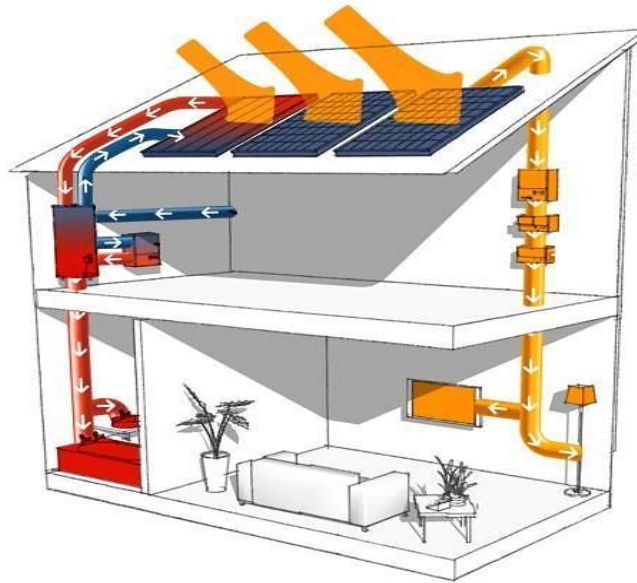


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΊΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Υπολογιστική προσομοίωση ενός υβριδικού συστήματος ηλιακής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΔΑΒΑΡΗ ΑΓΓΕΛΙΚΗ
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΠΟΥΛΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΟΥΛΙΩΤΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

ΠΑΤΡΑ 2017

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και στοχεύει στην προσομοίωση ενός υβριδικού συστήματος ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

Στις μέρες μας, τα ηλιακά σύστημα χρησιμοποιούνται εκτενώς σε οικιακό και βιομηχανικό επίπεδο, κυρίως σε εφαρμογές που αφορούν συστήματα ηλιακών θερμικών συλλεκτών για την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμότητα και σε εφαρμογές φωτοβολταϊκών συστημάτων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανάγκη για την μελέτη και την αξιολόγηση των ηλιακών συστημάτων συνέβαλλαν στην ανάπτυξη υπολογιστικών προγραμμάτων προσομοίωσης, λόγω της δυνατότητας που παρέχεται στον χρήστη για την άμεση παρέμβαση στη σχεδίαση των συστημάτων αυτών. Για την προσομοίωση του υπό μελέτη θερμικού και φωτοβολταϊκού συστήματος χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό πακέτο TRNSYS 16.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Σουλιώτη Εμμανουήλ, τόσο για τις επιστημονικές γνώσεις που μας προσέφερε, όσο και για την άψογη συνεργασία που είχαμε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της Πτυχιακής Εργασίας.

Δάβαρη Αγγελική

Αλεξανδρόπουλος Παναγιώτης

Ιούλιος 2017

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές

(Ονοματεπώνυμο)

(Ονοματεπώνυμο)

.....
(Υπογραφή)

.....
(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία αυτή πραγματεύεται την μελέτη και την παρουσίαση ενός υπολογιστικού εργαλείου προσομοίωσης μέσω του προγράμματος TRNSYS, με το οποίο επιτυγχάνεται η προσομοίωση της λειτουργίας ενός υβριδικού συστήματος, για την κάλυψη των θερμικών και των ηλεκτρικών φορτίων ενός κτιρίου αναφοράς. Η εργασία είναι διαρθρωμένη στα ακόλουθα επτά κεφάλαια.

Στο **πρώτο κεφάλαιο** περιγράφονται συνοπτικά οι μορφές των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, καθώς και ο τρόπος αξιοποίησής τους από τον άνθρωπο για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών.

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** αναφέρονται βασικές έννοιες για την κατανόηση της Ηλιακής Μηχανικής, όπως τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και οι συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας. Επιπλέον, αναφέρονται οι κατηγορίες των συστημάτων αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα είδη και η λειτουργία των ηλιακών θερμικών συλλεκτών, καθώς επίσης και οι διατάξεις των ηλιακών θερμικών συστημάτων για την παραγωγή θερμότητας.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** παρατίθεται η αρχή λειτουργίας και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών συστημάτων, καθώς επίσης και οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοσή τους. Επιπρόσθετα αναφέρονται τα είδη των φωτοβολταϊκών στοιχείων και τα είδη των φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων.

Στο **πέμπτο κεφάλαιο** γίνεται εισαγωγή στα υπολογιστικά προγράμματα προσομοίωσης και πιο συγκεκριμένα στο πρόγραμμα TRNSYS, όπου για την καλύτερη κατανόηση του πακέτου, αναλύεται η δομή και η χρησιμότητά του.

Στο **έκτο κεφάλαιο** αναφέρεται αναλυτικά η μεθοδολογία σχεδίασης του υβριδικού συστήματος. Αρχικά, παρατίθενται τα σενάρια σχεδιασμού για το θερμικό σύστημα και στην συνέχεια, η διάταξη του φωτοβολταϊκού συστήματος στο περιβάλλον προσομοίωσης.

Στο **έβδομο κεφάλαιο** παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων του θερμικού και του φωτοβολταϊκού συστήματος με τη βοήθεια γραφικών παραστάσεων.

Στο **όγδοο κεφάλαιο** παρατίθενται τα συμπεράσματα των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης καθώς και ο επίλογος της Πτυχιακής Εργασίας.

Τέλος, επισυνάπτεται το **Παράρτημα Α** και το **Παράρτημα Β**, τα οποία περιέχουν τη διαστασιολόγηση του θερμικού και του φωτοβολταϊκού συστήματος αντίστοιχα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. Εισαγωγή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας	1
1.1 Ηλιακή ενέργεια	2
1.2 Αιολική ενέργεια	2
1.3 Κυματική ενέργεια	3
1.4 Υδροηλεκτρική ενέργεια	4
1.5 Γεωθερμική ενέργεια	5
1.6 Βιομάζα	7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. Ηλιακή Μηχανική.....	9
2.1 Ηλιακή Ακτινοβολία	9
2.2 Βασικές έννοιες και γεωμετρικά στοιχεία για την Ηλιακή Ακτινοβολία.....	11
2.2.1 Αληθής ηλιακός χρόνος (Α.Η.Χ.)	12
2.2.2 Ωριαία γωνία (ω)	13
2.2.3 Απόκλιση ηλίου (δ)	13
2.2.4 Γεωγραφικές Συντεταγμένες.....	14
2.2.5 Ζενίθια ή ζενιθιακή γωνία (θ_z)	15
2.2.6 Ύψος ηλίου (α)	15
2.2.7 Αζιμούθια γωνία του ηλίου (γ_s)	15
2.2.8 Κλίση επιπέδου β	16
2.2.9 Γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας (θ)	17
2.2.10 Διέλευση ηλιακής Ακτινοβολίας – Μάζα Αέρα	17
2.3 Συνιστώσες της Ηλιακής Ακτινοβολίας.....	18
2.3.1 Άμεση ηλιακή ακτινοβολία	19
2.3.2 Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία	19
2.3.3 Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία	19
2.3.4 Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο και κεκλιμένο επίπεδο	20
2.4 Αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας	21

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. Ηλιακά Θερμικά συστήματα.....	22
3.1 Εισαγωγή.....	22
3.1.1 Επίπεδος ηλιακός θερμικός συλλέκτης.....	22
3.1.2 Ηλιακός θερμικός συλλέκτης με σωλήνες κενού	24
3.1.3 Ηλιακός θερμικός συλλέκτης χωρίς κάλυμμα	26
3.1.4 Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες.....	27

3.2 Βαθμός απόδοσης ηλιακού θερμικού συλλέκτη.....	28
3.2.1 Σύγκριση βαθμών απόδοσης ηλιακών θερμικών συλλεκτών	31
3.3 Ηλιακά θερμικά συστήματα για την παραγωγή ζεστού νερού.....	32
3.3.1 Σύστημα φυσικής ροής ή Θερμοσιφωνικό	32
3.3.2 Σύστημα ηλιακών συλλεκτών Εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.....	34

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. Φωτοβολταϊκά συστήματα.....	36
4.1 Γενικά	36
4.2 Ημιαγωγοί.....	36
4.3 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο	39
4.4 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Φ/Β στοιχείου	40
4.4.1 Χαρακτηριστική καμπύλη Φ/Β στοιχείου	41
4.4.2 Συντελεστής πλήρωσης (Fill Factor)	42
4.4.3 Βαθμός απόδοσης Φ/Β στοιχείου	42
4.5 Παράγοντες που επηρεάζουν τον βαθμό απόδοσης ενός Φ/Β στοιχείου	43
4.6 Είδη Φωτοβολταϊκών στοιχείων	45
4.7 Είδη Φωτοβολταϊκών Εγκαταστάσεων	46

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. Υπολογιστικά προγράμματα προσομοίωσης	50
5.1 Εισαγωγή στο TRNSYS	52
5.1.1 TRNSYS Simulation Studio	53
5.1.1.1 Βιβλιοθήκη μοντέλων προσομοίωσης	54
5.1.1.2 Μοντέλα προσομοίωσης	57
5.1.1.3 Συνδέσεις των μοντέλων προσομοίωσης.....	59
5.1.1.4 Εμφάνιση υπολογισμών προσομοίωσης και διεξαγωγή αποτελεσμάτων	60
5.1.1.5 Ανάλυση σφαλμάτων – Error Manager	61
5.1.2 TRNBuild.....	62
5.1.3 TRNEdit.....	65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. Ανάλυση υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας με το υπολογιστικό πρόγραμμα TRNSYS	68
6.1 Προσομοίωση θερμικού συστήματος εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.....	71
6.1.1 Προσομοίωση θερμικού συστήματος εξαναγκασμένης κυκλοφορίας με μια δεξαμενή αποθήκευσης.....	71
6.1.1.1 Κλιματολογικά δεδομένα προσομοίωσης.....	74
6.1.1.2 Υποσύστημα θερμικών συλλεκτών - εναλλάκτη θερμότητας.....	76

6.1.1.3 Υποσύστημα εναλλάκτη θερμότητας – δεξαμενή αποθήκευσης.....	80
6.1.1.4 Υποσύστημα διαφορικού ελεγκτή	82
6.1.1.5 Υποσύστημα δεξαμενής αποθήκευσης με βαλβίδες εκτροπής και ανάμιξης	84
6.1.1.6 Υποσύστημα υδραυλικών βαλβίδων – φορτίο ζεστού νερού χρήσης	88
6.1.1.7 Υποσύστημα υδραυλικών βαλβίδων – φορτίο θέρμανσης χώρου.....	92
6.1.1.8 Υποσύστημα πολλαπλού διαφορικού ελεγκτή	93
6.1.2 Προσομοίωση θερμικού συστήματος εξαναγκασμένης κυκλοφορίας με δυο δεξαμενές αποθήκευσης.....	95
6.1.2.1 Υποσύστημα κλιματολογικών δεδομένων – θερμικοί συλλέκτες	98
6.1.2.2 Υποσύστημα θερμικών συλλεκτών – εναλλάκτες θερμότητας	98
6.1.2.3 Υποσύστημα εναλλάκτη θερμότητας – δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης.....	99
6.1.2.4 Υποσύστημα δεξαμενής αποθήκευσης ZNX – φορτία ζεστού νερού χρήσης... ..	101
6.1.2.5 Υποσύστημα εναλλάκτη θερμότητας – δεξαμενή αποθήκευσης νερού για θέρμανση χώρου	102
6.1.2.6 Υποσύστημα δεξαμενής αποθήκευσης νερού θέρμανσης χώρου – φορτία κατανάλωσης.....	104
6.1.2.7 Υποσύστημα πολλαπλού διαφορικού ελεγκτή	105
6.2 Προσομοίωση Φωτοβολταϊκού συστήματος.....	107
6.2.1 Υποσύστημα κλιματολογικών δεδομένων – ΦΒ πλαίσιο.....	109
6.2.2 Υποσύστημα ΦΒ πλαισίων – συσσωρευτών	113
6.2.3 Υποσύστημα φορτίων κατανάλωσης – Inverter	116
6.3 Μοντέλα προσομοίωσης για παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	118

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7. Παρουσίαση και ανάλυση αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του υβριδικού συστήματος	121
7.1 Αποτελέσματα θερμικού συστήματος προσομοίωσης	122
7.2 Αποτελέσματα Φ/Β συστήματος προσομοίωσης	133

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8. Συμπεράσματα – Επίλογος.....	140
---------------------------------	-----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	143
---------------------------	-----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	145
--------------------------	-----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	153
--------------------------	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. Εισαγωγή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Είναι γνωστό πως η τεράστια ενεργειακή ζήτηση σε παγκόσμιο επίπεδο, όπως αυτή έχει διαμορφωθεί από τις σύγχρονες ανάγκες της κοινωνίας, σε συνδυασμό με τις βιομηχανικές απαιτήσεις έχει ως αποτέλεσμα την αλόγιστη κατανάλωση των ορυκτών καυσίμων, σε σημείο που ο κίνδυνος εξάντλησής τους είναι πλέον ορατός. Έτσι, για την κάλυψη της απαιτούμενης θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας η αναζήτηση νέων φυσικών πόρων καθίσταται απαραίτητη διότι μέχρι πρότινος η παραγωγή τους στηριζόταν κατά κανόνα σε συμβατικές ορυκτές πρώτες ύλες όπως το πετρέλαιο, ο λιγνίτης και ο άνθρακας.

Παράλληλα, ένας ακόμη προβληματισμός που συνδέεται άμεσα με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας είναι η επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος από τα προϊόντα της καύσης των ορυκτών καυσίμων. Συγκεκριμένα, η εκπομπή σε μεγάλες ποσότητες αέριων ρύπων, όπως το διοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του αζώτου και οι ενώσεις του θείου οξύνουν το «Φαινόμενο του Θερμοκηπίου». Ο όρος αυτός χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1822 από τον Γάλλο μαθηματικό Joseph Fourier για να περιγράψει τη φυσική διαδικασία κατά την οποία τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας εισέρχεται και εγκλωβίζεται στην ατμόσφαιρα προκαλώντας την αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια της Γης. Τα τελευταία χρόνια ο όρος είναι συνδεδεμένος με την υπερθέρμανση του πλανήτη λόγω της οφειλόμενης σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

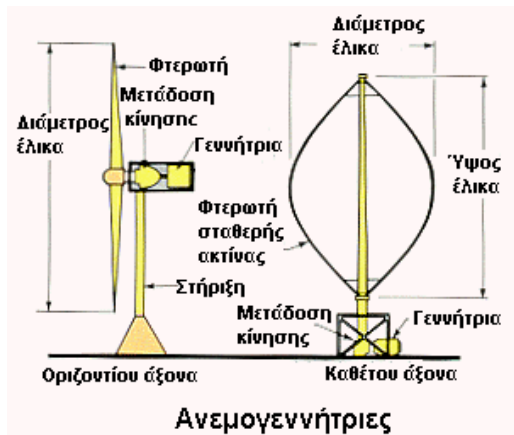
Οι παραπάνω λόγοι, σε συνδυασμό με την ανάγκη για αύξηση ενεργειακής ανεξαρτησίας σε διεθνές επίπεδο, έστρεψαν το ενδιαφέρον των επιστημόνων και κυβερνήσεων στην ανάπτυξη νέων μεθόδων παραγωγής ενέργειας, οι οποίες βασίζονται σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε). Ως Α.Π.Ε ορίζονται οι ενεργειακές πηγές που υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον. Πρακτικά είναι ανεξάντλητες και η χρήση τους δεν ρυπαίνει την ατμόσφαιρα. Στις Α.Π.Ε περιλαμβάνεται η ηλιακή ενέργεια, η αιολική ενέργεια, η κυματική και υδραυλική ενέργεια, η γεωθερμική ενέργεια και η βιομάζα.

1.1 Ηλιακή Ενέργεια

Η ποσότητα της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στη γη, συμβάλλει στη δημιουργία και διατήρηση της ζωής, ενώ συγχρόνως παρέχει ενέργεια που αξιοποιείται με διάφορες μορφές. Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί την γενεσιουργό αιτία για την ύπαρξη των υπόλοιπων μορφών ενέργειας καθώς ύστερα από θέρμανση και εξάτμιση μεγάλων ποσοτήτων θαλασσινού νερού δημιουργεί τις λίμνες και τα ποτάμια (υδραυλική ενέργεια), απορροφούμενη από κατάλληλα υλικά παράγει ηλεκτρικό ρεύμα (φωτοβολταϊκό φαινόμενο), ή παράγει θερμότητα (ηλιακή θερμική μετατροπή). Επιπλέον, θερμαίνοντας το έδαφος και αυτό με τη σειρά του τον αέρα, δημιουργεί τα ρεύματα αέρα (αιολική ενέργεια) και τα κύματα (κυματική ενέργεια). Τέλος, συμβάλει στην ανάπτυξη της χλωρίδας και στην παραγωγή ενέργειας από την καύση των φυτικών προϊόντων (βιομάζα).

1.2 Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία. Εξαιτίας της ανομοιόμορφης θέρμανσης στην επιφάνεια της γης προκαλούνται κινήσεις αέριων μαζών της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα τη δημιουργία των ανέμων. Πιο συγκεκριμένα, οι θερμότερες και ελαφρύτερες αέριες μάζες που συγκεντρώνονται στη ζώνη του ισημερινού τείνουν να κινηθούν προς τα εξωτερικά στρώματα της ατμόσφαιρας, δίνοντας τη θέση τους στις ψυχρότερες και βαρύτερες αέριες μάζες. Αυτή η κίνηση των αέριων μαζών επηρεάζεται επιπλέον από την περιστροφική κίνηση της γης. Σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία περίπου τι 1-2% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης μετατρέπεται σε άνεμο. Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας πραγματοποιείται μέσω των ανεμογεννητριών, οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Αρχικά, μέσω πτερωτής, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της πτερωτής και στη συνέχεια, μέσω μιας γεννήτριας, επιτυγχάνεται η μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Οι ανεμογεννήτριες κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τις ανεμογεννήτριες με οριζόντιο άξονα, όπου ο δρομέας είναι τύπου έλικας και ο άξονας μπορεί να περιστρέφεται συνεχώς παράλληλα προς τον άνεμο και τις ανεμογεννήτριες με κατακόρυφο άξονα που παραμένει σταθερός.

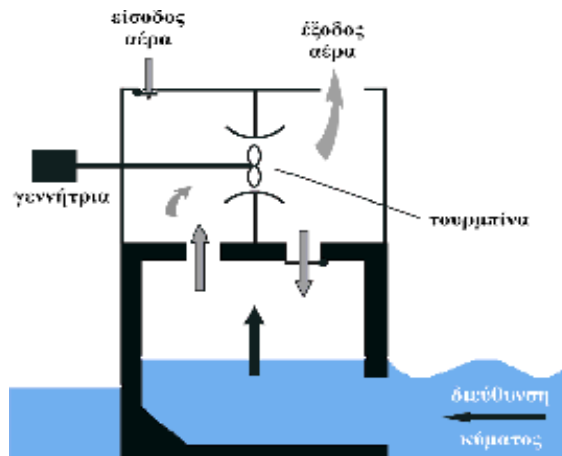


Εικόνα 1.1: Είδη ανεμογεννητριών και εγκατάσταση υπεράκτιου αιολικού πάρκου

Αιολικά πάρκα είναι εγκατεστημένα τόσο σε χερσαίες όσο και σε θαλάσσιες εκτάσεις. Σύμφωνα με τη στατιστική της αιολικής ενέργειας που ανακοινώθηκε από την Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ) η ισχύς των αιολικών εγκαταστάσεων στην Ελλάδα ανέρχεται στα 2150,8 MW για το έτος 2015.

1.3 Κυματική Ενέργεια

Ονομάζεται η ενέργεια που προκύπτει από την κινητική ενέργεια των κυμάτων και των ρευμάτων των θαλασσών. Η θαλάσσια επιφάνεια απορροφά τεράστιες ποσότητες ηλιακής και αιολικής ενέργειας που εμφανίζονται με τη μορφή κυμάτων ή ρευμάτων που μετακινούνται μεταφέροντας κινητική ενέργεια. Αυτή η ενέργεια είναι εκμεταλλεύσιμη ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό. Οι συσκευές και διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας ποικίλουν. Τμήμα αυτών βρίσκεται βυθισμένο και έτσι η κινητική ενέργεια των κυμάτων μπορεί να περιστρέψει μια τουρμπίνα που βρίσκεται στο εσωτερικό των διατάξεων αυτών. Η ανυψωτική κίνηση του κύματος πιέζει τον αέρα προς τα πάνω μέσα στο θάλαμο και θέτει σε περιστροφική κίνηση την τουρμπίνα, έτσι ώστε η γεννήτρια να παράγει ρεύμα.

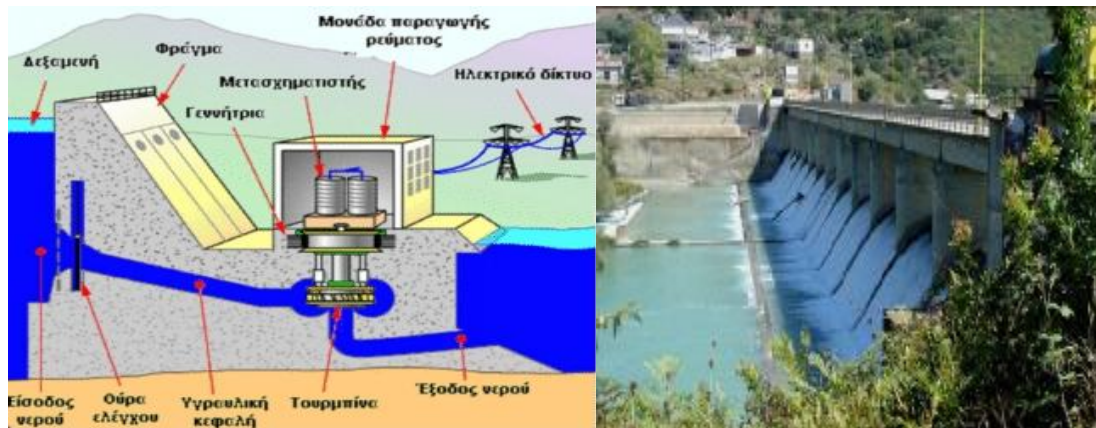


Εικόνα 1.2: Σχηματική διάταξη αξιοποίησης της κυματικής ενέργειας σε ηλεκτρισμό

Η κυματική ενέργεια αντιμετωπίζει ακόμα πολλές δυσκολίες λόγω του ίδιου του θαλάσσιου περιβάλλοντος, ενώ προβληματισμός υπάρχει και σχετικά με το κόστος παραγωγής. Τα τελευταία χρόνια ωστόσο, η ερευνητική πειραματική διαδικασία σε τεχνικό επίπεδο έχει εμφανίσει αξιοσημείωτη πρόοδο και το πολιτικό και βιομηχανικό ενδιαφέρον αυξάνεται.

1.4 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Το νερό όταν βρίσκεται σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο έχει δυναμική ενέργεια, η οποία μετατρέπεται σε κινητική καθώς το νερό ρέει προς περιοχές χαμηλότερου υψομέτρου. Αξιοποιώντας την ενέργεια αυτή, επιτυγχάνεται η μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια στροβίλων και ηλεκτρογεννητριών σε ειδικά διαμορφωμένες εγκαταστάσεις. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί, που τα κύρια τμήματά τους είναι ο υδατοταμιευτήρας, το φράγμα, ο κλειστός αγωγός πτώσεως, ο υδροστρόβιλος, η ηλεκτρογεννήτρια και η διώρυγα φυγής του νερού έχει μεγάλη απήχηση σε χώρες του Βορρά. Η λειτουργία των υδροηλεκτρικών μονάδων βασίζεται στην κίνηση του νερού λόγω διαφοράς μανομετρικού ύψους μεταξύ των σημείων εισόδου και εξόδου. Για το σκοπό αυτό κατασκευάζεται ένα φράγμα που συγκρατεί την απαιτούμενη ποσότητα νερού στον δημιουργούμενο ταμιευτήρα. Όσο μεγαλύτερος είναι ο όγκος του νερού που αποθηκεύεται και όσο ψηλότερα βρίσκεται, τόσο περισσότερη είναι η ενέργεια που περιέχει. Καθώς διέρχεται μέσω του αγωγού πτώσεως, κινεί ένα στρόβιλο ο οποίος θέτει σε λειτουργία τη ηλεκτρογεννήτρια.



Εικόνα 1.3: Σχηματική απεικόνιση Υδροηλεκτρικού Εργοστασίου

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί ταξινομούνται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας. Η διαφορά έγκειται κυρίως στις επιπτώσεις που προκαλούν στο περιβάλλον. Οι μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και μεγάλων δεξαμενών με σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η κατασκευή φραγμάτων προκαλεί διαταράξεις στην πανίδα και γενικότερα επηρεάζει ολόκληρο το οικοσύστημα καθώς μεταβάλλει ριζικά τη μορφολογία της περιοχής. Αντίθετα, τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά εγκαθίστανται δίπλα σε ποτάμια ή κανάλια και η λειτουργία τους παρουσιάζει πολύ μικρότερη περιβαλλοντική όχληση. Για το λόγο αυτό, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί μικρότερης δυναμικότητας των 30 MW χαρακτηρίζονται ως μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα και συμπεριλαμβάνονται μεταξύ των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ.

1.5 Γεωθερμική Ενέργεια

Ως γεωθερμική χαρακτηρίζεται η ενέργεια που προέρχεται από τον πυρήνα της γης και μεταφέρεται στην επιφάνεια μέσω θερμού νερού ή ατμού. Όσο προχωράμε από την επιφάνεια της γης προς το εσωτερικό της, παρατηρούμε αύξηση της θερμοκρασίας με το βάθος η οποία ονομάζεται γεωθερμική βαθμίδα. Η θερμοκρασία του πυρήνα υπερβαίνει τους 5000°C ενώ κοντά στην επιφάνεια της γης η γεωθερμική βαθμίδα έχει μέση τιμή περίπου 30 °C/km, δηλαδή για κάθε χιλιόμετρο βάθους η θερμοκρασία αυξάνεται κατά 30 °C.

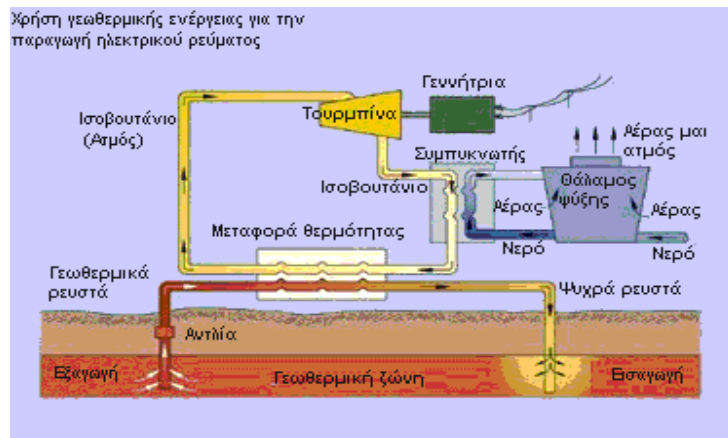
Η θερμοκρασία των γεωθερμικών ρευστών, που ανέρχονται στην επιφάνεια είτε με φυσικό τρόπο είτε μέσω γεωτρήσεων, ποικίλλει από περιοχή σε περιοχή και μπορεί να πάρει τιμές από 25°C μέχρι 350°C. Επιπρόσθετα, ανάλογα με το

ενεργειακό περιεχόμενο (ενθαλπία, θερμοκρασία, πίεση) των ρευστών αυτών, η γεωθερμική ενέργεια χαρακτηρίζεται ως:

- υψηλής ενθαλπίας, για θερμοκρασίες πάνω από 150 °C
- μέσης ενθαλπίας, για θερμοκρασίες μεταξύ 80 - 150 °C
- χαμηλής ενθαλπίας, για θερμοκρασίες 25 έως 80 °C

Σε περιπτώσεις όπου τα γεωθερμικά ρευστά έχουν υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 150°C), η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενώ η ενέργεια των χαμηλότερων θερμοκρασιακά ρευστών αξιοποιείται για τη θέρμανση κατοικιών και άλλων κτιριακών εγκαταστάσεων, θερμοκηπίων, ιχθυοκαλλιεργειών καθώς και σε βιομηχανικές εφαρμογές όπως η αφαλάτωση.

Αφού χρησιμοποιηθεί η θερμική ενέργεια των ρευστών αυτών, γίνεται επανέγχυσή τους στο έδαφος με μια δεύτερη γεώτρηση. Έτσι ενισχύεται η μακροβιότητα του γεωθερμικού ταμιευτήρα και αποφεύγεται η θερμική ρύπανση του περιβάλλοντος.



Εικόνα 1.4: Διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία

Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι το δυναμικό για τη άμεση χρήση της γεωθερμίας στην Ελλάδα ξεπερνάει τα 1000 MW για την παραγωγή θερμότητας, ενώ για την παραγωγή ηλεκτρισμού υπολογίζεται περίπου στα 25 MW κυρίως στα νησιά της Μήλου και της Νισύρου.

1.6 Βιομάζα

Με τον όρο βιομάζα χαρακτηρίζεται οποιοδήποτε προϊόν, υποπροϊόν ή κατάλοιπο προέρχεται από οργανική ύλη. Αποτελεί μια δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας και είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών. Κατά τη φωτοσύνθεση, η χλωροφύλλη των φυτών μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα με μια σειρά διεργασιών, χρησιμοποιώντας διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα καθώς επίσης νερό και ανόργανα συστατικά από το έδαφος σύμφωνα με την εξής χημική αντίδραση:



Επίσης, καθώς τα φυτά αποτελούν τροφή για τους ζωικούς οργανισμούς, συμπεραίνουμε ότι ποσότητα βιομάζας θα εμπεριέχεται και τα κατάλοιπα της ζωικής και αλιευτικής παραγωγής. Αναλυτικά, στη βιομάζα περιλαμβάνονται:

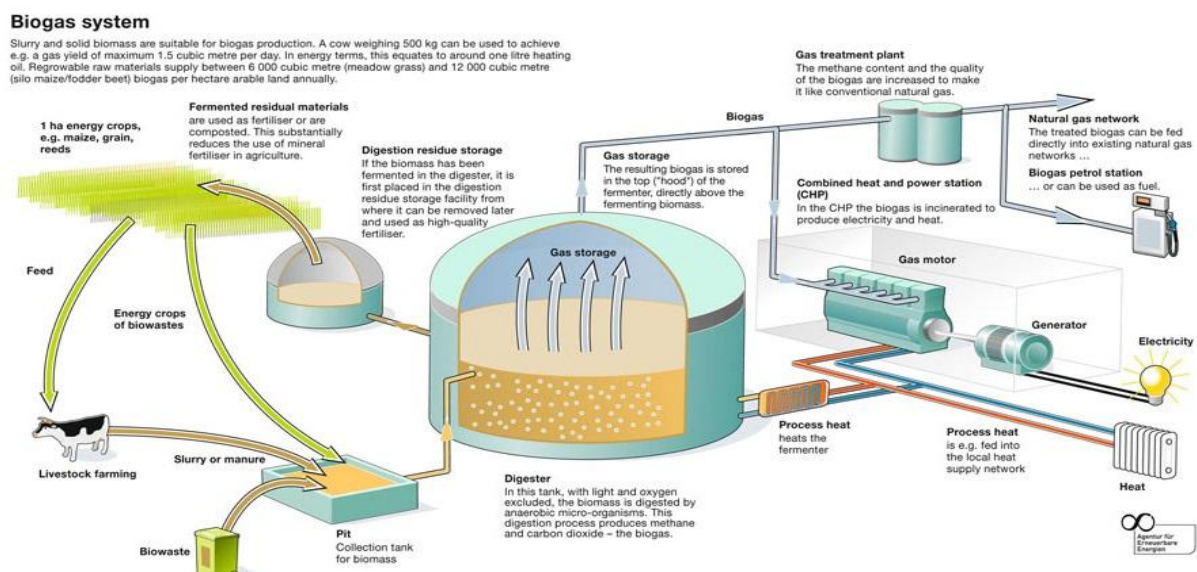
- Οι φυτικές ύλες που προέρχονται είτε από φυσικά οικοσυστήματα, όπως αυτοφυή φυτά και δάση, είτε από ενεργειακές καλλιέργειες, δηλαδή φυτά που καλλιεργούνται με σκοπό την παραγωγή ενέργειας. Τέτοια φυτά είναι ο ευκάλυπτος, το καλάμι, ο μίσχανθος κ.α.
- Τα προϊόντα, τα υποπροϊόντα και τα κατάλοιπα της φυτικής, ζωικής, δασικής και αλιευτικής παραγωγής, όπως άχυρα, κλαδιά δένδρων, φύκη, κτηνοτροφικά απόβλητα, κλπ.
- Τα υποπροϊόντα, που προέρχονται από τη βιομηχανική επεξεργασία των παραπάνω προϊόντων, όπως το ελαιοπυρηνόξυλο, τα υπολείμματα εκκοκκισμού του βαμβακιού, το πριονίδι, κ.ά.
- Τα αστικά λύματα και απορρίμματα, τα κτηνοτροφικά και αγροτοβιομηχανικά απόβλητα, καθώς και τα απόβλητα των βιομηχανιών τροφίμων.

Η βιομάζα μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών όπως για θέρμανση, ψύξη και παραγωγή ηλεκτρισμού μετατρεπόμενη σε στερεά, υγρά και αέρια καύσιμα μέσω θερμοχημικών διεργασιών (άμεση καύση της βιομάζας, πυρόλυση, ανθρακοποίηση και αεριοποίηση) ή βιοχημικών διεργασιών (αλκοολική ζύμωση, αναερόβια ή αερόβια χώνευση).

Με τη χρήση της βιομάζας ως μορφή ενέργειας δεν υπάρχει επιπρόσθετη επιβάρυνση του περιβάλλοντος και όξυνση του φαινομένου του θερμοκηπίου, διότι στη διάρκεια του κύκλου ζωής της η βιομάζα έχει ήδη απορροφήσει περίπου την ίδια ή και μεγαλύτερη ποσότητα CO₂ από αυτή που εκλύεται κατά την ενεργειακή αξιοποίησή της.

Σημαντικές ενεργειακές ανάγκες μπορούν επίσης να καλυφθούν με τη χρήση του βιοαερίου ως καυσίμου σε μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ), καυστήρες αερίου ή αεριοστρόβιλους για την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Το βιοαέριο αποτελείται κυρίως από μεθάνιο (55-70%) και διοξείδιο του άνθρακα (30-45%) και παράγεται από την αναερόβια χώνευση κτηνοτροφικών αποβλήτων, όπως είναι τα λύματα των χοιροστασιών, των πτηνοτροφιών, κ.α σε ειδικές εγκαταστάσεις. Εκεί, εκτός από το βιοαέριο, παράγεται και πολύ καλής ποιότητας οργανικό λίπασμα.

Βιοαέριο παράγεται επίσης από βιομηχανικά και αστικά οργανικά απορρίμματα. Στην περίπτωση των αστικών απορριμμάτων, η διαδικασία πραγματοποιείται στους Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ). Η μάζα του μπορεί να αρχίσει μετά από το δεύτερο ή τρίτο χρόνο της απόθεσης των απορριμμάτων αυτών και εξαρτάται από την ποσότητά τους, την περιεκτικότητά σε οργανικά υλικά καθώς και από την ποιότητα του υλικού επικάλυψης των στρώσεων απορριμμάτων έτσι ώστε να διασφαλίζεται η στεγανότητα της αναερόβιας χώνευσης.



Εικόνα 1.5: Διαδικασία παραγωγής και αξιοποίησης βιοαερίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

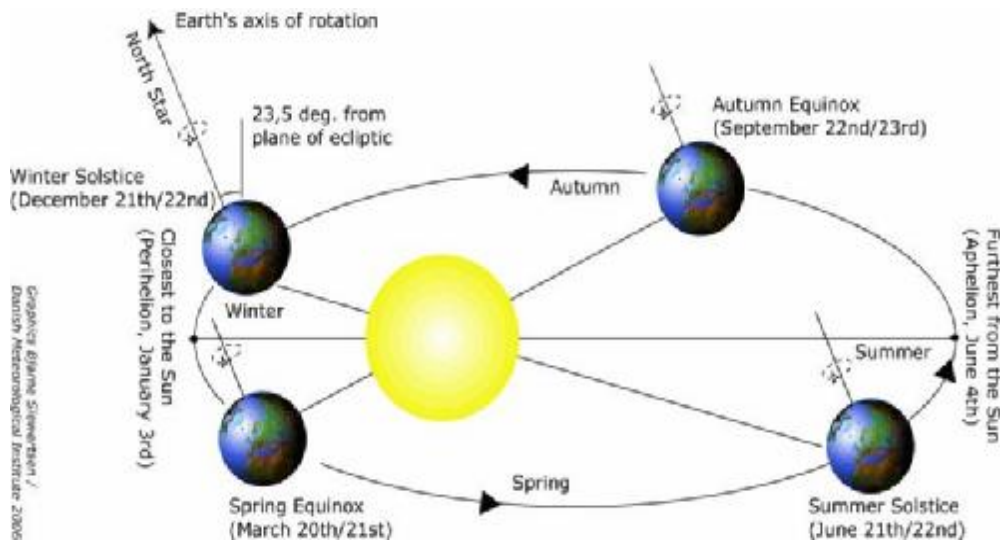
2. Ηλιακή Μηχανική

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθεί ο τρόπος με τον οποίο παράγεται η ηλιακή ενέργεια και πώς διαδίδεται και απορροφάται από τη Γη και τα σώματά της.

2.1 Ηλιακή Ακτινοβολία

Η κύρια και πρωταρχική πηγή ενέργειας για τη Γη είναι ο Ήλιος. Ο ήλιος είναι ένας γιγαντιαίος θερμοπυρηνικός αντιδραστήρας σύντηξης που αποτελείται κατά 74% από υδρογόνο (H_2), κατά 25% από ήλιο (He) και 1% από άλλα στοιχεία, ο οποίος αδιάλειπτα μετατρέπει το υδρογόνο σε ήλιο ακτινοβολώντας τεράστιες ποσότητες ενέργειας. Στο κέντρο του η θερμοκρασία υπολογίζεται στους 14 εκατομμύρια K ενώ η θερμοκρασία της επιφάνειάς του στου 5800 K. Εξαιτίας των θερμοκρασιών αυτών τα άτομα των στοιχείων που αποτελούν τη σύσταση του ηλίου, έχουν χάσει τα ηλεκτρόνια τους και βρίσκονται σε μια κατάσταση νέφους θετικών και αρνητικών φορτίων που καλείται κατάσταση πλάσματος. Οι ταχύτατα κινούμενοι πυρήνες υδρογόνου συσσωματώνονται, υπερνικώντας τις μεταξύ τους απωστικές ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις και δημιουργούν πυρήνες του στοιχείου ηλίου (He). Η πυρηνική αυτή αντίδραση είναι εξώθερμη, χαρακτηρίζεται από την έκλυση τεράστιων ποσοτήτων ενέργειας ή θερμότητας, που ακτινοβολείται προς όλες τις κατευθύνσεις στο διάστημα και περιγράφεται από την εξίσωση ενέργειας-μάζας του Albert Einstein, $E= mc^2$.

