OUTPUT:DIAGNOSTICS ===========
Output:Diagnostics,
   DisplayAllWarnings,     !- Key 1
   DisplayAdvancedReportVariables;  !- Key 2
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: OUTPUT:DEBUGGINGDATA ===========
Output:DebuggingData,1;
```

Κώδικας ΦΒ/Θ συστήματος

```
!-Generator IDFEditor 1.33c
!-Option SortedOrder UseSpecialFormat
!-NOTE: All comments with '!-' are ignored by the IDFEditor and are generated automatically.
!-      Use '!' comments if they need to be retained when using the IDFEditor.
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: VERSION ===========
Version,3.1;
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: SIMULATIONCONTROL ===========
SimulationControl,
    Yes,                    !- Do Zone Sizing Calculation
    Yes,                    !- Do System Sizing Calculation
    Yes,                    !- Do Plant Sizing Calculation
    No,                     !- Run Simulation for Sizing Periods
    Yes;                    !- Run Simulation for Weather File Run Periods
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: BUILDING ===========
Building,
    Semi Detached,          !- Name
    0.0,                    !- North Axis {deg}
    City,                   !- Terrain
    0.04,                   !- Loads Convergence Tolerance Value
    0.4,                    !- Temperature Convergence Tolerance Value {deltaC}
    FullInteriorAndExteriorWithReflections,  !- Solar Distribution
    25;                     !- Maximum Number of Warmup Days
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: TIMESTEP ===========
Timestep,4;
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: SITE:LOCATION ===========
Site:Location,
    97E39F,                 !- Name
    37.0,                   !- Latitude {deg}
```

```
   23.0,                  !- Longitude {deg}
   +2.0,                  !- Time Zone {hr}
   0.0;                   !- Elevation {m}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: SIZINGPERIOD:DESIGNDAY ===========
SizingPeriod:DesignDay,
   GR/CY 99% Condns DB,     !- Name
   -17.3,                 !- Maximum Dry-Bulb Temperature {C}
   0.0,                   !- Daily Temperature Range {deltaC}
   -17.3,                 !- Humidity Indicating Conditions at Maximum Dry-Bulb
   99063.,                !- Barometric Pressure {Pa}
   4.9,                   !- Wind Speed {m/s}
   270,                   !- Wind Direction {deg}
   0.00,                  !- Sky Clearness
   0,                     !- Rain Indicator
   0,                     !- Snow Indicator
   21,                    !- Day of Month
   1,                     !- Month
   WinterDesignDay,         !- Day Type
   0,                     !- Daylight Saving Time Indicator
   WetBulb;               !- Humidity Indicating Type
SizingPeriod:DesignDay,
   GR/CY 1% Condns DB=>MWB,  !- Name
   31.5,                  !- Maximum Dry-Bulb Temperature {C}
   10.7,                  !- Daily Temperature Range {deltaC}
   23,                    !- Humidity Indicating Conditions at Maximum Dry-Bulb
   99063.,                !- Barometric Pressure {Pa}
   5.3,                   !- Wind Speed {m/s}
   230,                   !- Wind Direction {deg}
   1.00,                  !- Sky Clearness
   0,                     !- Rain Indicator
```

```
   0,                    !- Snow Indicator
   21,                   !- Day of Month
   7,                    !- Month
   SummerDesignDay,      !- Day Type
   0,                    !- Daylight Saving Time Indicator
   WetBulb;              !- Humidity Indicating Type
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: RUNPERIOD ===========
RunPeriod,
   1,                    !- Begin Month
   1,                    !- Begin Day of Month
   12,                   !- End Month
   31,                   !- End Day of Month
   TUESDAY,              !- Day of Week for Start Day
   YES,                  !- Use Weather File Holidays and Special Days
   YES,                  !- Use Weather File Daylight Saving Period
   NO,                   !- Apply Weekend Holiday Rule
   YES,                  !- Use Weather File Rain Indicators
   YES;                  !- Use Weather File Snow Indicators
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: SITE:WATERMAINSTEMPERATURE
===========
Site:WaterMainsTemperature,
   CORRELATION,          !- Calculation Method
   ,                     !- Temperature Schedule Name
   9.69,                 !- Annual Average Outdoor Air Temperature {C}
   28.1;                 !- Maximum Difference In Monthly Average Outdoor Air Temperatures {deltaC}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: SCHEDULETYPELIMITS ===========
ScheduleTypeLimits,
   Any Number;           !- Name
ScheduleTypeLimits,
   Fraction,             !- Name
```

```
   0.0 : 1.0,              !- Range
   CONTINUOUS;             !- Numeric Type
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: SCHEDULE:COMPACT ===========
Schedule:Compact,
   AlwaysOnSchedule,       !- Name
   Fraction,               !- Schedule Type Limits Name
   THROUGH: 12/31,         !- Field 1
   FOR: AllDays,           !- Field 2
   UNTIL: 24:00, 1.0;      !- Field 4
Schedule:Compact,
   Loop Temperature Schedule,  !- Name
   Any Number,             !- Schedule Type Limits Name
   THROUGH: 12/31,         !- Field 1
   FOR: AllDays,           !- Field 2
   UNTIL: 24:00, 60.0;     !- Field 4
Schedule:Compact,
   Hot Water Setpoint Temp Schedule,  !- Name
   Any Number,             !- Schedule Type Limits Name
   THROUGH: 12/31,         !- Field 1
   FOR: AllDays,           !- Field 2
   UNTIL: 24:00, 50.0;     !- Field 4
Schedule:Compact,
   Sinks and Showers Temp Schedule,  !- Name
   Any Number,             !- Schedule Type Limits Name
   THROUGH: 12/31,         !- Field 1
   FOR: AllDays,           !- Field 2
   UNTIL: 24:00, 43.3;     !- Field 4
Schedule:Compact,
   Washers Temp Schedule,   !- Name
   Any Number,             !- Schedule Type Limits Name
```

```
    THROUGH: 12/31,          !- Field 1
    FOR: AllDays,            !- Field 2
    UNTIL: 24:00, 50.0;      !- Field 4
Schedule:Compact,
    Ambient Temp Schedule,   !- Name
    Any Number,              !- Schedule Type Limits Name
    THROUGH: 12/31,          !- Field 1
    FOR: AllDays,            !- Field 2
    UNTIL: 24:00, 22.0;      !- Field 4
Schedule:Compact,
    Sinks,                   !- Name
    Fraction,                !- Schedule Type Limits Name
    Through: 12/31,          !- Field 1
    For: AllDays,            !- Field 2
    Until: 7:00, 0.0,        !- Field 4
    Until: 8:00, 0.3,        !- Field 6
    Until: 9:00, 0.7,        !- Field 8
    Until: 11:00, 0.0,       !- Field 10
    Until: 12:00, 0.1,       !- Field 12
    Until: 13:00, 0.3,       !- Field 14
    Until: 17:00, 0.0,       !- Field 16
    Until: 18:00, 0.2,       !- Field 18
    Until: 19:00, 0.5,       !- Field 20
    Until: 20:00, 0.2,       !- Field 22
    Until: 24:00, 0.0;       !- Field 24
Schedule:Compact,
    Showers,                 !- Name
    Fraction,                !- Schedule Type Limits Name
    Through: 12/31,          !- Field 1
    For: AllDays,            !- Field 2
```

```
    Until: 7:00, 0.0,        !- Field 4
    Until: 7:30, 0.2,        !- Field 6
    Until: 8:00, 0.8,        !- Field 8
    Until: 8:30, 0.1,        !- Field 10
    Until: 19:00, 0.0,       !- Field 12
    Until: 19:30, 0.3,       !- Field 14
    Until: 24:00, 0.0;       !- Field 16
Schedule:Compact,
    Clotheswasher,           !- Name
    Fraction,                !- Schedule Type Limits Name
    Through: 12/31,          !- Field 1
    For: Weekends SummerDesignDay WinterDesignDay,  !- Field 2
    Until: 10:00, 0.0,       !- Field 4
    Until: 11:00, 1.0,       !- Field 6
    Until: 24:00, 0.0,       !- Field 8
    For: AllOtherDays,       !- Field 9
    Until: 24:00, 0.0;       !- Field 11
Schedule:Compact,
    Dishwasher,              !- Name
    Fraction,                !- Schedule Type Limits Name
    Through: 12/31,          !- Field 1
    For: AllDays,            !- Field 2
    Until: 20:00, 0.0,       !- Field 4
    Until: 20:30, 1.0,       !- Field 6
    Until: 24:00, 0.0;       !- Field 8
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: MATERIAL ===========
Material,
    F08 Metal surface,       !- Name
    Smooth,                  !- Roughness
    0.0008,                  !- Thickness {m}
```

```
    45.28,                  !- Conductivity {W/m-K}
    7824,                   !- Density {kg/m3}
    500;                    !- Specific Heat {J/kg-K}
Material,
    I01 25mm insulation board,  !- Name
    MediumRough,            !- Roughness
    0.0254,                 !- Thickness {m}
    0.03,                   !- Conductivity {W/m-K}
    43,                     !- Density {kg/m3}
    1210;                   !- Specific Heat {J/kg-K}
Material,
    I02 50mm insulation board,  !- Name
    MediumRough,            !- Roughness
    0.0508,                 !- Thickness {m}
    0.03,                   !- Conductivity {W/m-K}
    43,                     !- Density {kg/m3}
    1210;                   !- Specific Heat {J/kg-K}
Material,
    G01a 19mm gypsum board,  !- Name
    MediumSmooth,           !- Roughness
    0.019,                  !- Thickness {m}
    0.16,                   !- Conductivity {W/m-K}
    800,                    !- Density {kg/m3}
    1090;                   !- Specific Heat {J/kg-K}
Material,
    M11 100mm lightweight concrete,  !- Name
    MediumRough,            !- Roughness
    0.1016,                 !- Thickness {m}
    0.53,                   !- Conductivity {W/m-K}
    1280,                   !- Density {kg/m3}
```

```
    840;                    !- Specific Heat {J/kg-K}
Material,
    F16 Acoustic tile,      !- Name
    MediumSmooth,           !- Roughness
    0.0191,                 !- Thickness {m}
    0.06,                   !- Conductivity {W/m-K}
    368,                    !- Density {kg/m3}
    590;                    !- Specific Heat {J/kg-K}
Material,
    M01 102mm brick,        !- Name
    MediumRough,            !- Roughness
    0.1016,                 !- Thickness {m}
    0.89,                   !- Conductivity {W/m-K}
    1920,                   !- Density {kg/m3}
    790;                    !- Specific Heat {J/kg-K}
Material,
    M15 200mm heavyweight concrete,  !- Name
    MediumRough,            !- Roughness
    0.2032,                 !- Thickness {m}
    1.95,                   !- Conductivity {W/m-K}
    2240,                   !- Density {kg/m3}
    900;                    !- Specific Heat {J/kg-K}
Material,
    M05 200mm concrete block,!- Name
    MediumRough,            !- Roughness
    0.2032,                 !- Thickness {m}
    1.11,                   !- Conductivity {W/m-K}
    800,                    !- Density {kg/m3}
    920;                    !- Specific Heat {J/kg-K}
Material,
```

```
   G05 25mm wood,          !- Name
   MediumSmooth,           !- Roughness
   0.0254,                 !- Thickness {m}
   0.15,                   !- Conductivity {W/m-K}
   608,                    !- Density {kg/m3}
   1630;                   !- Specific Heat {J/kg-K}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: MATERIAL:AIRGAP ===========
Material:AirGap,
   F04 Wall air space resistance,  !- Name
   0.15;                   !- Thermal Resistance {m2-K/W}
Material:AirGap,
   F05 Ceiling air space resistance,  !- Name
   0.18;                   !- Thermal Resistance {m2-K/W}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: WINDOWMATERIAL:GLAZING ===========
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}
```

```
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: WINDOWMATERIAL:GAS ===========

WindowMaterial:Gas,

   Air 13mm,              !- Name

   Air,                   !- Gas Type

   0.0127;                !- Thickness {m}

!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: CONSTRUCTION ===========

Construction,

   Exterior Floor,         !- Name

   M01 102mm brick,        !- Outside Layer

   I02 50mm insulation board,  !- Layer 2

   M01 102mm brick;        !- Layer 3

Construction,

   Interior Floor,         !- Name

   M11 100mm lightweight concrete;  !- Outside Layer

Construction,

   Exterior Wall,          !- Name

   M01 102mm brick,        !- Outside Layer

   F04 Wall air space resistance,  !- Layer 2

   M01 102mm brick,        !- Layer 3

   G01a 19mm gypsum board;  !- Layer 4

Construction,

   Interior Wall,          !- Name

   G01a 19mm gypsum board,  !- Outside Layer

   M01 102mm brick,        !- Layer 2

   G01a 19mm gypsum board;  !- Layer 3

Construction,

   Exterior Roof,          !- Name

   M11 100mm lightweight concrete;  !- Outside Layer

Construction,

   Interior Ceiling,       !- Name
```

```
    M11 100mm lightweight concrete;  !- Outside Layer
Construction,
    Exterior Window,         !- Name
    Clear 3mm,               !- Outside Layer
    Air 13mm,                !- Layer 2
    Clear 3mm;               !- Layer 3
Construction,
    Interior Window,         !- Name
    Clear 3mm;               !- Outside Layer
Construction,
    Exterior Door,           !- Name
    F08 Metal surface,       !- Outside Layer
    I01 25mm insulation board;  !- Layer 2
Construction,
    Interior Door,           !- Name
    G05 25mm wood;           !- Outside Layer
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: GLOBALGEOMETRYRULES ===========
GlobalGeometryRules,
    UpperLeftCorner,         !- Starting Vertex Position
    Counterclockwise,        !- Vertex Entry Direction
    World;                   !- Coordinate System
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: ZONE ===========
Zone,
    Garage,                  !- Name
    0.0,                     !- Direction of Relative North {deg}
    0.0, 0.0, 0.0,                    !- X,Y,Z  {m}
    ,                        !- Type
    1;                       !- Multiplier
Zone,
    Z2_Kit,                  !- Name
```

```
   0.0,                    !- Direction of Relative North {deg}
   0.0, 0.0, 0.0,                    !- X,Y,Z  {m}
   ,                    !- Type
   1;                    !- Multiplier
Zone,
   Z3_GrdL1,                !- Name
   0.0,                    !- Direction of Relative North {deg}
   0.0, 0.0, 0.0,                    !- X,Y,Z  {m}
   ,                    !- Type
   1;                    !- Multiplier
Zone,
   Z1_FlrL2,                !- Name
   0.0,                    !- Direction of Relative North {deg}
   0.0, 0.0, 0.0,                    !- X,Y,Z  {m}
   ,                    !- Type
   1;                    !- Multiplier
Zone,
   Z5_Attic,                !- Name
   0.0,                    !- Direction of Relative North {deg}
   0.0, 0.0, 0.0,                    !- X,Y,Z  {m}
   ,                    !- Type
   1;                    !- Multiplier
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: BUILDINGSURFACE:DETAILED ===========
BuildingSurface:Detailed,
   6DEB3D,                !- Name
   Floor,                !- Surface Type
   Exterior Floor,          !- Construction Name
   Garage,                !- Zone Name
   Ground,                !- Outside Boundary Condition
   ,                    !- Outside Boundary Condition Object
```

```
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    0.000000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    0.000000, 4.880000, 0.000000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    472F1C,                 !- Name
    Roof,                   !- Surface Type
    Exterior Roof,          !- Construction Name
    Garage,                 !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 4.880000, 2.500000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    0.000000, 4.880000, 2.500000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    0.000000, 0.000000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    329408,                 !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Garage,                 !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
```

```
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    0.000000, 4.880000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    0.000000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    0.000000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    0.000000, 0.000000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    62567F,                 !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Garage,                 !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    0.000000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    0.000000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 0.000000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    9E0612,                 !- Name
    Floor,                  !- Surface Type
    Exterior Floor,         !- Construction Name
    Z2_Kit,                 !- Zone Name
    Ground,                 !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
```

```
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    0.000000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    0.000000, 4.880000, 0.000000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    68530E,                 !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z2_Kit,                 !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    0.000000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    0.000000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    0.000000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    0.000000, 4.880000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    kitchenwall,            !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z2_Kit,                 !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
```

```
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    0.000000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    0.000000, 8.170000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    4EAF85,                 !- Name
    Floor,                  !- Surface Type
    Exterior Floor,         !- Construction Name
    Z3_GrdL1,               !- Zone Name
    Ground,                 !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 0.000000, 0.000000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    44F93D,                 !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z3_GrdL1,               !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    44F93D,                 !- Outside Boundary Condition Object
```

```
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    8.430000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    8.430000, 8.170000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    z3wall front,           !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z3_GrdL1,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    8.430000, 0.000000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    groundbackwall,         !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z3_GrdL1,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
```

```
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    8.430000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 8.170000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    2nd-ground,             !- Name
    Floor,                  !- Surface Type
    Interior Floor,         !- Construction Name
    Z1_FlrL2,               !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    2nd-ground,             !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 0.000000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    B645A6,                 !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z1_FlrL2,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
```

```
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 8.170000, 5.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 0.000000, 5.000000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    front1stfloorwall,      !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z1_FlrL2,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 0.000000, 5.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    8.430000, 0.000000, 5.000000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    back1stfloorwall,       !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z1_FlrL2,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
```

```
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    8.430000, 8.170000, 5.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 8.170000, 5.000000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    2FCCFE,                 !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z1_FlrL2,               !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    2FCCFE,                 !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    8.430000, 0.000000, 5.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    8.430000, 8.170000, 5.000000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    4272EE,                 !- Name
    Roof,                   !- Surface Type
    Exterior Roof,          !- Construction Name
    Z2_Kit,                 !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
```

```
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 4.880000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    0.000000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    0.000000, 4.880000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    D585DA,                 !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z5_Attic,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 8.170000, 5.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 0.000000, 5.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 3.900351, 6.623157,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 4.269649, 6.623157;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    F00CAF,                 !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z5_Attic,               !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    F00CAF,                 !- Outside Boundary Condition Object
```

```
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    8.430000, 0.000000, 5.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 8.170000, 5.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 4.269649, 6.623157,       !- X,Y,Z  3 {m}
    8.430000, 3.900351, 6.623157;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    B0110C,                 !- Name
    Roof,                   !- Surface Type
    Exterior Roof,          !- Construction Name
    Z5_Attic,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 3.900351, 6.623157,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 0.000000, 5.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 0.000000, 5.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    8.430000, 3.900351, 6.623157;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    roof-2nd,               !- Name
    Floor,                  !- Surface Type
    Interior Ceiling,       !- Construction Name
    Z5_Attic,               !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    roof-2nd,               !- Outside Boundary Condition Object
```