Η ηλιακή ενέργεια μεταφέρεται κυρίως με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, χωρίς να απουσιάζει και η σωματιδιακή της φύση. Η ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στη μέση απόσταση ήλιου-πλανήτη σε ένα ηλιακό σύμπαν ονομάζεται ηλιακή σταθερά. Στο ηλιακό μας σύστημα η ηλιακή σταθερά της γης είναι $I_{sc}= 1367 \frac{W}{m^2}$ και αντιστοιχεί στη μέση απόσταση ήλιου-γης που είναι $149,5 \cdot 10^6$ km.



Εικόνα 2.1: Η ελλειπτική τροχιά της γης γύρω από τον ήλιο κατά τη διάρκεια ενός έτους

Η ενέργεια της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μεταδίδεται με την μορφή διακεκριμένων ποσοτήτων ενέργειας, που ονομάζονται φωτόνια ή κβάντα φωτός. Το κάθε φωτόνιο μεταφέρει ενέργεια E η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$E = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad [\text{J}]$$

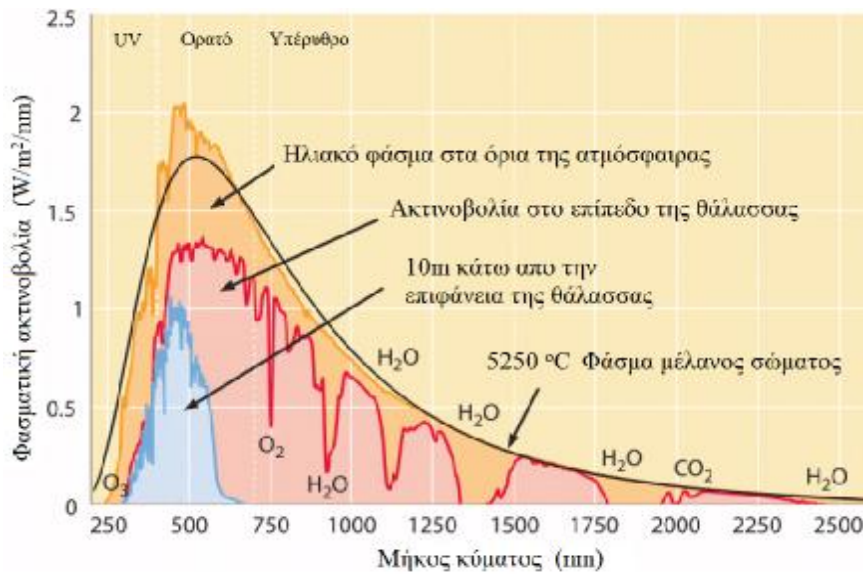
όπου $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ [J} \cdot \text{s]}$, η σταθερά του Plank

$c = 2.9979 \cdot 10^8 \text{ [}\frac{\text{m}}{\text{s}}\text{]}$, η ταχύτητα των φωτονίων στο κενό

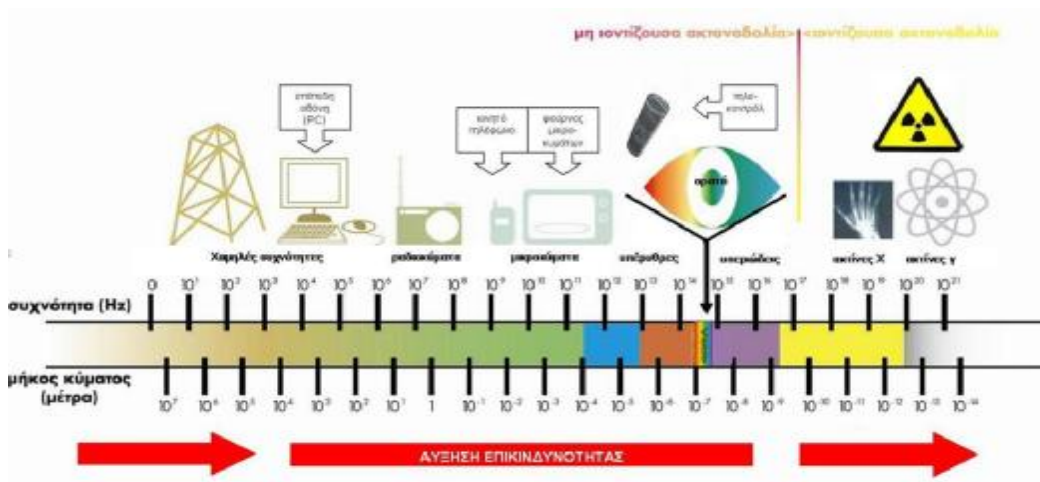
$\nu \text{ [s}^{-1}\text{]}$, η συχνότητα της ηλιακής ακτινοβολίας

$\lambda \text{ [m]}$, το μήκος κύματος των φωτονίων

Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας εκτείνεται από τα 150nm έως τα 4000nm. Το 9% της συνολικής ηλιακής ακτινοβολίας έξω από την ατμόσφαιρα της γης βρίσκεται στο υπεριώδες φάσμα, το 44% ανήκει στο ορατό φάσμα και το υπόλοιπο 47% στο υπέρυθρο.



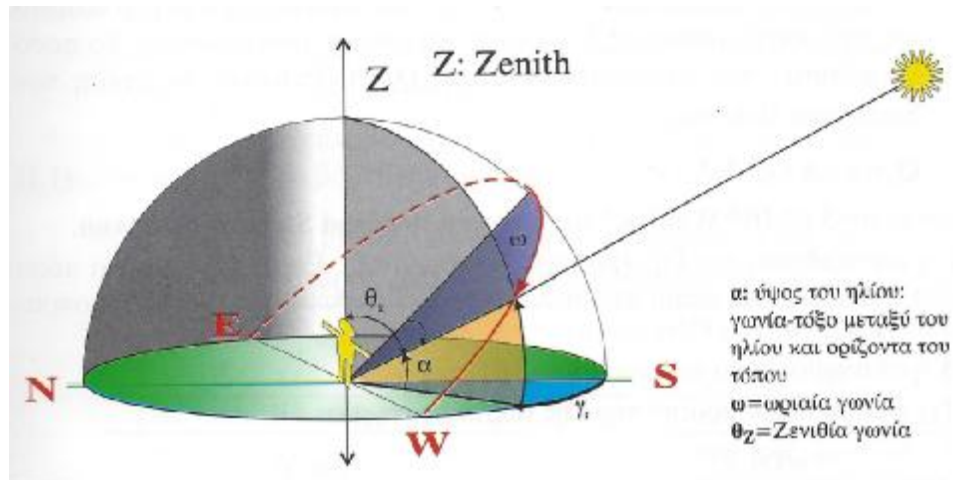
Εικόνα 2.2: Γράφημα κατανομής της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας στα διάφορα μήκη κύματος



Εικόνα 2.3: Περιοχές φάσματος ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

2.2 Βασικές έννοιες και γεωμετρικά στοιχεία για την Ηλιακή Ακτινοβολία

Η πρόσληψη της ηλιακής ενέργειας από ένα σώμα εξαρτάται άμεσα από τη θέση, τον προσανατολισμό και την κλίση του ως προς το σημείο που βρίσκεται ο ήλιος τη δεδομένη στιγμή. Εν συνεχεία, θα αναφερθούν ορισμένοι τύποι για τους υπολογισμούς των παραπάνω στοιχείων.



Εικόνα 2.4: Η τροχιά του ηλίου και οι χρήσιμες γωνίες που σχηματίζονται

2.2.1 Αληθής ηλιακός χρόνος (Α.Η.Χ.)

Είναι ο χρόνος του οποίου η μέτρηση και ο προσδιορισμός βασίζεται στην γωνιακή μετακίνηση του ηλίου σε σχέση με τον γήινο μεσημβρινό του τόπου. Ο Α.Η.Χ. δεν συμπίπτει με τον **Τοπικό Ωρολογιακό Χρόνο (Τ.Ω.Χ)**, δηλαδή τον χρόνο της εκάστοτε τοποθεσίας/χώρας, αλλά συνδέεται σύμφωνα με την παρακάτω γραμμική σχέση με αυτόν:

$$ΑΗΧ = ΤΩΧ - 4\text{min} / \text{μείρα} (L_{st} - L_{loc}) + E$$

όπου

$n \rightarrow$ ο αύξων αριθμός της ημέρας ($n = 1$ έως 365)

$L_{st} \rightarrow$ το γεωγραφικό μήκος ατράκτου

$L_{loc} \rightarrow$ το γεωγραφικό μήκος της τοποθεσίας που έχει επιλεγθεί

$E \rightarrow$ η εξίσωση του χρόνου σε (min), με τύπο:

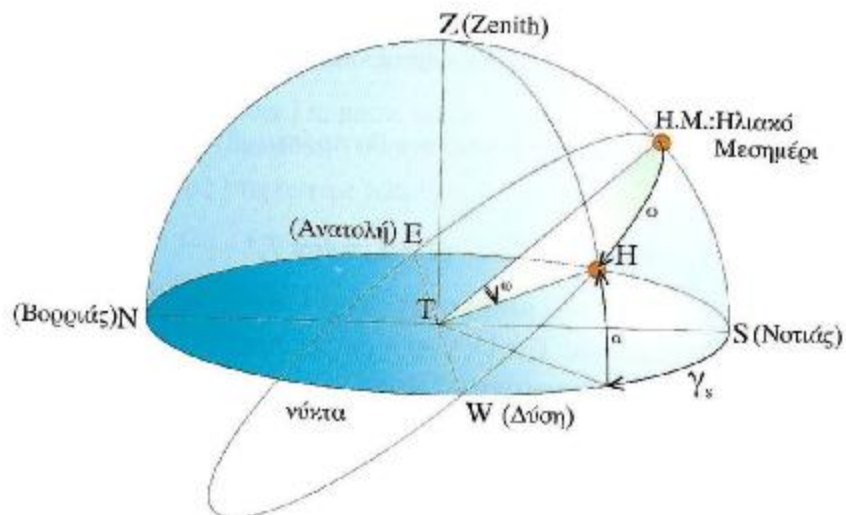
$$E = 0.0172 + 0.3278 \cos B - 7.3456 \sin B - 3.3468 \cos 2B - 9.3544 \sin 2B$$

$$B = \frac{360 (n-1)}{365}$$

2.2.2 Ωριαία γωνία (ω)

Η ωριαία γωνία καθίσταται η γωνία σε μοίρες ανάμεσα στον μεσημβρινό του τόπου και της θέσης του ηλίου (γωνιακή μετατόπιση του ηλίου ανατολικά ή δυτικά του μεσημβρινού λόγω περιστροφής της γης με ρυθμό $15^\circ/h$). Το ηλιακό μεσημέρι, δηλαδή για Α.Η.Χ. = 12 h η ωριαία γωνία είναι μηδέν, γεγονός που αποδεικνύεται και από τη σχέση:

$$\omega = (AHX - 12h) \cdot 15^\circ/h$$



Εικόνα 2.5: Σχηματική απεικόνιση της ωριαίας γωνίας ω

2.2.3 Απόκλιση ηλίου (δ)

Απόκλιση ηλίου καλείται η γωνιακή θέση του ηλίου κατά την ηλιακή μεσημβρία σε σχέση με το επίπεδο του ισημερινού. Η απόκλιση του ήλιου αλλάζει κατά τη διάρκεια του έτους, με ακραίες τιμές είναι τις $+23.45$ μοίρες στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο) και τις -23.45 μοίρες στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο). Κατά τις ισημερίες η απόκλιση ηλίου είναι μηδέν. Επομένως, συμπεραίνουμε ότι η τιμή (δ) αλλάζει καθημερινά και προσδιορίζεται από την σχέση:

$$\delta = 23.45^\circ \cdot \sin\left(360^\circ \cdot \frac{284+n}{365}\right) \quad [\text{σε μοίρες } ^\circ]$$

2.2.4 Γεωγραφικές Συντεταγμένες

Γεωγραφικό πλάτος (φ) – Latitude

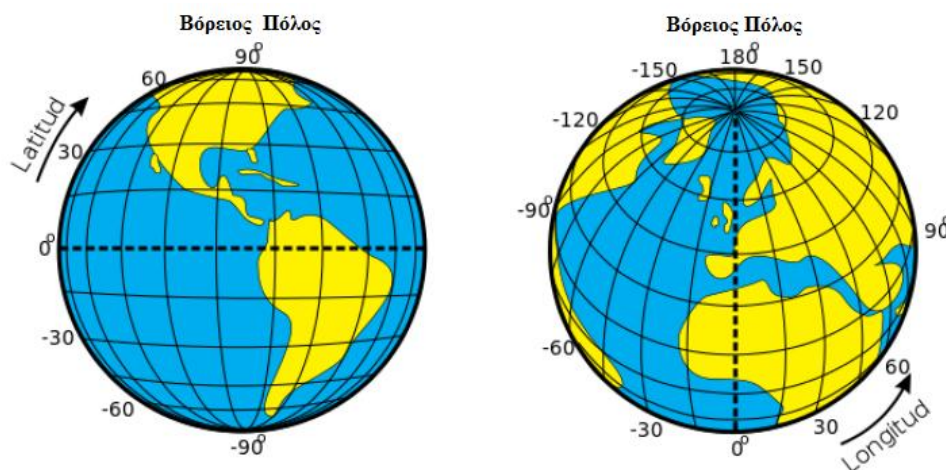
Αποτελεί ένα από τα δύο μεγέθη των γεωγραφικών συντεταγμένων τα οποία προσδιορίζουν τη θέση των διαφόρων τόπων στην επιφάνεια της γης. Συγκεκριμένα, προσδιορίζει την γωνιακή απόσταση των εκάστοτε τόπων από τον Ισημερινό, ο οποίος έχει γεωγραφικό πλάτος ίσο με $\varphi = 0^\circ$. Το γεωγραφικό πλάτος παίρνει τιμές εύρους:

$$-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$$

Γεωγραφικό μήκος (L) – Longitude

Το γεωγραφικό μήκος έχει οριστεί κατά σύμβαση να μετράται από τον Μεσημβρινό που διέρχεται από το Αστεροσκοπείο του Γκρίνουιτς στην Μεγάλη Βρετανία καλούμενος ως **πρώτος μεσημβρινός**. Το γεωγραφικό μήκος αποδίδεται σε μοίρες με τιμές.

$$-180^\circ \leq L \leq 180^\circ$$



Εικόνα 2.6: Απεικόνιση γεωγραφικού πλάτους και γεωγραφικού μήκους αντίστοιχα

2.2.5 Ζενίθια ή ζενιθιακή γωνία (θ_z)

Η ζενίθια γωνία σχηματίζεται ανάμεσα στην κάθετο ως προς το οριζόντιο επίπεδο (Ζενίθ) και στη διεύθυνση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 12 και υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$\cos\theta_z = \cos\delta \cdot \cos\varphi \cdot \cos\omega + \sin\varphi \cdot \sin\delta \quad [\text{σε μοίρες } ^\circ]$$

2.2.6 Ύψος ηλίου (α)

Ως ύψος ηλίου καλείται η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας τόπος-ήλιος και οριζόντιου επιπέδου. Το ύψος του ηλίου είναι η συμπληρωματική γωνία της ζενίθιας γωνίας. Έτσι, δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

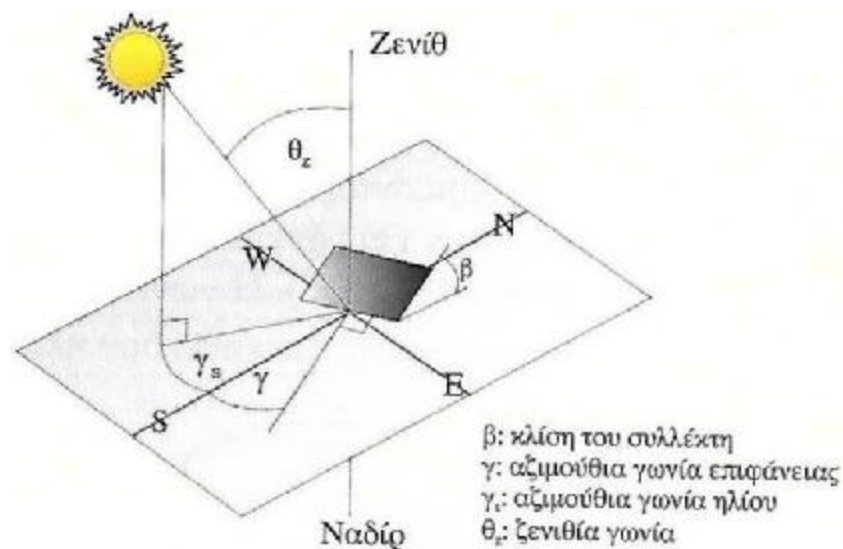
$$\theta_z + \alpha = 90^\circ \quad [\text{σε μοίρες } ^\circ]$$

2.2.7 Αζιμούθια γωνία του ηλίου (γ_s)

Είναι η γωνία που σχηματίζεται ανάμεσα στην προβολή της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια του οριζόντιου επιπέδου και στη διεύθυνση Βορρά – Νοτιά. Δίνεται από τον παρακάτω τύπο και μετριέται σε μοίρες $^\circ$:

$$\sin\gamma_s = \frac{\cos\delta \cdot \sin\omega}{\sin\theta_z}$$

Η γωνία (γ) παίρνει τιμές από $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$, όπου για το νότο είναι $\gamma = 0^\circ$, για τη δύση $\gamma = 90^\circ$, για το βορρά $\gamma = 180^\circ$ και για την ανατολή $\gamma = -90^\circ$. Προκειμένου να επιτευχθεί μεγιστοποίηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε επιφάνειες που βρίσκονται στο βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη γωνία είναι $\gamma = 0^\circ$.



Εικόνα 2.7: Σχηματική απεικόνιση της αζιμούθιας γωνίας του ηλίου

2.2.8 Κλίση επιπέδου β

Κλίση του επιπέδου είναι η γωνία που σχηματίζει η επίπεδη επιφάνεια στην οποία προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία με το οριζόντιο επίπεδο. Παίρνει τιμές $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$, για το οριζόντιο επίπεδο είναι $\beta = 0^\circ$ και για το κατακόρυφο $\beta = 90^\circ$. Προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η ετήσια προσπίπτουσα ακτινοβολία θα πρέπει η κλίση β να έχει επιλεγθεί έτσι ώστε η ηλιακή ακτινοβολία να πέφτει κάθετα στην επιφάνεια της επίπεδης επιφάνειας. Αυτό όμως δεν είναι εύκολο να εξασφαλιστεί, καθώς ο ήλιος συνεχώς μετακινείται στον ουράνιο θόλο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Έτσι, ειδικές μηχανικές διατάξεις παρακολουθούν την τροχιά του ηλίου κατά τη διάρκεια της ημέρας και αναπροσανατολίζουν συνεχώς την επιφάνεια πρόσπτωσης του συλλέκτη (π.χ. με τη βοήθεια υπολογιστή ή φωτοκύτταρων), ώστε η επιφάνειά του να αντικρίζει πάντα κάθετα τον ήλιο. Οι διατάξεις όμως αυτές είναι πολύπλοκες και δαπανηρές. Έτσι, η χρήση τους επιλέγεται κυρίως σε περιπτώσεις συγκεντρωτικών συστημάτων με φακούς ή κάτοπτρα ή σε περιπτώσεις όπου η ποσότητα της διαθέσιμης ηλιακής ακτινοβολίας είναι αρκετά περιορισμένη, άρα και πολύτιμη.

2.2.9 Γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας (θ)

Η γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας σε επίπεδη επιφάνεια με κλίση β και προσανατολισμό γ υπολογίζεται βάσει του τύπου:

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

Ενώ στην περίπτωση όπου η επιφάνεια πρόσπτωσης είναι πλήρως προσανατολισμένη στον Νοτιά για την μέγιστη αξιοποίηση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας ετησίως, η παραπάνω εξίσωση απλοποιείται και γίνεται :

$$\cos\theta = \cos(\varphi - \beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin(\delta)$$

2.2.10 Διέλευση ηλιακής Ακτινοβολίας - Αέρια Μάζα

Η ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης, εξαρτάται από το υψόμετρο και τη γεωγραφική της θέση, την περιεκτικότητα σε υγρασία της ατμόσφαιρας, τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες αλλά και τη θέση του ηλίου στον ουράνιο θόλο.

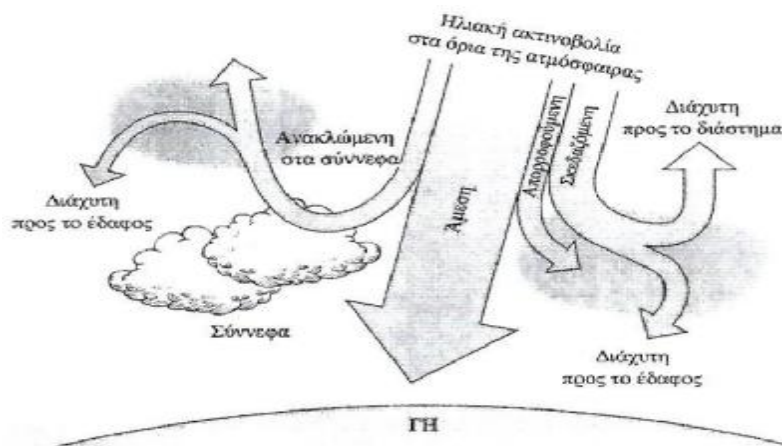
Το μήκος της διαδρομής της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα μέχρι να φθάσει το επίπεδο της θάλασσας καλείται αέρια μάζα AM και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$AM = \frac{1}{\cos\theta_z}$$

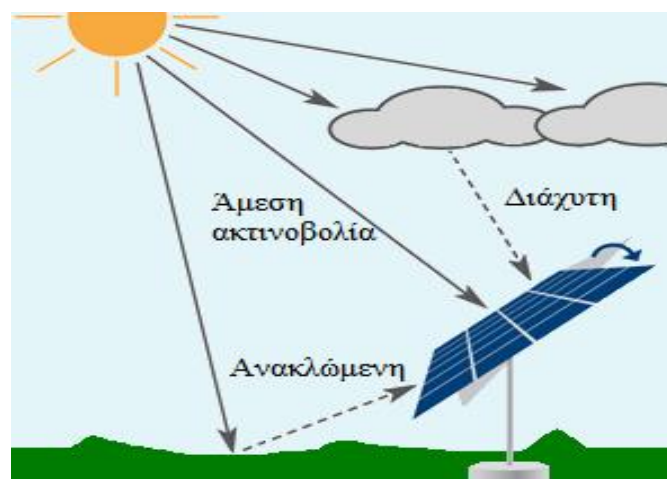
Εναλλακτικά, μπορούμε να πούμε ότι η αέρια μάζα εκφράζει πόσες φορές μεγαλύτερη είναι η διαδρομή που διανύει η ηλιακή ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα, συγκριτικά με την κατακόρυφη διαδρομή της όπου ο ήλιος βρίσκεται στο ζενίθ.

2.3 Συνιστώσες της Ηλιακής Ακτινοβολίας

Καθώς οι ηλιακές ακτίνες περνούν από την ατμόσφαιρα της γης, τα φωτόνια σκεδάζονται στους υδρατμούς, στη σκόνη και στα υπόλοιπα σωματίδια που υπάρχουν. Ένα μέρος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας φτάνει στην επιφάνεια της γης και το υπόλοιπο διαχέεται προς το διάστημα. Επιπλέον, ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας απορροφάται από ορισμένα συστατικά της ατμόσφαιρας, για παράδειγμα η υπεριώδης ακτινοβολία απορροφάται από τα μόρια του όζοντος και τέλος, μια άλλη ποσότητα ανακλάται στα σύννεφα και στη συνέχεια διαχέεται προς το έδαφος. Έτσι, σε κάθε σημείο της γης, και φυσικά σε κάθε ηλιακό συλλέκτη, φτάνουν τρεις συνιστώσες της ηλιακής ακτινοβολίας, οι οποίες είναι η άμεση, η διάχυτη και η ανακλώμενη.



Εικόνα 2.8: Η πορεία της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στην ατμόσφαιρα



Εικόνα 2.9: Οι συνιστώσες της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας σε μια επιφάνεια

2.3.1 Άμεση ηλιακή ακτινοβολία

Η άμεση ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται μια επιφάνεια προέρχεται απευθείας από τον ήλιο, χωρίς να μεσολαβήσει διασκορπισμός μέσα στην ατμόσφαιρα. Η άμεση **στιγμιαία** ακτινοβολία που προσπίπτει σε οριζόντιο επίπεδο συμβολίζεται με το G_b , ενώ η άμεση ακτινοβολία που δέχεται ένα επίπεδο με κλίση β είναι G_{bT} . Αντίστοιχα, η άμεση **ωριαία** ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου συμβολίζεται με το I_b και η άμεση ακτινοβολία κεκλιμένου επιπέδου I_{bT} . Τέλος, η άμεση **ημερήσια** ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο συμβολίζεται με το H_b , ενώ η άμεση ακτινοβολία που δέχεται ένα επίπεδο γωνίας κλίσης β είναι H_{bT} .

2.3.2 Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία

Διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία ονομάζεται η ακτινοβολία που έχει υποστεί σκέδαση και αλλαγή κατεύθυνσης μέσα στην ατμόσφαιρα. Οι αντίστοιχοι συμβολισμοί που προκύπτουν από την διάχυτη ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο είναι G_d , I_d , H_d , ενώ η διάχυτη ακτινοβολία που λαμβάνει μια επιφάνεια κλίσης β είναι G_{dT} , I_{dT} , H_{dT} για τιμές που αναφέρονται σε στιγμιαίες, ωριαίες και ημερήσιες μετρήσεις.

2.3.3 Ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία

Η ανακλώμενη ακτινοβολία προκύπτει από την ανάκλαση της ακτινοβολίας που προσπίπτει στο έδαφος και χαρακτηρίζεται από τον συντελεστή ανάκλασης r , τιμές του οποίου παρουσιάζονται παρακάτω:

Επιφάνεια	Συντελεστής ανάκλασης (r)
Καθαρό (φρέσκο) χιόνι	0,80 - 0,95
Βρώμικο παλιό χιόνι	0,40 - 0,70
Πάγος	0,20 - 0,40
Ήρεμη θάλασσα	0,03 - 0,30
Άμμος	0,20 - 0,45
Γρασίδι	0,15 - 0,25
Δάσος	0,15 - 0,20
Τσιμέντο	0,10 - 0,35
Άσφαλτος	0,05 - 0,20

Η ανακλώμενη ακτινοβολία εξαρτάται από τη μορφολογία, το χρώμα του εδάφους και την πυκνότητα των νεφών, ενώ η άμεση και διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία επηρεάζονται σημαντικά από τη σύσταση της ατμόσφαιρας τη δεδομένη χρονική στιγμή (συννεφιά, υγρασία, αιωρήματα), την ημέρα κατά τη διάρκεια του έτους και τη γωνία πρόσπτωσης των ηλιακών ακτινών στη συλλεκτική επιφάνεια.

2.3.4 Ολική ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντιο και κεκλιμένο επίπεδο

Η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται συνολικά μια οριζόντια επιφάνεια ονομάζεται ολική ακτινοβολία και αποτελείται από το άθροισμα των επιμέρους ακτινοβολιών, δηλαδή της άμεσης, της διάχυτης και της ανακλώμενη ακτινοβολίας.

$$I = I_b + I_d + I_r \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Η μετατροπή της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας από το οριζόντιο στο κεκλιμένο επίπεδο πραγματοποιείται μέσω της σχέσης:

$$I_T = I \cdot R \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

όπου R ο συντελεστής μετατροπής της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας:

$$R = \frac{I_b}{I} \cdot R_b + \frac{I_d}{I} \cdot \left(\frac{1+\cos\beta}{2} \right) + \frac{1-\cos\beta}{2} \cdot r \quad \text{και} \quad R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z}$$

Επιπλέον, η ένταση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε μια οριζόντια επιφάνεια έξω από την ατμόσφαιρα της γης υπολογίζεται ως εξής:

$$I_{ext} = I_{sc} \left[1 + 0.033 \cos\left(\frac{360n}{365} \right) \right] \cdot (\sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \cos\omega)$$

όπου η ηλιακή σταθερά είναι $I_{sc} = 1366 \frac{W}{m^2}$.

Τέλος, η ισχύς της προσπίπτουσας ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο για Αέρια Μάζα = 1, δηλαδή ο όταν ήλιος να βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο, είναι $I = 1000 \frac{W}{m^2}$.

2.4 Αξιοποίηση της ηλιακής ακτινοβολίας

Η ενεργειακή αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας επιτυγχάνεται μέσω ακτινοβολίας μέσω παρακάτω συστημάτων:

Τα **ενεργητικά ηλιακά συστήματα** χαρακτηρίζονται από την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμική και την αξιοποίησή της σε οικιακές και βιομηχανικές εφαρμογές. Η ηλιακή ακτινοβολία συλλέγεται με σκοπό την ηλιακή θέρμανση του νερού χρήσης και την ηλιακή θέρμανση χώρων.

Τα **παθητικά ηλιακά συστήματα**, των οποίων η λειτουργία στηρίζεται στην μέγιστη άμεση ή έμμεση αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας μέσω των δομικών τους στοιχείων για την θέρμανση ή το δροσισμό των κτιρίων. Αυτό επιτυγχάνεται με κατάλληλα συστήματα που ενσωματώνονται στα κτίρια, όπως θερμοπρόσοψη τοίχων, ενεργειακά τζάμια και αίθρια για την μείωση των θερμικών απωλειών. Επιπλέον, η τοποθέτηση σκιάστρων και η κατάλληλη διαμόρφωση των εσωτερικών χώρων διευκολύνει τη φυσική κυκλοφορία του αέρα επιτυγχάνοντας δροσισμό τους καλοκαιρινούς μήνες.

Τα **φωτοβολταϊκά συστήματα** εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια και μέσω ειδικών διατάξεων την μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια. Το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα αξιοποιείται σε εφαρμογές μικρότερης ή μεγαλύτερης ισχύος, όπως για παράδειγμα από τον φωτισμό κήπων μέχρι την κάλυψη οικιακών ή βιομηχανικών ηλεκτρικών φορτίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. Ηλιακά Θερμικά συστήματα

3.1 Εισαγωγή

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας με τη μετατροπή τους σε χρήσιμη θερμική ενέργεια επιτυγχάνεται κυρίως με τους παρακάτω βασικές διατάξεις ηλιακών συλλεκτών, τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες, τους συλλέκτες κενού, τους συλλέκτες χωρίς κάλυμμα και τους συγκεντρωτικούς ηλιακούς συλλέκτες.

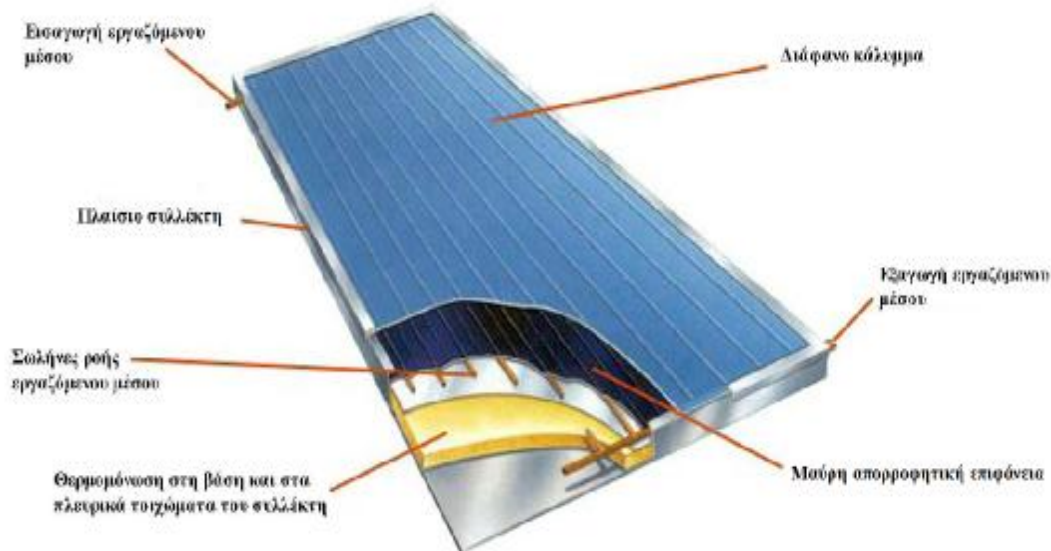
3.1.1 Επίπεδος ηλιακός θερμικός συλλέκτης

Ο επίπεδος ηλιακός θερμικός συλλέκτης αποτελεί τον πιο διαδεδομένο τρόπο μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε θερμότητα, καλύπτοντας τις καθημερινές ανάγκες του ανθρώπου για παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και για θέρμανση χώρων. Τα κύρια μέρη από τα οποία αποτελείται ένας επίπεδος ηλιακός θερμικός συλλέκτης είναι:

- α) Η μαύρη απορροφητική επιφάνεια. Για την μέγιστη δυνατή συλλογή και εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιείται ειδική επιλεκτική επιφάνεια με μεγάλη απορροφητικότητα (90-95%) και ελάχιστη εκπομπή (5-10%) στα μικρά μήκη κύματος λ της ηλιακής ακτινοβολίας.
- β) Το δίκτυο σωληνώσεων στην πίσω πλευρά της μαύρης απορροφητικής επιφάνειας, όπου εσωτερικά κυκλοφορεί το εργαζόμενο μέσο (νερό ή μίγμα νερού και αντιπηκτικού υγρού).
- γ) Το θερμομονωτικό υλικό. Τοποθετείται στη βάση και στα πλευρικά τοιχώματα του συλλέκτη για την μείωση των θερμικών απωλειών. Ένα μικρό ποσοστό θερμικών απωλειών θα εξακολουθεί να υφίσταται λόγω της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ του απορροφητή και του περιβάλλοντος αέρα.
- δ) Το προστατευτικό διάφανο κάλυμμα από γυαλί ή πλαστικό, το οποίο ελαττώνει τις θερμικές απώλειες λόγω συναγωγής καθώς και τις απώλειες λόγω ακτινοβολίας της θερμαινόμενης απορροφητικής επιφάνειας. Επιπλέον, προστατεύει το

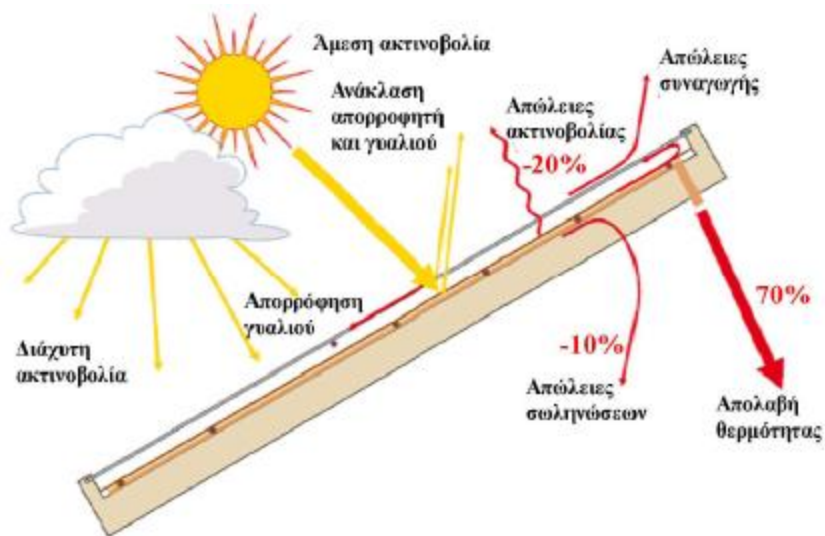
εσωτερικό τμήμα του συλλέκτη από τις περιβαλλοντικές συνθήκες και ακαθαρσίες (σκόνη κλπ.), επιμηκύνοντας την διάρκεια ζωής του.

ε) Το πλαίσιο του συλλέκτη, το οποίο κατασκευάζεται από κράμα αλουμινίου ή από γαλβανισμένο χάλυβα και εξυπηρετεί στην συγκράτηση και προστασία του κυρίως μέρους του συλλέκτη.



Εικόνα 3.1: Επίπεδος ηλιακός θερμικός συλλέκτης

Η λειτουργία ενός επίπεδου ηλιακού θερμικού συλλέκτη στηρίζεται στη μετάδοση θερμότητας από την μαύρη απορροφητική επιφάνεια στις σωληνώσεις και εν συνεχεία στο διερχόμενο εργαζόμενο μέσο με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του. Ο συλλέκτης θα πρέπει να είναι τοποθετημένος με κατάλληλη κλίση β από το οριζόντιο επίπεδο και κατάλληλο προσανατολισμό έτσι ώστε να εκμεταλλεύεται τη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια του καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας.



Εικόνα 3.2: Διάγραμμα ροής ενέργειας σε επίπεδο θερμικό συλλέκτη

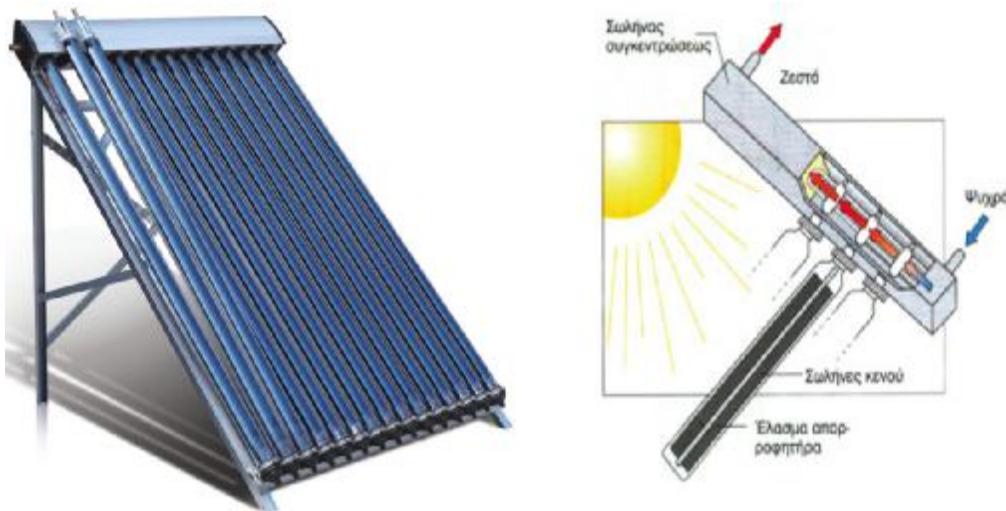
Οι επίπεδοι ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται περισσότερο λόγω της εύκολης κατασκευής και του χαμηλού συγκριτικά κόστους αγοράς και συντήρησής τους.

3.1.2 Ηλιακός θερμικός συλλέκτης με σωλήνες κενού

Οι ηλιακοί συλλέκτες κενού διαφέρουν από τους επίπεδους ηλιακούς θερμικούς συλλέκτες ως προς τον τρόπο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας. Επιπλέον, είναι ευρέως διαδεδομένοι για τη λειτουργία και την απόδοσή τους σε συνθήκες ελαττωμένης ηλιοφάνειας.

Ένας ηλιακός συλλέκτης κενού αποτελείται από συστοιχίες γυάλινων σωλήνων κλειστού τύπου. Εσωτερικά περιέχεται μια μεταλλική επιφάνεια βαμμένη με ειδικό θερμοαπορροφητικό υλικό χαμηλής ανάκλασης, με σκοπό την μέγιστη δυνατή μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμική ενέργεια. Η θερμότητα που συλλέγεται, μεταφέρεται σε έναν αυλό (heat pipe) που περιέχει ένα ανόργανο μη τοξικό πτητικό ρευστό, συνήθως αλκοόλη. Με την αύξηση της θερμοκρασίας, το ρευστό εξατμίζεται και εν συνεχεία ανεβαίνει στην άνω άκρη του γυάλινου σωλήνα. Στο σημείο αυτό σχηματίζεται ένας εναλλάκτης θερμότητας καθώς το πτητικό ρευστό (αέριο) απάγει την θερμότητα του στο διερχόμενο νερό χρήσης και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της θερμοκρασίας του. Έτσι, συμπυκνώνεται

και επιστρέφει στο κάτω άκρο του γυάλινου σωλήνα, όπου αναθερμαινόμενο από την ηλιακή ακτινοβολία επαναλαμβάνει την παραπάνω διαδικασία. Για την ορθή λειτουργία του συστήματος, οι γυάλινοι σωλήνες πρέπει να έχουν μία μικρή κλίση ώστε να μπορεί να γίνεται ο κύκλος της εξάτμισης και της συμπύκνωσης εντός του σωλήνα.

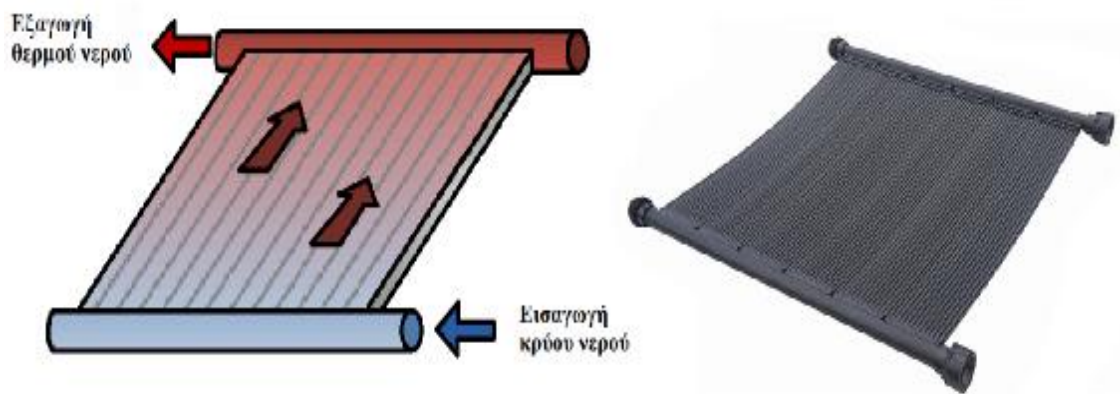


Εικόνα 3.3: Η λειτουργία ενός ηλιακού συλλέκτη κενού

Σημαντικό πλεονεκτήματα ενός ηλιακού συλλέκτη κενού καθίσταται η ύπαρξη κενού αέρος εσωτερικά των σωλήνων. Το κενό αυτό εξασφαλίζει την καλή μόνωση του συστήματος και την ελάττωση των απωλειών θερμότητας προς το περιβάλλον. Έτσι, επιτυγχάνονται υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας, της τάξεως των $100 \div 150^{\circ}\text{C}$, συγκριτικά με άλλα είδη ηλιακών θερμικών συλλεκτών. Επιπρόσθετα, λόγω της κυλινδρικής γεωμετρίας των σωλήνων κενού επιτυγχάνεται κάθετη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την πλήρη εκμετάλλευσή της. Τέλος, αξίζει να επισημανθεί ότι ο κάθε σωλήνας κενού του ηλιακού συλλέκτη αποτελεί ένα ξεχωριστό κλειστό κύκλωμα. Έτσι, σε περίπτωση δυσλειτουργίας ενός σωλήνα, το νερό χρήσης δεν υφίσταται διαρροές και εξακολουθεί να θερμαίνεται από τους υπόλοιπους σωλήνες της συστοιχίας.

3.1.3 Ηλιακός θερμικός συλλέκτης χωρίς κάλυμμα

Οι ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες χωρίς κάλυμμα καθιστούν την απλούστερη μορφή ηλιακών συλλεκτών και χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές όπου η επιθυμητή θερμοκρασία του νερού είναι χαμηλή, για παράδειγμα σε κολυμβητικές εγκαταστάσεις και πισίνες. Η βασική διαφορά τους έγκειται στο γεγονός ότι αποτελούνται μόνο από τον απορροφητή, δηλαδή την μαύρη απορροφητική πλαστική επιφάνεια, μέσα από την οποία διέρχεται το νερό της πισίνας. Εκεί θερμαίνεται από την ηλιακή ακτινοβολία και διοχετεύεται απευθείας πίσω σε εκείνη.



Εικόνα 3.4: Ηλιακός συλλέκτης χωρίς κάλυμμα



Εικόνα 3.5: Τομή απορροφητή

Η εγκατάσταση συλλεκτών χωρίς κάλυμμα έχει μικρό κόστος αγοράς καθώς δεν απαιτείται επιπρόσθετος εξοπλισμός, όπως δεξαμενή αποθήκευσης ή εναλλάκτης θερμότητας.

3.1.4 Συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες

Οι συλλέκτες αυτού του τύπου χρησιμοποιώντας διαφόρων ειδών οπτικά μέσα, όπως ανακλαστικές επιφάνειες, παραβολικά κάτοπτρα και φακούς εστίασης, συγκεντρώνουν την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε μικρότερες επιφάνειες. Εκεί η ακτινοβολία απορροφάται και μετατρέπεται σε χρήσιμη θερμική ενέργεια, η οποία παραλαμβάνεται από ένα θερμαινόμενο μέσο που βρίσκεται εσωτερικά του σημείου εστίασης. Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες εκμεταλλεύονται μόνο την άμεση ηλιακή ακτινοβολία, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την τοποθέτηση συστημάτων παρακολούθησης του ηλίου για την αντίστοιχη κίνηση των συλλεκτών στους δύο άξονες κατά την διάρκεια της ημέρας.

Οι συγκεντρωτικοί συλλέκτες ταξινομούνται ανάλογα με το είδος εστίασης που επιτυγχάνουν (συγκεντρωτικοί συλλέκτες σημειακής εστίασης ή συγκεντρωτικοί συλλέκτες γραμμικού τύπου), ανάλογα με το είδος των ανακλαστήρων που χρησιμοποιούνται και τέλος, ανάλογα με τον λόγο συγκέντρωσης της ηλιακής ακτινοβολίας $C = \frac{A_r}{A_a}$, όπου A_r η ενεργή επιφάνεια ανάκλασης και A_a η ενεργή επιφάνεια απορρόφησης.



Εικόνα 3.6: α) Συγκεντρωτικός συλλέκτης σημειακής εστίασης, β) Συγκεντρωτικός συλλέκτης γραμμικού τύπου με σωλήνα κενού στο κέντρο

Οι συγκεντρωτικοί ηλιακοί συλλέκτες επιτυγχάνουν πολύ υψηλές θερμοκρασίες του θερμαινόμενου ρευστού της τάξεως των 200 - 400 °C, γι' αυτό

και χρησιμοποιούνται σε εύρη φάσμα βιομηχανικών εφαρμογών και παρουσιάζουν μειωμένες θερμικές απώλειες της απορροφητικής επιφάνειας λόγω της μικρής επιφάνειας της. Το μειονέκτημα των συλλεκτών αυτών είναι το υψηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης του οπτικού συστήματος.

3.2 Βαθμός απόδοσης ηλιακού θερμικού συλλέκτη

Η θερμική απόδοση ενός ηλιακού συλλέκτη εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του (θερμική μόνωση κατασκευής, διαπερατότητα και ανακλαστικότητα της γυάλινης επιφάνειας, απορροφητική επιφάνεια συλλογής κλπ) αλλά και τις συνθήκες λειτουργίας του, όπως είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και η μέση θερμοκρασία νερού μέσα στον συλλέκτη.

Ο βαθμός απόδοσης ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη προσδιορίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\eta = \frac{Q_u}{I_T \cdot A_c} \quad (1)$$

όπου Q_u η ωφέλιμη θερμική ισχύ του συλλέκτη (W), A_c η επιφάνεια του συλλέκτη (m^2) και I_T η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2). Ωφέλιμη θερμική ισχύς Q_u χαρακτηρίζεται η διαφορά μεταξύ της απορροφούμενης ισχύος της ηλιακής ενέργειας και της θερμότητας λόγω απωλειών. Συγκεκριμένα για το Q_u ισχύει ο τύπος:

$$Q_u = Q_{\text{απορ.}} - Q_{\text{απωλ.}} \quad (2)$$

Η απορροφούμενη ισχύς $Q_{\text{απορ.}}$ εκφράζει την ενέργεια σε Watt όπου απορροφά η επιφάνεια του συλλέκτη, και υπολογίζεται ως εξής:

$$Q_{\text{απορ.}} = A_c \cdot [I_T (\tau\alpha)] \quad (3)$$

Επισημαίνεται ότι το $(\tau\alpha)$ ονομάζεται ενεργό γινόμενο και εκφράζει τη μέση τιμή του γινομένου διαπερατότητας “ τ ” της γυάλινης επιφάνειας και της απορροφητικότητας “ α ” της μαύρης επίστρωσης του συλλέκτη.

Η ισχύς απωλειών $Q_{\text{απωλ}}$ υφίσταται εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας της μέσης θερμοκρασίας του συλλέκτη και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος:

$$Q_{\text{απωλ}} = A_c \cdot [U_L (T_{c,m} - T_\alpha)] \quad (4)$$

όπου U_L ο συντελεστή θερμικών απωλειών σε $(\frac{W}{m^2 \cdot K})$, $T_{c,m}$ η μέση θερμοκρασία του συλλέκτη σε (K) και T_α η θερμοκρασία περιβάλλοντος σε (K).

Αντικαθιστώντας τις παραπάνω σχέσεις στην εξίσωση (2) προκύπτει ο τύπος της ωφέλιμης θερμικής ισχύος:

$$Q_u = A_c \cdot [I_T (\tau_\alpha) - U_L (T_{c,m} - T_\alpha)] \quad (5)$$

Επειδή όμως δεν είναι εφικτή η μέτρηση της $T_{c,m}$ του συλλέκτη για κάθε χρονική στιγμή, λόγω της εξάρτησης της από τις συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες λειτουργίας, ο όρος $T_{c,m}$ αντικαθιστάται από την θερμοκρασία εισόδου του νερού στον συλλέκτη $T_{f,i}$. Με την αλλαγή της θερμοκρασίας από $T_{c,m}$ σε $T_{f,i}$ εισάγεται ο διορθωτικός συντελεστής F_R .

Έτσι, η εξίσωση (5) παίρνει την μορφή:

$$Q_u = A_c \cdot [F_R (\tau_\alpha) I_T - F_R U_L (T_{f,i} - T_\alpha)] \quad (6)$$

Επισημαίνεται ότι η ωφέλιμη θερμική ισχύς Q_u ταυτίζεται με την μεταφερόμενη ενέργεια του ρευστού στο κύκλωμα του συλλέκτη. Η ενέργεια αυτή εκφράζεται από τον νόμο της Θερμιδομετρίας:

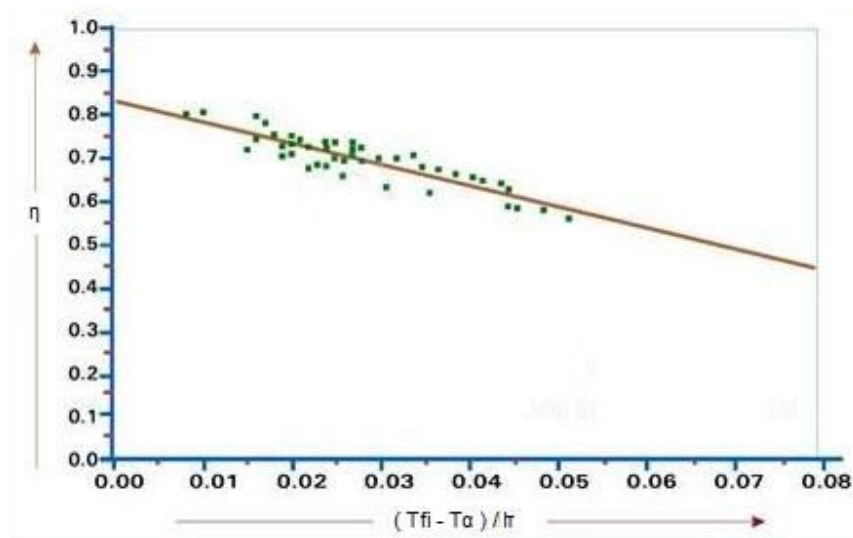
$$Q_u = \dot{m} \cdot C_p_{\text{ρευστού}} \cdot (T_{f,o} - T_{f,i}) \quad (7)$$

όπου \dot{m} η μαζική παροχή του ρευστού σε $(\frac{kg}{s})$, C_p η ειδική θερμότητα του ρευστού σε $(\frac{J}{kg \cdot K})$, $T_{f,i}$ και $T_{f,o}$ οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου του νερού από τον ηλιακό συλλέκτη σε (K).

Για τον προσδιορισμό της απόδοσης ενός ηλιακού θερμικού συλλέκτη, το σύστημα τίθεται σε λειτουργία, όπου και λαμβάνονται τιμές των θερμοκρασιών $T_{f,i}$, $T_{f,o}$ και τιμή για την μαζική παροχή \dot{m} . Έτσι, υπολογίζεται η ωφέλιμη θερμική ισχύς Q_u από τον νόμο της Θερμιδομετρίας. Έπειτα, καταχωρώντας τις μετρούμενες τιμές για την ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στο επίπεδο του συλλέκτη I_T και έχοντας ως δεδομένο τη συλλεκτική επιφάνεια A_c , υπολογίζεται η απόδοση του ηλιακού θερμικού συλλέκτη με βάση στην παρακάτω σχέση:

$$\eta = \frac{Q_u}{I_T \cdot A_c} = F_R (\tau\alpha) - F_R U_L \frac{T_{f,i} - T_a}{I_T} \quad (8)$$

Η εξίσωση (8) παρατηρούμε ότι είναι γραμμικής μορφής ($y = \beta - ax$) και έτσι η γραφική απεικόνιση του βαθμού απόδοσης εύκολα συμπεραίνεται ότι θα πραγματοποιείται σε συνάρτηση του ηλιόκτου $\frac{T_{f,i} - T_a}{I_T}$.



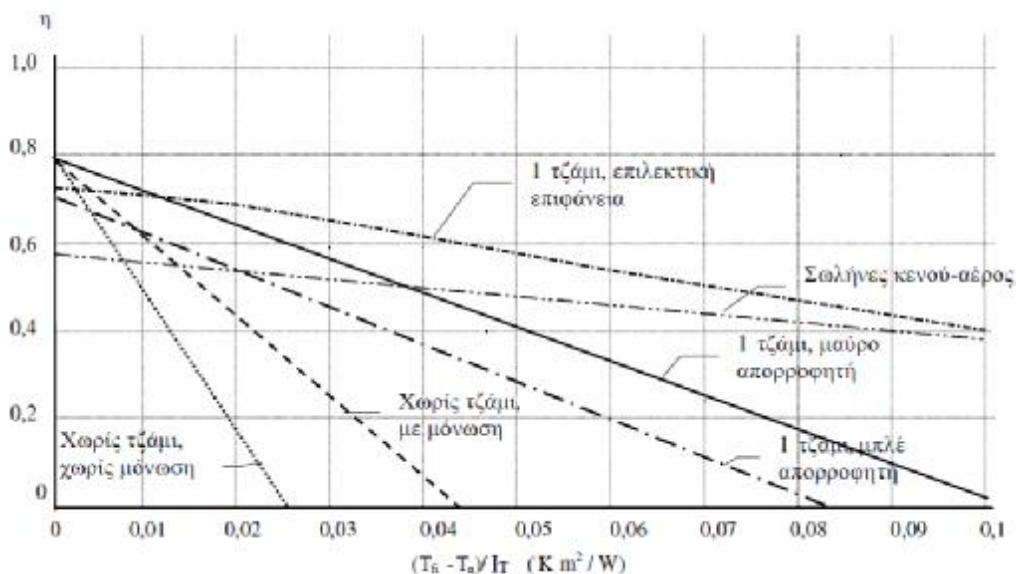
Εικόνα 3.7: Στιγμαία απόδοση ηλιακού συλλέκτη συναρτήσει των συνθηκών λειτουργίας

Από τις μαθηματικές εξισώσεις παρατηρείται ότι όσο μικραίνει η διαφορά μεταξύ θερμοκρασίας εισόδου ρευστού και περιβάλλοντος, τόσο μεγαλώνει η απόδοση του ηλιακού συλλέκτη.

Αν θεωρήσουμε ότι για έναν ηλιακό συλλέκτη, οι απώλειες του παραμένουν σταθερές τότε η γραφική απεικόνιση της απόδοσης του, ως συνάρτηση του πηλίκου $\frac{T_{f,i} - T_a}{I_T}$ θα μας δώσει ευθεία γραμμή με αρνητική κλίση. Τα σημεία τομής της ευθείας γραμμής με τους άξονες είναι τα $[0, F_R(\tau\alpha)]$ για μέγιστο γινόμενο ($\tau\alpha$), που αποδίδεται σε κάθετη πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας στον συλλέκτη, και το σημείο $[F_R U_L, 0]$, που θα ισχύει για την μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά ($T_{f,i} - T_a$).

3.2.1 Σύγκριση βαθμών απόδοσης ηλιακών θερμικών συλλεκτών

Ο βαθμός απόδοσης των ηλιακών θερμικών συλλεκτών μεταβάλλεται ανάλογα με το είδος, τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά και τις συνθήκες λειτουργίας. Έτσι, η επιλογή του κατάλληλου είδους ενός ηλιακού συλλέκτη εξαρτάται από την περιοχή εγκατάστασης, την θερμοκρασία περιβάλλοντος, την ένταση ηλιακής ακτινοβολίας και τις εκάστοτε θερμοκρασιακές απαιτήσεις για τα φορτία που καλείται να καλύψει.



Εικόνα 3.8: Απόδοση ηλιακών συλλεκτών

Όπως παρατηρείται από το παραπάνω διάγραμμα αποδόσεων, οι ηλιακοί συλλέκτες χωρίς κάλυμμα παρουσιάζουν υψηλό βαθμό απόδοσης για μικρές θερμοκρασιακές διαφορές του νερού στην είσοδο του συλλέκτη και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Χρησιμοποιούνται εκτενώς για την παραγωγή

θερμού νερού σε πισίνες. Οι συλλέκτες με γυάλινη επιφάνεια και απορροφητή είναι ευρέως διαδεδομένοι διότι συνδυάζουν υψηλό βαθμό απόδοσης σε μεγαλύτερες θερμοκρασιακές διαφορές και ικανοποιητικό κόστος αγοράς και εγκατάστασης. Τέλος, οι συλλέκτες κενού παρουσιάζουν έναν σταθερό και σχετικά υψηλό βαθμό απόδοσης, λόγω των χαμηλών θερμικών απωλειών και της δυνατότητας τους να εκμεταλλεύονται ημέρες με λιγότερη ηλιοφάνεια και μεγαλύτερες θερμοκρασιακές διαφορές ($T_{f,i} - T_a$). Οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες με γυάλινη επιφάνεια και απορροφητή καθώς και οι συλλέκτες κενού χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων σε οικιακό και βιομηχανικό επίπεδο.

3.3 Ηλιακά θερμικά συστήματα για την παραγωγή ζεστού νερού

Ηλιακά θερμικά συστήματα καλούνται τα συστήματα των οποίων η χρήση αποσκοπεί στην κάλυψη των αναγκών ενός κτιρίου για ζεστό νερό χρήσης και θέρμανσης χώρων με κύρια πηγή ενέργειας την ηλιακή. Τα συστήματα αυτά αποτελούνται από τους ηλιακούς θερμικούς συλλέκτες, το δοχείο αποθήκευσης του θερμού νερού, το σύστημα των ελεγκτών ροής και θερμοκρασίας και κάποια βοηθητική πηγή ενέργειας, η οποία τίθεται σε λειτουργία σε περίπτωση που η ηλιακή ενέργεια δεν επαρκεί.

3.3.1 Σύστημα φυσικής ροής ή Θερμοσιφωνικό

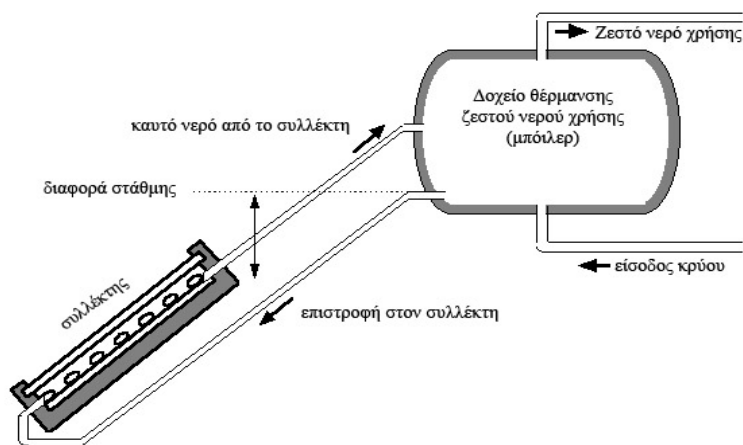
Τα θερμοσιφωνικά συστήματα αποτελούν τα πιο συνήθη συστήματα θέρμανσης νερού στη χώρα μας. Μια τέτοιου είδους εγκατάσταση απαρτίζεται από τον ηλιακό θερμικό συλλέκτη και το δοχείο αποθήκευσης ζεστού νερού, το οποίο βρίσκεται τοποθετημένο σε υψηλότερο σημείο από τον συλλέκτη. Το σύστημα αυτό ονομάζεται επίσης φυσικής ροής, διότι η κυκλοφορία του ρευστού στο κύκλωμα συλλέκτη – δοχείου αποθήκευσης επιτυγχάνεται χωρίς την παρουσία κυκλοφορητή. Καθώς το νερό θερμαίνεται μέσα στον συλλέκτη γίνεται ελαφρύτερο και ανέρχεται με φυσικό τρόπο, ενώ το ψυχρότερο νερό του δοχείου αποθήκευσης οδηγείται μέσω των σωληνώσεων στα κατώτερα τμήματα του ηλιακού συλλέκτη. Επιπρόσθετα, τα θερμοσιφωνικά συστήματα διακρίνονται σε συστήματα ανοικτού και κλειστού βρόγχου.

Θερμοσιφωνικό σύστημα ανοιχτού βρόχου

Τα συστήματα ανοιχτού βρόχου δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα και αυτό οφείλεται κυρίως στον τρόπο λειτουργίας τους. Το νερό ρέει μέσα στο συλλέκτη, απορροφώντας ποσά θερμότητας από την ηλιακή ακτινοβολία και εν συνεχεία αποθηκεύεται στο δοχείο ζεστού νερού χρήσης (μπόιλερ). Στο σημείο αυτό επισημαίνεται ότι το ζεστό νερό χρήσης είναι το ίδιο νερό με αυτό που διέρχεται μέσα από τον ηλιακό συλλέκτη, γεγονός που δημιουργεί τα εξής προβλήματα:

α) Τη δημιουργία διαβρώσεων εσωτερικά του συλλέκτη, εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας αλάτων στο νερό

β) Το νερό χρήσης καθίσταται ανθυγιεινό για τον άνθρωπο λόγω της συνεχούς επαφής του με τις σωληνώσεις του ηλιακού συλλέκτη.

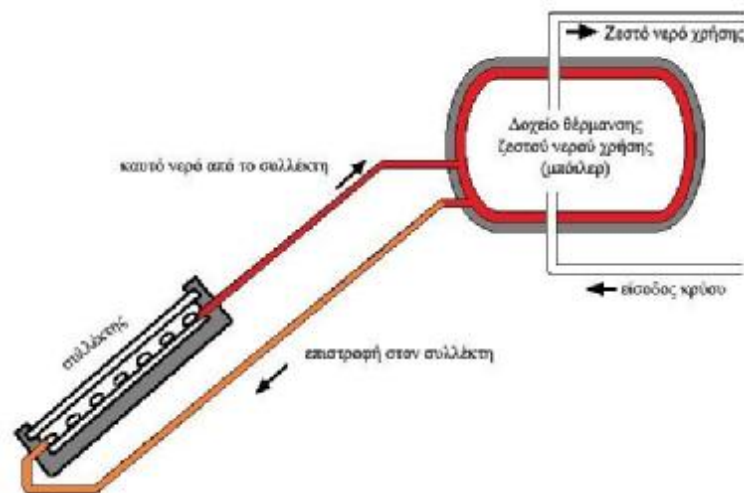


Εικόνα 3.9: Θερμοσιφωνική διάταξη ανοικτού βρόχου

Θερμοσιφωνικό σύστημα κλειστού βρόχου

Σε αντίθεση με τα συστήματα ανοιχτού βρόχου, τα συστήματα κλειστού βρόχου είναι ευρέως διαδεδομένα για την παραγωγή ζεστού νερού. Βασικό τους χαρακτηριστικό είναι ότι το ζεστό νερό χρήσης δεν αναμειγνύεται με το νερό το οποίο ρέει μέσα στον ηλιακό συλλέκτη. Έτσι, γίνεται αντιληπτό ότι υπάρχει ένα κλειστό κύκλωμα ροής νερού του συλλέκτη, το οποίο ζεσταίνεται με την βοήθεια της ακτινοβολίας του ηλίου και εν συνεχεία, με συναγωγή μεταδίδει την θερμότητα

του στο νερό που βρίσκεται στη δεξαμενή αποθήκευσης, χωρίς αυτά τα δύο κυκλώματα να έρθουν σε επαφή.

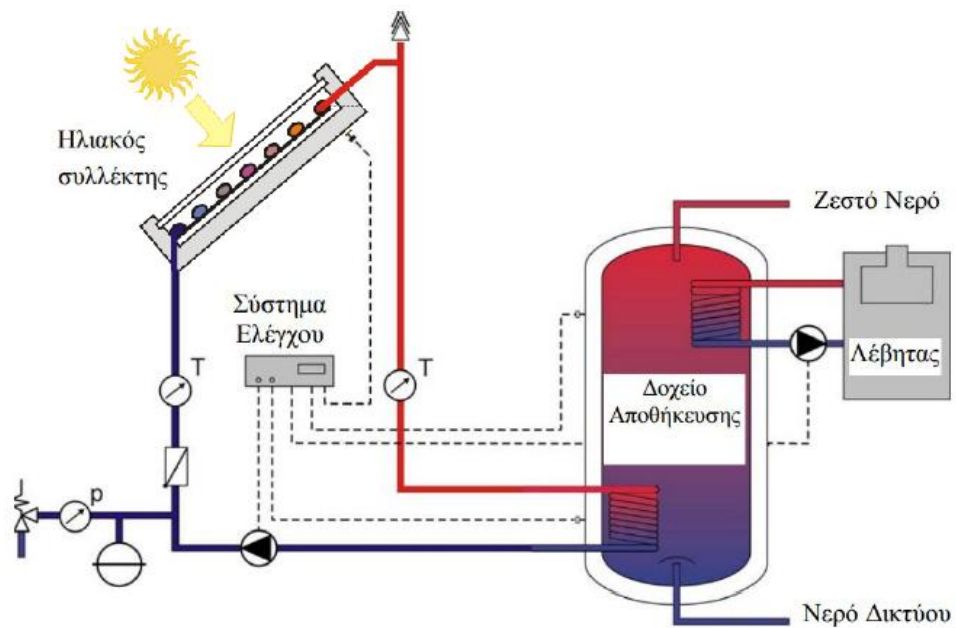


Εικόνα 3.10: Θερμοσιφωνική εγκατάσταση κλειστού βρόγχου

3.3.2 Σύστημα ηλιακών συλλεκτών εξαναγκασμένης κυκλοφορίας

Τα συστήματα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας κατέχουν σημαντική θέση στον τομέα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρων. Η κύρια διαφορά μεταξύ των συστημάτων φυσικής και εξαναγκασμένης κυκλοφορίας έγκειται στην παρουσία κυκλοφορητή, ο οποίος παρέχει την απαιτούμενη κινητική ενέργεια στο θερμαινόμενο ρευστό του κλειστού κυκλώματος των συλλεκτών. Επιπλέον, τα υπόλοιπα τμήματα από τα οποία απαρτίζεται ένα σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας είναι το κεντρικό δοχείο αποθήκευσης, το δίκτυο των αγωγών, διάφορες ρυθμιστικές διατάξεις και τα συστήματα ελέγχου.

Η θερμότητα που προσλαμβάνουν οι ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες μεταφέρεται από το θερμαινόμενο ρευστό (μίγμα νερού και αντιπηκτικού υγρού) στο κεντρικό δοχείο αποθήκευσης. Εκεί, μέσω ενός εναλλάκτη εμβαπτισμένου εσωτερικά του δοχείου, η θερμότητα μεταφέρεται με συναγωγή στο νερό χρήσης, το οποίο κατανέμεται μέσω των αγωγών στα σημεία κατανάλωσης.



Εικόνα 3.11: Σύστημα εξαναγκασμένης κυκλοφορίας

Σε περιόδους όπου η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας δεν είναι επαρκής για την κάλυψη των θερμικών φορτίων, τίθεται σε λειτουργία η βοηθητική πηγή θέρμανσης (συνήθως λέβητας ή ηλεκτρική αντίσταση), όπου με ξεχωριστό κλειστό κύκλωμα αγωγών και εναλλάκτη θερμαίνει επιπλέον το νερό χρήσης στο δοχείο αποθήκευσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. Φωτοβολταϊκά συστήματα

4.1 Γενικά

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν τη σύγχρονη τεχνολογική προσέγγιση για την άμεση μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η λειτουργία των φωτοβολταϊκών συστημάτων βασίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, δηλαδή την άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απευθείας από την ηλιακή ακτινοβολία. Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται με τη χρήση ημιαγωγών, οι οποίοι έχουν την ιδιότητα να απορροφούν φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας απελευθερώνοντας ηλεκτρόνια (φωτοηλεκτρικό φαινόμενο). Η ροή των ελεύθερων αυτών ηλεκτρονίων συνεπάγεται τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος.

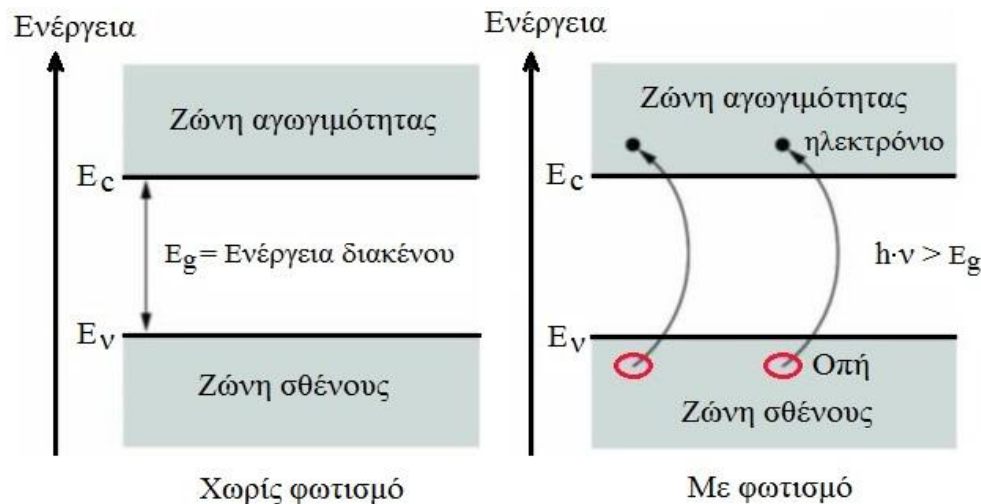
4.2 Ημιαγωγοί

Τα στοιχεία που βρίσκονται στη φύση, ανάλογα με την ευκολία κίνησης των ηλεκτρικών φορέων στο εσωτερικό τους, ιδιότητα που ονομάζεται ηλεκτρική αγωγιμότητα, χωρίζονται στους αγωγούς, στους ημιαγωγούς και στους μονωτές.

Οι ημιαγωγοί είναι στοιχεία στα οποία δεν υπάρχουν ελεύθεροι φορείς ηλεκτρικού ρεύματος και δε διαθέτουν ηλεκτρική αγωγιμότητα όταν ο βρίσκονται στη θεμελιώδη ενεργειακή τους κατάσταση. Όταν όμως απορροφήσουν κάποια ποσότητα ενέργειας με τη μορφή θερμότητας ή ακτινοβολίας, πραγματοποιείται μια μεταβολή στη μικροδομή τους.

Αναλυτικά, όταν ένας ημιαγωγός δεχθεί την επίδραση του φωτός, τα φωτόνια μεταφέρουν την ενέργεια τους ($E_{\text{φωτ.}} = \mathbf{h} \cdot \mathbf{v}$) στα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στοιβάδας των ατόμων του ημιαγωγού (ηλεκτρόνια σθένους). Σε περίπτωση που η ενέργεια υπερβαίνει μια συγκεκριμένη τιμή (ενέργεια διακένου ή ενεργειακό χάσμα, E_g) προκαλείται η διέγερση των ηλεκτρονίων σθένους και η μετατροπή τους σε ελεύθερα ηλεκτρόνια, τα οποία κατορθώνουν να αποδεσμευτούν από τις ελκτικές δυνάμεις του πυρήνα. Καθώς ένα ηλεκτρόνιο σθένους απελευθερώνεται, δημιουργεί μια οπή την οποία σπεύδει να καλυφθεί από

ένα ηλεκτρόνιο γειτονικού ατόμου προκαλώντας μια κίνηση ηλεκτρονίων προς μια κατεύθυνση και μια κίνηση οπών προς την άλλη κατεύθυνση. Αντίθετα, στην περίπτωση όπου ($h \nu < E_g$), η ενέργεια φωτονίων δεν απορροφάται από τα ηλεκτρόνια με αποτέλεσμα να παραμένουν στη ζώνη σθένους.



Εικόνα 4.1: Συμπεριφορά ημιαγωγού υπό την έκθεση ακτινοβολίας

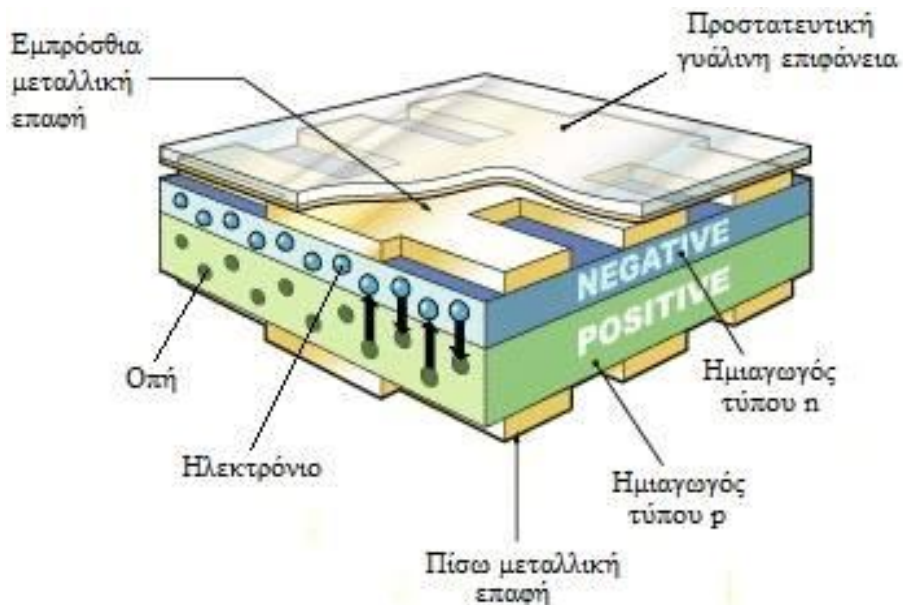
Η κίνηση των ηλεκτρονίων έξω από τον ημιαγωγό, δηλαδή η παραγωγή ρεύματος, αυξάνεται με τους ημιαγωγούς πρόσμιξης. Οι ημιαγωγοί πρόσμιξης είναι ημιαγωγοί που στο κρυσταλλικό τους πλέγμα περιέχονται διασπαρμένα άτομα από κάποιο επιλεγμένο διαφορετικό υλικό. Διακρίνουμε δύο τύπους τέτοιων ημιαγωγών:

Ημιαγωγός τύπου n: Προκύπτει από τον αντίστοιχο καθαρό ημιαγωγό, αν αντικατασταθούν μερικά από τα άτομα του με άτομα άλλου υλικού μεγαλύτερου σθένους. Αν αντικατασταθούν μερικά άτομα κρυσταλλικού πυριτίου (Si) με σθένος 4, με άτομα φωσφόρου (P) σθένους 5 δημιουργείται ο ημιαγωγός τύπου n. Στον ημιαγωγό αυτό ένα ηλεκτρόνιο ανά άτομο πρόσμιξης είναι ελεύθερο καθώς δεν συμμετέχει σε δεσμό. Έτσι, ο ημιαγωγός τύπου n περιέχει περισσότερα ηλεκτρόνια από τον καθαρό αγωγό και τα άτομα της πρόσμιξης ονομάζονται δότες.