```
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    8.430000, 0.000000, 5.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 0.000000, 5.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 8.170000, 5.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    8.430000, 8.170000, 5.000000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    garage-groudfloor,      !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Interior Wall,          !- Construction Name
    Garage,                 !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    interior wall ground-garage,  !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 4.880000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    garage-kitchen,         !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Interior Wall,          !- Construction Name
    Garage,                 !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    garage-kitchen,         !- Outside Boundary Condition Object
```

```
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 4.880000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    0.000000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    0.000000, 4.880000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    ground floor,           !- Name
    ceiling,                !- Surface Type
    Interior Floor,         !- Construction Name
    Z3_GrdL1,               !- Zone Name
    zone,                   !- Outside Boundary Condition
    Z1_FlrL2,               !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    8.430000, 0.000000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 0.000000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    interior wall ground-garage,  !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Interior Wall,          !- Construction Name
    Z3_GrdL1,               !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    garage-groudfloor,      !- Outside Boundary Condition Object
```

```
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 4.880000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 0.000000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 0.000000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    2nd-roof,               !- Name
    Ceiling,                !- Surface Type
    Interior Ceiling,       !- Construction Name
    Z1_FlrL2,               !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    roof-2nd,               !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 0.000000, 5.000000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 0.000000, 5.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 8.170000, 5.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 8.170000, 5.000000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    kitchen-ground floor,   !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Interior Wall,          !- Construction Name
    Z2_Kit,                 !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    groung interio-kitchen, !- Outside Boundary Condition Object
```

```
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 4.880000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 8.170000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    kitchen-garage,         !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Interior Wall,          !- Construction Name
    Z2_Kit,                 !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    garage-kitchen,         !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    0.000000, 4.880000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    0.000000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 4.880000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    B13AF0,                 !- Name
    Roof,                   !- Surface Type
    Exterior Roof,          !- Construction Name
    Z5_Attic,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
```

```
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    8.430000, 4.269649, 6.623157,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 8.170000, 5.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 8.170000, 5.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 4.269649, 6.623157;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    9F8E2A,                 !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z5_Attic,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    3,                      !- Number of Vertices
    8.430000, 3.900351, 6.623157,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 4.269649, 6.623157,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 4.017676, 6.633700;       !- X,Y,Z  3 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    AB82B7,                 !- Name
    Roof,                   !- Surface Type
    Exterior Floor,         !- Construction Name
    Z5_Attic,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
```

```
    NoWind,                 !- Wind Exposure
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 3.900351, 6.623157,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.430000, 3.900351, 6.623157,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.430000, 4.269649, 6.623157,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 4.269649, 6.623157;       !- X,Y,Z  4 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    5A7D83,                 !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Exterior Wall,          !- Construction Name
    Z5_Attic,               !- Zone Name
    Outdoors,               !- Outside Boundary Condition
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    SunExposed,             !- Sun Exposure
    WindExposed,            !- Wind Exposure
    ,                       !- View Factor to Ground
    3,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 4.269649, 6.623157,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 3.900351, 6.623157,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 4.017676, 6.633700;       !- X,Y,Z  3 {m}
BuildingSurface:Detailed,
    groung interio-kitchen,  !- Name
    Wall,                   !- Surface Type
    Interior Wall,          !- Construction Name
    Z3_GrdL1,               !- Zone Name
    Surface,                !- Outside Boundary Condition
    kitchen-ground floor,   !- Outside Boundary Condition Object
    NoSun,                  !- Sun Exposure
    NoWind,                 !- Wind Exposure
```

```
    0.0,                    !- View Factor to Ground
    4,                      !- Number of Vertices
    2.570000, 8.170000, 2.500000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.570000, 8.170000, 0.000000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    2.570000, 4.880000, 0.000000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    2.570000, 4.880000, 2.500000;       !- X,Y,Z  4 {m}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: FENESTRATIONSURFACE:DETAILED
===========
FenestrationSurface:Detailed,
    z3window,               !- Name
    Window,                 !- Surface Type
    Exterior Window,        !- Construction Name
    z3wall front,           !- Building Surface Name
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    ,                       !- View Factor to Ground
    ,                       !- Shading Control Name
    ,                       !- Frame and Divider Name
    ,                       !- Multiplier
    4,                      !- Number of Vertices
    5.420000, 0.000000, 2.240000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    5.420000, 0.000000, 1.190000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    8.190000, 0.000000, 1.190000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    8.190000, 0.000000, 2.240000;       !- X,Y,Z  4 {m}
FenestrationSurface:Detailed,
    z3doorfromt,            !- Name
    Door,                   !- Surface Type
    Exterior Door,          !- Construction Name
    z3wall front,           !- Building Surface Name
    ,                       !- Outside Boundary Condition Object
    ,                       !- View Factor to Ground
```

```
    ,                   !- Shading Control Name
    ,                   !- Frame and Divider Name
    ,                   !- Multiplier
    4,                   !- Number of Vertices
    3.760000, 0.000000, 2.000000,      !- X,Y,Z  1 {m}
    3.760000, 0.000000, 0.000000,      !- X,Y,Z  2 {m}
    4.950000, 0.000000, 0.000000,      !- X,Y,Z  3 {m}
    4.950000, 0.000000, 2.000000;      !- X,Y,Z  4 {m}
FenestrationSurface:Detailed,
    garagedoor,             !- Name
    Door,                   !- Surface Type
    Exterior Door,          !- Construction Name
    62567F,                 !- Building Surface Name
    ,                   !- Outside Boundary Condition Object
    ,                   !- View Factor to Ground
    ,                   !- Shading Control Name
    ,                   !- Frame and Divider Name
    ,                   !- Multiplier
    4,                   !- Number of Vertices
    0.100000, 0.000000, 2.240000,      !- X,Y,Z  1 {m}
    0.100000, 0.000000, 0.000000,      !- X,Y,Z  2 {m}
    2.470000, 0.000000, 0.000000,      !- X,Y,Z  3 {m}
    2.470000, 0.000000, 2.240000;      !- X,Y,Z  4 {m}
FenestrationSurface:Detailed,
    zone1window1,           !- Name
    Window,                 !- Surface Type
    Exterior Window,        !- Construction Name
    front1stfloorwall,      !- Building Surface Name
    ,                   !- Outside Boundary Condition Object
    ,                   !- View Factor to Ground
```

```
    ,                    !- Shading Control Name
    ,                    !- Frame and Divider Name
    ,                    !- Multiplier
    4,                    !- Number of Vertices
    3.360000, 0.000000, 4.740000,      !- X,Y,Z  1 {m}
    3.360000, 0.000000, 3.690000,      !- X,Y,Z  2 {m}
    4.940000, 0.000000, 3.690000,      !- X,Y,Z  3 {m}
    4.940000, 0.000000, 4.740000;      !- X,Y,Z  4 {m}
FenestrationSurface:Detailed,
    z1window2,              !- Name
    Window,                 !- Surface Type
    Exterior Window,        !- Construction Name
    front1stfloorwall,      !- Building Surface Name
    ,                    !- Outside Boundary Condition Object
    ,                    !- View Factor to Ground
    ,                    !- Shading Control Name
    ,                    !- Frame and Divider Name
    ,                    !- Multiplier
    4,                    !- Number of Vertices
    6.520000, 0.000000, 4.740000,      !- X,Y,Z  1 {m}
    6.520000, 0.000000, 3.690000,      !- X,Y,Z  2 {m}
    8.100000, 0.000000, 3.690000,      !- X,Y,Z  3 {m}
    8.100000, 0.000000, 4.740000;      !- X,Y,Z  4 {m}
FenestrationSurface:Detailed,
    zone1backwindow2,       !- Name
    Window,                 !- Surface Type
    Exterior Window,        !- Construction Name
    back1stfloorwall,       !- Building Surface Name
    ,                    !- Outside Boundary Condition Object
    ,                    !- View Factor to Ground
```

```
    ,                   !- Shading Control Name
    ,                   !- Frame and Divider Name
    ,                   !- Multiplier
    4,                   !- Number of Vertices
    7.900000, 8.170000, 4.740000,      !- X,Y,Z  1 {m}
    7.900000, 8.170000, 3.690000,      !- X,Y,Z  2 {m}
    6.320000, 8.170000, 3.690000,      !- X,Y,Z  3 {m}
    6.320000, 8.170000, 4.740000;      !- X,Y,Z  4 {m}
FenestrationSurface:Detailed,
    Zone1backwindow1,        !- Name
    Window,                  !- Surface Type
    Exterior Window,         !- Construction Name
    back1stfloorwall,        !- Building Surface Name
    ,                   !- Outside Boundary Condition Object
    ,                   !- View Factor to Ground
    ,                   !- Shading Control Name
    ,                   !- Frame and Divider Name
    ,                   !- Multiplier
    4,                   !- Number of Vertices
    4.740000, 8.170000, 4.740000,      !- X,Y,Z  1 {m}
    4.740000, 8.170000, 3.690000,      !- X,Y,Z  2 {m}
    3.160000, 8.170000, 3.690000,      !- X,Y,Z  3 {m}
    3.160000, 8.170000, 4.740000;      !- X,Y,Z  4 {m}
FenestrationSurface:Detailed,
    z2wind,                  !- Name
    Window,                  !- Surface Type
    Exterior Window,         !- Construction Name
    kitchenwall,             !- Building Surface Name
    ,                   !- Outside Boundary Condition Object
    ,                   !- View Factor to Ground
```