Ημιαγωγός τύπου p: Πρόκειται για καθαρό ημιαγωγό, στον οποίο αντικαθίστανται μερικά από τα άτομα του με άτομα άλλου υλικού μικρότερου σθένους. Για παράδειγμα, αν μερικά άτομα κρυσταλλικού πυριτίου (Si) με σθένος 4 αντικατασταθούν με άτομα Βορίου (B) σθένους 3, δημιουργείται ο ημιαγωγός

τύπου p. Στον συγκεκριμένο ημιαγωγό, τα άτομα πρόσμιξης μπορούν να δεχτούν ένα ηλεκτρόνιο για να συμπληρωθεί ο ελεύθερος δεσμός και ονομάζονται αποδέκτες. Πρακτικά οι ημιαγωγοί τύπου p περιέχουν μεγαλύτερο αριθμό οπών.

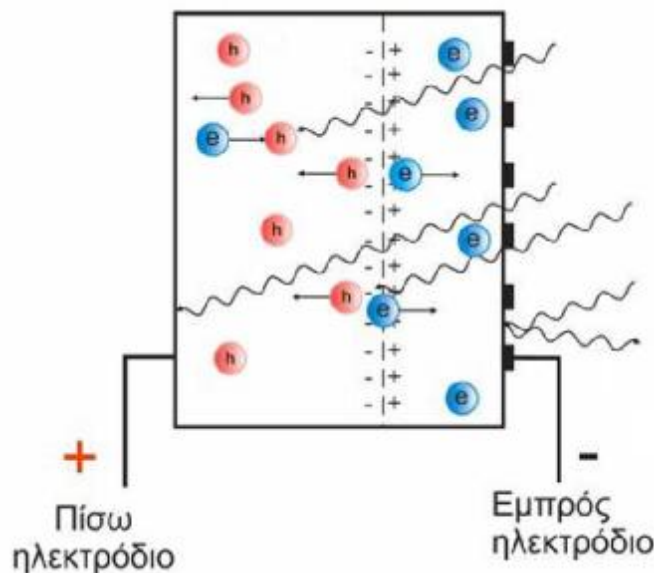
Η επαφή ενός ημιαγωγού τύπου n και ενός ημιαγωγού τύπου p, καλείται **δίοδος επαφής**. Στα σημεία επαφής δημιουργείται μια ζώνη στην οποία εναλλάσσονται ηλεκτρόνια με οπές. Η μετακίνηση αυτή έχει ως αποτέλεσμα να παραμείνουν θετικά ιόντα στην πλευρά του ημιαγωγού n, προσδίδοντας θετικό δυναμικό, και αρνητικά ιόντα στην πλευρά του ημιαγωγού p, με εμφανή το αρνητικό δυναμικό που δημιουργείται. Έτσι η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο πλευρών εμποδίζει την ροή ηλεκτρονίων στους δύο ημιαγωγούς, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μίας ζώνης αντίστασης που ονομάζεται περιοχή φραγής ή απογύμνωσης.



Εικόνα 4.2: Δίοδος επαφής p-n Φ/B στοιχείου

4.3 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

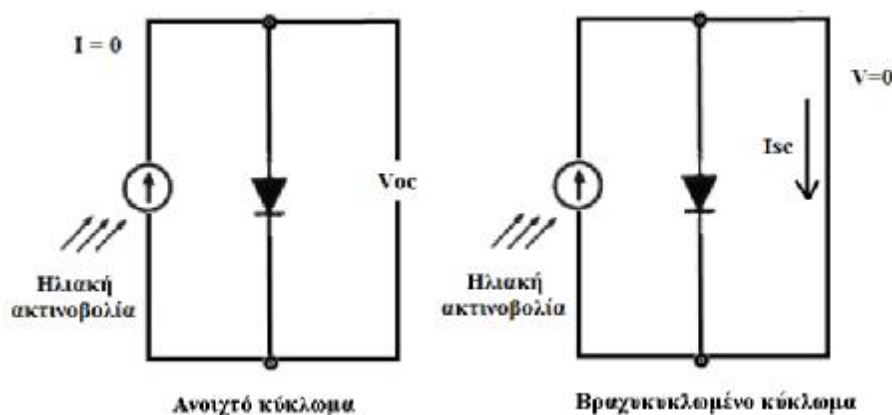
Όταν ένα φωτόνιο της ηλιακής ακτινοβολίας προσπίπτει στην επιφάνεια της διόδου επαφής ενός ημιαγωγού, με ενέργεια $E_{\text{φωτ.}} = h \cdot \nu$ ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό χάσμα E_g του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να επηρεάσει τους χημικούς δεσμούς του ημιαγωγού δημιουργώντας ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο. Πιο συγκεκριμένα, για όσο χρονικό διάστημα διαρκεί η έκθεση του ημιαγωγού στην ηλιακή ακτινοβολία, δημιουργούνται ζεύγη ελευθέρων ηλεκτρονίων και οπών. Όταν τα ζεύγη αυτά βρεθούν στη περιοχή της επαφής των ημιαγωγών, πραγματοποιείται μετακίνηση των ηλεκτρονίων προς τον ημιαγωγό n και αντίστοιχα μετακίνηση οπών προς τον ημιαγωγό p, με αποτέλεσμα την εμφάνιση διαφοράς δυναμικού μεταξύ των ακροδεκτών των δυο τμημάτων της διόδου. Αυτή η διαφορά δυναμικού στα άκρα της διόδου επαφής ονομάζεται **φωτοβολταϊκό φαινόμενο**. Το παραγόμενο από τα Φ/B στοιχεία ηλεκτρικό ρεύμα λέγεται **φωτόρευμα**. Η διάταξη η οποία αποτελεί πηγή ηλεκτρικού ρεύματος ονομάζεται **φωτοβολταϊκό στοιχείο** (ή **Φ/B κυψελίδα**) ενώ το σύνολο των ηλεκτρονικά συνδεδεμένων Φ/B στοιχείων καλείται **Φ/B πλαίσιο**.



Εικόνα 4.3: Φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε Φ/B στοιχείο

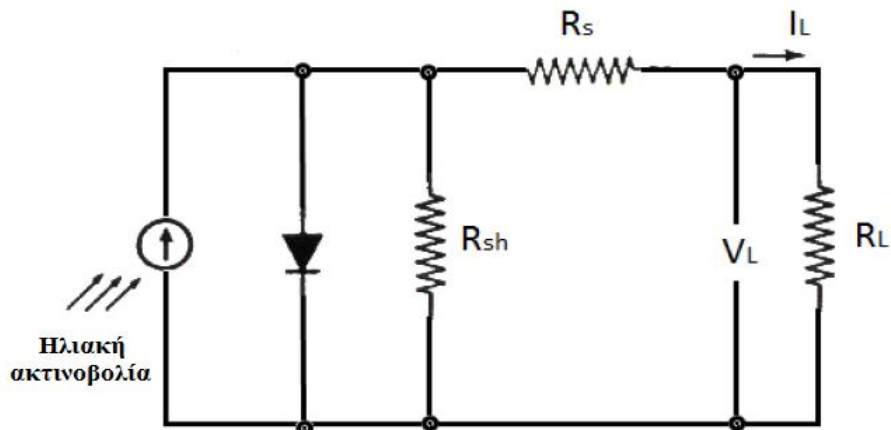
4.4 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά Φ/Β στοιχείου

Για τη μελέτη των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών ενός Φ/Β στοιχείου που δέχεται σταθερή ένταση ηλιακής ακτινοβολίας, θεωρείται ότι το Φ/Β στοιχείο αποτελεί μια πηγή ρεύματος, η οποία ελέγχεται από μια δίοδο επαφής. Αν στο παρακάτω απλοποιημένο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα τα άκρα της διόδου επαφής συνδεθούν με χάλκινο σύρμα μεγάλης διατομής, άρα πρακτικά μηδενικής αντίστασης, το κύκλωμα καθίσταται βραχυκυκλωμένο και διαρρέεται από ρεύμα ίσο με το φωτόρευμα, που ονομάζεται ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc} του Φ/Β στοιχείου (μέγιστο αποδιδόμενο ρεύμα). Σε άλλη περίπτωση, αν τα άκρα της διόδου επαφής δεν συνδέονται μεταξύ τους, δηλαδή έχουμε ανοιχτό κύκλωμα, η τάση στα άκρα ονομάζεται τάση ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} του Φ/Β στοιχείου (μέγιστη τάση).



Εικόνα 4.4: Απλοποιημένο ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα Φ/Β στοιχείου

Σε μια πιο ρεαλιστική προσέγγιση, το ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα ενός Φ/Β στοιχείου απεικονίζεται λαμβάνοντας υπόψη τη **σειριακή αντίσταση R_s** , η οποία συνδέεται εν σειρά της διόδου επαφής και αφορά τις αντιστάσεις που υφίστανται κατά το πέρασμα του ρεύματος μέσα από τη δίοδο και τις αντιστάσεις στις επαφές με τα ηλεκτρόδια. Επιπλέον, υπολογίσιμη είναι και η **αντίσταση διαρροής R_{sh}** , η οποία συνδέεται παράλληλα με τη δίοδο επαφής και αφορά τη διαρροή ρεύματος μεταξύ των άκρων της διόδου επαφής. Για τα συνήθη Φ/Β στοιχεία οι παραπάνω αντιστάσεις παίρνουν τιμές $R_s < 5 \Omega$ και $R_{sh} > 500 \Omega$.



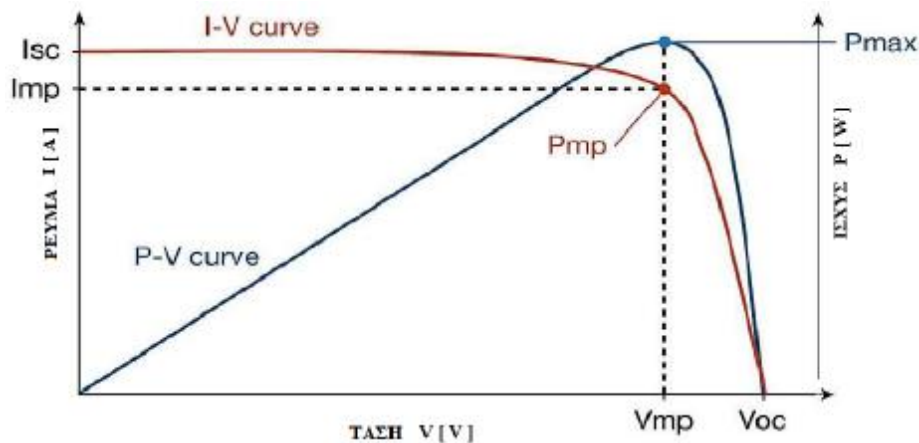
Εικόνα 4.5: Ισοδύναμο ηλεκτρικό κύκλωμα Φ/Β στοιχείου

4.4.1 Χαρακτηριστική καμπύλη Φ/Β στοιχείου

Σε αντίθεση με τις περισσότερες κοινές ηλεκτρικές πηγές, τα Φ/Β στοιχεία παρουσιάζουν μεταβαλλόμενη τάση συναρτήσει της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που δίνουν στο κύκλωμα, έστω και αν η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία παραμένει σταθερή.

Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας ενός Φ/Β στοιχείου, η συμπεριφορά του θα εξεταστεί όταν στα άκρα του στοιχείου συνδεθεί ένα κύκλωμα που περιέχει μια μεταβλητή αντίσταση. Όπως αναφέρθηκε στην παραπάνω παράγραφο, σε περίπτωση όπου η τιμή της μεταβαλλόμενης αντίστασης είναι μηδέν, υφίσταται βραχυκύκλωμα και η ένταση του ρεύματος αποκτά την μέγιστη τιμή I_{sc} του κυκλώματος. Αντίθετα, όταν η τιμή της μεταβαλλόμενης αντίστασης τείνει στο άπειρο, δηλαδή στην κατάσταση ανοικτού κυκλώματος, η ένταση του ρεύματος μηδενίζεται και η τάση παίρνει τη μέγιστη τιμή V_{oc} . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ηλεκτρική ισχύς ($P = I \cdot V$) που παράγεται από το Φ/Β στοιχείο να είναι μηδέν τόσο σε κατάσταση βραχυκυκλώματος όσο και σε κατάσταση ανοικτού κυκλώματος.

Για οποιαδήποτε άλλη τιμή της αντίστασης και για σταθερή προσπίπτουσα ακτινοβολία, οι τιμές της έντασης ρεύματος και της τάσεως μεταβάλλονται, όπως απεικονίζεται και στην χαρακτηριστική καμπύλη $I - V$, με ανάλογη μεταβολή της παραγόμενης ισχύος. Η μέγιστη ισχύς P_{mp} που μπορεί να αποδώσει το Φ/Β στοιχείο εμφανίζεται για ένα ορισμένο ζεύγος τιμών έντασης I_{mp} και τάσης V_{mp} .



Εικόνα 4.6: Χαρακτηριστική καμπύλη $I - V$ ενός Φ/B στοιχείου

4.4.2 Συντελεστής πλήρωσης (Fill Factor)

Ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος P_{mp} προς το γινόμενο της έντασης βραχυκυκλώσεως και της τάσης ανοικτού κυκλώματος ενός Φ/B στοιχείου καλείται **συντελεστής πλήρωσης FF**, ο οποίος δίνει το μέτρο προσέγγισης της λειτουργίας ενός Φ/B στοιχείου προς την ιδανική συμπεριφορά και περιγράφεται από τη σχέση:

$$FF = \frac{I_{mp} \cdot V_{mp}}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

4.4.3 Βαθμός απόδοσης Φ/B στοιχείου

Η σημαντικότερη παράμετρος για την αξιολόγηση της λειτουργίας των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι ο βαθμός απόδοσης τους. Η απόδοση εξαρτάται από μέγιστη ισχύς που αποδίδει το Φ/B στοιχείο συγκριτικά με την προσπίπτουσα ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνειά του. Έτσι, προκύπτει:

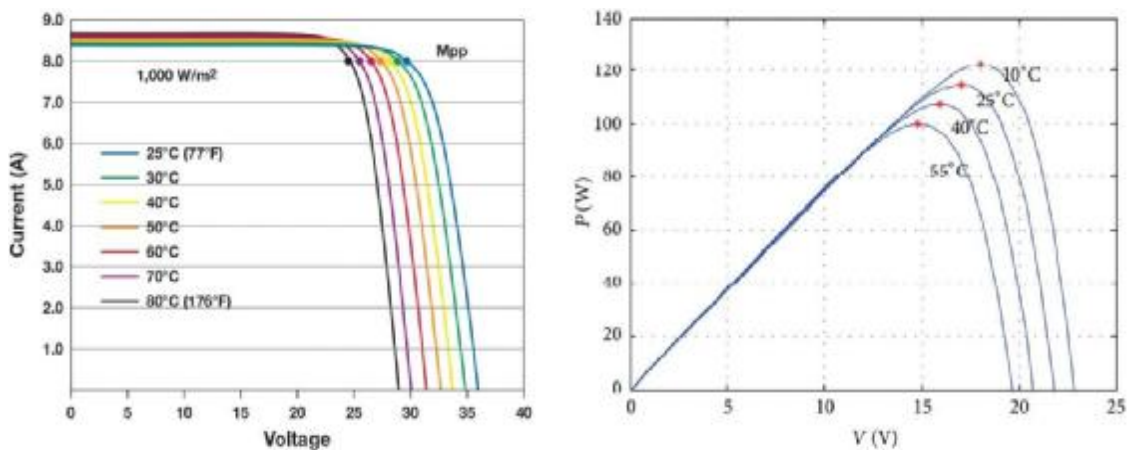
$$\eta = \frac{P_{mp}}{P_{in}} = \frac{I_{mp} \cdot V_{mp}}{I_T \cdot A_c} = \frac{FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc}}{I_T \cdot A_c}$$

όπου, I_T η ένταση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (W/m^2) και A_c η φωτοβολταϊκή επιφάνεια (m^2).

4.5 Παράγοντες που επηρεάζουν τον βαθμό απόδοσης ενός Φ/Β στοιχείου

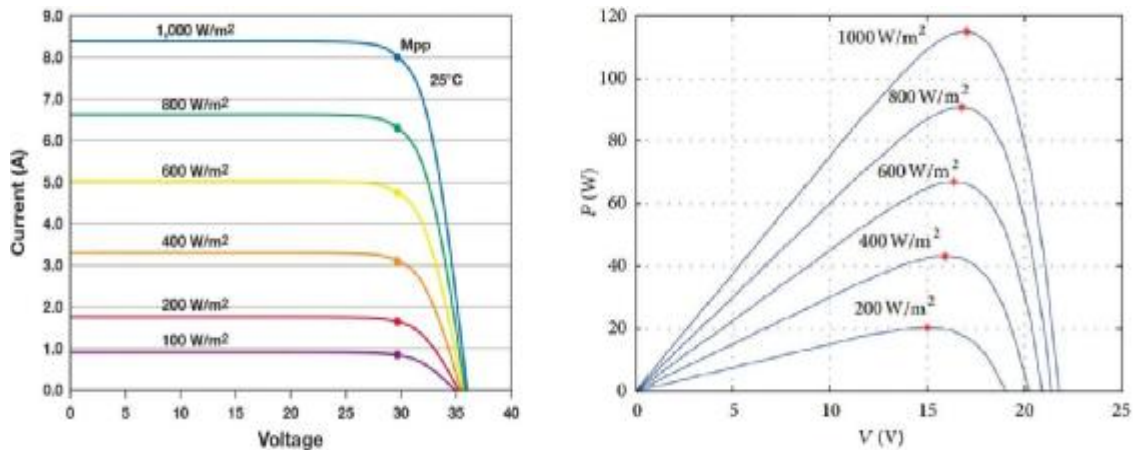
Ο συντελεστής απόδοσης των Φ/Β στοιχείων δεν είναι σταθερός διότι υφίσταται την επίδραση πολλών παραγόντων. Κάποιοι από αυτούς είναι η θερμοκρασία, η ένταση και η σύσταση της ηλιακής ακτινοβολίας, η σκίαση και η γήρανση των Φ/Β στοιχείων.

- Η ηλιακή ενέργεια που απορροφάται από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, κατά ένα ποσοστό μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια ενώ η υπόλοιπη μετατρέπεται σε θερμική. Λόγω της αναπτυσσόμενης θερμικής ενέργειας, προκαλείται ανεπιθύμητη άνοδος της θερμοκρασίας στο Φ/Β στοιχείο με αποτέλεσμα την αύξηση του ρεύματος I_{sc} , και την σημαντική μείωση της τάσης V_{oc} . Είναι λοιπόν προφανές ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται η μέγιστη ισχύς P_{mp} που αποδίδει το Φ/Β στοιχείο.



Εικόνα 4.7: Χαρακτηριστικές $I - V$, $P - V$ ενός Φ/Β στοιχείου με μεταβολή της θερμοκρασίας

- Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των Φ/Β στοιχείων είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας. Όταν μεταβάλλεται η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ η θερμοκρασία των στοιχείων και το φορτίο (αντίσταση) του κυκλώματος παραμένουν σταθερά, προκαλείται μετατόπιση των χαρακτηριστικών καμπυλών $I - V$ του Φ/Β στοιχείου.



Εικόνα 4.8: Χαρακτηριστικές καμπύλες $I - V$, $P - V$ ενός Φ/Β στοιχείου με μεταβαλλόμενη ένταση ηλιακής ακτινοβολίας

- Επισημαίνεται ότι εκτός από την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας, σημαντική είναι και η **σύστασή της (φασματική κατανομή)**. Συγκεκριμένα, δυο δέσμες ακτινοβολίας ίδιας ισχύος αλλά διαφορετικού μήκους κύματος λ οδηγούν σε διαφορετική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ένα Φ/Β στοιχείο. Αυτή η διαφορά οφείλεται κυρίως στην καταλληλότητα της ενέργειας των φωτονίων και ειδικότερα στο μήκος κύματος λ . Το φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που εκμεταλλεύονται τα φ/β στοιχεία και το μετατρέπουν σε ηλεκτρικό ρεύμα έχει μήκος κύματος από 380nm έως 1200 nm.
- Σε περίπτωση **σκίασης** των Φ/Β στοιχείων παρατηρείται μείωση της απόδοσης του συστήματος, καθώς το σκιασμένο στοιχείο λειτουργεί ως μία μεγάλη αντίσταση, η οποία απορροφά την παραγόμενη ενέργεια των υπολοίπων στοιχείων. Ο παρατεταμένος σκιασμός ενός στοιχείου σε συνδυασμό με έντονο φωτισμό των υπολοίπων μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή του στοιχείου αυτού, λόγω της τοπικής υπερθέρμανσης που δημιουργείται (φαινόμενο θερμής κηλίδας).
- Μια ακόμα παράμετρος που επηρεάζει αρνητικά την απόδοση των Φ/Β στοιχείων είναι η **γήρανση**, η οποία προκαλείται είτε από φυσικούς παράγοντες λόγω της έκθεσης των Φ/Β στοιχείων στις περιβαλλοντικές συνθήκες, είτε από την μη ορθή συντήρησή τους κατά την πάροδο του χρόνου.

4.6 Είδη Φωτοβολταϊκών Στοιχείων

Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια με Φ/Β στοιχεία Μονοκρυσταλλικού πυριτίου χαρακτηρίζονται από την υψηλή τους απόδοση, καθώς σε εργαστηριακό επίπεδο φθάνει το 13% ~18%. Η επιφάνειά τους έχει ένα βαθύ μπλε χρώμα ενώ διατίθενται σε πάχος 0.3mm. Λόγω της πολύπλοκης διαδικασίας παραγωγής τους, τα Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου έχουν υψηλό κόστος κατασκευής.

Φ/Β στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου

Τα Φ/Β στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου διακρίνονται λόγω της ύπαρξης πολλών μονοκρυσταλλικών περιοχών στην επιφάνειά τους. Γενικά, όσο μεγαλύτερες οι διαστάσεις των μονοκρυσταλλικών περιοχών του πολυκρυσταλλικού Φ/Β στοιχείου, τόσο υψηλότερη η απόδοση του, η οποία κυμαίνεται από 13% έως 15% σε εργαστηριακό επίπεδο. Η επιφάνεια είναι χρώματος γαλάζια, το πάχος τους επίσης 0.3mm ενώ το κόστος παραγωγής των πολυκρυσταλλικών Φ/Β στοιχείων είναι χαμηλότερο σε σχέση με τα αντίστοιχα μονοκρυσταλλικά.

Φ/Β στοιχεία ταινίας πυριτίου

Αποτελούνται από μια λεπτή ταινία πολυκρυσταλλικού πυριτίου, η οποία δημιουργείται από τηγμένο υλικό. Το πάχος των Φ/Β στοιχείων είναι 0.3mm ενώ η απόδοση Φ/Β πλαισίου ταινίας πυριτίου είναι περίπου 13%. Η χρήση τους είναι περιορισμένη λόγω του υψηλού κόστους κατασκευής.

Φ/Β στοιχεία άμορφου πυριτίου

Πρόκειται για τεχνολογία λεπτών επιστρώσεων θεωρητικά πολύ χαμηλού κόστους παραγωγής, εξαιτίας της μικρής χρησιμοποιούμενης μάζας υλικού (πάχος λίγων μm). Η ονομασία αυτού του τύπου Φ/Β στοιχείων προκύπτει από τον τυχαίο τρόπο διάταξης των ατόμων του πυριτίου και παρουσιάζουν βαθμό απόδοσης της τάξεως 6%. Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται συνήθως για την κατασκευή σύνθετων Φ/Β στοιχείων, με διαδοχικές ενώσεις στρωμάτων με διαφορετικό ενεργειακό χάσμα, στοχεύοντας στην αύξηση του αξιοποιήσιμου τμήματος του ηλιακού φάσματος.

Εκτός από τα Φ/Β στοιχεία πυριτίου, τα οποία είναι τα πιο διαδεδομένα, κατασκευάζονται και διαφορετικών υλικών Φ/Β στοιχεία, εκ των οποίων τα πιο σημαντικά είναι τα Φ/Β στοιχεία δισεληνοϊνδιούχου χαλκού, τελουριούχου καδμίου και αρσενικού γαλλίου.

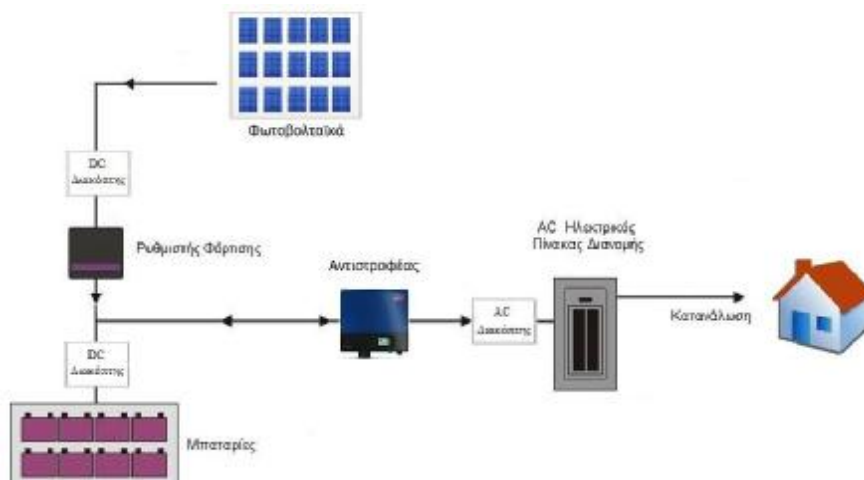


Εικόνα 4.9: Είδη Φωτοβολταϊκών στοιχείων

4.7 Είδη Φωτοβολταϊκών Εγκαταστάσεων

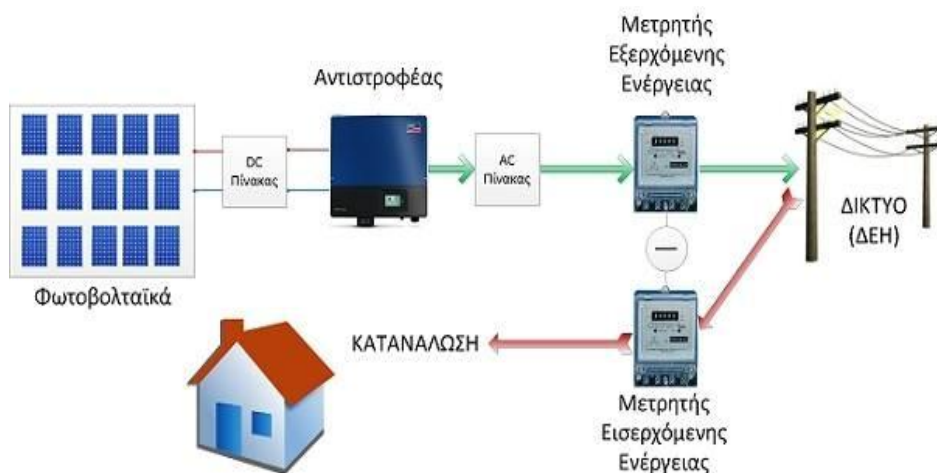
Γενικά, μια φωτοβολταϊκή εγκατάσταση αποτελείται από έναν αριθμό Φ/Β πλαισίων ή συστοιχιών συνδεδεμένα καταλλήλως, όπου η συνολική επιφάνειά τους καθορίζεται από την απαιτούμενη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Ανάλογα με τις ανάγκες χρήσης και το είδος της εκάστοτε εφαρμογής, τα Φ/Β συστήματα διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Τα αυτόνομα** συστήματα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, η οποία καταναλώνεται απευθείας από τα ηλεκτρικά φορτία και η περίσσεια ενέργεια αποθηκεύεται σε ειδικούς συσσωρευτές για μελλοντική χρήση (π.χ σε βραδινές ώρες). Για μια αυτόνομη Φ/Β εγκατάσταση απαιτείται το Φ/Β πλαίσιο, οι συσσωρευτές, ο ρυθμιστής φόρτισης και ο inverter. Βασικό χαρακτηριστικό αυτών των συστημάτων είναι ότι δεν συνδέονται με το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο (ΔΕΗ) αλλά είναι εντελώς ανεξάρτητα από αυτό. Τέλος, το κόστος εγκατάστασης αλλά και συντήρησης ενός αυτόνομου Φ/Β συστήματος είναι μεγαλύτερο συγκριτικά με το κόστος ενός διασυνδεδεμένου συστήματος.



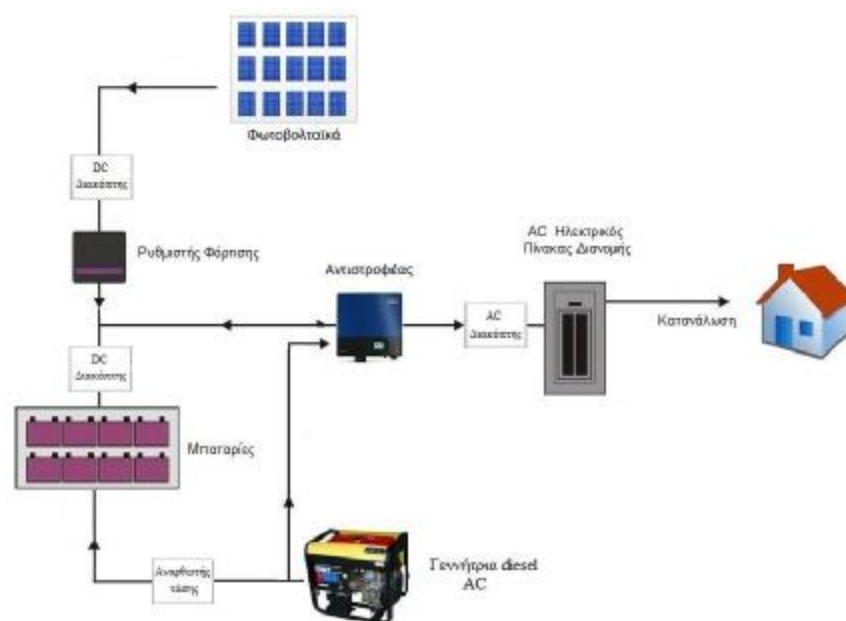
Εικόνα 4.10: Αυτόνομη Φ/Β εγκατάσταση

- Τα διασυνδεδεμένα** είναι Φ/Β συστήματα τα οποία συνδέονται με το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο (ΔΕΗ) και λειτουργούν παράλληλα με αυτό. Στα διασυνδεδεμένα συστήματα, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται, είτε τροφοδοτεί τα ηλεκτρικά φορτία, και η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας, εφ' όσον υπάρχει, διοχετεύεται στο δίκτυο, είτε το σύνολο της ηλεκτρικής ενέργειας διοχετεύεται κατευθείαν στο ηλεκτρικό δίκτυο και η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια των φορτίων αντλείται από αυτό. Στη περίπτωση των διασυνδεδεμένων φ/β συστημάτων δεν απαιτείται χρήση συσσωρευτών, γεγονός που ελαττώνει το αρχικό κόστος της εγκατάστασης, καθώς και το κόστος συντήρησης του. Όμως, τα διασυνδεδεμένα Φ/Β συστήματα προσφέρουν αυτονομία σε περίπτωση διακοπής ρεύματος διότι λειτουργούν ταυτόχρονα με άλλη πηγή ρεύματος.



Εικόνα 4.11: Διασυνδεδεμένη Φ/Β εγκατάσταση

- Τα υβριδικά** Φ/Β συστήματα αποτελούνται από ένα αυτόνομο Φ/Β σύστημα στο οποίο έχει προστεθεί μια επιπλέον πηγή ενέργειας. Όπως, και στο αυτόνομο έτσι και στο υβριδικό χρησιμοποιούνται μπαταρίες για την αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για να χρησιμοποιηθεί όταν κρίνεται απαραίτητο. Η διαφορά με το αυτόνομο είναι ότι χρησιμοποιείται μια δεύτερη πηγή ενέργειας, για παράδειγμα μια ηλεκτρογεννήτρια. Μέσω ενός ρυθμιστή τάσης ελέγχεται η φόρτιση των μπαταριών για την τροφοδοσία των φορτίων συνεχούς ρεύματος (Σ.Ρ.) και μέσω ενός αναστροφέα τροφοδοτούνται τα φορτία εναλλασσόμενου ρεύματος (Ε.Ρ.). Έτσι η εγκατάσταση έχει μεγαλύτερη αυτονομία ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους που η Φ/Β γεννήτρια δεν παράγει επαρκές ηλεκτρικό ρεύμα.



Εικόνα 4.12: Υβριδική Φ/Β εγκατάσταση

Συνοψίζοντας, η διαφορά των διασυνδεδεμένων με τα άλλα δύο συστήματα είναι ότι απαιτείται σύνδεση με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ τα υβριδικά συστήματα διαφέρουν με τα αυτόνομα ως προς την παρουσία επιπρόσθετης πηγής ενέργειας.

Ένα Φ/Β σύστημα για να είναι ολοκληρωμένο και να μπορεί να εκμεταλλευτεί πλήρως την ηλεκτρική ενέργεια που παράγει, πέραν της παρουσίας των Φ/Β πλαισίων, απαιτείται και ο απαραίτητος επιπλέον εξοπλισμός στην εγκατάσταση. Τα βασικά μέρη τα οποία αποτελούν τον εξοπλισμό αυτό, είναι:

- ο αναστροφέας (inverter) ο οποίος μετατρέπει το παραγόμενο συνεχές ρεύμα (Σ.Ρ.) των Φ/Β πλαισίων σε εναλλασσόμενο ρεύμα (Ε.Ρ.), συμβατό με αυτό του δικτύου και των καταναλωτών ενέργειας.
- οι μπαταρίες οι οποίες έχουν ως στόχο την αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για μεταγενέστερη χρήση (πχ. χρήση ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια της νύχτας ή για ημέρες χωρίς ηλιοφάνεια).
- ο ρυθμιστής φόρτισης είναι υπεύθυνος για την ορθή φόρτιση των μπαταριών, καθώς τις προστατεύει από υπερφόρτιση, όταν η μπαταρία έχει φορτιστεί πλήρως, ή από την ολική τους αποφόρτιση αποκόπτοντας τα φορτία κατανάλωσης, όταν η τάση των μπαταριών πέσει κάτω από το όριο ασφαλούς λειτουργίας. Επίσης διατηρεί σταθερή την τάση στην είσοδο των μπαταριών εξομαλύνοντας τις διακυμάνσεις που δημιουργούνται λόγω της ασταθούς έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας.

Τέλος, για να επιτευχτεί η σύνδεση όλων των παραπάνω ηλεκτρικών συσκευών σε μια Φ/Β εγκατάσταση χρησιμοποιούνται ηλεκτρολογικά καλώδια και ηλεκτρολογικοί πίνακες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. Υπολογιστικά προγράμματα προσομοίωσης

Στους καιρούς τεχνολογικής ανάπτυξης που διανύουμε, η εξέλιξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα για την ανάδειξη των προσομοιώσεων ως κύρια μέθοδο ανάλυσης συστημάτων. Γενικά, η προσομοίωση αποτελεί μία υπολογιστική μέθοδο που στοχεύει στη μελέτη συστημάτων και στην ανάλυση της λειτουργίας τους. Κάθε **σύστημα προσομοίωσης** αποτελείται από ένα σύνολο αλληλεπιδρώντων στοιχείων, τα οποία συνεργάζονται μεταξύ τους για τη διερεύνηση ενός αντικειμένου, ενός φαινομένου ή μιας διαδικασίας, ενώ ο τρόπος που λειτουργεί το σύστημα και τα στοιχεία του καθιστά τα **μοντέλα της προσομοίωσης**.

Όλα τα μοντέλα προσομοίωσης χαρακτηρίζονται ως περιγραφικά, με την έννοια ότι χρησιμοποιούν αλγορίθμους, υπολογιστικές μεθόδους και διεργασίες για να περιγράψουν τη λειτουργία του συστήματος. Αποτελούνται, επίσης, από παραμέτρους, από σχέσεις σύνδεσης και από διάφορους περιορισμούς για τη λειτουργία τους. Συγκεκριμένα, η ύπαρξη παραμέτρων καθιστά τη μέθοδο των προσομοιώσεων κατάλληλη για τη μελέτη συστημάτων, καθώς δίνεται η **δυνατότητα παραμετροποίησης** του εκάστοτε συστήματος ανάλογα με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις του χρήστη, μεταβάλλοντας αντιστοίχως τις παραμέτρους λειτουργίας.

Η διαδικασία της προσομοίωσης αποτελείται από τρεις διακριτές φάσεις: α) την κατασκευή του μοντέλου προσομοίωσης, η οποία αποτελεί ίσως το πιο σημαντικό στάδιο για την προσομοίωση του συστήματος, διότι η ποιότητα και αξιοπιστία του καθορίζουν την αξιοπιστία της προσομοίωσης, β) την εκτέλεση του μοντέλου και τέλος, γ) την ανάλυση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Ύστερα από τη διεκπεραίωση των παραπάνω φάσεων, η χρήση προγραμμάτων προσομοίωσης επιτυγχάνει:

- Κατανόηση του συστήματος από το χρήστη, διότι καθορίζεται ο τρόπος λειτουργίας του και προσδιορίζονται οι παράγοντες που τον επηρεάζουν περισσότερο.

- Σύγκριση διαφορετικών υποθέσεων και σεναρίων του προς μελέτη συστήματος, μέσω παραμετροποίησης της λειτουργίας του.
- Βελτιστοποίηση του συστήματος, η οποία προκύπτει από τον καθορισμό των παραμετρικών συνδυασμών που οδηγούν στην καλύτερη δυνατή απόκριση του συστήματος.
- Εκτίμηση της μελλοντικής συμπεριφοράς ενός συστήματος κάτω από προβλεπόμενες συνθήκες λειτουργίας.

Οι παραπάνω δυνατότητες που παρέχονται στο χρήστη με την προσομοίωση οδήγησαν στην ανάπτυξη πολλών προγραμμάτων προσομοίωσης διαφόρων εφαρμογών. Πιο συγκεκριμένα, για την μελέτη συστημάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) χρησιμοποιούνται προγράμματα προσομοίωσης δυο μεγάλων κατηγοριών:

- ✓ Προγράμματα προσομοίωσης προσεγγιστικών καταστάσεων. Τα προγράμματα αυτά λαμβάνουν μέσες τιμές από στατιστικά δεδομένα για τις παραμέτρους του συστήματος, όπως η μέση ποσότητα ενέργειας που προσπίπτει σε μια επιφάνεια ή η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος και βάσει κάποιων μεθόδων υπολογίζεται η συμπεριφορά του συστήματος. Μια τέτοια μέθοδος υπολογισμού είναι η F-Chart και η PV.F-Chart που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση ηλιακών συστημάτων.
- ✓ Δυναμικά προγράμματα προσομοίωσης. Τα προγράμματα αυτά μελετούν τις χρονικές μεταβολές της κατάστασης ενός συστήματος, στηριζόμενα σε βάσεις δεδομένων με στιγμιαίες ή ωριαίες τιμές παραμέτρων. Εξειδικευμένα τέτοια προγράμματα ευρέως διαδεδομένα είναι το T*SOL και το PV*SOL για την μελέτη δυναμικών ηλιακών θερμικών και φωτοβολταϊκών συστημάτων αντίστοιχα, καθώς και το υπολογιστικό πρόγραμμα προσομοίωσης TRNSYS, στο οποίο πραγματοποιείται η προσομοίωση του συστήματος της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας.

Συνοψίζοντας, τα προγράμματα προσομοίωσης καθίστανται πολύ χρήσιμα και ικανά ερευνητικά εργαλεία για την ανάλυση σύνθετων και πολύπλοκων συστημάτων.

5.1 Εισαγωγή στο TRNSYS

Το TRNSYS είναι ένα ολοκληρωμένο υπολογιστικό πακέτο λογισμικού προσομοίωσης, το οποίο χρησιμοποιείται για την προσομοίωση, την ανάλυση και την αξιολόγηση συστημάτων με χρονικά μεταβαλλόμενη συμπεριφορά. Χρησιμοποιείται κυρίως από μηχανικούς και ερευνητές με σκοπό τη μελέτη νέων ενεργειακών συστημάτων ή τη βελτίωση των ήδη υπαρχόντων ενεργειακών εγκαταστάσεων.

Ο παράγοντας που καθιστά το TRNSYS ένα σημαντικό ερευνητικό εργαλείο προσομοίωσης είναι το γεγονός ότι ο πηγαίος κώδικας του προγράμματος, ο οποίος είναι βασισμένος σε αρχεία DLL, παρέχεται στο χρήστη. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να τροποποιήσει τον κώδικα και να τον προσαρμόσει στις εκάστοτε απαιτήσεις και εφαρμογές ή να εισάγει νέα μοντέλα κατασκευασμένα σε κοινές γλώσσες προγραμματισμού όπως Fortran, C, C++, Pascal κλπ. Επιπρόσθετα, το TRNSYS έχει τη δυνατότητα να συνδεθεί εύκολα με πολλά άλλα υπολογιστικά προγράμματα για επεξεργασία πριν, μετά ή κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης (π.χ. Microsoft Excel, Matlab κ.α.).

Στο πακέτο του συγκεκριμένου λογισμικού προγράμματος περιλαμβάνονται εφαρμογές ηλιακών συστημάτων (θερμικά ηλιακά και φωτοβολταϊκά), συστήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και συστήματα Συμπααραγωγής, Κυψέλες καυσίμου καθώς και οποιοδήποτε άλλο σύστημα που απαιτεί δυναμική προσομοίωση.

Το TRNSYS αποτελείται από το σύνολο των ακόλουθων προγραμμάτων:

- το στούντιο προσομοίωσης (TRNSYS Simulation Studio) και το εκτελέσιμο αρχείο του (TRNExe.exe),
- το γραφικό περιβάλλον διεπαφής κτιρίου, για την εισαγωγή των δεδομένων κτιρίων (TRNBuild.exe),
- τον επεξεργαστή με τον οποίο μπορούν να δημιουργηθούν αυτόνομα προγράμματα, γνωστά ως “TRNSED εφαρμογές” (TRNEdit.exe).

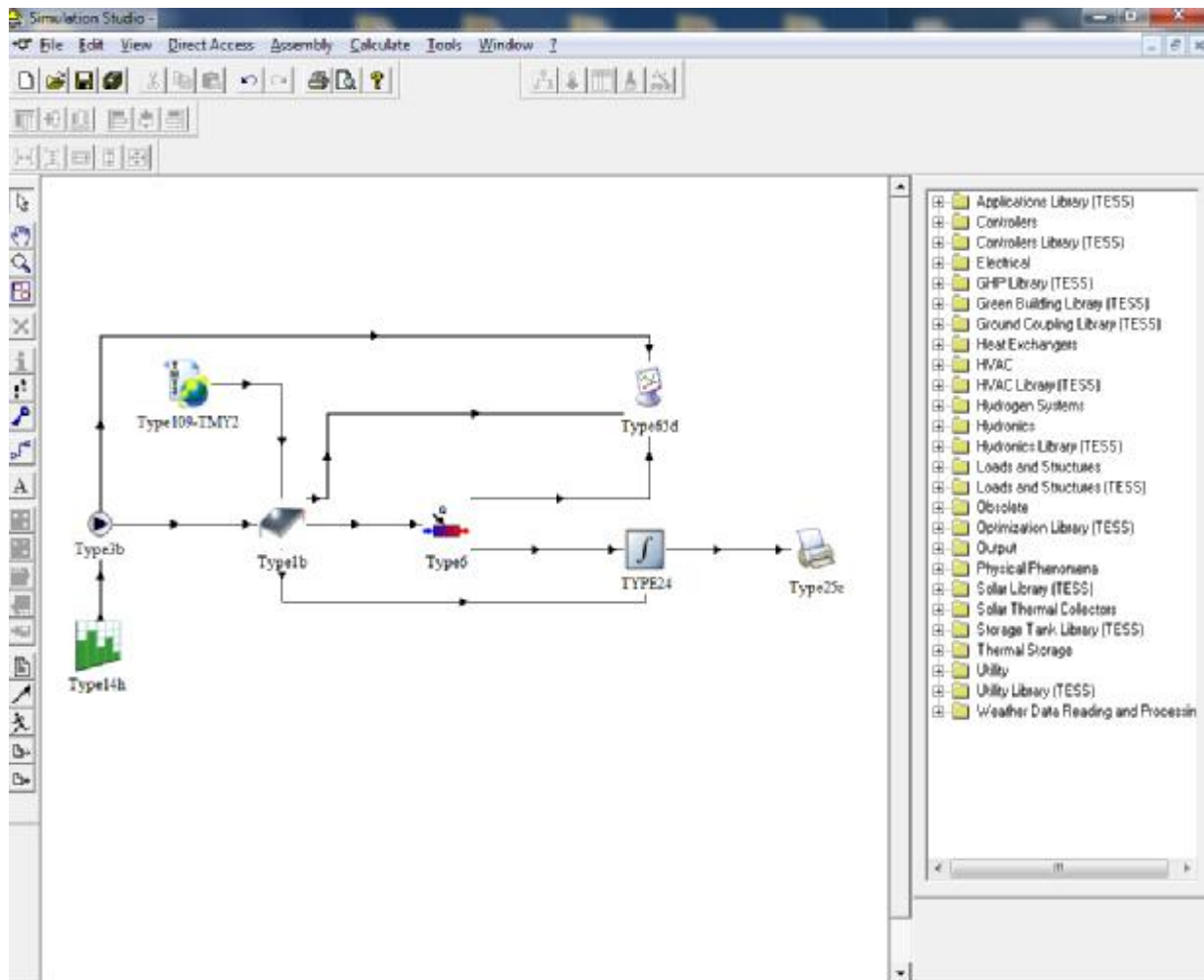
Το υπολογιστικό πρόγραμμα TRNSYS, καθίσταται ένα πολύ ευέλικτο πρόγραμμα προσομοίωσης, καθώς μέσω των παραπάνω υποπρογραμμάτων του δύναται να σχεδιαστεί και να μελετηθεί μια εξειδικευμένη εφαρμογή χρησιμοποιώντας εξολοκλήρου επιθυμητά δεδομένα και παραμέτρους που θα ικανοποιούν τις ανάγκες του χρήστη.

5.1.1 TRNSYS Simulation Studio

Το TRNSYS Simulation Studio αποτελεί το κεντρικό γραφικό περιβάλλον του TRNSYS, στο οποίο σχεδιάζονται οι προσομοιώσεις των δυναμικών συστημάτων. Το στούντιο προσομοίωσης καθίσταται το βασικό περιβάλλον εργασίας του χρήστη, στο οποίο δίνεται η δυνατότητα σύνθεσης και ανάλυσης πολλών διαφορετικών ειδών συστημάτων, όπως:

- Ηλιακά θερμικά συστήματα
- Φωτοβολταϊκά συστήματα
- Αιολικά συστήματα
- Γεωθερμικά συστήματα
- Συστήματα Υδρογόνου
- Υδραυλικά συστήματα
- Συστήματα περιγραφής φυσικών φαινομένων

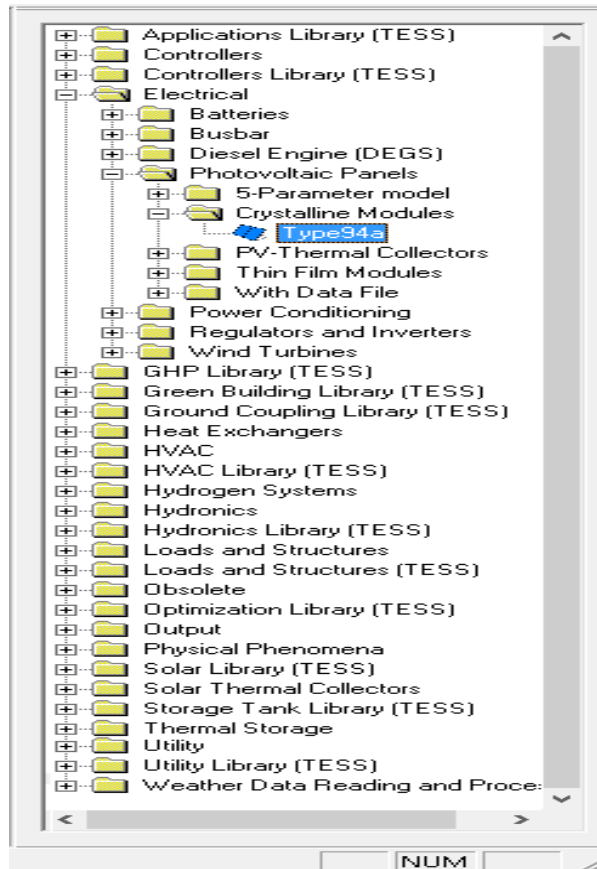
Όπως συμβαίνει και με άλλα υπολογιστικά προγράμματα, το TRNSYS Simulation Studio αποτελείται από το κεντρικό μενού, τις γραμμές εργαλείων και ένα ή περισσότερα ενεργά παράθυρα. Η διαδικασία εκκίνησης νέου project στο στούντιο προσομοίωσης για την μελέτη ενός συστήματος, αρχίζει με την επιλογή ``New Empty Project`` από το βασικό μενού, δημιουργώντας ένα νέο παράθυρο εργασίας. Εν συνεχεία, πραγματοποιείται η επιλογή των μοντέλων προσομοίωσης (components) από την Βιβλιοθήκη του TRNSYS Simulation Studio και η εισαγωγή τους στο κεντρικό περιβάλλον προσομοίωσης. Τα επιλεγόμενα μοντέλα επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω μιας γραμμής σύνδεσης, ανταλλάσσοντας πληροφορίες απαραίτητες για την ορθή λειτουργία του συστήματος, οι οποίες εξάγονται σε αντίστοιχα διαμορφωμένα διαγράμματα. Ταυτόχρονα, το στούντιο προσομοίωσης δημιουργεί ένα αρχείο με τα δεδομένα του προγράμματος προσομοίωσης της μορφής *.tpf και ένα ακόμα αρχείο κειμένου που περιέχει όλες τις πληροφορίες της προσομοίωσης και ονομάζεται αρχείο εισόδου (input file). Σε αυτά τα αρχεία εξόδου πληροφοριών ο χρήστης έχει πρόσβαση σε όλη τη διάρκεια της προσομοίωσης, γεγονός που του δίνει την δυνατότητα να επεμβαίνει και να τροποποιεί συνεχώς την διαδικασία έως ότου το σύστημα προσομοίωσης ικανοποιεί όλες του τις απαιτήσεις.



Εικόνα 5.1: Project στο κύριο περιβάλλον εργασίας του TRNSYS Simulation Studio

5.1.1.1 Βιβλιοθήκη μοντέλων προσομοίωσης

Η βιβλιοθήκη του TRNSYS Simulation Studio αποτελεί το μέσο για την έναρξη της σχεδίασης ενός συστήματος προσομοίωσης, καθώς εσωτερικά της βιβλιοθήκης υπάρχουν στοιχισμένες σε δενδροειδή μορφή οι κατηγορίες των μοντέλων προσομοίωσης που θα αποτελέσουν το σύστημα προσομοίωσης. Η βιβλιοθήκη δομείται από 13 κύριες κατηγορίες διαφορετικών λειτουργιών οι οποίες είναι:



Εικόνα 5.2: Η βιβλιοθήκη του TRNSYS Simulation Studio

- Ø Ελεγκτές (Controllers). Η κατηγορία αυτή περιέχει διάφορους ελεγκτές γενικής χρήσης, έναρξης και λήξης της λειτουργίας του συστήματος πχ. θερμοστάτες.
- Ø Ηλεκτρικά στοιχεία (Electrical). Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει στοιχεία που παράγουν ή αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια και αντιπροσωπεύονται από τα εξής στοιχεία: ηλιακά φωτοβολταϊκά (PV) συστήματα, συστήματα μετατροπής αιολικής ενέργειας (ανεμογεννήτριες), κινητήρες ντίζελ, συστήματα μετατροπής ισχύος, μπαταρίες.
- Ø Εναλλάκτες θερμότητας (Heat Exchangers), όπου περιλαμβάνονται διάφοροι τύποι συσκευών εναλλάκτη θερμότητας και ανάκτησης ενέργειας.

- Ø HVAC. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει διάφορες βοηθητικές συσκευές θέρμανσης αερισμού και ψύξης, συμπεριλαμβανομένων των μηχανών ψύξης απορρόφησης.
- Ø Συστήματα υδρογόνου (Hydrogen Systems). Η βιβλιοθήκη HYDROGEMS παρέχει στοιχεία για την προσομοίωση συστημάτων με βάση το υδρογόνο, όπως κυψέλες καυσίμου, ηλεκτρολύτες, συσκευές αποθήκευσης υδρογόνου κλπ.
- Ø Υδραυλικά (Hydronics). Εδώ παρευρίσκονται υδραυλικά εξαρτήματα όπως αντλίες, σωλήνες, αγωγοί, εκτροπείς και αναμεικτές ροής.
- Ø Φορτία και ολοκληρωμένες δομές (Loads and Structures). Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει το **Type 56**, το μοντέλο κτιρίου πολλαπλών ζωνών, του οποίου οι παράμετροι λειτουργίας καθορίζονται στο υποπρόγραμμα TRNBuild, αλλά και διάφορα μοντέλα αυξανόμενης πολυπλοκότητας.
- Ø Εξοδοί (Output). Οι εκτυπωτές και οι online plotter είναι σε αυτή την κατηγορία, όπως και τα υπόλοιπα μοντέλα που πραγματοποιούν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.
- Ø Φυσικά φαινόμενα (Physical Phenomena). Αυτή η κατηγορία ομαδοποιεί τα χρήσιμα στοιχεία που μοντελοποιούν φυσικά φαινόμενα. Περιλαμβάνει υπολογισμούς ψυχομετρίας και ηλιακής ακτινοβολίας, σκίασης, θερμοκρασίας ουρανού και συντελεστές μεταφοράς.
- Ø Ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες (Solar Thermal Collectors), όπου περιλαμβάνονται μοντέλα για διαφορετικούς τύπους ηλιακών θερμικών συλλεκτών (πχ επίπεδοι συλλέκτες, συλλέκτες κενού, παραβολικοί συγκεντρωτικοί συλλέκτες κλπ).
- Ø Αποθήκευση Θερμότητας (Thermal Storage). Διάφορα μοντέλα συσκευών αποθήκευσης είναι διαθέσιμα όπως δοχεία αδρανείας με ή χωρίς επιπρόσθετη πηγή ενέργειας.

Ø Χρήσιμα βοηθητικά στοιχεία (Utility). Αυτή η κατηγορία ομαδοποιεί τα μοντέλα όπως μετατροπείς μονάδων, εξαναγκασμένες εξωτερικές συναρτήσεις. Επιπλέον, περιέχονται μοντέλα που καλούν εξωτερικά προγράμματα όπως το Excel, το EES, ή το Matlab και τη σημαντική ομάδα "Data Reader".

Ø Ανάγνωση και επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων (Weather Data Reading and Processing). Με αυτή την κατηγορία παρέχεται εύκολη πρόσβαση στον επεξεργαστή δεδομένων καιρού. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα στους χρήστες και στο σύστημα προσομοίωσης να διαβάζουν εύκολα αρχεία μετεωρολογικών δεδομένων προκειμένου και να υπολογίζεται η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε οποιαδήποτε επιφάνεια, η θερμοκρασία, η υγρασία περιβάλλοντος, κλπ.

Για τη δημιουργία ενός συστήματος επιβάλλεται η συνεργασία μοντέλων προσομοίωσης από πολλές διαφορετικές κατηγορίες της βιβλιοθήκης, τα οποία συνεργάζονται για την επίτευξη ενός συγκεκριμένου κοινού πλέον σκοπού.

5.1.1.2 Μοντέλα προσομοίωσης

Τα μοντέλα (components) προσομοίωσης είναι ο βασικός παράγοντας για την υλοποίηση ενός project. Ως προς τον χρήστη, τα μοντέλα απεικονίζονται με λέξεις στη βιβλιοθήκη του TRNSYS και κατά την επιλογή τους δημιουργούν το ανάλογο εικονίδιο της λέξης που αντιπροσωπεύουν στο παράθυρο εργασίας. Αντιθέτως για το TRNSYS, το κάθε μοντέλο διαβάζεται ως ένα μικρό πρόγραμμα το οποίο είναι ήδη κατασκευασμένο σε γλώσσα προγραμματισμού C++, FORTRAN ή PASCAL. Σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι ο χρήστης μπορεί να επέμβει στο πρόγραμμα του εκάστοτε μοντέλου που έχει επιλέξει και να το τροποποιήσει ανάλογα με τις ανάγκες του, καθ' όλη τη διάρκεια κατασκευής και προσομοίωσης του project.



Εικόνα 5.3: Μοντέλα προσομοίωσης (components) του TRNSYS

Εν συνεχεία, η επιλογή των κατάλληλων μοντέλων προσομοίωσης της βιβλιοθήκης του TRNSYS από το χρήστη βασίζεται σε ορισμένα κριτήρια, τα οποία είναι:

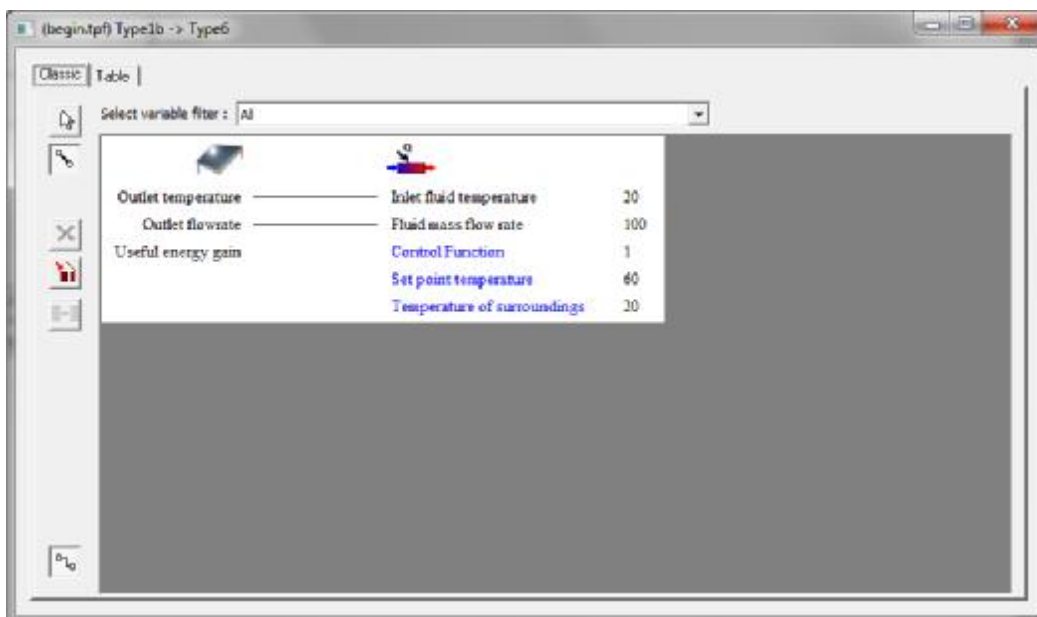
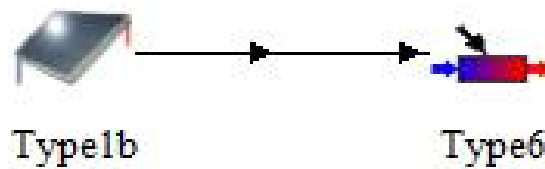
- α) το είδος του προς σχεδίαση συστήματος
- β) οι παράμετροι λειτουργίας και οι προοπτικές επεξεργασίας του κάθε μοντέλου προσομοίωσης

Για παράδειγμα, για την σχεδίαση ενός θερμικού συστήματος με αποθήκευση ενέργειας επιλέγονται μοντέλα προσομοίωσης από την κατηγορία των Solar Thermal Collectors και από την κατηγορία Thermal Storage, τα οποία αφορούν τη μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμική και την αποθήκευσή της. Επειδή όμως η κάθε κατηγορία μοντέλων της βιβλιοθήκης περιέχει αρκετά components ίδιου τύπου, θα πρέπει ο χρήστης να επιλέξει το κατάλληλο μοντέλο βάσει των παραμέτρων που διαθέτει, καθώς και τη δυνατότητα τροποποίησης που μπορεί να δεχθεί από τον χρήστη προκειμένου να πληροί τις ανάγκες του.

Ύστερα από την επιλογή ενός μοντέλου προσομοίωσης από την βιβλιοθήκη του TRNSYS ακολουθεί η τοποθέτησή του η οποία επιτυγχάνεται εύκολα με τη μετακίνηση του εικονιδίου του επιλεγμένου μοντέλου από την βιβλιοθήκη προς την κύρια επιφάνεια εργασίας του TRNSYS Simulation Studio.

5.1.1.3 Συνδέσεις των μοντέλων προσομοίωσης

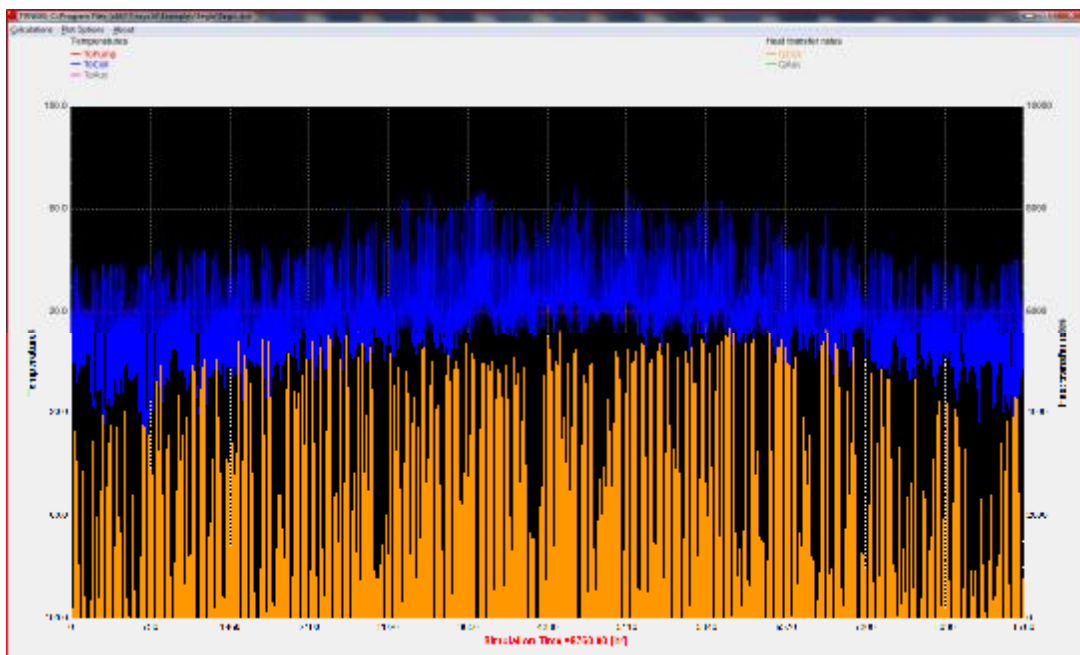
Το μέσο σύνδεσης δυο μοντέλων στο παράθυρο εργασίας, είναι μια γραμμή με ένα χαρακτηριστικό βέλος, το οποίο συμβολίζει την φορά ροής των δεδομένων. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι το κάθε μοντέλο έχει είσοδο και έξοδο πληροφοριών, έτσι ώστε να γίνει η ανταλλαγή δεδομένων με άλλα μοντέλα που απαρτίζουν την προσομοίωση, δηλαδή το τέλος ενός μοντέλου είναι η αρχή του άλλου συνδεόμενο μέσω της γραμμής αυτής. Επίσης, για την αποφυγή οποιουδήποτε λάθους κατά την ένωση των μοντέλων, το υπολογιστικό πρόγραμμα TRNSYS είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να μην εγκρίνει τη σύνδεση μοντέλων διαφορετικών διαστάσεων, με αποτέλεσμα να εμφανίζει ένδειξη σφάλματος.



Εικόνα 5.4: Μοντέλα προσομοίωσης και η σύνδεση εισόδων – εξόδων τους

5.1.1.4 Εμφάνιση υπολογισμών προσομοίωσης και διεξαγωγή αποτελεσμάτων

Ολοκληρώνοντας τη σχεδίαση του συστήματος, ο χρήστης έχει την δυνατότητα μέσω της εντολής ``Calculate/Run``, να εκκινήσει τους υπολογισμούς προσομοίωσης και εν συνεχεία να εξάγει τα αποτελέσματα του σε διαγράμματα και εξωτερικά αρχεία (txt). Η εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε διαγράμματα γίνεται μέσω του μοντέλου online plotter, ο οποίος εμφανίζει μια ηλεκτρονική γραφική παράσταση καθώς η προσομοίωση εκτελείται, επιτρέποντας στο χρήστη να αξιολογεί το σύστημα άμεσα. Ταυτόχρονα, παρέχει τη δυνατότητα διακοπής/συνέχισης της προσομοίωσης ενώ εξακολουθεί να εκτελείται, έτσι ώστε να αναλυθούν τυχόν προβλήματα που εμφανίζονται σε μια δεδομένη χρονική στιγμή της προσομοίωσης.



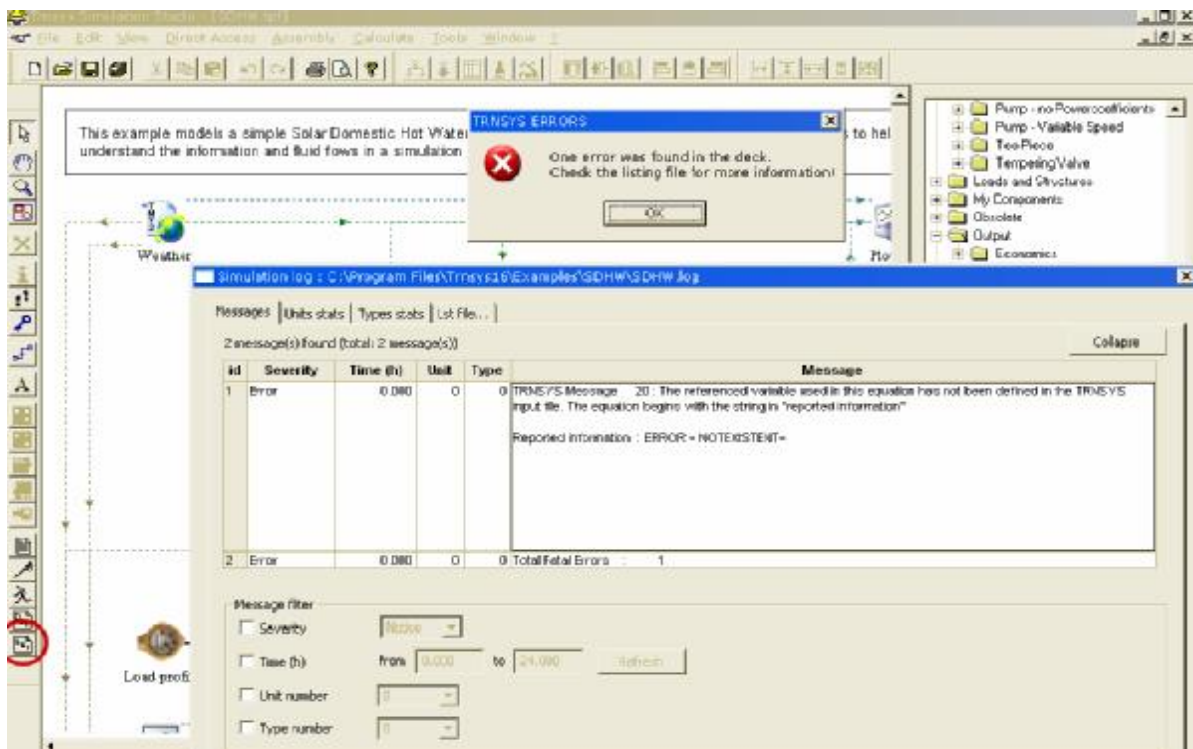
Εικόνα 5.5: Διάγραμμα αποτελεσμάτων

Από την άλλη πλευρά, η εξαγωγή των αποτελεσμάτων σε εξωτερικά αρχεία υλοποιείται με το μοντέλο printer, το οποίο δημιουργεί ένα αρχείο (txt) στη θέση του υπολογιστή που του έχουμε καθορίσει από τις παραμέτρους του μοντέλου. Επιλέγοντας λοιπόν αυτές τις δυο μεθόδους ή τη μια από αυτές, ο χρήστης είναι σε θέση να κατανοήσει, να αναλύσει και να αξιολογήσει τα αποτελέσματα του συγκεκριμένου project και, το πιο σημαντικό, να τροποποιήσει το project ανάλογα

με τις μελλοντικές του ανάγκες. Αξίζει να σημειωθεί πως στην περίπτωση που δεν υπάρχει τουλάχιστον ένα από τα δυο παραπάνω μοντέλα (online plotter ή printer) τότε η προσομοίωση θα εκκινήσει τους υπολογισμούς προσομοίωσης χωρίς να τους εμφανίζει, με αποτέλεσμα να μην γίνεται κατανοητή από το χρήστη η διαδικασία προσομοίωσης.

5.1.1.5 Ανάλυση σφαλμάτων – Error Manager

Όταν το υπολογιστικό περιβάλλον του TRNSYS Simulation Studio αδυνατεί να εκκινήσει την προσομοίωση, εμφανίζεται ένα παράθυρο διαλόγου "Σφάλματα TRNSYS" (TRNSYS Errors) που δηλώνει την ύπαρξη κάποιου σφάλματος κατά τη σχεδίαση του συστήματος από τον χρήστη. Μέσω του διαχειριστή σφαλμάτων (Error Manager), ο οποίος βρίσκεται στο Στούντιο προσομοίωσης, ο χρήστης έχει την δυνατότητα με την εντολή LST να εντοπίσει τη φύση και τη προέλευση των σφαλμάτων, τα οποία καταγράφονται στο αρχείο καταγραφής (Log file) και στο αρχείο καταχώρησης (Listing file).



Εικόνα 5.6: Διαχειριστής σφαλμάτων στο Στούντιο προσομοίωσης

Η δημιουργία των αρχείων Log file και Listing file ξεκινάει με την εκκίνηση του προγράμματος TRNSYS Simulation Studio. Αρχικά καταχωρούνται στο ειδικό αρχείο καταγραφής (Log file) οι τιμές των δεδομένων εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν στα components. Επιπλέον δημιουργείται ταυτόχρονα ένα ακόμα αρχείο μέσα στον διαχειριστή σφαλμάτων (Error Manager), το αρχείο καταχώρησης (Listing file), το οποίο περιέχει όλα τα μηνύματα που υπάρχουν και στο Log file, αλλά και επιπρόσθετα αποτελέσματα της εντολής "Trace", η οποία εκτυπώνει τις εισόδους και εξόδους ενός μοντέλου σε κάθε επανάληψη της προσομοίωσης.

Επομένως, ο διαχειριστής σφαλμάτων και τα αρχεία καταγραφής δεδομένων αποτελούν σημαντικό εργαλείο του TRNSYS Simulation Studio για την ανάλυση και τη διόρθωση των ειδοποιήσεων που προκύπτουν από την ύπαρξη σφαλμάτων κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

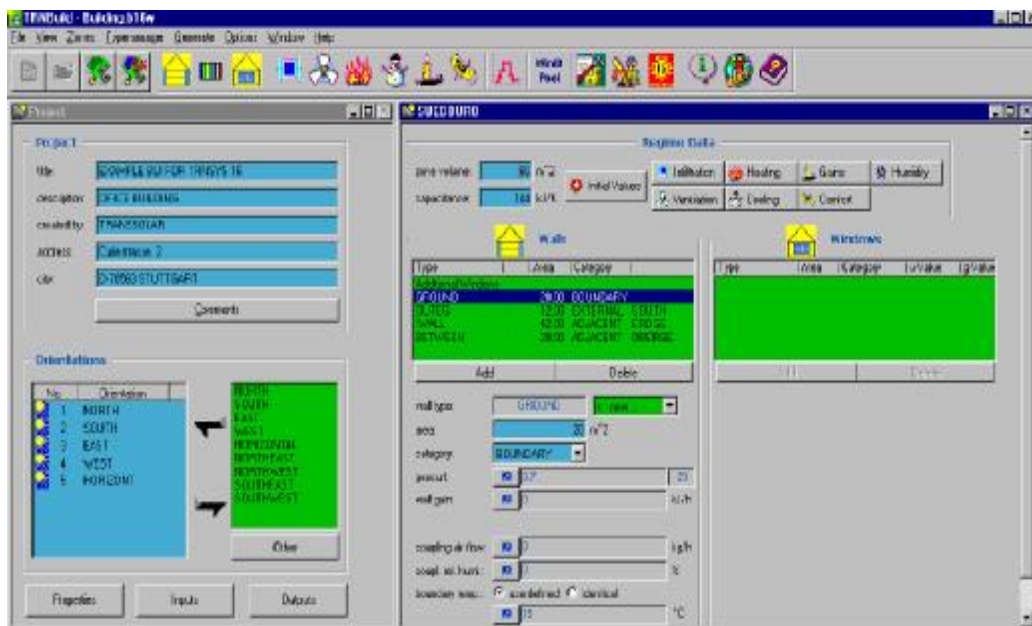
5.1.2 TRNBuild

Το TRNbuild είναι ένα τμήμα του υπολογιστικού προγράμματος TRNSYS, στο οποίο δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να μοντελοποιήσει τη θερμική συμπεριφορά κτιρίων πολλαπλών θερμικών ζωνών, δηλαδή να καθορίσει παραμέτρους σχετικά με την τοιχοποιία, τις ιδιότητες των ανοιγμάτων, τις μεθόδους θέρμανσης και ψύξης του κτιρίου. Η επιθυμητή θερμική συμπεριφορά του κτιρίου εκφράζεται μέσω του **Type 56**. Λόγω της πολυπλοκότητας των ζωνών ενός κτιρίου, οι παράμετροι του Type 56 δεν καθορίζονται απευθείας στο αρχείο εισόδου του TRNSYS. Αντιθέτως, εκχωρούνται σε δύο εξωτερικά αρχεία που περιέχουν τις απαιτούμενες πληροφορίες στο TRNBuild:

- Το αρχείο (*.BLD), το οποίο περιγράφει το κτίριο
- Το αρχείο (*.TRN), το οποίο φέρει τις συναρτήσεις μεταφοράς ASHRAE για τους τοίχους

Όλα τα δεδομένα που εισάγονται σε ένα TRNBuild project αποθηκεύονται σε ένα αρχείο κτιρίου (*.BUI) και ένα αναγνώσιμο αρχείο κειμένου ASCII. Το αρχείο BUI είναι πολύ χρήσιμο για τον έλεγχο των δεδομένων που εισάγονται στο TRNbuild.

Πιο αναλυτικά, για την εκκίνηση ενός νέου project στο TRNbuild, ο χρήστης εισάγει κάποιες πληροφορίες για το έργο, περιγράφει δηλαδή κάθε θερμική ζώνη του κτιρίου με τη σειρά. Αρχικά καθορίζει τα χαρακτηριστικά του κελύφους (τοιχοποιία), δηλαδή τον προσανατολισμό των τοίχων που απαιτούνται από το περιγραφόμενο κτίριο, ορίζει κάποιες βασικές ιδιότητες των υλικών, την κατηγορία των τοίχων κ.α.