```
    ,                    !- Shading Control Name
    ,                    !- Frame and Divider Name
    ,                    !- Multiplier
    4,                    !- Number of Vertices
    2.540000, 8.170000, 2.370000,      !- X,Y,Z  1 {m}
    2.540000, 8.170000, 1.320000,      !- X,Y,Z  2 {m}
    1.490000, 8.170000, 1.320000,      !- X,Y,Z  3 {m}
    1.490000, 8.170000, 2.370000;      !- X,Y,Z  4 {m}
FenestrationSurface:Detailed,
    z2door,                !- Name
    Door,                  !- Surface Type
    Exterior Door,          !- Construction Name
    kitchenwall,            !- Building Surface Name
    ,                    !- Outside Boundary Condition Object
    ,                    !- View Factor to Ground
    ,                    !- Shading Control Name
    ,                    !- Frame and Divider Name
    ,                    !- Multiplier
    4,                    !- Number of Vertices
    1.450000, 8.170000, 2.370000,      !- X,Y,Z  1 {m}
    1.450000, 8.170000, 0.000000,      !- X,Y,Z  2 {m}
    0.450000, 8.170000, 0.000000,      !- X,Y,Z  3 {m}
    0.450000, 8.170000, 2.370000;      !- X,Y,Z  4 {m}
FenestrationSurface:Detailed,
    z3backwindowsmall,       !- Name
    Window,                  !- Surface Type
    Exterior Window,         !- Construction Name
    groundbackwall,          !- Building Surface Name
    ,                    !- Outside Boundary Condition Object
    ,                    !- View Factor to Ground
```

```
    ,                    !- Shading Control Name
    ,                    !- Frame and Divider Name
    ,                    !- Multiplier
    4,                    !- Number of Vertices
    4.650000, 8.170000, 2.370000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    4.650000, 8.170000, 1.320000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    3.070000, 8.170000, 1.320000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    3.070000, 8.170000, 2.370000;       !- X,Y,Z  4 {m}
FenestrationSurface:Detailed,
    z3backwindBig,           !- Name
    Window,                  !- Surface Type
    Exterior Window,         !- Construction Name
    groundbackwall,          !- Building Surface Name
    ,                    !- Outside Boundary Condition Object
    ,                    !- View Factor to Ground
    ,                    !- Shading Control Name
    ,                    !- Frame and Divider Name
    ,                    !- Multiplier
    4,                    !- Number of Vertices
    8.020000, 8.170000, 2.370000,       !- X,Y,Z  1 {m}
    8.020000, 8.170000, 0.370000,       !- X,Y,Z  2 {m}
    6.020000, 8.170000, 0.370000,       !- X,Y,Z  3 {m}
    6.020000, 8.170000, 2.370000;       !- X,Y,Z  4 {m}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: SHADING:BUILDING:DETAILED ===========
Shading:Building:Detailed,
    Collector Surface 1,     !- Name
    ,                    !- Transmittance Schedule Name
    4,                    !- Number of Vertices
    2.814831, 2.553619, 6.062706,       !- X,Y,Z  1 {m}
    2.814831, 0.310136, 5.129065,       !- X,Y,Z  2 {m}
```

```
    4.034831, 0.310136, 5.129065,       !- X,Y,Z  3 {m}
    4.034831, 2.553619, 6.062706;       !- X,Y,Z  4 {m}
Shading:Building:Detailed,
    Collector Surface 2,     !- Name
    ,                        !- Transmittance Schedule Name
    4,                       !- Number of Vertices
    4.034831, 2.553619, 6.062706,       !- X,Y,Z  1 {m}
    4.034831, 0.310136, 5.129065,       !- X,Y,Z  2 {m}
    5.254831, 0.310136, 5.129065,       !- X,Y,Z  3 {m}
    5.254831, 2.553619, 6.062706;       !- X,Y,Z  4 {m}
Shading:Building:Detailed,
    Collector Surface 3,     !- Name
    ,                        !- Transmittance Schedule Name
    4,                       !- Number of Vertices
    5.254831, 2.553619, 6.062706,       !- X,Y,Z  1 {m}
    5.254831, 0.310136, 5.129065,       !- X,Y,Z  2 {m}
    6.474831, 0.310136, 5.129065,       !- X,Y,Z  3 {m}
    6.474831, 2.553619, 6.062706;       !- X,Y,Z  4 {m}
Shading:Building:Detailed,
    Collector Surface 4,     !- Name
    ,                        !- Transmittance Schedule Name
    4,                       !- Number of Vertices
    6.474831, 2.553619, 6.062706,       !- X,Y,Z  1 {m}
    6.474831, 0.310136, 5.129065,       !- X,Y,Z  2 {m}
    7.694831, 0.310136, 5.129065,       !- X,Y,Z  3 {m}
    7.694831, 2.553619, 6.062706;       !- X,Y,Z  4 {m}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: SIZING:PLANT ===========
Sizing:Plant,
    DHW Loop,                !- Plant or Condenser Loop Name
    HEATING,                 !- Loop Type
```

```
   82.,                !- Design Loop Exit Temperature {C}
   11;                 !- Loop Design Temperature Difference {deltaC}
Sizing:Plant,
   Collector Loop,         !- Plant or Condenser Loop Name
   HEATING,                !- Loop Type
   82.,                !- Design Loop Exit Temperature {C}
   11;                 !- Loop Design Temperature Difference {deltaC}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: BRANCH ===========
Branch,
   Storage Tank Use Inlet Branch,  !- Name
   0,                  !- Maximum Flow Rate {m3/s}
   Pump:VariableSpeed,     !- Component 1 Object Type
   DHW Loop Pump,          !- Component 1 Name
   Storage Tank Use Loop Inlet Node,  !- Component 1 Inlet Node Name
   DHW Use Side Pump Outlet,!- Component 1 Outlet Node Name
   ACTIVE;                 !- Component 1 Branch Control Type
Branch,
   Storage Tank Tempering Branch,  !- Name
   0,                  !- Maximum Flow Rate {m3/s}
   TemperingValve,         !- Component 1 Object Type
   DHW Anti-Scald Diverter, !- Component 1 Name
   DHW Anti-Scald Inlet Node,  !- Component 1 Inlet Node Name
   DHW Anti-Scald Outlet Node,  !- Component 1 Outlet Node Name
   ACTIVE;                 !- Component 1 Branch Control Type
Branch,
   Storage Tank Use Branch, !- Name
   0,                  !- Maximum Flow Rate {m3/s}
   WaterHeater:Mixed,      !- Component 1 Object Type
   Storage Tank,           !- Component 1 Name
   Storage Tank Use Inlet Node,  !- Component 1 Inlet Node Name
```

```
    Storage Tank Use Outlet Node,  !- Component 1 Outlet Node Name
    PASSIVE;                !- Component 1 Branch Control Type
Branch,
    Storage Tank Use Outlet Branch,  !- Name
    0,                      !- Maximum Flow Rate {m3/s}
    WaterHeater:Mixed,      !- Component 1 Object Type
    Instantaneous Water Heater,  !- Component 1 Name
    Instantaneous Water Heater Inlet Node,  !- Component 1 Inlet Node Name
    Instantaneous Water Heater Outlet Node,  !- Component 1 Outlet Node Name
    PASSIVE;                !- Component 1 Branch Control Type
Branch,
    Demand Inlet Branch,    !- Name
    0,                      !- Maximum Flow Rate {m3/s}
    Pipe:Adiabatic,         !- Component 1 Object Type
    Demand Inlet Pipe,      !- Component 1 Name
    Demand Inlet Node,      !- Component 1 Inlet Node Name
    Demand Pipe-DHW Node,   !- Component 1 Outlet Node Name
    PASSIVE;                !- Component 1 Branch Control Type
Branch,
    Domestic Hot Water Branch,  !- Name
    0,                      !- Maximum Flow Rate {m3/s}
    WaterUse:Connections,   !- Component 1 Object Type
    Domestic Hot Water,     !- Component 1 Name
    Domestic Hot Water Inlet Node,  !- Component 1 Inlet Node Name
    Domestic Hot Water Outlet Node,  !- Component 1 Outlet Node Name
    ACTIVE;                 !- Component 1 Branch Control Type
Branch,
    Demand Outlet Branch,   !- Name
    0,                      !- Maximum Flow Rate {m3/s}
    Pipe:Adiabatic,         !- Component 1 Object Type
```