Εικόνα 5.7: Εφαρμογή στο TRNBuild

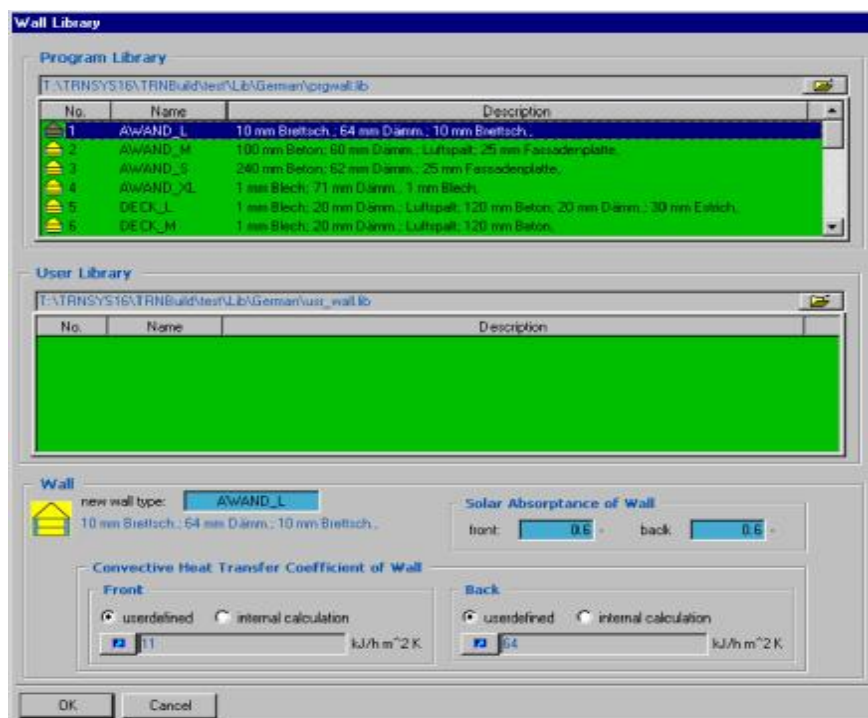
Επίσης το TRNbuild παρέχει την δυνατότητα στο χρήστη να επιλέξει την κατασκευή του τοίχου μέσα από δύο διαφορετικές βιβλιοθήκες:

- την βιβλιοθήκη του προγράμματος (τυποποιημένοι τοίχοι)
- την βιβλιοθήκη του χρήστη (δημιουργία νέων τοίχων)

Και στις δύο περιπτώσεις, η διαδρομή και το όνομα αρχείου μπορούν να αλλάξουν από τοίχο σε τοίχο χρησιμοποιώντας τα παράθυρα διαλόγου. Στην περίπτωση όπου ο χρήστης επιλέξει τη ``βιβλιοθήκη του χρήστη`` μπορεί να δημιουργήσει, να διαγράψει ή να επεξεργαστεί τους τοίχους μιας ζώνης. Βεβαία στην επιλογή δημιουργίας ενός νέου τοίχου ο χρήστης καλείται να εισάγει τα εξής:

1. Τον τύπο του τοίχου
2. Τα τετραγωνικά του τοίχου (μαζί με τα παράθυρα)
3. Το πάχος του τοίχου

4. Την κατηγορία τοίχου (εξωτερικός ή εσωτερικός τοίχος, τοίχος μέσα σε μια ζώνη, τοίχος που συνορεύει με μια άλλη ζώνη, τοίχος με οριακές συνθήκες)
5. Τα υποστρώματα του τοίχου (πχ. μόνωση)
6. Τα ηλιακά κέρδη μέσω του τοίχου



Εικόνα 5.8: Βιβλιοθήκη ορισμού τοίχων στο TRNbuild

Στην συνέχεια, καθορίζονται και οι υπόλοιποι παράμετροι θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου με τις αντίστοιχες εντολές στο περιβάλλον του TRNbuild σχετικά με:



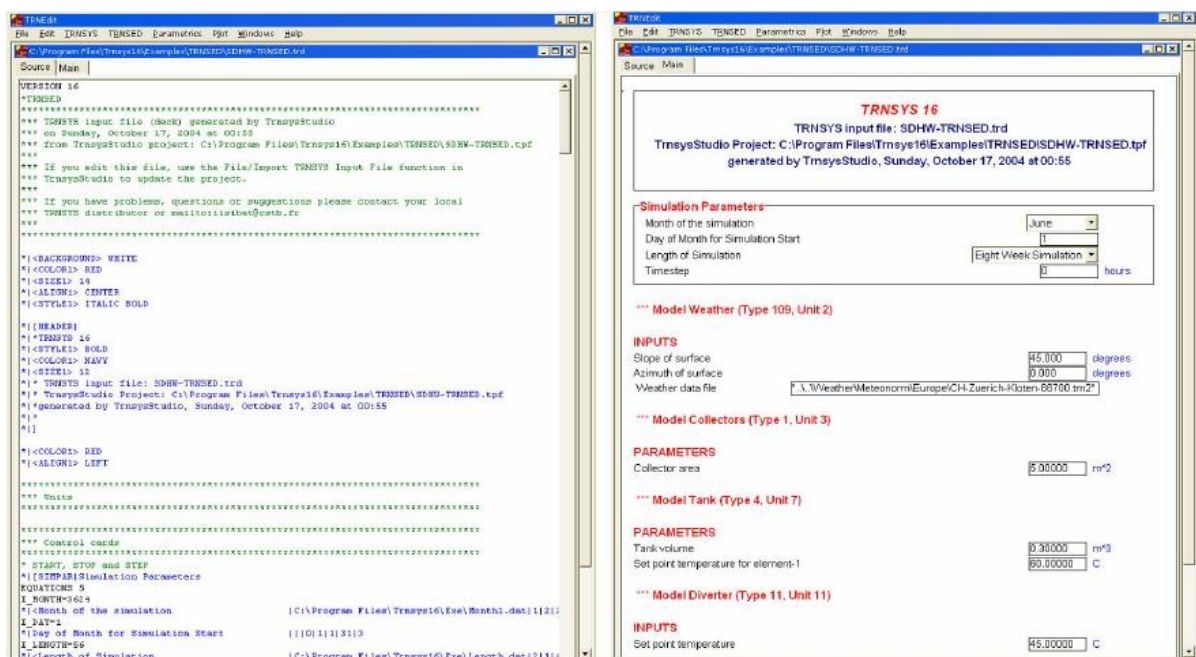
- Την διείσδυση του αέρα από τα επιλεγμένα ανοίγματα
- Τις απαιτήσεις θέρμανσης του πολυζωνικού κτιρίου
- Τις απαιτήσεις ψύξης
- Τα εσωτερικά θερμικά κέρδη κτιρίου (συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων, ηλεκτρικών συσκευών κλπ)
- Τις επιθυμητές συνθήκες άνεσης

Τέλος, κατά την ολοκλήρωση του project, γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί μέσω του προγράμματος και επιλέγονται από το χρήστη οι επιθυμητές έξοδοι αποτελεσμάτων, που θα χαρακτηρίζουν τη συμπεριφορά του Type 56 στο TRNSYS Simulation Studio.

5.1.3 TRNEdit

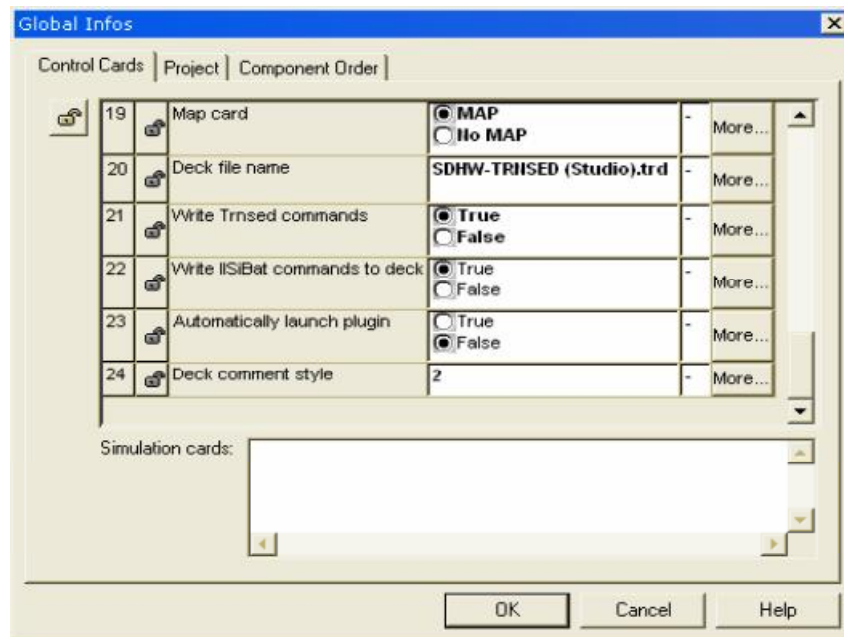
Το TRNEdit είναι ένα εξειδικευμένο πρόγραμμα επεξεργασίας που χρησιμοποιείται για την τροποποίηση αρχείων εισόδου του TRNSYS. Επιπλέον, με το TRNEdit καθίσταται εφικτή η δημιουργία αυτόνομων εφαρμογών από τους χρήστες, οι οποίες ονομάζονται εφαρμογές TRNSED.

Το πρόγραμμα TRNEdit αποτελείται από ένα γραφικό περιβάλλον στο οποίο ο χρήστης εισάγοντας συγκεκριμένες εντολές μπορεί να τροποποιήσει αρχεία που δέχεται ως είσοδο το TRNSYS. Πιο συγκεκριμένα, το περιβάλλον του TRNEdit αποτελείται από δύο καρτέλες, όπου στην μια καταγράφεται ο κώδικας του αρχείου εισαγωγής, και στην άλλη εμφανίζεται το γραφικό αποτέλεσμα του κώδικα που αποτελεί την TRNSED εφαρμογή.



Εικόνα 5.9: Καρτέλα με τον κώδικα του TRNEdit και τη μορφή της TRNSED εφαρμογής

Για να είναι δυνατή η δημιουργία TRNSED εφαρμογών θα πρέπει από την καρτέλα ελέγχου στο στούντιο προσομοίωσης να αλλαχθεί η επέκταση του αρχείου εισόδου του TRNSYS από *.dck σε *.trd και θέτοντας την τιμή ``True`` στην επιλογή ``Write Trnsed commands``.



Εικόνα 5.10: Καρτέλα ελέγχου προσομοίωσης

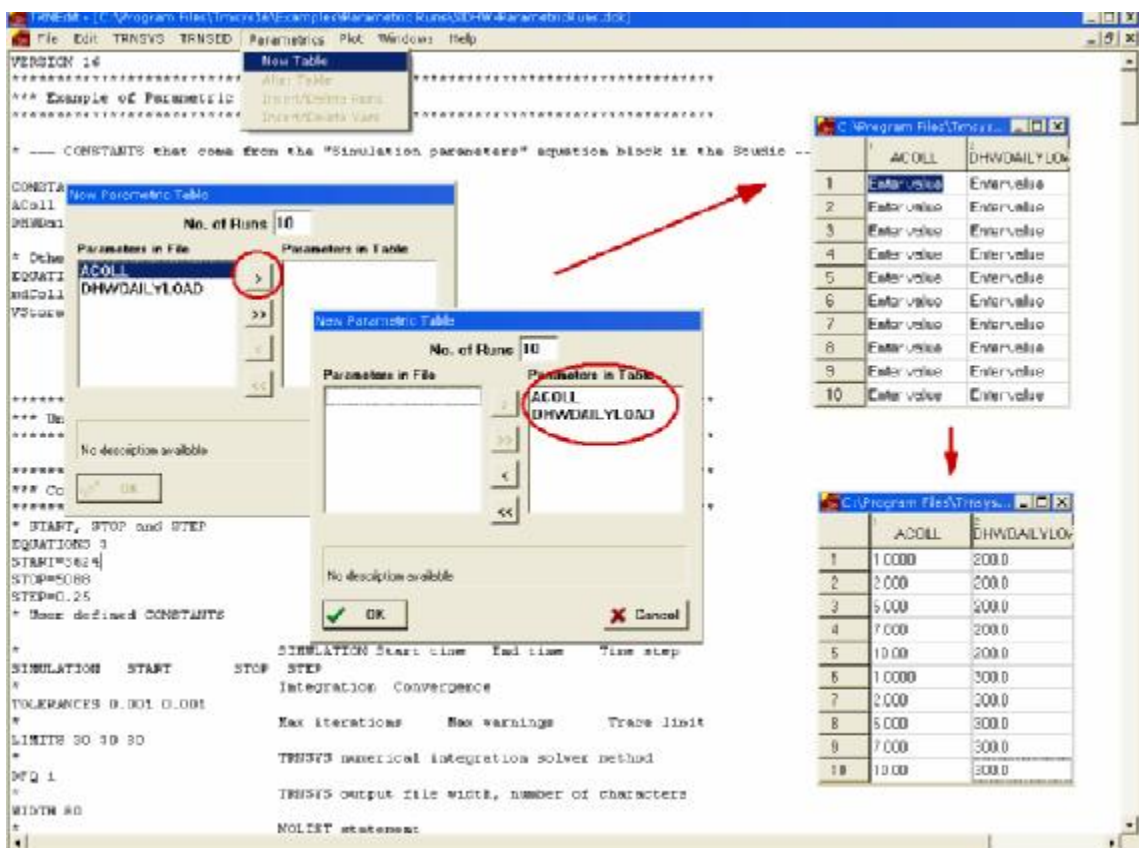
Έπειτα, από το παράθυρο των εισόδων και των παραμέτρων των στοιχείων που χρησιμοποιούνται στο στούντιο προσομοίωσης επιλέγονται ποιες θα αποτελέσουν τις αντίστοιχες TRNSED εισόδους και παραμέτρους. Όσες μεταβλητές δεν είναι επιθυμητές μπορούν να χρησιμοποιηθούν αργότερα στις TRNSED εφαρμογές απομονώνονται με την εντολή ``lock`` στο παράθυρο παραμέτρων.

Επίσης, με το πρόγραμμα TRNEdit παρέχονται οι ακόλουθες δυνατότητες εισάγοντας τις κατάλληλες εντολές:

- Ορισμός σταθερών του προγράμματος ως μεταβλητές και αντίστροφα
- Αλλαγή των τιμών σταθερών, μεταβλητών και παραμέτρων
- Ορισμός των εξωτερικών αρχείων που χρησιμοποιούν τα μοντέλα του προγράμματος (π.χ. μετεωρολογικά δεδομένα, αρχείο περιγραφής κτιρίου)
- Καθορισμός γραφικών παραμέτρων, όπως δημιουργία πολλαπλών παραθύρων και εισαγωγή εικόνων

- Ρύθμιση των TRNSED εφαρμογών έτσι ώστε να μπορούν να επιλεγθούν οι τιμές άμεσα, από λίστα ή από καθοριζόμενο αρχείο και εισαγωγή αποκλειστικών και μη αποκλειστικών επιλογών
- Παραμετρικές εκτελέσεις της προσομοίωσης

Κατά την εκτέλεση των παραμέτρων στις TRNSED εφαρμογές δημιουργείται ένας πίνακας τιμών, με την εντολή ``Parametric → new table``, στον οποίο καταγράφονται οι επιθυμητές τιμές των παραμέτρων αυτών και ορίζεται ο αριθμός των παραμετρικών εκτελέσεων που θα πραγματοποιηθούν. Τέλος, η παραμετρική μελέτη ξεκινά επιλέγοντας την εντολή ``Run Table`` από το μενού ``TRNSYS`` στο άνω μέρος του παραθύρου του προγράμματος TRNEdit.



Εικόνα 5.11: Παραμετρική μελέτη στο TRNEdit

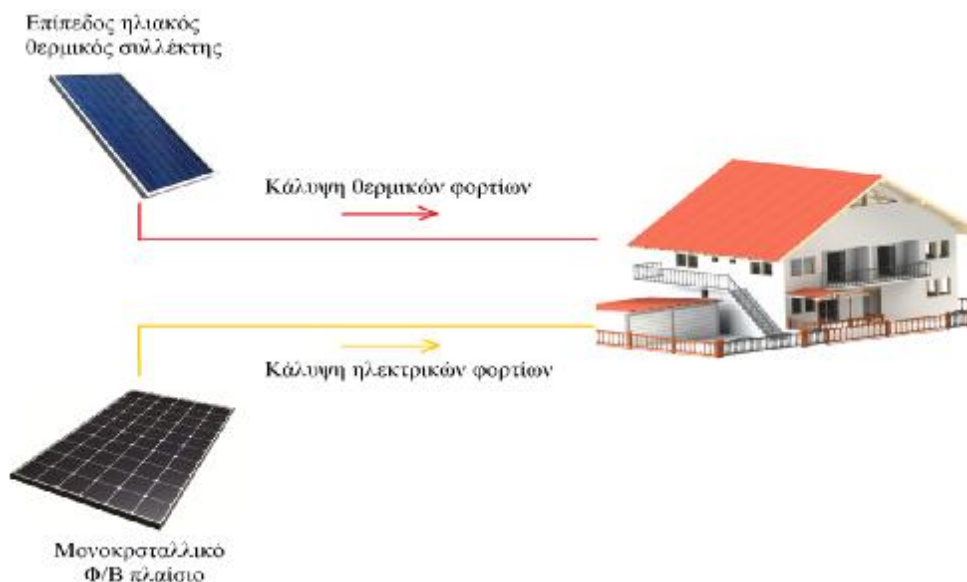
Επομένως, συμπεραίνεται ότι με το υποπρόγραμμα TRNEdit παρέχεται η δυνατότητα στον χρήστη να τροποποιήσει ή να δημιουργήσει εκ νέου παραμέτρους και εφαρμογές που θα καλύπτουν πλήρως τις απαιτήσεις του συστήματος που επιθυμεί να προσομοιώσει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. Ανάλυση υβριδικού συστήματος παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας με το υπολογιστικό πρόγραμμα TRNSYS

Η παρούσα πτυχιακή εργασία στοχεύει στη μελέτη και την παρουσίαση ενός ερευνητικού εργαλείου στο υπολογιστικό πρόγραμμα TRNSYS, με το οποίο επιτυγχάνεται η προσομοίωση της λειτουργίας ενός υβριδικού συστήματος, δηλαδή μιας θερμικής και μιας φωτοβολταϊκής εγκατάστασης, για την κάλυψη των θερμικών και των ηλεκτρικών αναγκών - φορτίων ενός κτιρίου.

Λόγω της ευελιξίας του TRNSYS, ως κτίριο αναφοράς θα μπορούσε να οριστεί οποιοδήποτε κτίριο, χωρίς κάποιον περιορισμό τόσο για το είδος της χρήσης του, όσο και για τις ενεργειακές του απαιτήσεις. Θα μπορούσε δηλαδή να είναι μια κατοικία, ένα εμπορικό κατάστημα ή ένα γραφείο κλπ, με ενεργειακές ανάγκες που θα προσαρμόζονται **κατ' απαίτηση του χρήστη**. Για τη συγκεκριμένη μελέτη επιλέχθηκε το κτίριο αναφοράς να αντιστοιχεί σε μια κατοικία με στέγη, της οποίας η κλίση θα ταυτίζεται με τη βέλτιστη κλίση της εγκατάστασης των ηλιακών θερμικών και των ΦΒ συλλεκτών σε ετήσια βάση, με σκοπό την κάλυψη των θερμικών και των ηλεκτρικών αναγκών της.



Εικόνα 6.1: Κτίριο αναφοράς

Πιο αναλυτικά, πραγματοποιείται η μελέτη μιας εγκατάστασης ηλιακών θερμικών και ΦΒ συλλεκτών σε μια κύρια κατοικία με κεραμοσκεπή κλίσης $\beta = 37^\circ$ και επιφάνειας 150 m^2 με νότιο προσανατολισμό, στην περιοχή της Ανδραβίδας. Ύστερα από τη διαστασιολόγηση του θερμικού συστήματος (παρουσιάζεται στο Παράρτημα Α), το ετήσιο ποσοστό κάλυψης των θερμικών απαιτήσεων είναι $F = 69\%$, ενώ για το φωτοβολταϊκό σύστημα, ύστερα από τη διαστασιολόγησή του (παρουσιάζεται στο Παράρτημα Β) το ετήσιο ποσοστό κάλυψης των ηλεκτρικών απαιτήσεων είναι $F = 100\%$.

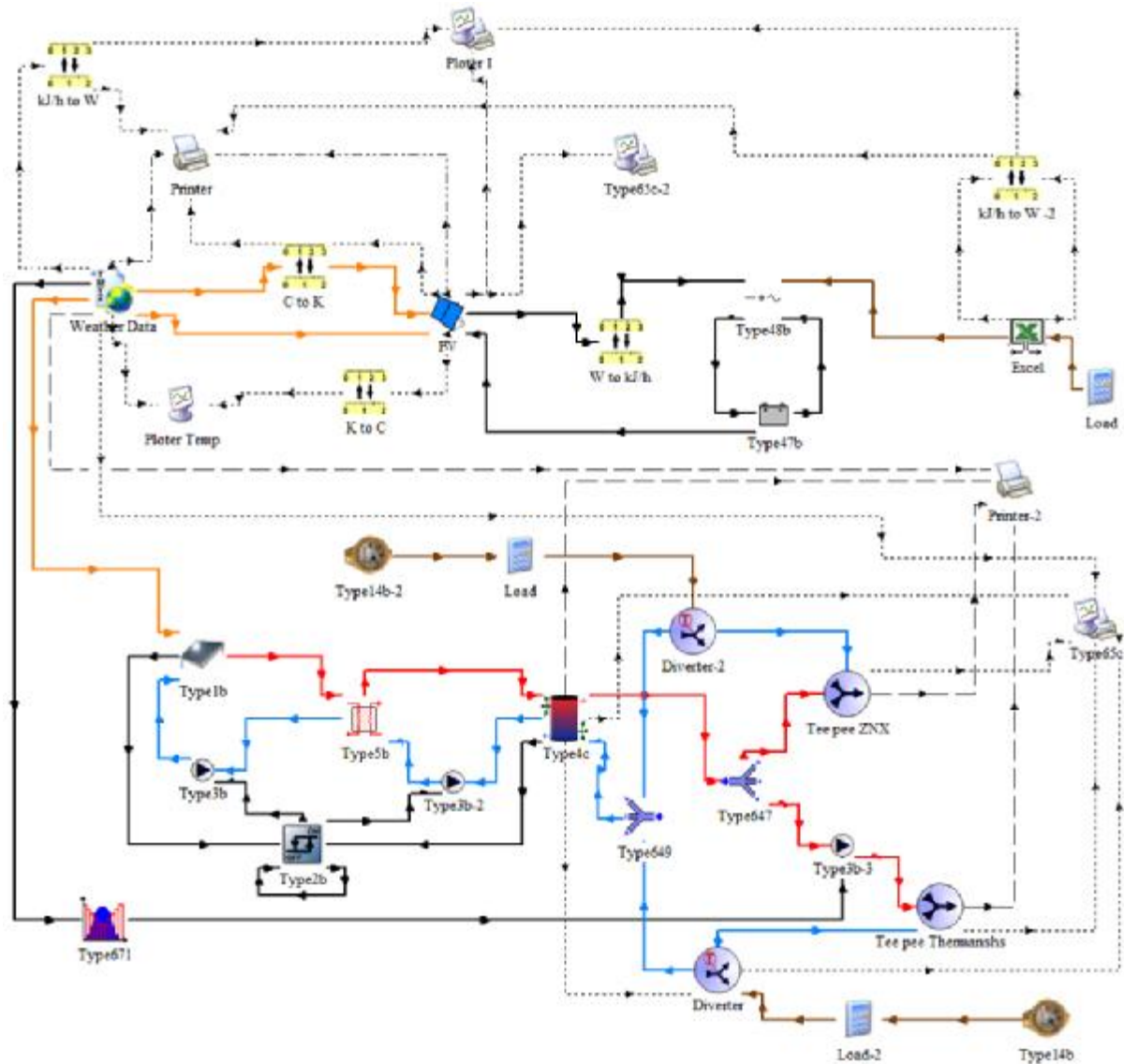
Τα δεδομένα της εγκατάστασης και τα φορτία κατανάλωσης που ορίστηκαν για την προσομοίωση του συστήματος παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Στοιχεία εγκατάστασης		
Πόλη	Ανδραβίδα	
Γεωγραφικό μήκος	L =	21,271 °
Γεωγραφικό πλάτος	Φ =	37,906 °
Προσανατολισμός	γς =	0 °
Κλίση στέγης	β =	37 °
Θερμικές ανάγκες προς κάλυψη		
Χωρητικότητα δεξαμενής νερού	V =	400 lt
Αριθμός ατόμων	4	
Μέση ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού	Vw =	50 lt / άτομο τη μέρα
Επιθυμητή θερμοκρασία χώρου	Tref =	20 °C
Επιθυμητή θερμοκρασία ζεστού νερού χρήσης	Tw =	45 °C
Θερμοκρασία νερού του δικτύου	Tm =	15 °C
Επιφάνεια θερμικών συλλεκτών	Ac =	20 m ²
Ηλεκτρικές ανάγκες κατοικίας		
Ενέργεια κατανάλωσης ηλεκτρικών φορτίων	Ek =	10 kWh/ ημ

Επομένως, τα φορτία που καλείται να καλύπτει σε ημερήσια βάση η υβριδική εγκατάσταση αφορούν αφενός στην θέρμανση νερού της δεξαμενής αποθήκευσης με συνολική χωρητικότητα **V= 400 lt** για τη θέρμανση χώρου και την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και αφετέρου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας **10 kWh** για την κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων του κτιρίου.

Στη συνέχεια, ακολουθεί η γραφική απεικόνιση του υβριδικού συστήματος παραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού, το οποίο προσομοιώθηκε έχοντας ως

βασικό περιβάλλον εργασίας το υποπρόγραμμα TRNSYS Simulation Studio του υπολογιστικού πακέτου TRNSYS.



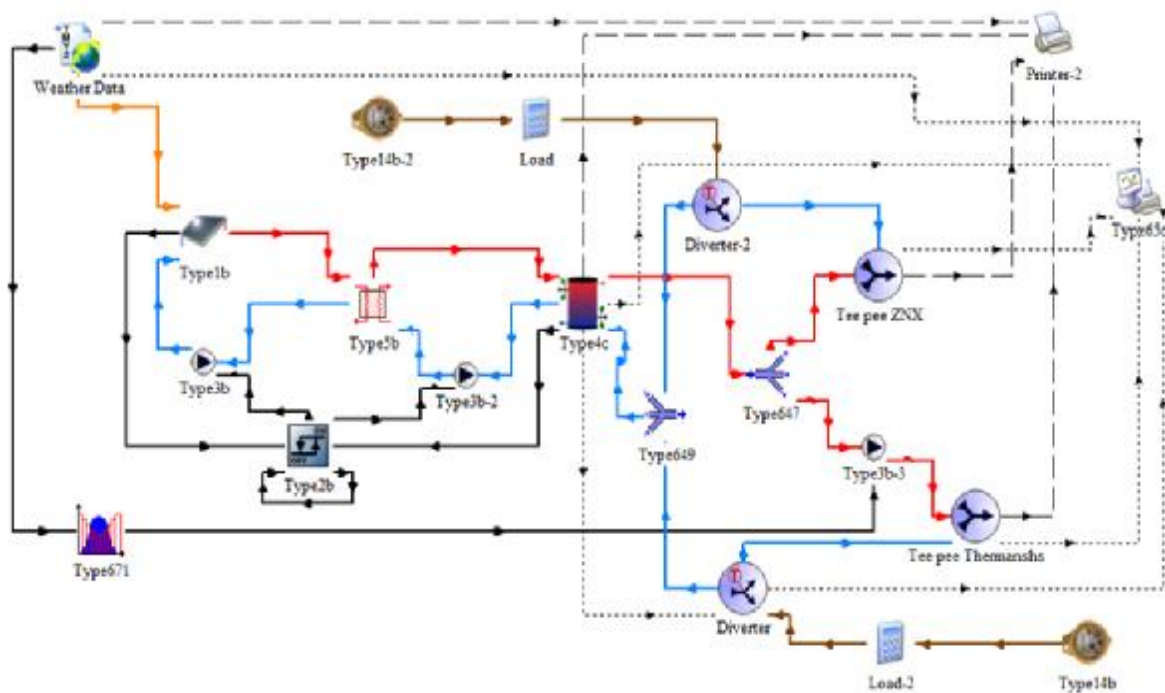
Εικόνα 6.2: Διάταξη προσομοίωσης υβριδικού συστήματος στο TRNSYS Simulation Studio

Για την καλύτερη κατανόηση και μελέτη της παραπάνω διάταξης, επιλέγεται η επιμέρους ανάλυση του θερμικού και του φωτοβολταϊκού συστήματος. Επιπλέον, μέσω της ανάλυσης αυτής προκύπτει η παρουσίαση των χαρακτηριστικών και της λειτουργίας των μοντέλων προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκαν για το κάθε σύστημα.

6.1 Προσομοίωση θερμικού συστήματος εξαναγκασμένης κυκλοφορίας

Εκμεταλλεύομενοι τις δυνατότητες του υπολογιστικού προγράμματος που χρησιμοποιείται στην παρούσα μελέτη, για την προσομοίωση του θερμικού συστήματος παρουσιάζονται δύο διαφορετικές θερμικές διατάξεις (σενάρια). Η πρώτη διάταξη αφορά στην αποθήκευση θερμότητας για την κάλυψη των θερμικών αναγκών σε ένα δοχείο, ενώ στη δεύτερη διάταξη η αποθήκευση θερμότητας πραγματοποιείται σε δύο ξεχωριστά δοχεία αποθήκευσης, δηλαδή ένα δοχείο για ζεστό νερό χρήσης και ένα δοχείο για θερμό νερό που προορίζεται για τα φορτία θέρμανσης χώρου. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι δύο θερμικές διατάξεις στο πρόγραμμα προσομοίωσης.

6.1.1 Προσομοίωση θερμικού συστήματος εξαναγκασμένης κυκλοφορίας με μια δεξαμενή αποθήκευσης



Εικόνα 6.3: Διάταξη προσομοίωσης θερμικού υποσυστήματος με μια δεξαμενή αποθήκευσης

Το παρόν θερμικό σύστημα προσομοίωσης που έχει σχεδιαστεί στο TRNSYS Simulation Studio, αποτελείται από τη σύμπραξη πολλών μοντέλων προσομοίωσης και έχει ως στόχο να μιμείται τις ρεαλιστικές συνθήκες λειτουργίας ενός θερμικού συστήματος με μία δεξαμενή αποθήκευσης για την παραγόμενη θερμότητα, σύμφωνα με τις παραμέτρους που θα ορίζει ο μελετητής. Τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για τη σχεδίαση του συγκεκριμένου συστήματος είναι τα παρακάτω:

- Type 109-TMY2 → Κλιματολογικά δεδομένα
- Type 1b → Ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες
- Type 5b → Εναλλάκτης θερμότητας
- Type 3b → Κυκλοφορητής
- Type 4c → Δεξαμενή αποθήκευσης
- Type 647 → Βαλβίδα εκτροπής
- Type 649 → Βαλβίδα ανάμιξης
- Type 2b → Διαφορικός ελεγκτής (Controller)
- Type 671 → Πολλαπλός διαφορικός ελεγκτής
- Type 14b → Παροχόμετρο καταναλώσεων
- Μοντέλο εξισώσεων
- Type 11b → Διαχωριστής ροής
- Type 11h → Εξάρτημα ανάμιξης ροής
- Type 65 → Plotter
- Type 25 → Εκτυπωτής

Αρχικά, ως σημείο αναφοράς λαμβάνεται το μοντέλο προσομοίωσης των κλιματολογικών δεδομένων, μέσω του οποίου αντλούνται τα δεδομένα για τη συμπεριφορά του καιρού και της ηλιακής ακτινοβολίας.

Στη συνέχεια, τα δεδομένα αυτά εισάγονται στο μοντέλο που αντιπροσωπεύει την λειτουργία μιας συστοιχίας επίπεδων ηλιακών θερμικών συλλεκτών, με στόχο τη μετατροπή της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας (στην επιφάνεια των συλλεκτών) σε θερμότητα. Η παραγόμενη θερμότητα εισέρχεται μέσω του θερμού νερού στη μία από τις δύο εισόδους του μοντέλου που προσομοιώνει τον εναλλάκτη αντιροής, έτσι ώστε να επιτευχθεί η μεταφορά θερμότητας μεταξύ του νερού στο κύκλωμα των συλλεκτών και του νερού στο κύκλωμα της δεξαμενής αποθήκευσης. Κατ' απαίτηση του χρήστη, τα δύο κυκλώματα νερού (νερό των συλλεκτών και νερό δεξαμενής) δεν αναμιγνύονται

μεταξύ τους, όπως επίσης και ο εναλλάκτης για λόγους κατανόησης και παρουσίασης της λειτουργίας του συστήματος τοποθετείται εξωτερικά της δεξαμενής, παρόλο που συνήθως υφίσταται εσωτερική τοποθέτηση στη δεξαμενή.

Έπειτα, το νερό των συλλεκτών εγκαταλείπει τον εναλλάκτη για να οδηγηθεί στο μοντέλο προσομοίωσης του κυκλοφορητή, ο οποίος προσδίδει την απαραίτητη ενέργεια στο νερό για να επιστρέψει στην είσοδο των συλλεκτών και να κυκλοφορήσει μέσα στις εσωτερικές τους σωληνώσεις.

Από την άλλη πλευρά τώρα, εγκαθίσταται το μοντέλο προσομοίωσης της δεξαμενής αποθήκευσης, η οποία προσλαμβάνει την θερμότητα από το νερό που εξέρχεται από την δεύτερη έξοδο του εναλλάκτη (νερό κυκλώματος δεξαμενής) και την παραχωρεί στα θερμικά φορτία της εγκατάστασης, δηλαδή στο νερό θέρμανσης χώρου και στο ζεστό νερό χρήσης, μέσω του μοντέλου προσομοίωσης της βαλβίδας εκτροπής. Το νερό της δεξαμενής χωρίζεται σε δύο ροές που οδηγούνται στα φορτία κατανάλωσης ζεστού νερού χρήσης και νερού για θέρμανση χώρων αντίστοιχα, αφού περάσουν πρώτα από τα μοντέλα που προσομοιώνουν εξαρτήματα ανάμιξης ροής (Tee pee). Εκεί το θερμό νερό αναμιγνύεται με το νερό του δικτύου ύδρευσης για να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία του για την εκάστοτε χρήση.

Επιπλέον, για την πλήρωση της δεξαμενής αποθήκευσης, τοποθετείται το μοντέλο προσομοίωσης του Diverter. Το μοντέλο αυτό εισάγει κρύο νερό από το δίκτυο ύδρευσης στην δεξαμενή με αποτέλεσμα να χρειάζεται η τοποθέτηση ενός επιπρόσθετου μοντέλου προσομοίωσης κυκλοφορητή, έτσι ώστε το κρύο νερό στο χαμηλότερο τμήμα της δεξαμενής να αντλείται μέσω αυτού και να οδηγείται στη δεύτερη είσοδο του εναλλάκτη θερμότητας για να αναθερμανθεί και να επιστρέψει στο πάνω μέρος της δεξαμενής αποθήκευσης, ξεκινώντας πάλι την ίδια διαδικασία.

Για τη σωστή λειτουργία της εγκατάστασης τοποθετούνται μοντέλα προσομοιώσεις ελεγκτών, όπως ο διαφορικός ελεγκτής (Controller) και ο πολλαπλός διαφορικός ελεγκτής. Μέσω αυτών των μοντέλων η εγκατάσταση εκκινεί και σταματάει σε προκαθορισμένες συνθήκες που έχουν επιλεγεί από το μελετητή. Ο διαφορικός ελεγκτής (Controller) συνδέεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να λαμβάνει σήματα θερμοκρασιών από τη δεξαμενή αποθήκευσης και από τους θερμικούς συλλέκτες, με σκοπό την εκκίνηση των κυκλοφορητών όταν η θερμοκρασία του νερού της δεξαμενής δεν είναι η επιθυμητή, ενώ ο πολλαπλός ελεγκτής αποκόπτει τη ροή θερμού νερού προς το φορτίο θέρμανσης χώρου τους καλοκαιρινούς μήνες.

Η εμφάνιση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του θερμικού συστήματος επιτυγχάνεται με την εισαγωγή των μοντέλων προσομοίωσης των plotter και printer αντίστοιχα, με τα οποία παρέχεται η δυνατότητα στο μελετητή για ανάλυση και έλεγχο της διαδικασίας ανά πάσα χρονική στιγμή.

Στην συνέχεια ακολουθεί η περεταίρω ανάλυση της λειτουργίας του κάθε μοντέλου προσομοίωσης ξεχωριστά.