```
   Demand Outlet Pipe,      !- Component 1 Name
   Demand DHW-Pipe Node,    !- Component 1 Inlet Node Name
   Demand Outlet Node,      !- Component 1 Outlet Node Name
   PASSIVE;                 !- Component 1 Branch Control Type
Branch,
   Storage Tank Source Inlet Branch,  !- Name
   0,                       !- Maximum Flow Rate {m3/s}
   Pump:VariableSpeed,      !- Component 1 Object Type
   Collector Loop Pump,     !- Component 1 Name
   Storage Tank Source Loop Inlet Node,  !- Component 1 Inlet Node Name
   Storage Tank Source Pump-Water Heater Node,  !- Component 1 Outlet Node Name
   ACTIVE;                  !- Component 1 Branch Control Type
Branch,
   Storage Tank Source Branch,  !- Name
   0,                       !- Maximum Flow Rate {m3/s}
   WaterHeater:Mixed,       !- Component 1 Object Type
   Storage Tank,            !- Component 1 Name
   Storage Tank Source Inlet Node,  !- Component 1 Inlet Node Name
   Storage Tank Source Outlet Node,  !- Component 1 Outlet Node Name
   PASSIVE;                 !- Component 1 Branch Control Type
Branch,
   Storage Tank Source Outlet Branch,  !- Name
   0,                       !- Maximum Flow Rate {m3/s}
   Pipe:Adiabatic,          !- Component 1 Object Type
   Storage Tank Source Outlet Pipe,  !- Component 1 Name
   Storage Tank Source Water Heater-Pipe Node,  !- Component 1 Inlet Node Name
   Storage Tank Source Loop Outlet Node,  !- Component 1 Outlet Node Name
   PASSIVE;                 !- Component 1 Branch Control Type
Branch,
   Collector Inlet Branch,  !- Name
```

```
    0,                      !- Maximum Flow Rate {m3/s}
    Pipe:Adiabatic,         !- Component 1 Object Type
    Collector Inlet Pipe,   !- Component 1 Name
    Collector Loop Inlet Node,  !- Component 1 Inlet Node Name
    Collector Pipe-Collector Node,  !- Component 1 Outlet Node Name
    PASSIVE;                !- Component 1 Branch Control Type
Branch,
    Collector 1 Branch,     !- Name
    0,                      !- Maximum Flow Rate {m3/s}
    SolarCollector:FlatPlate:PhotovoltaicThermal,  !- Component 1 Object Type
    Collector 1,            !- Component 1 Name
    Collector 1 Inlet Node,  !- Component 1 Inlet Node Name
    Collector 1 Outlet Node, !- Component 1 Outlet Node Name
    ACTIVE;                 !- Component 1 Branch Control Type
Branch,
    Collector 2 Branch,     !- Name
    0,                      !- Maximum Flow Rate {m3/s}
    SolarCollector:FlatPlate:PhotovoltaicThermal,  !- Component 1 Object Type
    Collector 2,            !- Component 1 Name
    Collector 2 Inlet Node,  !- Component 1 Inlet Node Name
    Collector 2 Outlet Node, !- Component 1 Outlet Node Name
    ACTIVE;                 !- Component 1 Branch Control Type
Branch,
    Collector 3 Branch,     !- Name
    0,                      !- Maximum Flow Rate {m3/s}
    SolarCollector:FlatPlate:PhotovoltaicThermal,  !- Component 1 Object Type
    Collector 3,            !- Component 1 Name
    Collector 3 Inlet Node,  !- Component 1 Inlet Node Name
    Collector 3 Outlet Node, !- Component 1 Outlet Node Name
    ACTIVE;                 !- Component 1 Branch Control Type
```

```
Branch,
   Collector 4 Branch,      !- Name
   0,                       !- Maximum Flow Rate {m3/s}
   SolarCollector:FlatPlate:PhotovoltaicThermal,  !- Component 1 Object Type
   Collector 4,             !- Component 1 Name
   Collector 4 Inlet Node,  !- Component 1 Inlet Node Name
   Collector 4 Outlet Node, !- Component 1 Outlet Node Name
   ACTIVE;                  !- Component 1 Branch Control Type
Branch,
   Collector Outlet Branch, !- Name
   0,                       !- Maximum Flow Rate {m3/s}
   Pipe:Adiabatic,          !- Component 1 Object Type
   Collector Outlet Pipe,   !- Component 1 Name
   Collector Collector-Pipe Node,  !- Component 1 Inlet Node Name
   Collector Loop Outlet Node,  !- Component 1 Outlet Node Name
   PASSIVE;                 !- Component 1 Branch Control Type
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: BRANCHLIST ===========
BranchList,
   Storage Tank Use Branches,  !- Name
   Storage Tank Use Inlet Branch,  !- Branch 1 Name
   Storage Tank Use Branch, !- Branch 2 Name
   Storage Tank Tempering Branch,  !- Branch 3 Name
   Storage Tank Use Outlet Branch;  !- Branch 4 Name
BranchList,
   Demand Branches,         !- Name
   Demand Inlet Branch,     !- Branch 1 Name
   Domestic Hot Water Branch,  !- Branch 2 Name
   Demand Outlet Branch;    !- Branch 3 Name
BranchList,
   Storage Tank Source Branches,  !- Name
```

```
    Storage Tank Source Inlet Branch,  !- Branch 1 Name
    Storage Tank Source Branch,  !- Branch 2 Name
    Storage Tank Source Outlet Branch;  !- Branch 3 Name
BranchList,
    Collector Branches,      !- Name
    Collector Inlet Branch,  !- Branch 1 Name
    Collector 1 Branch,      !- Branch 2 Name
    Collector 2 Branch,      !- Branch 3 Name
    Collector 3 Branch,      !- Branch 4 Name
    Collector 4 Branch,      !- Branch 5 Name
    Collector Outlet Branch; !- Branch 6 Name
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: CONNECTOR:SPLITTER ===========
Connector:Splitter,
    Storage Tank Use Splitter,  !- Name
    Storage Tank Use Inlet Branch,  !- Inlet Branch Name
    Storage Tank Use Branch, !- Outlet Branch 1 Name
    Storage Tank Tempering Branch;  !- Outlet Branch 2 Name
Connector:Splitter,
    Demand Splitter,         !- Name
    Demand Inlet Branch,     !- Inlet Branch Name
    Domestic Hot Water Branch;  !- Outlet Branch 1 Name
Connector:Splitter,
    Storage Tank Source Splitter,  !- Name
    Storage Tank Source Inlet Branch,  !- Inlet Branch Name
    Storage Tank Source Branch;  !- Outlet Branch 1 Name
Connector:Splitter,
    Collector Splitter,      !- Name
    Collector Inlet Branch,  !- Inlet Branch Name
    Collector 1 Branch,      !- Outlet Branch 1 Name
    Collector 2 Branch,      !- Outlet Branch 2 Name
```

```
   Collector 3 Branch,      !- Outlet Branch 3 Name
   Collector 4 Branch;      !- Outlet Branch 4 Name
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: CONNECTOR:MIXER ===========
Connector:Mixer,
   Storage Tank Use Mixer,  !- Name
   Storage Tank Use Outlet Branch,  !- Outlet Branch Name
   Storage Tank Use Branch, !- Inlet Branch 1 Name
   Storage Tank Tempering Branch;  !- Inlet Branch 2 Name
Connector:Mixer,
   Demand Mixer,            !- Name
   Demand Outlet Branch,    !- Outlet Branch Name
   Domestic Hot Water Branch;  !- Inlet Branch 1 Name
Connector:Mixer,
   Storage Tank Source Mixer,  !- Name
   Storage Tank Source Outlet Branch,  !- Outlet Branch Name
   Storage Tank Source Branch;  !- Inlet Branch 1 Name
Connector:Mixer,
   Collector Mixer,         !- Name
   Collector Outlet Branch, !- Outlet Branch Name
   Collector 1 Branch,      !- Inlet Branch 1 Name
   Collector 2 Branch,      !- Inlet Branch 2 Name
   Collector 3 Branch,      !- Inlet Branch 3 Name
   Collector 4 Branch;      !- Inlet Branch 4 Name
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: CONNECTORLIST ===========
ConnectorList,
   Storage Tank Use Connectors,  !- Name
   Connector:Splitter,      !- Connector 1 Object Type
   Storage Tank Use Splitter,  !- Connector 1 Name
   Connector:Mixer,         !- Connector 2 Object Type
   Storage Tank Use Mixer;  !- Connector 2 Name
```

```
ConnectorList,
    Demand Connectors,       !- Name
    Connector:Splitter,      !- Connector 1 Object Type
    Demand Splitter,         !- Connector 1 Name
    Connector:Mixer,         !- Connector 2 Object Type
    Demand Mixer;            !- Connector 2 Name
ConnectorList,
    Storage Tank Source Connectors,  !- Name
    Connector:Splitter,      !- Connector 1 Object Type
    Storage Tank Source Splitter,  !- Connector 1 Name
    Connector:Mixer,         !- Connector 2 Object Type
    Storage Tank Source Mixer;  !- Connector 2 Name
ConnectorList,
    Collector Connectors,    !- Name
    Connector:Splitter,      !- Connector 1 Object Type
    Collector Splitter,      !- Connector 1 Name
    Connector:Mixer,         !- Connector 2 Object Type
    Collector Mixer;         !- Connector 2 Name
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: NODELIST ===========
NodeList,
    DHW Loop Setpoint Node List,  !- Name
    Instantaneous Water Heater Outlet Node,  !- Node 1 Name
    Instantaneous Water Heater Inlet Node;  !- Node 2 Name
NodeList,
    Collector Loop Setpoint Node List,  !- Name
    Storage Tank Source Loop Outlet Node;  !- Node 1 Name
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: PUMP:VARIABLESPEED ===========
Pump:VariableSpeed,
    DHW Loop Pump,           !- Name
    Storage Tank Use Loop Inlet Node,  !- Inlet Node Name
```

```
   DHW Use Side Pump Outlet,!- Outlet Node Name
   AUTOSIZE,              !- Rated Flow Rate {m3/s}
   300000,                !- Rated Pump Head {Pa}
   AUTOSIZE,              !- Rated Power Consumption {W}
   0.87,                  !- Motor Efficiency
   0.0,                   !- Fraction of Motor Inefficiencies to Fluid Stream
   0,                     !- Coefficient 1 of the Part Load Performance Curve
   1,                     !- Coefficient 2 of the Part Load Performance Curve
   0,                     !- Coefficient 3 of the Part Load Performance Curve
   0,                     !- Coefficient 4 of the Part Load Performance Curve
   0,                     !- Minimum Flow Rate {m3/s}
   INTERMITTENT;          !- Pump Control Type
Pump:VariableSpeed,
   Collector Loop Pump,     !- Name
   Storage Tank Source Loop Inlet Node,  !- Inlet Node Name
   Storage Tank Source Pump-Water Heater Node,  !- Outlet Node Name
   AUTOSIZE,              !- Rated Flow Rate {m3/s}
   300000,                !- Rated Pump Head {Pa}
   AUTOSIZE,              !- Rated Power Consumption {W}
   0.87,                  !- Motor Efficiency
   0.0,                   !- Fraction of Motor Inefficiencies to Fluid Stream
   0,                     !- Coefficient 1 of the Part Load Performance Curve
   1,                     !- Coefficient 2 of the Part Load Performance Curve
   0,                     !- Coefficient 3 of the Part Load Performance Curve
   0,                     !- Coefficient 4 of the Part Load Performance Curve
   0.0,                   !- Minimum Flow Rate {m3/s}
   INTERMITTENT;          !- Pump Control Type
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: TEMPERINGVALVE ===========
TemperingValve,
   DHW Anti-Scald Diverter, !- Name
```

```
   DHW Anti-Scald Inlet Node,  !- Inlet Node Name
   DHW Anti-Scald Outlet Node,  !- Outlet Node Name
   Storage Tank Use Outlet Node,  !- Stream 2 Source Node Name
   Instantaneous Water Heater Outlet Node,  !- Temperature Setpoint Node Name
   DHW Use Side Pump Outlet;!- Pump Outlet Node Name
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS:
SOLARCOLLECTOR:FLATPLATE:PHOTOVOLTAICTHERMAL ===========
SolarCollector:FlatPlate:PhotovoltaicThermal,
   Collector 1,            !- Name
   Collector Surface 1,     !- Surface Name
   20percentEffPVhalfArea,  !- Photovoltaic-Thermal Model Performance Name
   Collector 1 PV,          !- Photovoltaic Name
   Water,                   !- Thermal Working Fluid Type
   Collector 1 Inlet Node,  !- Water Inlet Node Name
   Collector 1 Outlet Node, !- Water Outlet Node Name
   ,                        !- Air Inlet Node Name
   ,                        !- Air Outlet Node Name
   0.00001;                 !- Design Flow Rate {m3/s}
SolarCollector:FlatPlate:PhotovoltaicThermal,
   Collector 2,            !- Name
   Collector Surface 2,     !- Surface Name
   20percentEffPVhalfArea,  !- Photovoltaic-Thermal Model Performance Name
   Collector 2 PV,          !- Photovoltaic Name
   Water,                   !- Thermal Working Fluid Type
   Collector 2 Inlet Node,  !- Water Inlet Node Name
   Collector 2 Outlet Node, !- Water Outlet Node Name
   ,                        !- Air Inlet Node Name
   ,                        !- Air Outlet Node Name
   0.00001;                 !- Design Flow Rate {m3/s}
SolarCollector:FlatPlate:PhotovoltaicThermal,
```

```
   Collector 3,            !- Name
   Collector Surface 3,     !- Surface Name
   20percentEffPVhalfArea,  !- Photovoltaic-Thermal Model Performance Name
   Collector 3 PV,          !- Photovoltaic Name
   Water,                   !- Thermal Working Fluid Type
   Collector 3 Inlet Node,  !- Water Inlet Node Name
   Collector 3 Outlet Node, !- Water Outlet Node Name
   ,                        !- Air Inlet Node Name
   ,                        !- Air Outlet Node Name
   0.00001;                 !- Design Flow Rate {m3/s}
SolarCollector:FlatPlate:PhotovoltaicThermal,
   Collector 4,            !- Name
   Collector Surface 4,     !- Surface Name
   20percentEffPVhalfArea,  !- Photovoltaic-Thermal Model Performance Name
   Collector 4 PV,          !- Photovoltaic Name
   Water,                   !- Thermal Working Fluid Type
   Collector 4 Inlet Node,  !- Water Inlet Node Name
   Collector 4 Outlet Node, !- Water Outlet Node Name
   ,                        !- Air Inlet Node Name
   ,                        !- Air Outlet Node Name
   0.00001;                 !- Design Flow Rate {m3/s}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS:
SOLARCOLLECTORPERFORMANCE:PHOTOVOLTAICTHERMAL:SIMPLE ===========
SolarCollectorPerformance:PhotovoltaicThermal:Simple,
   20percentEffPVhalfArea,  !- Name
   0.28,                    !- Fraction of Surface Area with Active Thermal Collector {dimensionless}
   Fixed,                   !- Thermal Conversion Efficiency Input Mode Type
   0.32,                    !- Value for Thermal Conversion Efficiency if Fixed
   ,                        !- Thermal Conversion Efficiency Schedule Name
   0.84;                    !- Front Surface Emittance
```

```
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: WATERHEATER:MIXED ===========

WaterHeater:Mixed,
    Instantaneous Water Heater,  !- Name
    0.00568,                     !- Tank Volume {m3}
    Hot Water Setpoint Temp Schedule,  !- Setpoint Temperature Schedule Name
    ,                            !- Deadband Temperature Difference {deltaC}
    82.2222,                     !- Maximum Temperature Limit {C}
    MODULATE,                    !- Heater Control Type
    80000,                       !- Heater Maximum Capacity {W}
    ,                            !- Heater Minimum Capacity {W}
    ,                            !- Heater Ignition Minimum Flow Rate {m3/s}
    ,                            !- Heater Ignition Delay {s}
    ELECTRICITY,                 !- Heater Fuel Type
    0.90,                        !- Heater Thermal Efficiency
    ,                            !- Part Load Factor Curve Name
    ,                            !- Off Cycle Parasitic Fuel Consumption Rate {W}
    ,                            !- Off Cycle Parasitic Fuel Type
    ,                            !- Off Cycle Parasitic Heat Fraction to Tank
    ,                            !- On Cycle Parasitic Fuel Consumption Rate {W}
    ,                            !- On Cycle Parasitic Fuel Type
    ,                            !- On Cycle Parasitic Heat Fraction to Tank
    SCHEDULE,                    !- Ambient Temperature Indicator
    Ambient Temp Schedule,       !- Ambient Temperature Schedule Name
    ,                            !- Ambient Temperature Zone Name
    ,                            !- Ambient Temperature Outdoor Air Node Name
    1.0,                         !- Off Cycle Loss Coefficient to Ambient Temperature {W/K}
    1,                           !- Off Cycle Loss Fraction to Zone
    1.0,                         !- On Cycle Loss Coefficient to Ambient Temperature {W/K}
    1,                           !- On Cycle Loss Fraction to Zone
    ,                            !- Peak Use Flow Rate {m3/s}
```

```
  ,                    !- Use Flow Rate Fraction Schedule Name
  ,                    !- Cold Water Supply Temperature Schedule Name
  Instantaneous Water Heater Inlet Node,  !- Use Side Inlet Node Name
  Instantaneous Water Heater Outlet Node,  !- Use Side Outlet Node Name
  1.0,                 !- Use Side Effectiveness
  ,                    !- Source Side Inlet Node Name
  ,                    !- Source Side Outlet Node Name
  ,                    !- Source Side Effectiveness
  autosize;            !- Use Side Design Flow Rate {m3/s}
WaterHeater:Mixed,
  Storage Tank,        !- Name
  1.5,                 !- Tank Volume {m3}
  Hot Water Setpoint Temp Schedule,  !- Setpoint Temperature Schedule Name
  5.0,                 !- Deadband Temperature Difference {deltaC}
  82.2222,             !- Maximum Temperature Limit {C}
  CYCLE,               !- Heater Control Type
  0.0,                 !- Heater Maximum Capacity {W}
  ,                    !- Heater Minimum Capacity {W}
  ,                    !- Heater Ignition Minimum Flow Rate {m3/s}
  ,                    !- Heater Ignition Delay {s}
  ELECTRICITY,         !- Heater Fuel Type
  0.90,                !- Heater Thermal Efficiency
  ,                    !- Part Load Factor Curve Name
  ,                    !- Off Cycle Parasitic Fuel Consumption Rate {W}
  ,                    !- Off Cycle Parasitic Fuel Type
  ,                    !- Off Cycle Parasitic Heat Fraction to Tank
  ,                    !- On Cycle Parasitic Fuel Consumption Rate {W}
  ,                    !- On Cycle Parasitic Fuel Type
  ,                    !- On Cycle Parasitic Heat Fraction to Tank
  SCHEDULE,            !- Ambient Temperature Indicator
```