6.1.1.1 Κλιματολογικά δεδομένα προσομοίωσης

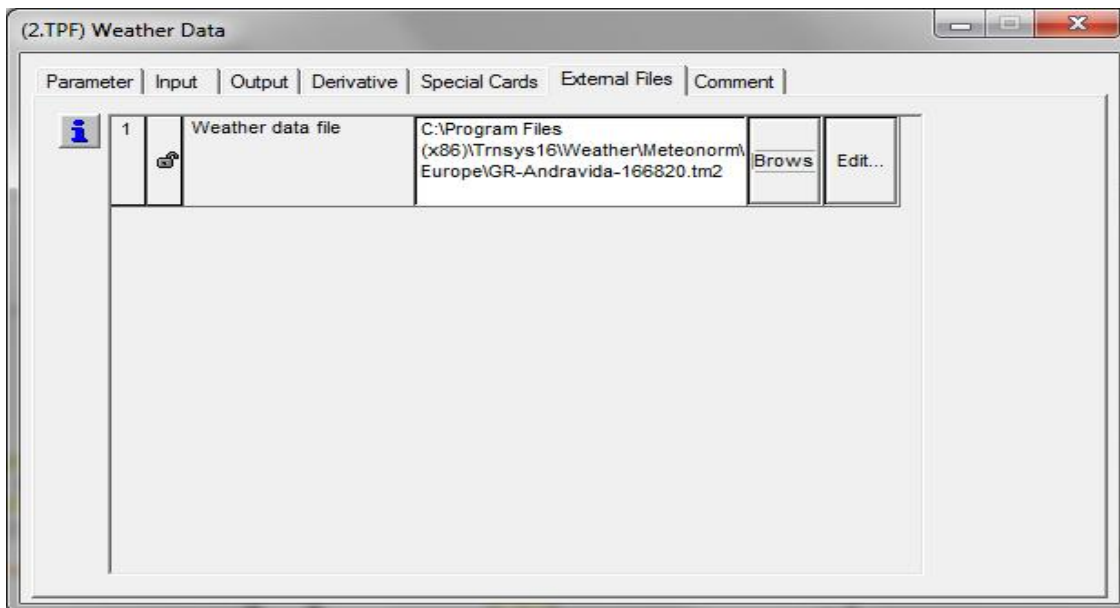


Weather Data

Type 109-TMY2

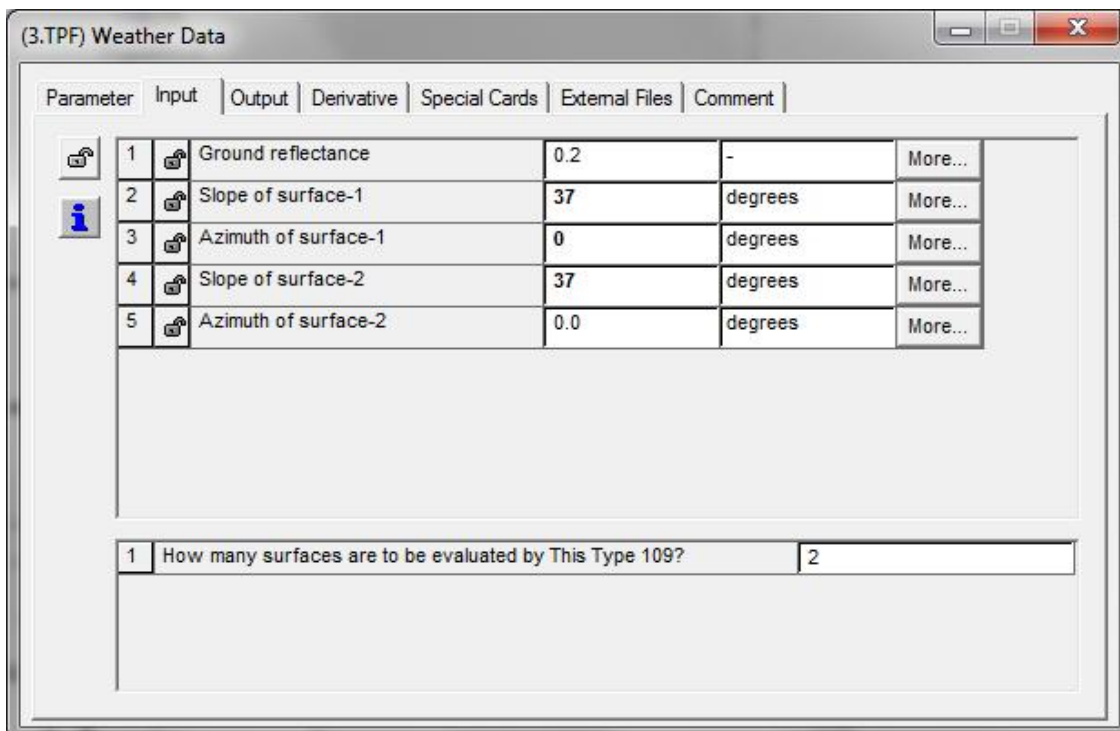
Στα περισσότερα συστήματα προσομοίωσης η ροή πληροφοριών ξεκινάει από το component ``Weather Data``, το οποίο επιλέγεται από τα αρχεία δεδομένων της βιβλιοθήκης του TRNSYS (Meteonorm). Αυτό το στοιχείο εξυπηρετεί στην ανάγνωση δεδομένων καιρικών συνθηκών, όπως ένταση ηλιακής ακτινοβολίας, ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου, υγρασία και θερμοκρασία περιβάλλοντος, ατμοσφαιρική πίεση κλπ, σε κανονικά χρονικά διαστήματα για διάφορες γεωγραφικές τοποθεσίες.

Στην συγκεκριμένη προσομοίωση η τοποθεσία που επιλέχθηκε για την διεξαγωγή της μελέτης προσομοίωσης του υβριδικού συστήματος είναι η Ανδραβίδα, νομού Ηλείας.



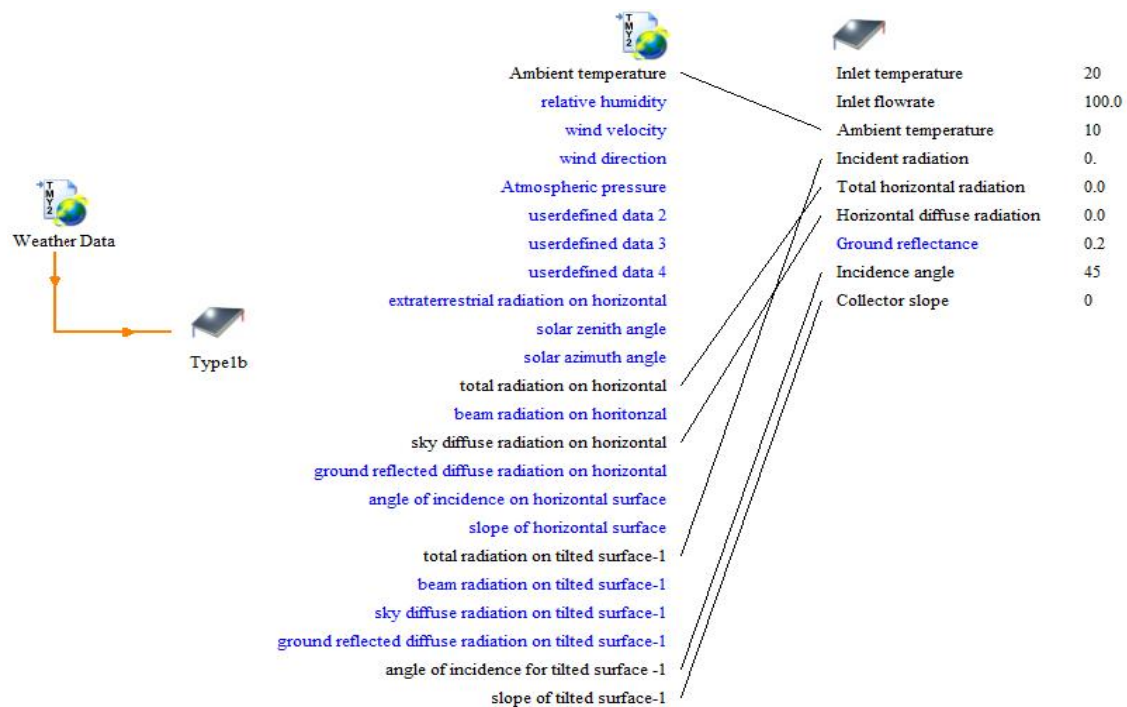
Εικόνα 6.4: Επιλογή τοποθεσίας από την βιβλιοθήκη του TRNSYS

Επιπλέον, το Type 109-TMY2 παρέχει την δυνατότητα επεξεργασίας παραμέτρων, όπως τη ρύθμιση της κλίση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας και του προσανατολισμού των συλλεκτικών επιφανειών.



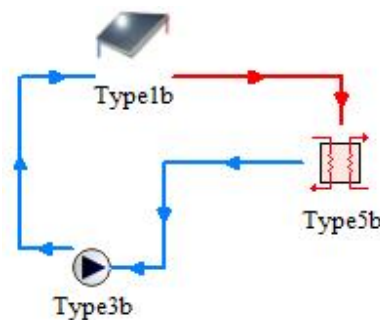
Εικόνα 6.5: Τα δεδομένα εισόδου του Weather Data

Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, ο θερμικός συλλέκτης επιλέχθηκε να τοποθετηθεί σε κλίση $\beta = 37^\circ$ (βέλτιστη κλίση σύμφωνα με την βάση δεδομένων PVGIS) και νότιο προσανατολισμό ($\gamma_c = 0^\circ$). Από το component Weather Data παρέχονται οι ακόλουθες πληροφορίες στο σύστημα προσομοίωσης μέσω του ηλιακού θερμικού συλλέκτη.



Εικόνα 6.6: Οι συνδέσεις μεταξύ του Weather Data και του ηλιακού θερμικού συλλέκτη

6.1.1.2 Υποσύστημα θερμικού συλλέκτη - εναλλάκτη θερμότητας



Αναλυτικά παρουσιάζονται τα στοιχεία που απαρτίζουν το υποσύστημα :


Θερμικοί συλλέκτες
Type 1b

Η λειτουργία ενός επίπεδου ηλιακού θερμικού συλλέκτη ή μιας συστοιχίας επίπεδων ηλιακών θερμικών συλλεκτών μοντελοποιείται με τη χρήση του συγκεκριμένου component. Για τη βελτιστοποίηση του θερμικού συστήματος χρησιμοποιήθηκε το στοιχείο Type 1b επίπεδου ηλιακού θερμικού συλλέκτη, στο οποίο ο βαθμός απόδοσης υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

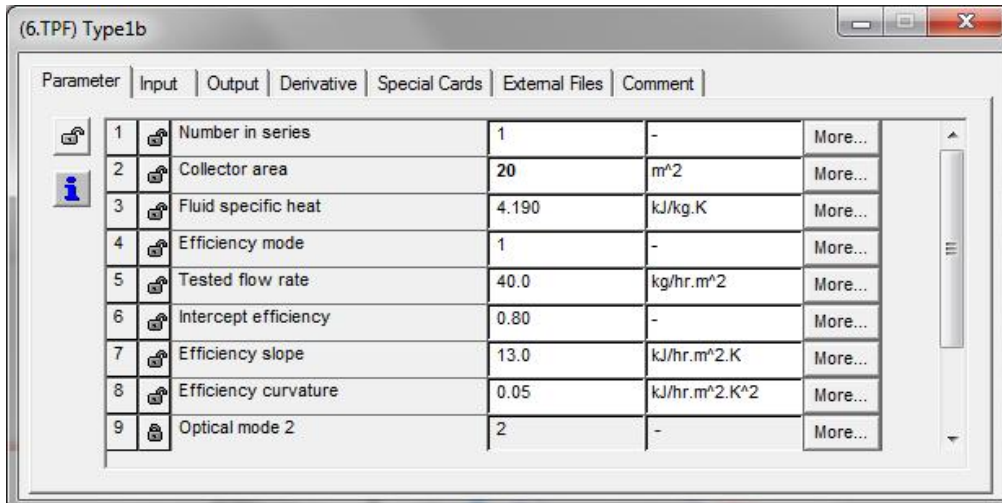
$$\eta = \frac{Q_u}{I_T \cdot A_c} = \frac{\dot{m} \cdot C_{p\text{ρευστού}} \cdot (T_{f,o} - T_{f,i})}{I_T \cdot A_c} = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L \frac{T_{f,i} - T_a}{I_T}$$

Όμως, ο συντελεστής θερμικών απωλειών U_L δεν είναι σταθερός, οπότε επιτυγχάνεται καλύτερη έκφραση του βαθμού απόδοσης λαμβάνοντας υπόψη μια γραμμική εξάρτηση του U_L έναντι της διαφοράς θερμοκρασίας ($T_{f,i} - T_a$). Έτσι προκύπτει η εξίσωση 2^{ου} βαθμού :

$$\eta = F_R(\tau\alpha) - F_R U_L \frac{T_{f,i} - T_a}{I_T} - F_R U_{L,T} \frac{(T_{f,i} - T_a)^2}{I_T}$$

η οποία είναι η γενική εξίσωση θερμικής απόδοσης του ηλιακού θερμικού συλλέκτη που χρησιμοποιείται στο Type 1b.

Για το Type 1b επιλέχθηκε επιφάνεια θερμικού συλλέκτη: $A_c = 20 \text{ m}^2$



Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Number in series	1	-	More...		
2	Collector area	20	m ²	More...		
3	Fluid specific heat	4.190	kJ/kg.K	More...		
4	Efficiency mode	1	-	More...		
5	Tested flow rate	40.0	kg/hr.m ²	More...		
6	Intercept efficiency	0.80	-	More...		
7	Efficiency slope	13.0	kJ/hr.m ² .K	More...		
8	Efficiency curvature	0.05	kJ/hr.m ² .K ²	More...		
9	Optical mode 2	2	-	More...		

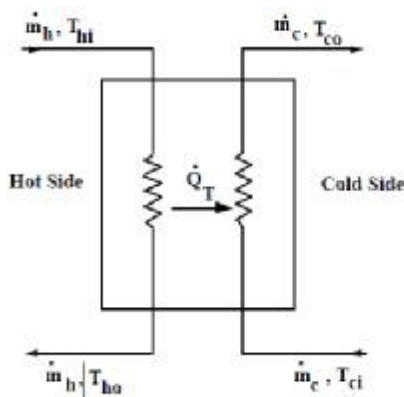
Εικόνα 6.7: Οι παράμετροι του ηλιακού θερμικού συλλέκτη



Εναλλάκτης θερμότητας

Type 5b

Για τη μεταφορά θερμότητας από το κλειστό κύκλωμα νερού των συλλεκτών στο κύκλωμα νερού της δεξαμενής αποθήκευσης χρησιμοποιήθηκε το παραπάνω στοιχείο, το οποίο μοντελοποιεί έναν εναλλάκτη θερμότητας με εσωτερική διάταξη αντιρροής. Η απόδοση του εναλλάκτη υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τις θερμοκρασίες εισόδου και τις παροχές της θερμής και ψυχρής πλευράς.



με απόδοση $\varepsilon = \frac{1 - \exp\left(-\frac{UA}{C_{\min}}\left(1 - \frac{C_{\min}}{C_{\max}}\right)\right)}{1 - \left(\frac{C_{\min}}{C_{\max}}\right) \exp\left(-\frac{UA}{C_{\min}}\left(1 - \frac{C_{\min}}{C_{\max}}\right)\right)}$

όπου, C_{\min} η ελάχιστη χωρητικότητα του εναλλάκτη
 C_{\max} η μέγιστη χωρητικότητα του εναλλάκτη
 UA ο συνολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας

(Project31.tpf) Type5b

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Counter flow mode	2	-	More...		
2	Specific heat of hot side fluid	4.19		kJ/kg.K	More...	
3	Specific heat of cold side fluid	4.19		kJ/kg.K	More...	
4	Not used	0		-	More...	

Εικόνα 6.8: Οι παράμετροι λειτουργίας του εναλλάκτη θερμότητας

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Hot side inlet temperature	20.0	C	More...		
2	Hot side flow rate	100.0	kg/hr	More...		
3	Cold side inlet temperature	20.0	C	More...		
4	Cold side flow rate	100.0	kg/hr	More...		
5	Overall heat transfer coefficient of exchanger	10.0	kJ/hr.K	More...		

Εικόνα 6.9: Τα δεδομένα εισόδου του εναλλάκτη θερμότητας



Κυκλοφορητής Type 3b

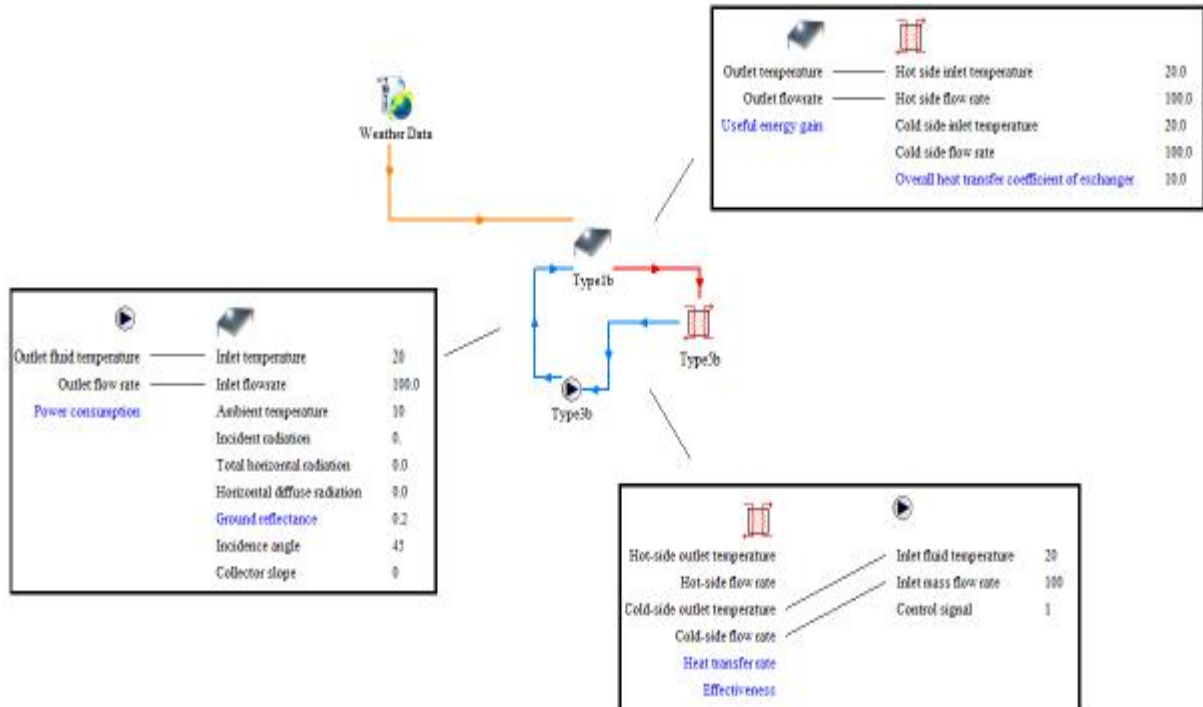
Αυτό το μοντέλο κυκλοφορητή σταθερών στροφών έχει τη δυνατότητα να υπολογίζει το ρυθμό της ροής της μάζας του ρευστού χρησιμοποιώντας μια μεταβλητή λειτουργία ελέγχου, η οποία πρέπει να έχει τιμή μεταξύ 1 και 0. Σε αυτή την περίπτωση του Type 3, η ισχύς της αντλίας μπορεί να υπολογιστεί είτε ως γραμμική συνάρτηση της παροχής της μάζας, είτε ως προς τη σχέση μεταξύ της παροχής της μάζας και της κατανάλωσης της ενέργειας από τον χρήστη.

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Maximum flow rate	100	kg/hr	More...		
2	Fluid specific heat	4.19	kJ/kg.K	More...		
3	Maximum power	60	kJ/hr	More...		
4	Conversion coefficient	0.05	-	More...		
5	Power coefficient	0.5	-	More...		

1	How many coefficients in the polynomial relating pump power to fluid flow rate?	1
---	---	---

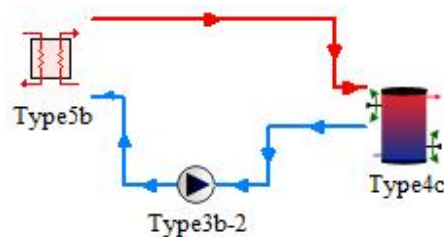
Εικόνα 6.10: Οι παράμετροι λειτουργίας του κυκλοφορητή

Η επικοινωνία των παραπάνω στοιχείων πραγματοποιείται μέσω των γραμμών σύνδεσης, η κατεύθυνση των οποίων καθορίζει και την ροή των πληροφοριών:



Εικόνα 6.11: Οι συνδέσεις του υποσυστήματος θερμικού συλλέκτη - εναλλάκτη

6.1.1.3 Υποσύστημα εναλλάκτη θερμότητας – δεξαμενή αποθήκευσης



Το καινούργιο προς ανάλυση στοιχείο του συγκεκριμένου υποσυστήματος είναι η δεξαμενή αποθήκευσης:



Δεξαμενή αποθήκευσης

Type 4c

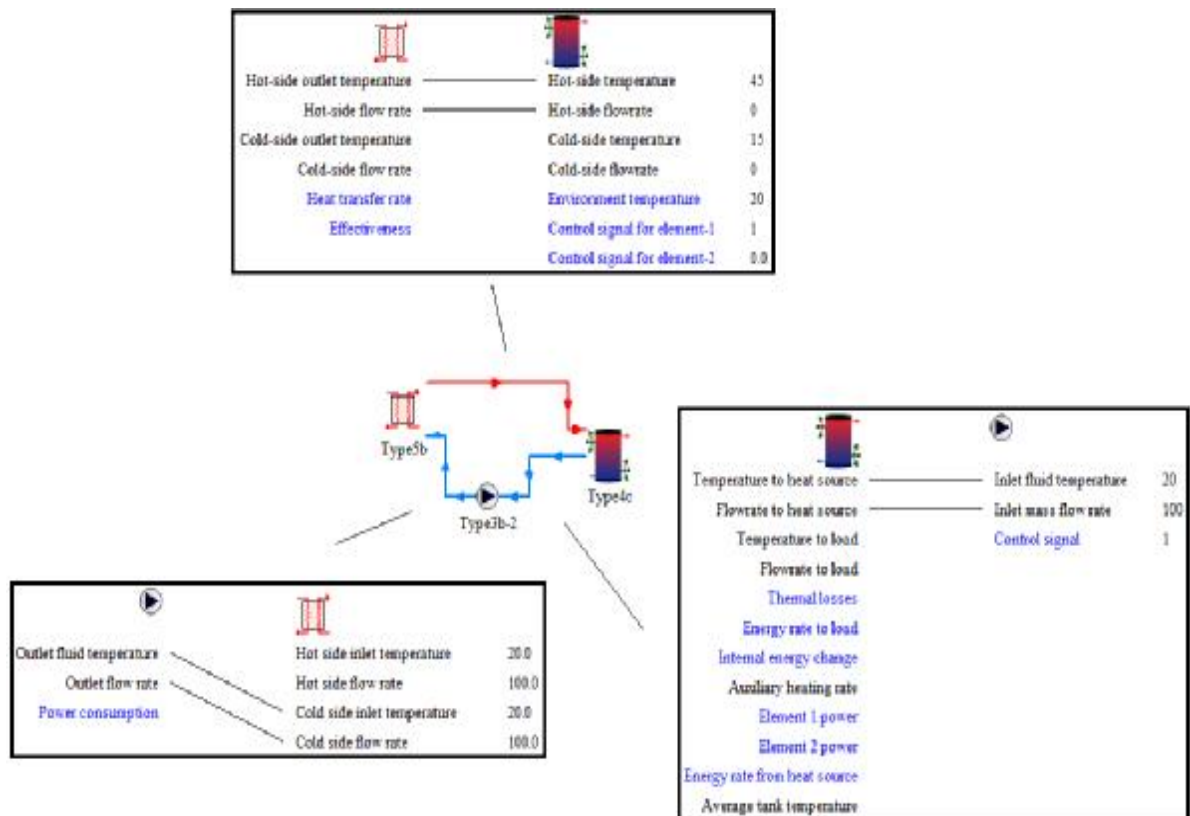
Για τη μοντελοποίηση του συστήματος επιλέχθηκε δεξαμενή αποθήκευση όγκου $V=0.4 \text{ m}^3$ (ή **400 lt**), στην οποία το αποθηκευόμενο νερό υφίσταται θερμικές διαστρωματώσεις ίσου πάχους. Επιπλέον, εσωτερικά της δεξαμενής βρίσκονται τοποθετημένες δύο ηλεκτρικές πηγές θερμότητας (elements), οι οποίες τίθενται σε λειτουργία σε περίπτωση που η θερμοκρασία του νερού στο πάνω μέρος της δεξαμενής δεν καλύπτει τις θερμοκρασιακές απαιτήσεις του ζεστού νερού χρήσης. Στην προκειμένη περίπτωση το θερμοκρασιακό όριο που καθορίζει την έναρξη της λειτουργίας των elements είναι οι **60 °C**.

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Variable inlet positions	2	-			More...
2	Tank volume	0.400	m ³			More...
3	Fluid specific heat	4.190	kJ/kg.K			More...
4	Fluid density	1000	kg/m ³			More...
5	Tank loss coefficient	2.5	kJ/hr.m ² .K			More...
6	Height of node-1	0.2	m			More...
7	Height of node-2	0.2	m			More...
8	Height of node-3	0.2	m			More...
9	Height of node-4	0.2	m			More...
10	Height of node-5	0.2	m			More...
11	Height of node-6	0.2	m			More...
12	Auxiliary heater mode	1	-			More...
13	Node containing heating element -1	1	-			More...
14	Node containing thermostat -1	1	-			More...
15	Set point temperature for element-1	60	C			More...
16	Deadband for heating element-1	0	deltaC			More...
17	Maximum heating rate of element -1	9000	kJ/hr			More...
18	Node containing heating element -2	1	-			More...
19	Node containing thermostat -2	1	-			More...
20	Set point temperature for element-2	60	C			More...
21	Deadband for heating element-2	0	deltaC			More...
22	Maximum heating rate of element -2	9000	kJ/hr			More...
23	Not used (Flue UA)	0.0	W/K			More...
24	Not used (Tflue)	20.0	C			More...
25	Boiling point	85	C			More...

1	How many temperature levels (nodes) should be used in the tank?	6
2	How many heating elements to be modeled in this tank?	2

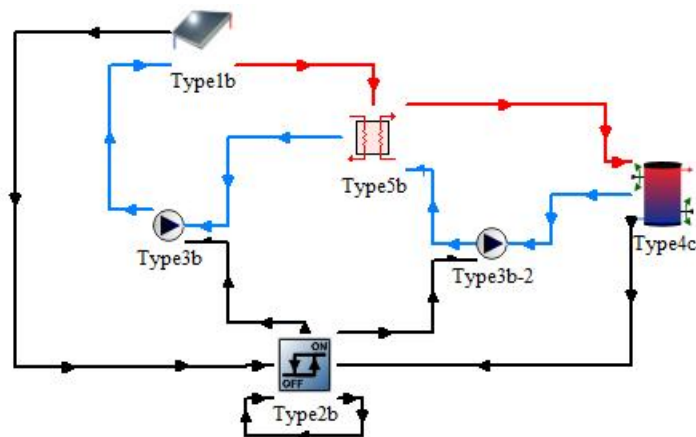
Εικόνα 6.12: Οι παράμετροι λειτουργίας της δεξαμενής αποθήκευσης

Η σύνδεση των παραπάνω στοιχείων προσομοίωσης του δευτέρου υποσυστήματος επιτυγχάνεται ως εξής:



Εικόνα 6.13: Οι συνδέσεις του υποσυστήματος εναλλάκτη – δεξαμενή αποθήκευσης

6.1.1.4 Υποσύστημα διαφορικού ελεγκτή





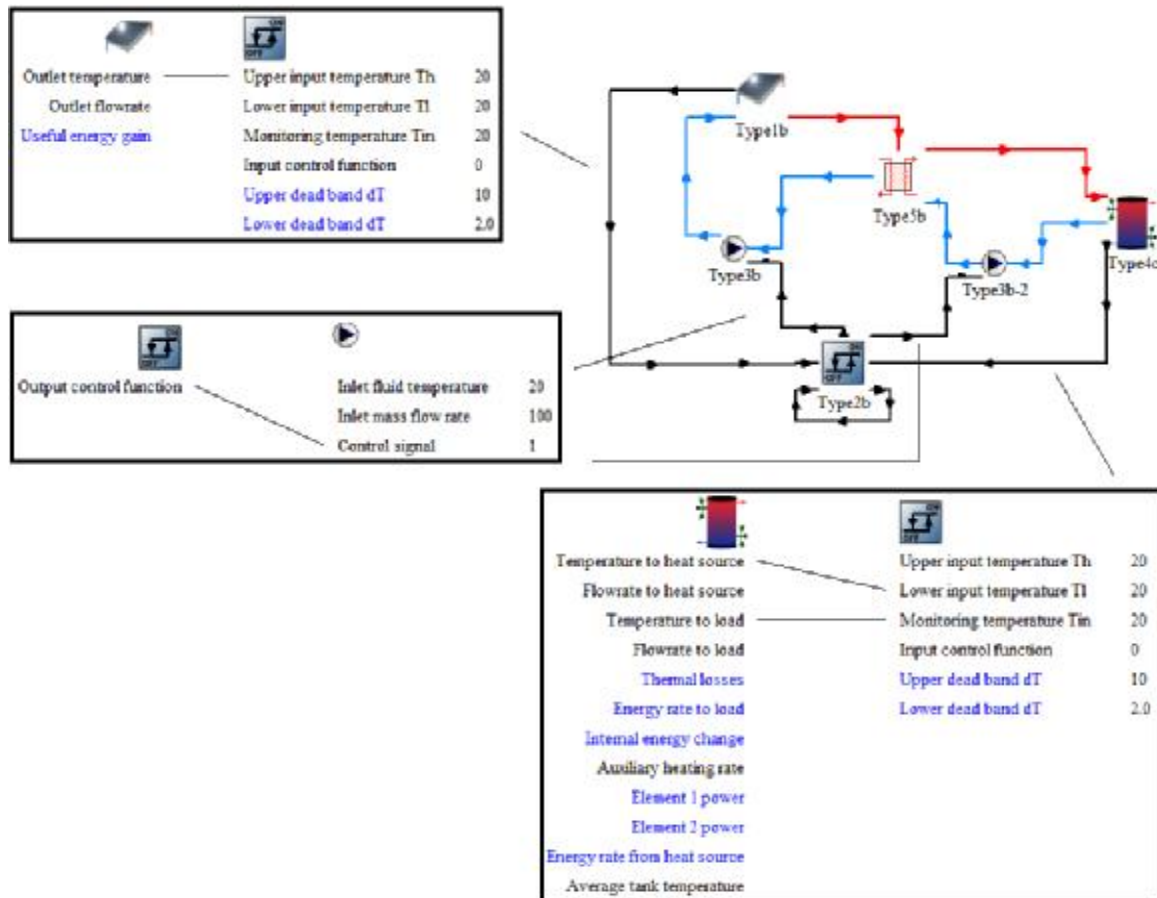
Διαφορικός ελεγκτής Type 2b

Η χρήση διαφορικού ελεγκτή αποσκοπεί στη σωστή λειτουργία του συστήματος. Πρόκειται για μία συσκευής που συγκρίνει τις εισερχόμενες σε αυτή τιμές και δίνει αποτέλεσμα το οποίο μπορεί να είναι 0 ή 1 για παύση και έναρξη της λειτουργίας, αντίστοιχα. Στη συγκεκριμένη προσομοίωση ο ελεγκτής εξετάζει τη θερμοκρασιακή διαφορά του νερού στην έξοδο του συλλέκτη και της δεξαμενής αποθήκευσης. Εάν η διαφορά θερμοκρασίας υπερβεί μια τιμή, ο ελεγκτής δίνει σήμα για την έναρξη του συστήματος για την κυκλοφορία και θέρμανση του νερού. Επιπλέον, για λόγους ασφαλείας ο ελεγκτής θέτει ένα υψηλό όριο διακοπής, έτσι ώστε να παραμείνει απενεργοποιημένος μέχρις ότου αυτή η θερμοκρασία εισόδου πέσει κάτω από το υψηλό όριο διακοπής.

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Upper input temperature Th	20	C	More...		
2	Lower input temperature Tl	20	C	More...		
3	Monitoring temperature Tin	20	C	More...		
4	Input control function	0	-	More...		
5	Upper dead band dT	10	any	More...		
6	Lower dead band dT	2.0	any	More...		
7	High limit cut-out	100	C	More...		

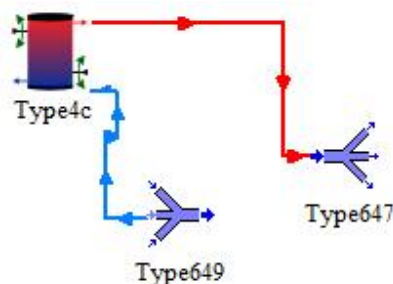
Εικόνα 6.14: Οι παράμετροι λειτουργίας του διαφορικού ελεγκτή

Ο ελεγκτής παρέχει τα απαραίτητα σήματα στο σύστημα προσομοίωσης με τις παρακάτω συνδέσεις:



Εικόνα 6.15: Οι συνδέσεις του διαφορικού ελεγκτή

6.1.1.5 Υποσύστημα δεξαμενής αποθήκευσης με βαλβίδες εκτροπής και ανάμιξης



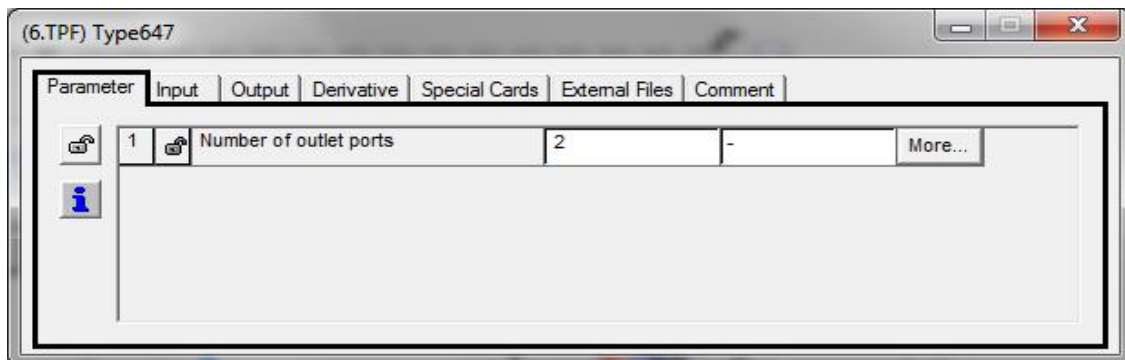
Στο σημείο αυτό της προσομοίωσης παρουσιάζεται αναλυτικά η λειτουργία της βαλβίδας εκτροπής και της βαλβίδας ανάμιξης.



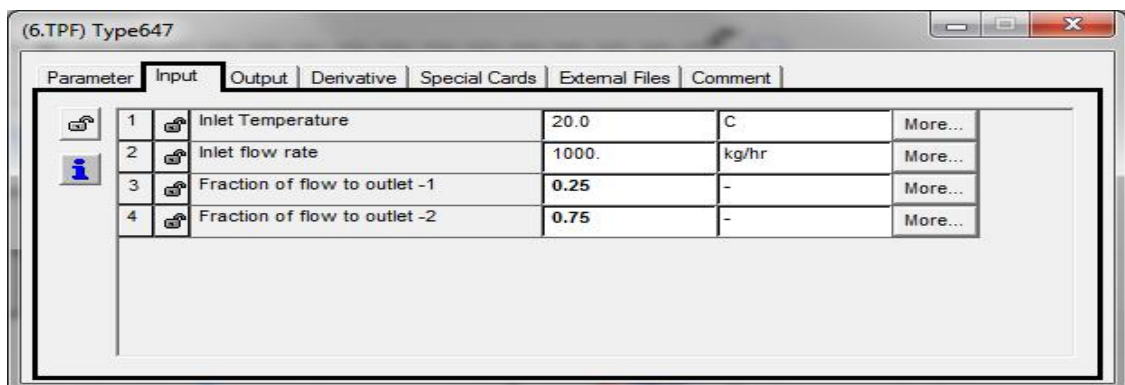
Βαλβίδα εκτροπής

Type 647

Το στοιχείο αυτό μοντελοποιεί τη βαλβίδα εκτροπής, η οποία έχει τη δυνατότητα να χωρίσει μια κεντρική ροή ρευστού συγκεκριμένης μαζικής παροχής και θερμοκρασίας στην είσοδο του στοιχείου σε πολλές μικρότερες ροές στην έξοδό του, με μέγιστο αριθμό εξόδων τις 100. Στο θερμικό σύστημα της προσομοίωσης το Type 647 χωρίζει το θερμό νερό που βγαίνει από την δεξαμενή σε δύο ξεχωριστά ρεύματα ίδιας θερμοκρασίας, έτσι ώστε ένα ποσοστό της συνολικής ποσότητας του νερού της δεξαμενής να παρέχεται για ζεστό νερό χρήσης και το υπόλοιπο ποσοστό να οδηγείται για την κάλυψη των φορτίων θέρμανσης χώρου.



Εικόνα 6.16: Οι παράμετροι λειτουργίας της βαλβίδας εκτροπής



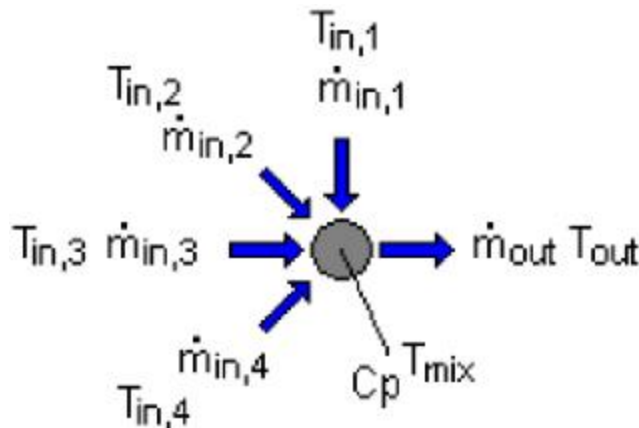
Εικόνα 6.17: Τα στοιχεία εισόδου της βαλβίδας εκτροπής



Βαλβίδα ανάμιξης

Type 649

Το Type 649 προσομοιώνει την λειτουργία μιας βαλβίδας ανάμιξης που συνδυάζει έως και 100 μεμονωμένες ροές ρευστού διαφόρων μαζικών παροχών \dot{m} και θερμοκρασιών T σε μία κεντρική έξοδο.