```
   Ambient Temp Schedule,   !- Ambient Temperature Schedule Name
   ,                        !- Ambient Temperature Zone Name
   ,                        !- Ambient Temperature Outdoor Air Node Name
   5.0,                     !- Off Cycle Loss Coefficient to Ambient Temperature {W/K}
   ,                        !- Off Cycle Loss Fraction to Zone
   5.0,                     !- On Cycle Loss Coefficient to Ambient Temperature {W/K}
   ,                        !- On Cycle Loss Fraction to Zone
   ,                        !- Peak Use Flow Rate {m3/s}
   ,                        !- Use Flow Rate Fraction Schedule Name
   ,                        !- Cold Water Supply Temperature Schedule Name
   Storage Tank Use Inlet Node,  !- Use Side Inlet Node Name
   Storage Tank Use Outlet Node,  !- Use Side Outlet Node Name
   1.0,                     !- Use Side Effectiveness
   Storage Tank Source Inlet Node,  !- Source Side Inlet Node Name
   Storage Tank Source Outlet Node,  !- Source Side Outlet Node Name
   1.0,                     !- Source Side Effectiveness
   autosize,                !- Use Side Design Flow Rate {m3/s}
   autosize;                !- Source Side Design Flow Rate {m3/s}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: PLANTLOOP ===========
PlantLoop,
   DHW Loop,                !- Name
   WATER,                   !- Fluid Type
   DHW Loop Operation,      !- Plant Equipment Operation Scheme Name
   Instantaneous Water Heater Outlet Node,  !- Loop Temperature Setpoint Node Name
   100,                     !- Maximum Loop Temperature {C}
   3,                       !- Minimum Loop Temperature {C}
   AUTOSIZE,                !- Maximum Loop Flow Rate {m3/s}
   0,                       !- Minimum Loop Flow Rate {m3/s}
   autocalculate,           !- Plant Loop Volume {m3}
   Storage Tank Use Loop Inlet Node,  !- Plant Side Inlet Node Name
```

```
   Instantaneous Water Heater Outlet Node,  !- Plant Side Outlet Node Name
   Storage Tank Use Branches,  !- Plant Side Branch List Name
   Storage Tank Use Connectors,  !- Plant Side Connector List Name
   Demand Inlet Node,       !- Demand Side Inlet Node Name
   Demand Outlet Node,      !- Demand Side Outlet Node Name
   Demand Branches,         !- Demand Side Branch List Name
   Demand Connectors,       !- Demand Side Connector List Name
   OPTIMAL;                 !- Load Distribution Scheme
PlantLoop,
   Collector Loop,          !- Name
   WATER,                   !- Fluid Type
   Collector Loop Operation,!- Plant Equipment Operation Scheme Name
   Storage Tank Source Loop Outlet Node,  !- Loop Temperature Setpoint Node Name
   100,                     !- Maximum Loop Temperature {C}
   3,                       !- Minimum Loop Temperature {C}
   AUTOSIZE,                !- Maximum Loop Flow Rate {m3/s}
   0.0,                     !- Minimum Loop Flow Rate {m3/s}
   autocalculate,           !- Plant Loop Volume {m3}
   Storage Tank Source Loop Inlet Node,  !- Plant Side Inlet Node Name
   Storage Tank Source Loop Outlet Node,  !- Plant Side Outlet Node Name
   Storage Tank Source Branches,  !- Plant Side Branch List Name
   Storage Tank Source Connectors,  !- Plant Side Connector List Name
   Collector Loop Inlet Node,  !- Demand Side Inlet Node Name
   Collector Loop Outlet Node,  !- Demand Side Outlet Node Name
   Collector Branches,      !- Demand Side Branch List Name
   Collector Connectors,    !- Demand Side Connector List Name
   OPTIMAL,                 !- Load Distribution Scheme
   Collector Loop Availability Manager List;  !- Availability Manager List Name
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: PIPE:ADIABATIC ===========
Pipe:Adiabatic,
```

```
    Demand Inlet Pipe,       !- Name
    Demand Inlet Node,       !- Inlet Node Name
    Demand Pipe-DHW Node;    !- Outlet Node Name
Pipe:Adiabatic,
    Demand Outlet Pipe,      !- Name
    Demand DHW-Pipe Node,    !- Inlet Node Name
    Demand Outlet Node;      !- Outlet Node Name
Pipe:Adiabatic,
    Storage Tank Source Outlet Pipe,  !- Name
    Storage Tank Source Water Heater-Pipe Node,  !- Inlet Node Name
    Storage Tank Source Loop Outlet Node;  !- Outlet Node Name
Pipe:Adiabatic,
    Collector Inlet Pipe,    !- Name
    Collector Loop Inlet Node,  !- Inlet Node Name
    Collector Pipe-Collector Node;  !- Outlet Node Name
Pipe:Adiabatic,
    Collector Outlet Pipe,   !- Name
    Collector Collector-Pipe Node,  !- Inlet Node Name
    Collector Loop Outlet Node;  !- Outlet Node Name
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: PLANTEQUIPMENTLIST ===========
PlantEquipmentList,
    DHW Plant Equipment,     !- Name
    TemperingValve,          !- Equipment 1 Object Type
    DHW Anti-Scald Diverter, !- Equipment 1 Name
    WaterHeater:Mixed,       !- Equipment 2 Object Type
    Storage Tank,            !- Equipment 2 Name
    WaterHeater:Mixed,       !- Equipment 3 Object Type
    Instantaneous Water Heater;  !- Equipment 3 Name
PlantEquipmentList,
    Collector Plant Equipment,  !- Name
```

```
   WaterHeater:Mixed,       !- Equipment 1 Object Type
   Storage Tank;            !- Equipment 1 Name
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS:
PLANTEQUIPMENTOPERATION:HEATINGLOAD ===========

PlantEquipmentOperation:HeatingLoad,
   DHW Control Scheme,      !- Name
   0,                       !- Load Range 1 Lower Limit {W}
   10000000,                !- Load Range 1 Upper Limit {W}
   DHW Plant Equipment;     !- Priority Control 1 Equipment List Name
PlantEquipmentOperation:HeatingLoad,
   Collector Control Scheme,!- Name
   0,                       !- Load Range 1 Lower Limit {W}
   10000000,                !- Load Range 1 Upper Limit {W}
   Collector Plant Equipment;  !- Priority Control 1 Equipment List Name
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: PLANTEQUIPMENTOPERATIONSCHEMES
===========

PlantEquipmentOperationSchemes,
   DHW Loop Operation,      !- Name
   PlantEquipmentOperation:HeatingLoad,  !- Control Scheme 1 Object Type
   DHW Control Scheme,      !- Control Scheme 1 Name
   AlwaysOnSchedule;        !- Control Scheme 1 Schedule Name
PlantEquipmentOperationSchemes,
   Collector Loop Operation,!- Name
   PlantEquipmentOperation:HeatingLoad,  !- Control Scheme 1 Object Type
   Collector Control Scheme,!- Control Scheme 1 Name
   AlwaysOnSchedule;        !- Control Scheme 1 Schedule Name
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS:
AVAILABILITYMANAGER:DIFFERENTIALTHERMOSTAT ===========

AvailabilityManager:DifferentialThermostat,
   Differential Thermostat Availability Manager,  !- Name
   Collector 1 Outlet Node, !- Hot Node Name
```

```
   Storage Tank Source Outlet Node,  !- Cold Node Name

   10.0,                !- Temperature Difference On Limit {deltaC}

   2.0;                 !- Temperature Difference Off Limit {deltaC}

!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS:
AVAILABILITYMANAGER:HIGHTEMPERATURETURNOFF ===========

AvailabilityManager:HighTemperatureTurnOff,

   High Temperature Turn Off Availability Manager,  !- Name

   Storage Tank Use Outlet Node,  !- Sensor Node Name

   60.0;                !- Temperature {C}

!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS:
AVAILABILITYMANAGER:LOWTEMPERATURETURNON ===========

AvailabilityManager:LowTemperatureTurnOn,

   Low Temperature Turn On Availability Manager,  !- Name

   Collector 1 Outlet Node, !- Sensor Node Name

   0.0;                 !- Temperature {C}

!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: AVAILABILITYMANAGERASSIGNMENTLIST
===========

AvailabilityManagerAssignmentList,

   Collector Loop Availability Manager List,  !- Name

   AvailabilityManager:HighTemperatureTurnOff,  !- Availability Manager 1 Object Type

   High Temperature Turn Off Availability Manager,  !- Availability Manager 1 Name

   AvailabilityManager:LowTemperatureTurnOn,  !- Availability Manager 2 Object Type

   Low Temperature Turn On Availability Manager,  !- Availability Manager 2 Name

   AvailabilityManager:DifferentialThermostat,  !- Availability Manager 3 Object Type

   Differential Thermostat Availability Manager;  !- Availability Manager 3 Name

!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: SETPOINTMANAGER:SCHEDULED
===========

SetpointManager:Scheduled,

   DHW Loop Setpoint Manager,  !- Name

   Temperature,         !- Control Variable

   Hot Water Setpoint Temp Schedule,  !- Schedule Name

   DHW Loop Setpoint Node List;  !- Setpoint Node or NodeList Name
```

```
SetpointManager:Scheduled,
    Collector Loop Setpoint Manager,  !- Name
    Temperature,            !- Control Variable
    Loop Temperature Schedule,  !- Schedule Name
    Collector Loop Setpoint Node List;  !- Setpoint Node or NodeList Name
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: GENERATOR:PHOTOVOLTAIC ===========
Generator:Photovoltaic,
    Collector 1 PV,         !- Name
    Collector Surface 1,     !- Surface Name
    PhotovoltaicPerformance:Simple,  !- Photovoltaic Performance Object Type
    10percentEffPVhalfArea,  !- Module Performance Name
    PhotovoltaicThermalSolarCollector,  !- Heat Transfer Integration Mode
    1.0,                    !- Number of Modules in Parallel {dimensionless}
    1.0;                    !- Number of Modules in Series {dimensionless}
Generator:Photovoltaic,
    Collector 2 PV,         !- Name
    Collector Surface 2,     !- Surface Name
    PhotovoltaicPerformance:Simple,  !- Photovoltaic Performance Object Type
    10percentEffPVhalfArea,  !- Module Performance Name
    PhotovoltaicThermalSolarCollector,  !- Heat Transfer Integration Mode
    1.0,                    !- Number of Modules in Parallel {dimensionless}
    1.0;                    !- Number of Modules in Series {dimensionless}
Generator:Photovoltaic,
    Collector 3 PV,         !- Name
    Collector Surface 3,     !- Surface Name
    PhotovoltaicPerformance:Simple,  !- Photovoltaic Performance Object Type
    10percentEffPVhalfArea,  !- Module Performance Name
    PhotovoltaicThermalSolarCollector,  !- Heat Transfer Integration Mode
    1.0,                    !- Number of Modules in Parallel {dimensionless}
    1.0;                    !- Number of Modules in Series {dimensionless}
```

```
Generator:Photovoltaic,
   Collector 4 PV,          !- Name
   Collector Surface 4,     !- Surface Name
   PhotovoltaicPerformance:Simple,  !- Photovoltaic Performance Object Type
   10percentEffPVhalfArea,  !- Module Performance Name
   PhotovoltaicThermalSolarCollector,  !- Heat Transfer Integration Mode
   1.0,                     !- Number of Modules in Parallel {dimensionless}
   1.0;                     !- Number of Modules in Series {dimensionless}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: PHOTOVOLTAICPERFORMANCE:SIMPLE
===========
PhotovoltaicPerformance:Simple,
   10percentEffPVhalfArea,  !- Name
   0.72,                    !- Fraction of Surface Area with Active Solar Cells {dimensionless}
   Fixed,                   !- Conversion Efficiency Input Mode
   0.16;                    !- Value for Cell Efficiency if Fixed
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: ELECTRICLOADCENTER:GENERATORS
===========
ElectricLoadCenter:Generators,
   Generator List,          !- Name
   Collector 1 PV,          !- Generator 1 Name
   Generator:Photovoltaic,  !- Generator 1 Object Type
   320,                     !- Generator 1 Rated Electric Power Output
   AlwaysOnSchedule,        !- Generator 1 Availability Schedule Name
   ,                        !- Generator 1 Rated Thermal to Electrical Power Ratio
   Collector 2 PV,          !- Generator 2 Name
   Generator:Photovoltaic,  !- Generator 2 Object Type
   320,                     !- Generator 2 Rated Electric Power Output
   AlwaysOnSchedule,        !- Generator 2 Availability Schedule Name
   ,                        !- Generator 2 Rated Thermal to Electrical Power Ratio
   Collector 3 PV,          !- Generator 3 Name
   Generator:Photovoltaic,  !- Generator 3 Object Type
```

```
   320,                    !- Generator 3 Rated Electric Power Output
   AlwaysOnSchedule,       !- Generator 3 Availability Schedule Name
   ,                       !- Generator 3 Rated Thermal to Electrical Power Ratio
   Collector 4 PV,         !- Generator 4 Name
   Generator:Photovoltaic, !- Generator 4 Object Type
   320,                    !- Generator 4 Rated Electric Power Output
   AlwaysOnSchedule,;      !- Generator 4 Availability Schedule Name
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS:
ELECTRICLOADCENTER:INVERTER:LOOKUPTABLE ===========

ElectricLoadCenter:Inverter:LookUpTable,
   PV Inverter,            !- Name
   AlwaysOnSchedule,       !- Availability Schedule Name
   ,                       !- Zone Name
   0.25,                   !- Radiative Fraction
   14000,                  !- Rated Maximum Continuous Output Power {W}
   200.0,                  !- Night Tare Loss Power {W}
   368,                    !- Nominal Voltage Input {V}
   0.839,                  !- Efficiency at 10% Power and Nominal Voltage
   0.897,                  !- Efficiency at 20% Power and Nominal Voltage
   0.916,                  !- Efficiency at 30% Power and Nominal Voltage
   0.931,                  !- Efficiency at 50% Power and Nominal Voltage
   0.934,                  !- Efficiency at 75% Power and Nominal Voltage
   0.930;                  !- Efficiency at 100% Power and Nominal Voltage
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: ELECTRICLOADCENTER:STORAGE:SIMPLE
===========

ElectricLoadCenter:Storage:Simple,
   Battery,                !- Name
   AlwaysOnSchedule,       !- Availability Schedule Name
   ,                       !- Zone Name
   0.2,                    !- Radiative Fraction for Zone Heat Gains
   0.7,                    !- Nominal Energetic Efficiency for Charging
```

```
   0.7,                  !- Nominal Discharging Energetic Efficiency
   2.0E11,               !- Maximum Storage Capacity {J}
   50000,                !- Maximum Power for Discharging {W}
   25000,                !- Maximum Power for Charging {W}
   7.1E10;               !- Initial State of Charge {J}
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: ELECTRICLOADCENTER:DISTRIBUTION
===========
ElectricLoadCenter:Distribution,
   PV Array Load Center,    !- Name
   Generator List,          !- Generator List Name
   TrackElectrical,         !- Generator Operation Scheme Type
   0,                       !- Demand Limit Scheme Purchased Electric Demand Limit {W}
   ,                        !- Track Schedule Name Scheme Schedule Name
   ,                        !- Track Meter Scheme Meter Name
   DirectCurrentWithInverterDCStorage,  !- Electrical Buss Type
   PV Inverter,             !- Inverter Object Name
   Battery;                 !- Electrical Storage Object Name
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: WATERUSE:EQUIPMENT ===========
WaterUse:Equipment,
   Sinks,                   !- Name
   Sinks,                   !- End-Use Subcategory
   0.000189,                !- Peak Flow Rate {m3/s}
   Sinks,                   !- Flow Rate Fraction Schedule Name
   Sinks and Showers Temp Schedule;  !- Target Temperature Schedule Name
WaterUse:Equipment,
   Showers,                 !- Name
   Showers,                 !- End-Use Subcategory
   0.000189,                !- Peak Flow Rate {m3/s}
   Showers,                 !- Flow Rate Fraction Schedule Name
   Sinks and Showers Temp Schedule;  !- Target Temperature Schedule Name
```

```
WaterUse:Equipment,
   Clotheswasher,          !- Name
   Clotheswasher,          !- End-Use Subcategory
   0.000063,               !- Peak Flow Rate {m3/s}
   Clotheswasher,          !- Flow Rate Fraction Schedule Name
   Washers Temp Schedule;  !- Target Temperature Schedule Name
WaterUse:Equipment,
   Dishwasher,             !- Name
   Dishwasher,             !- End-Use Subcategory
   0.000126,               !- Peak Flow Rate {m3/s}
   Dishwasher,             !- Flow Rate Fraction Schedule Name
   Washers Temp Schedule;  !- Target Temperature Schedule Name
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: WATERUSE:CONNECTIONS ===========
WaterUse:Connections,
   Domestic Hot Water,     !- Name
   Domestic Hot Water Inlet Node,  !- Inlet Node Name
   Domestic Hot Water Outlet Node,  !- Outlet Node Name
   ,                       !- Supply Water Storage Tank Name
   ,                       !- Reclamation Water Storage Tank Name
   ,                       !- Hot Water Supply Temperature Schedule Name
   ,                       !- Cold Water Supply Temperature Schedule Name
   NONE,                   !- Drain Water Heat Exchanger Type
   ,                       !- Drain Water Heat Exchanger Destination
   ,                       !- Drain Water Heat Exchanger U-Factor Times Area {W/K}
   Sinks,                  !- Water Use Equipment 1 Name
   Showers,                !- Water Use Equipment 2 Name
   Clotheswasher,          !- Water Use Equipment 3 Name
   Dishwasher;             !- Water Use Equipment 4 Name
!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: OUTPUT:REPORTS ===========
Output:Reports,VariableDictionary;
```

```
Output:Reports,Surfaces,DXF;

!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: OUTPUT:TABLE:SUMMARYREPORTS
===========

Output:Table:SummaryReports,

   AllSummary;              !- Report 1 Name

!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: OUTPUTCONTROL:TABLE:STYLE
===========

OutputControl:Table:Style,

   HTML;                    !- Column Separator

!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: OUTPUT:VARIABLE ===========

Output:Variable,*,Generator Thermal Energy Produced ,Monthly;

Output:Variable,*,PV Generator DC Energy ,Monthly;

!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: OUTPUT:DIAGNOSTICS ===========

Output:Diagnostics,

   DisplayAllWarnings,      !- Key 1

   DisplayAdvancedReportVariables;  !- Key 2

!-   ===========  ALL OBJECTS IN CLASS: OUTPUT:DEBUGGINGDATA ===========

Output:DebuggingData,1;
```