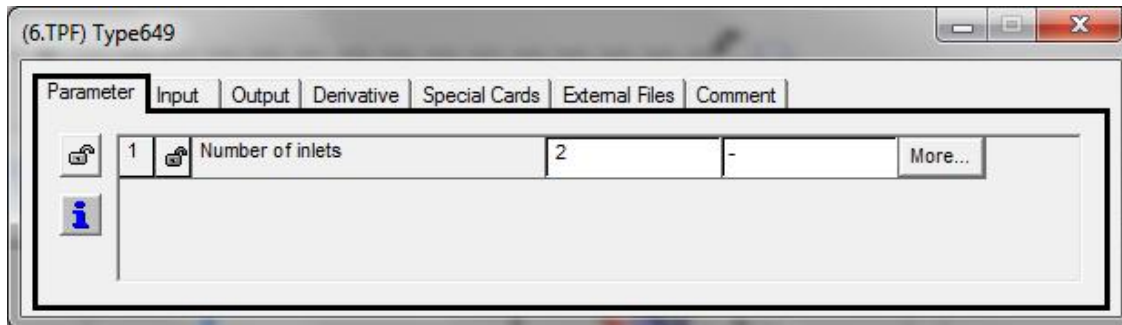


Το μοντέλο αυτό χαρακτηρίζεται από το κάτωθι ενεργειακό ισοζύγιο:

$$\dot{m}_{in,1} Cp(T_{in,1} - T_{mix}) + \dot{m}_{in,2} Cp(T_{in,2} - T_{mix}) + \dot{m}_{in,3} Cp(T_{in,3} - T_{mix}) + \dot{m}_{in,4} Cp(T_{in,4} - T_{mix}) = \dot{m}_{out} Cp(T_{out} - T_{mix})$$

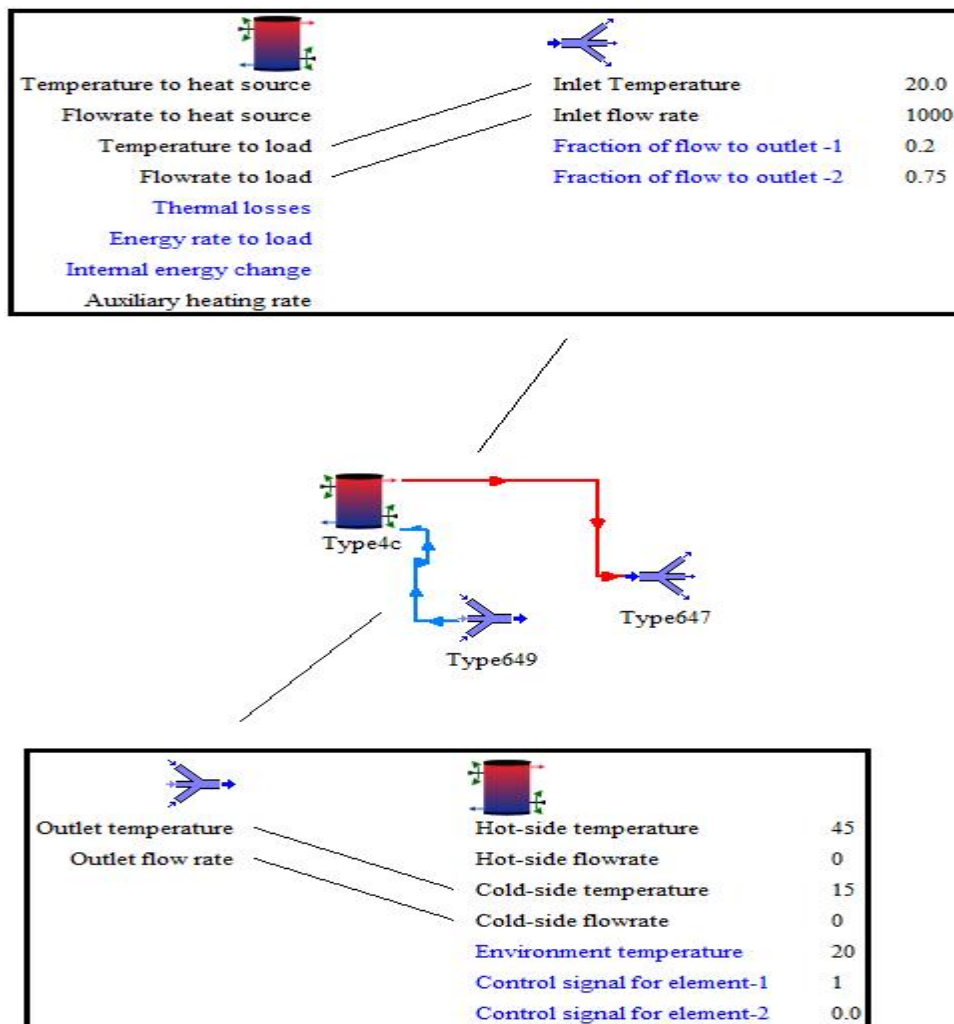
Θεωρώντας ότι το Cp είναι το ίδιο για κάθε ροή εισόδου και ότι οι θερμοκρασίες T_{mix} και T_{out} αντιστοιχούν στην θερμοκρασία εξόδου του ρευστού, η παραπάνω εξίσωση απλοποιείται και έτσι υπολογίζεται η θερμοκρασία του ρευστού στην έξοδο της βαλβίδας ανάμιξης:

$$T_{out} = \frac{\sum_{i=1}^{nPorts} \dot{m}_i T_{in,i}}{\sum_{j=1}^{nPorts} \dot{m}_j}$$



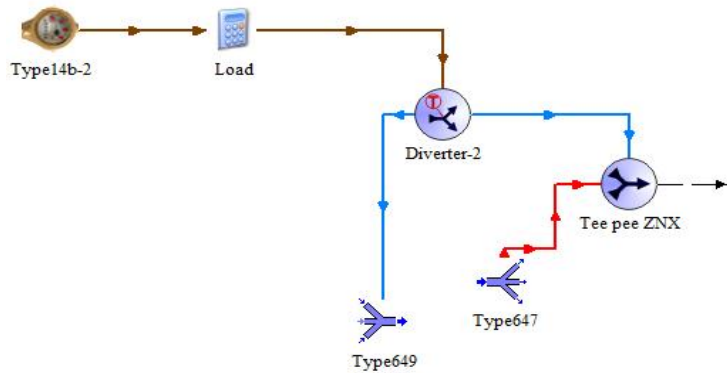
Εικόνα 6.18: Οι παράμετροι της βαλβίδας ανάμιξης

Τα παραπάνω υδραυλικά component για τον διαχωρισμό και την ανάμιξη των ροών επικοινωνούν με τη δεξαμενή αποθήκευσης με τις εξής συνδέσεις:



Εικόνα 6.19: Οι συνδέσεις του υποσυστήματος δεξαμενής αποθήκευσης - βαλβίδων

6.1.1.6 Υποσύστημα υδραυλικών βαλβίδων – φορτίο ζεστού νερού χρήσης



Στο παρόν υποσύστημα της προσομοίωσης παρουσιάζονται τα θερμικά φορτία ζεστού νερού χρήσης που καλείται να καλύψει η εγκατάσταση και η διαδρομή του ζεστού νερού από την δεξαμενή μέχρι τα φορτία αυτά. Τα μέρη από τα οποία απαρτίζεται το υποσύστημα είναι τα ακόλουθα:



Παροχόμετρο Type 14b

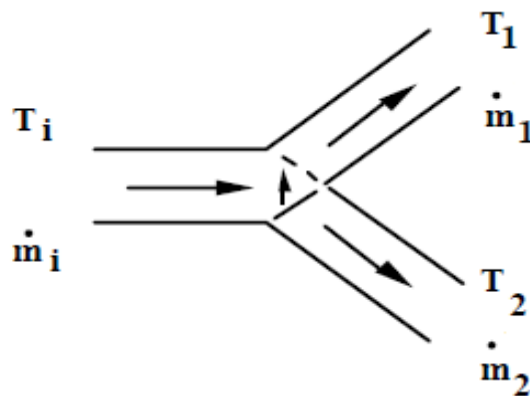
Το Type 14b εκφράζει μια χρονικά εξαρτώμενη συμπεριφορά καταναλώσεων, η οποία επαναλαμβάνεται σε συγκεκριμένο χρονικό μοτίβο. Η λειτουργία του component αυτού απεικονίζεται γραφικά από ένα σύνολο διακριτών σημείων που υποδεικνύουν την αξία της λειτουργίας του συστήματος σε διάφορους χρόνους κατά τη διάρκεια ενός κύκλου. Οι μονάδες που χρησιμοποιεί (kg/hr) διευκολύνουν την προσομοίωση παροχής νερού που προορίζεται για κατανάλωση. Για την προσομοίωση τα φορτία προς κάλυψη (ζεστό νερό χρήσης) αντιστοιχούν σε **200 lt** νερού την ημέρα.



Διαχωριστής

Type 11b

Ο διαχωριστής διαμοιράζει το νερό του δικτύου ύδρευσης στην πλήρωση της δεξαμενής αποθήκευσης μέσω της βαλβίδας ανάμιξης και στην ανάμιξη του ζεστού νερού χρήσης με νερό χαμηλότερης θερμοκρασίας, ώστε η θερμοκρασία του νερού χρήσης να βρίσκεται εντός των ορίων θερμικής άνεσης, όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο. Η θερμοκρασία του ζεστού νερού χρήσης επιλέγεται να είναι οι 45 °C.



(6.TPF) Diverter-2						
Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Inlet temperature	20.0	C	More...		
2	Inlet flow rate	100.0	kg/hr	More...		
3	Heat source temperature	55.0	C	More...		
4	Set point temperature	45	C	More...		

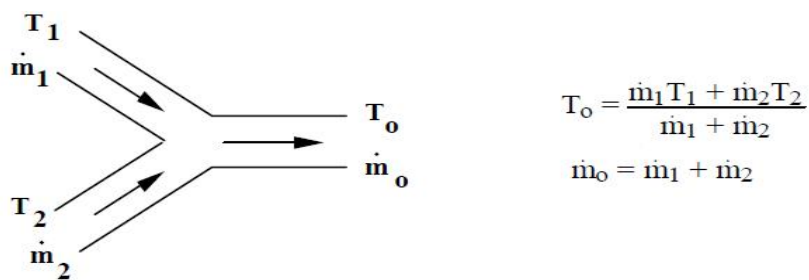
Εικόνα 6.22: Τα στοιχεία εισόδου του Diverter ZNX



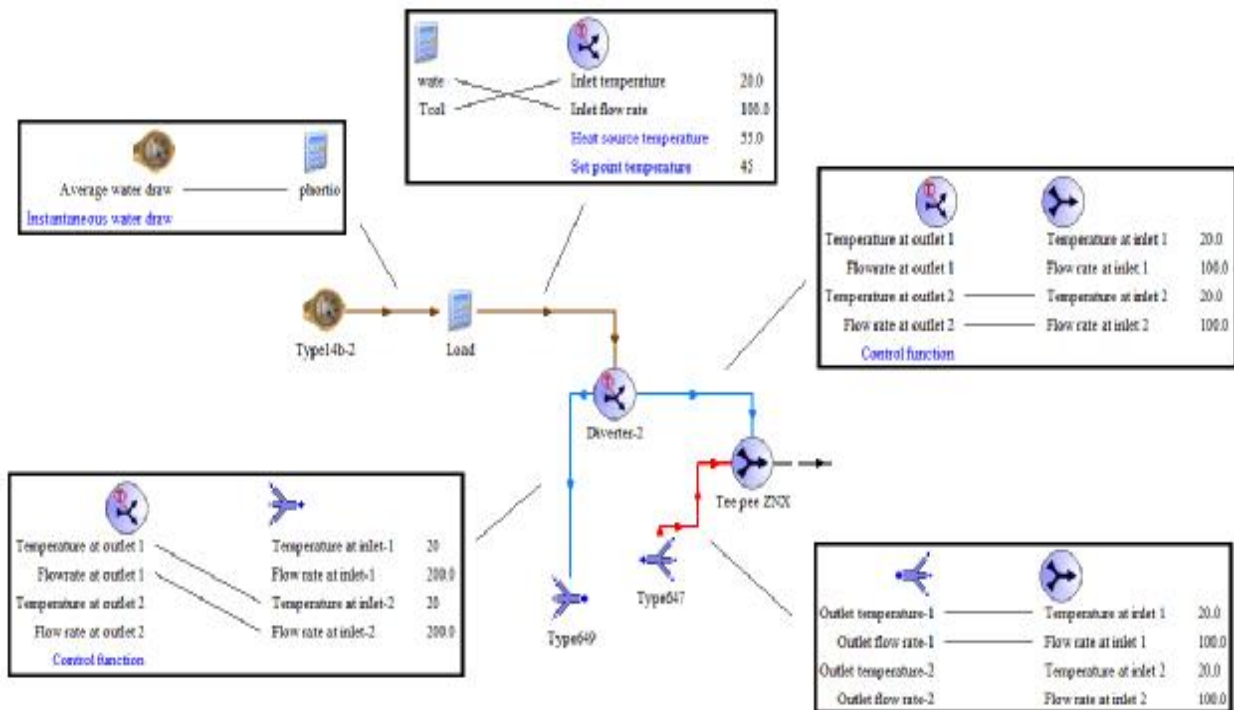
Εξάρτημα ανάμιξης

Type 11h

Το στοιχείο αυτό χρησιμεύει στην ανάμιξη του ζεστού νερού της δεξαμενής, σε περίπτωση που έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη από την επιθυμητή, με ποσότητα κρύου νερού του δικτύου. Ύστερα από την ένωση των δύο αυτών ρευμάτων νερού προκύπτει η τελική παροχή και θερμοκρασία του ζεστού νερού χρήσης.

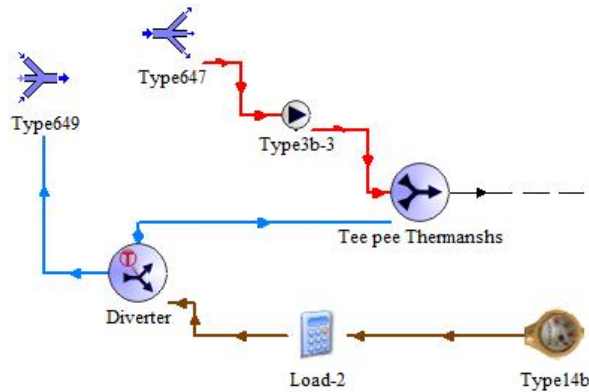


Οι συνδέσεις του εν λόγω υποσυστήματος παρουσιάζονται αναλυτικά:



Εικόνα 6.23: Οι συνδέσεις του υποσυστήματος βαλβίδων – φορτίο ζεστού νερού χρήσης

6.1.1.7 Υποσύστημα υδραυλικών βαλβίδων – φορτίο θέρμανσης χώρου

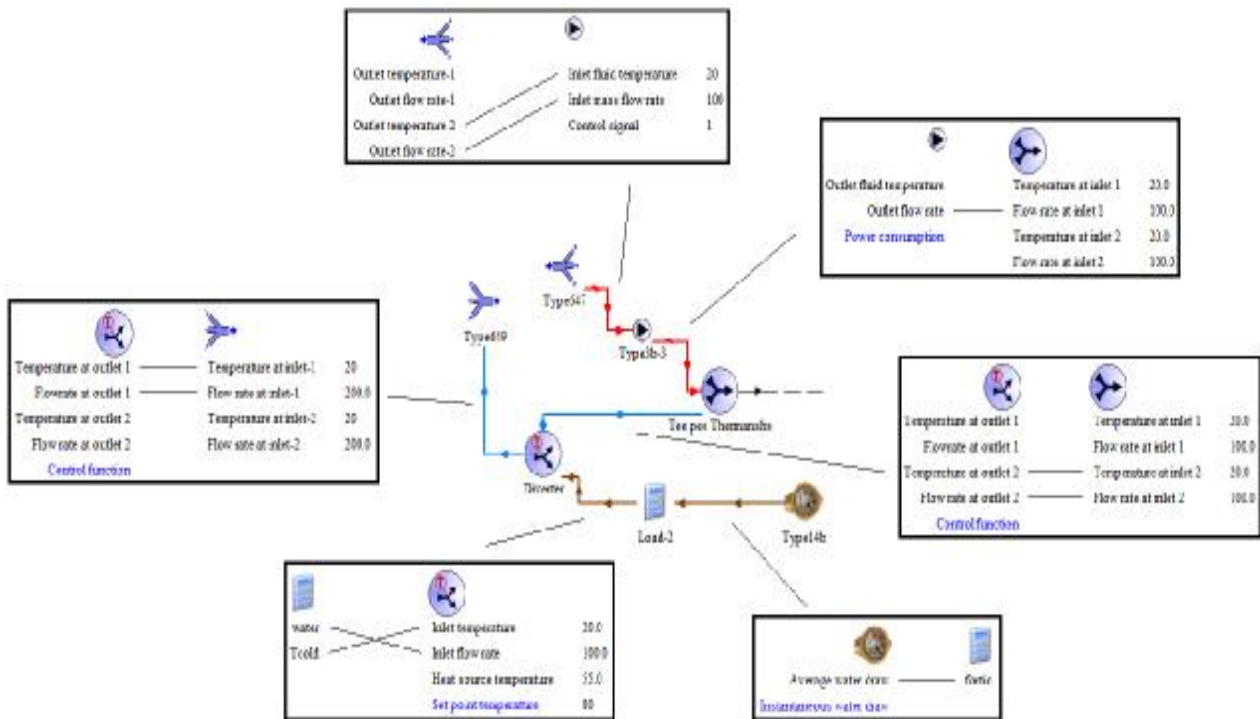


Στο συγκεκριμένο υποσύστημα παρουσιάζονται τα φορτία θέρμανσης χώρου που πρόκειται να καλύψει η παρούσα θερμική εγκατάσταση. Τα μέρη που αποτελούν το υποσύστημα είναι όμοια με αυτά του υποσυστήματος των υδραυλικών βαλβίδων με το φορτίο ζεστού νερού χρήσης. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι η επιθυμητή θερμοκρασία του νερού για την κάλυψη των φορτίων θέρμανσης χώρου καθορίζεται στους 70 °C (μέσω του Diverter θέρμανσης). Επιπλέον παρεμβάλλεται ένας κυκλοφορητής μεταξύ της βαλβίδας εκτροπής και του εξαρτήματος ανάμιξης (Tee pee θέρμανσης). Ακολουθούν τα στοιχεία εισόδου του Diverter θέρμανσης, όπου από εκεί ο χρήστης καθορίζει τη θερμοκρασία του νερού για την θέρμανση χώρου.

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Inlet temperature	20.0	C	More...		
2	Inlet flow rate	100.0	kg/hr	More...		
3	Heat source temperature	55.0	C	More...		
4	Set point temperature	70	C	More...		

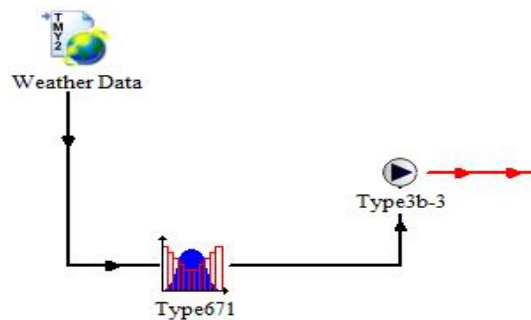
Εικόνα 6.24: Τα στοιχεία εισόδου του Diverter θέρμανσης

Οι συνδέσεις των στοιχείων του υποσυστήματος βαλβίδων και φορτίου θέρμανσης χώρου παρουσιάζονται παρακάτω:

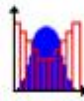


Εικόνα 6.25: Οι συνδέσεις του υποσυστήματος βαλβίδων – φορτίο θέρμανσης χώρου

6.1.1.8 Υποσύστημα πολλαπλού διαφορικού ελεγκτή



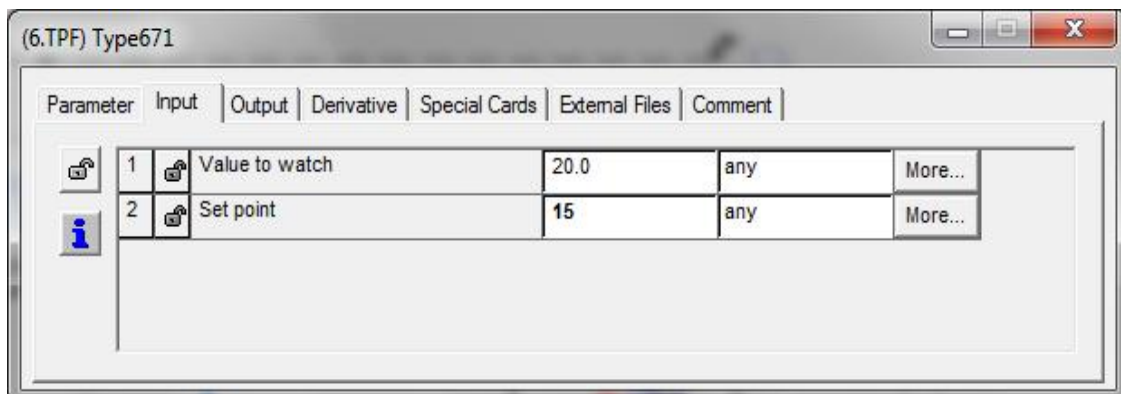
Αποτελεί το τελευταίο υποσύστημα της προσομοίωσης του πρώτου σεναρίου του θερμικού συστήματος, στο οποίο αναλύεται η λειτουργία του πολλαπλού διαφορικού ελεγκτή, καθώς και ο τρόπος σύνδεσής του με τα υπόλοιπα components του υποσυστήματος:



Πολλαπλός διαφορικός ελεγκτής

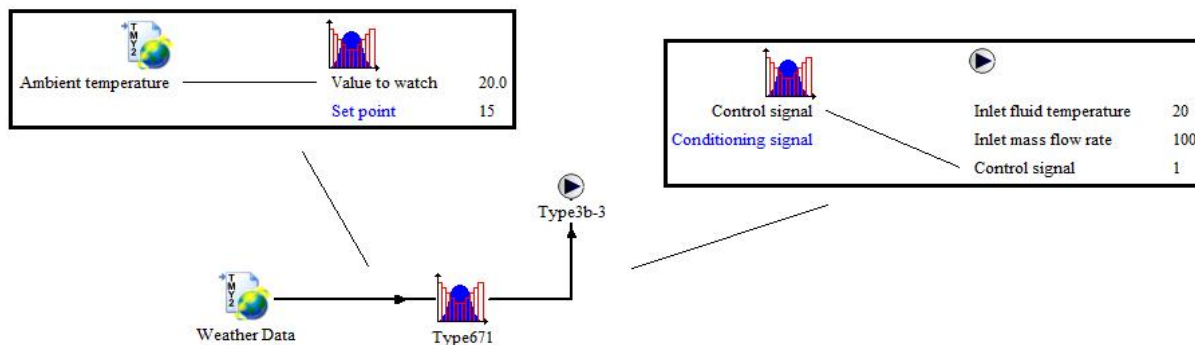
Type 671

Ο συγκεκριμένος διαφορικός ελεγκτής N-φάσεων διαμορφώνει την έξοδο του σε λειτουργίες ελέγχου ON/OFF που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο ενός συστήματος θέρμανσης. Αναλυτικά, ο διαφορικός ελεγκτής παρέχει ένα σήμα ελέγχου για τις τιμές εισόδου που του ορίζονται από τον χρήστη και αναλόγως δύναται να ενεργοποιήσει ή να απενεργοποιήσει τις λειτουργίες ελέγχου που επικοινωνούν με την έξοδό του. Στη θερμική διάταξη της προσομοίωσης αυτής ο πολλαπλός διαφορικός ελεγκτής χρησιμοποιείται ώστε να δίνει σήμα ελέγχου στον κυκλοφορητή του κυκλώματος δεξαμενής αποθήκευσης – φορτίων θέρμανσης και όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος ανέβει πάνω από τους 15 °C ο κυκλοφορητής απενεργοποιείται, άρα θα τίθεται εκτός λειτουργίας το κύκλωμα θέρμανσης χώρου.



Εικόνα 6.26: Τα στοιχεία εισόδου του πολλαπλού διαφορικού ελεγκτή

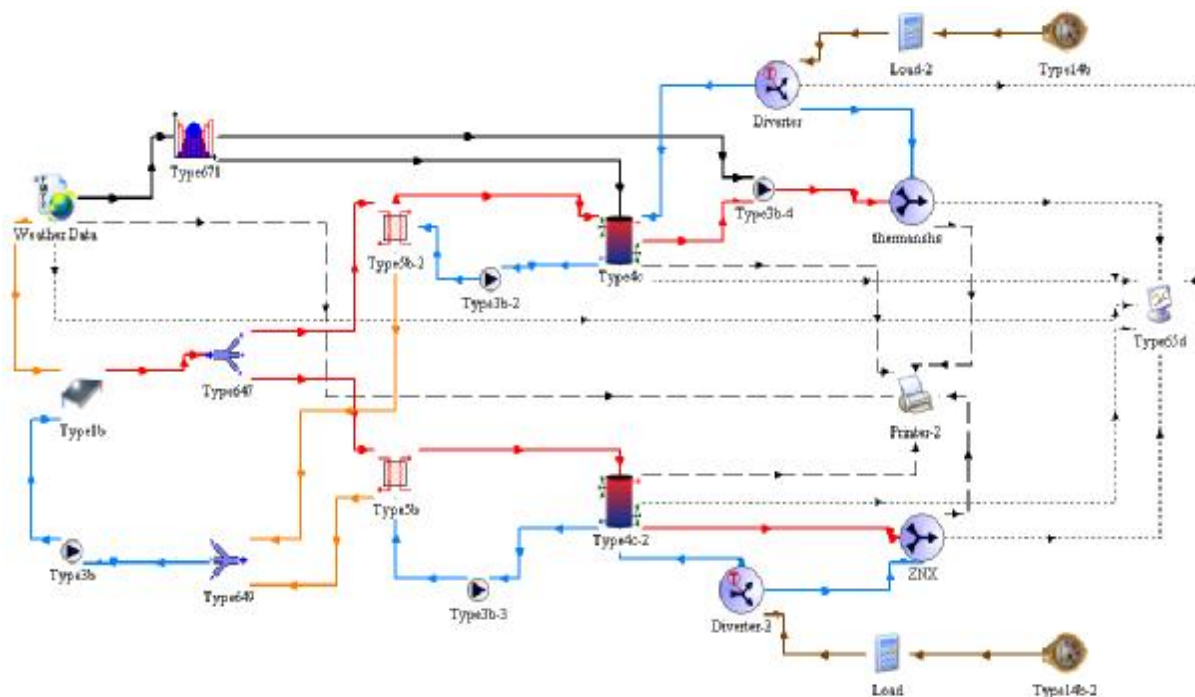
Επομένως, για να πληρούνται οι προϋποθέσεις που θέτει ο χρήστης, ο πολλαπλός διαφορικός ελεγκτής επικοινωνεί με τα components του καιρού και του κυκλοφορητή με τις κάτωθι συνδέσεις:



Εικόνα 6.27: Οι συνδέσεις του υποσυστήματος πολλαπλού διαφορικού ελεγκτή

Σε αυτό το σημείο ολοκληρώνεται το **πρώτο σενάριο** θερμικού συστήματος με μία δεξαμενή αποθήκευσης θερμού νερού για την κάλυψη των θερμικών φορτίων καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου. Ο μελετητής καθορίζει τις παραμέτρους λειτουργίας των μοντέλων προσομοίωσης που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και τα θερμικά φορτία που αφορούν το ζεστό νερό χρήσης και το νερό για τη θέρμανση χώρου.

6.1.2 Προσομοίωση θερμικού συστήματος εξαναγκασμένης κυκλοφορίας με δύο δεξαμενές αποθήκευσης



Εικόνα 6.28: Διάταξη προσομοίωσης θερμικού υποσυστήματος με δύο δεξαμενές αποθήκευσης

Το δεύτερο θερμικό σενάριο παρουσιάζει την διάταξη ενός θερμικού συστήματος εξαναγκασμένης κυκλοφορίας με δύο ξεχωριστές δεξαμενές αποθήκευσης. Η πρώτη δεξαμενή αποθηκεύει **200 lt** θερμό νερό για την κάλυψη των θερμικών αναγκών ζεστού νερού χρήσης, ενώ η δεύτερη δεξαμενή συνολικού όγκου **V= 0.2 m³** παρέχει την απαιτούμενη θερμότητα για τις ανάγκες θέρμανσης χώρου της κατοικίας. Τα μοντέλα προσομοίωσης είναι τα ίδια με τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση του θερμικού συστήματος εξαναγκασμένης κυκλοφορίας με μια δεξαμενή αποθήκευσης. Η διαφορά έγκειται κυρίως στη δομή της διάταξης, δηλαδή στην ύπαρξη δύο συστημάτων εναλλακτών θερμότητας - δεξαμενών αποθήκευσης για την κάλυψη των θερμικών αναγκών του συστήματος. Επομένως, χρησιμοποιούνται τα εξής μοντέλα προσομοίωσης

- Type 109-TMY2 → Κλιματολογικά δεδομένα
- Type 1b → Ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες
- Type 5b → Εναλλάκτης θερμότητας
- Type 3b → Κυκλοφορητής
- Type 4c → Δεξαμενή αποθήκευσης
- Type 647 → Βαλβίδα εκτροπής
- Type 649 → Βαλβίδα ανάμιξης
- Type 2b → Διαφορικός ελεγκτής (Controller)
- Type 671 → Πολλαπλός διαφορικός ελεγκτής
- Type 14b → Παροχόμετρο καταναλώσεων
- Μοντέλο εξισώσεων
- Type 11b → Διαχωριστής ροής
- Type 11h → Εξάρτημα ανάμιξης ροής
- Type 65 → Plotter
- Type 25 → Εκτυπωτής

Η έναρξη της προσομοίωσης πραγματοποιείται με την ένωση του μοντέλου προσομοίωσης Weather Data, το οποίο παρέχει πληροφορίες θερμοκρασίας περιβάλλοντος και έντασης ηλιακής ακτινοβολίας στη συστοιχία των ηλιακών θερμικών συλλεκτών, η οποία αξιοποιείται για την παραγωγή θερμού νερού στις εσωτερικές σωληνώσεις των θερμικών συλλεκτών.

Στη συνέχεια, το θερμό νερό από την έξοδο των συλλεκτών οδηγείται στη βαλβίδα εκτροπής, από την οποία εξέρχονται πλέον δύο ροές θερμού νερού και

οδηγούνται στην είσοδο των δύο διαφορετικών εναλλακτών θερμότητας (εναλλάκτες αντιρροής). Στον κάθε εναλλάκτη αντιρροής επιτυγχάνεται μεταφορά θερμότητας από το θερμό νερό του κυκλώματος των συλλεκτών προς τα δύο κυκλώματα νερού των δυο δεξαμενών αποθήκευσης (δεξαμενή αποθήκευσης για θέρμανση χώρου και δεξαμενή αποθήκευσης για ζεστό νερό χρήσης). Οι παροχές νερού του κυκλώματος των συλλεκτών που εξέρχονται από την πρώτη έξοδο των δυο εναλλακτών θερμότητας ενώνονται ακολούθως σε ένα ρεύμα μέσω της βαλβίδας ανάμιξης και με τη βοήθεια του κυκλοφορητή οδηγείται στην είσοδο των θερμικών συλλεκτών για να αναθερμανθεί και να επαναληφθεί η διαδικασία.

Από την άλλη πλευρά του εναλλάκτη για το κύκλωμα του ζεστού νερού χρήσης, εγκαθίσταται η δεξαμενή αποθήκευσης, η οποία προσλαμβάνει τα ποσά θερμότητας από το νερό που εξέρχεται από τη δεύτερη έξοδο του εναλλάκτη. Στη συνέχεια τοποθετείται ένας κυκλοφορητής, έτσι ώστε το κρύο νερό στο χαμηλότερο τμήμα της δεξαμενής να αντλείται μέσω αυτού και να οδηγείται στη δεύτερη είσοδο του εναλλάκτη θερμότητας για να αναθερμανθεί και να επιστρέψει στο πάνω μέρος της δεξαμενής αποθήκευσης, ξεκινώντας πάλι την ίδια διαδικασία. Η προσφορά των θερμικών φορτίων στην εγκατάσταση ολοκληρώνεται με την βοήθεια ενός αναμίκτη ροής, στον οποίο η θερμοκρασία του ζεστού νερού χρήσης προσαρμόζεται στα επιθυμητά επίπεδα (45 °C). Επιπλέον, για την πλήρωση της δεξαμενής αποθήκευσης με νερό από το τοπικό δίκτυο ύδρευσης, τοποθετείται το μοντέλο προσομοίωσης του Diverter.

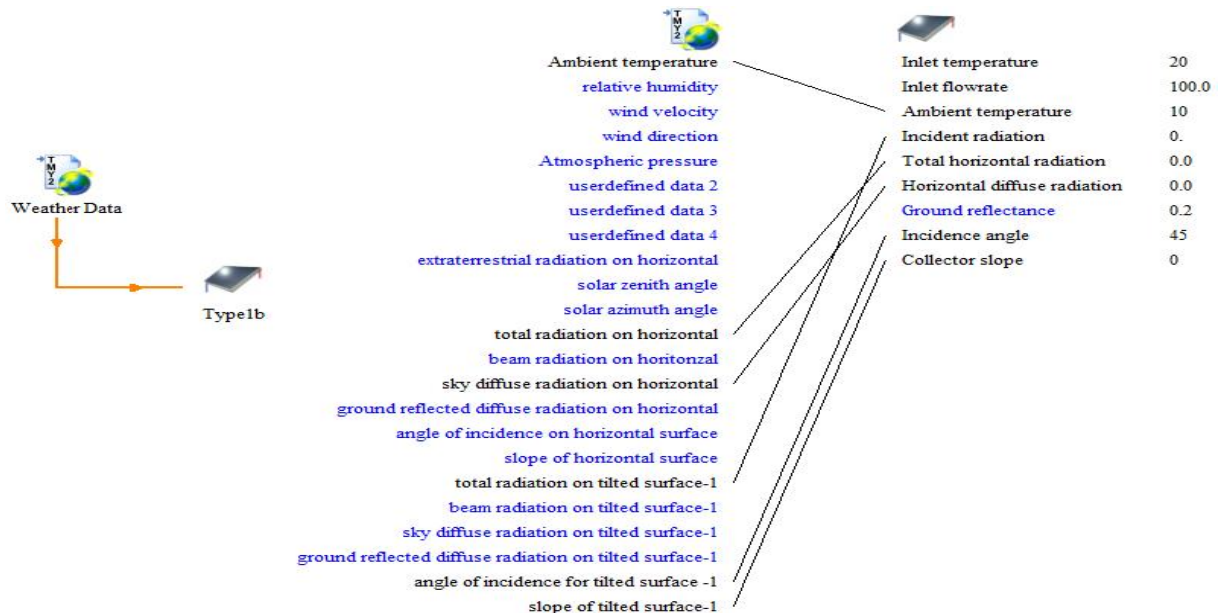
Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιείται και στο κύκλωμα του εναλλάκτη θερμότητας με τη δεξαμενή αποθήκευσης νερού για θέρμανση χώρου με τη διαφορά ότι τοποθετείται το μοντέλο προσομοίωσης του πολλαπλού διαφορικού ελεγκτή. Μέσω αυτού του μοντέλου η εγκατάσταση εκκινεί και διακόπτεται για προκαθορισμένες συνθήκες που έχουν επιλεγεί από το μελετητή. Ο πολλαπλός διαφορικός ελεγκτής συνδέεται με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να λαμβάνει σήματα θερμοκρασιών από τη δεξαμενή αποθήκευσης, από το περιβάλλον και από τον κυκλοφορητή που διανέμει το θερμό νερό θέρμανσης, με σκοπό την εκκίνηση του κυκλοφορητή όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος πέσει κάτω από μια ορισμένη θερμοκρασία ελέγχου (15 °C).

Με τη χρήση των μοντέλων προσομοίωσης plotter και printer επιτυγχάνεται η εμφάνιση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του θερμικού συστήματος. Έτσι, παρέχεται η δυνατότητα στον χρήστη να αναλύσει και να αξιολογήσει την λειτουργία του συστήματος ανά πάσα χρονική στιγμή.

Στη συνέχεια ακολουθεί η παρουσίαση των υποσυστημάτων της διάταξης του θερμικού συστήματος προσομοίωσης, καθώς και η ανάλυση των παραμέτρων λειτουργίας των μοντέλων προσομοίωσης και των επιμέρους συνδέσεών τους.

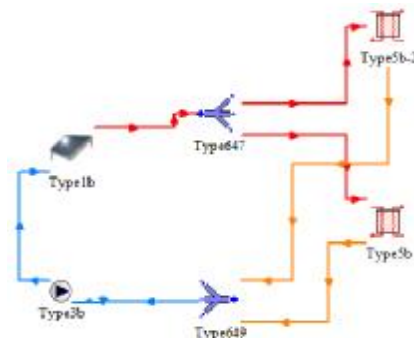
6.1.2.1 Υποσύστημα κλιματολογικών δεδομένων – θερμικοί συλλέκτες

Για την διεξαγωγή του δεύτερου σεναρίου του θερμικού συστήματος επιλέχθηκε οι παράμετροι λειτουργίας και οι συνδέσεις των components Weather Data και θερμικών συλλεκτών να μην μεταβληθούν. Επομένως, η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει σε συνολική συλλεκτική επιφάνεια $A_C = 20 \text{ m}^2$ κλίσης $\beta = 37^\circ$.

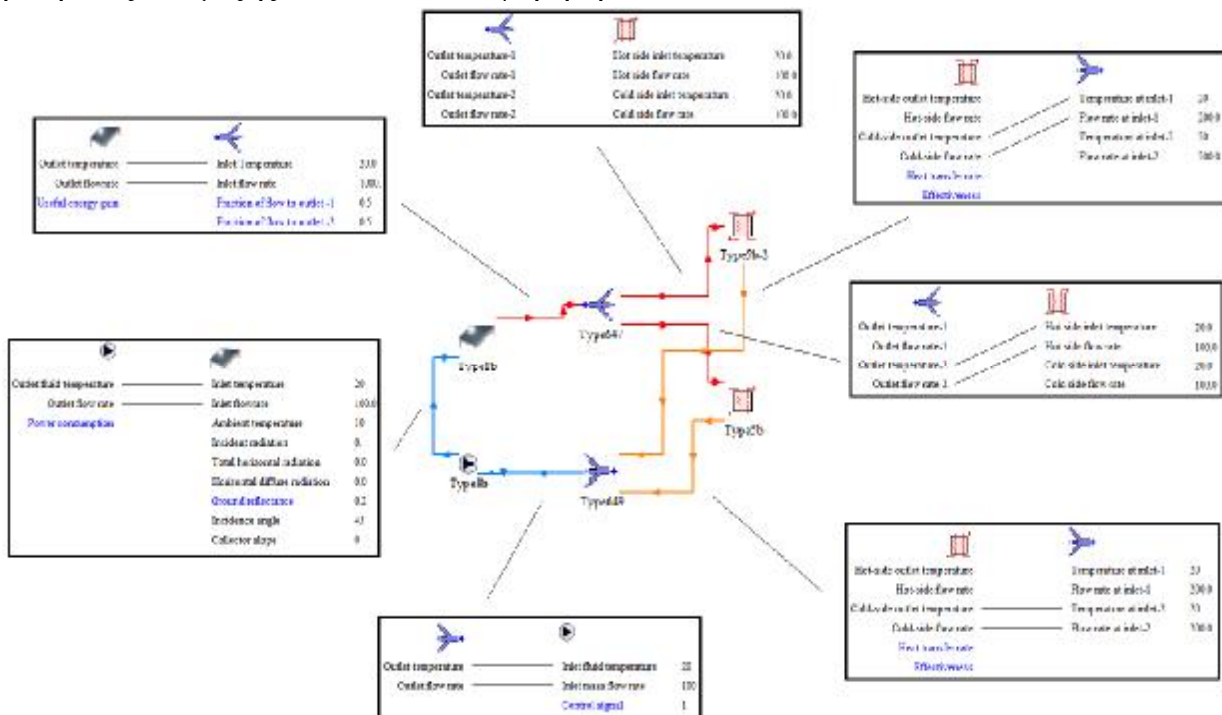


Εικόνα 6.29: Οι συνδέσεις μεταξύ του Weather Data και του ηλιακού θερμικού συλλέκτη

6.1.2.2 Υποσύστημα θερμικών συλλεκτών – εναλλάκτες θερμότητας

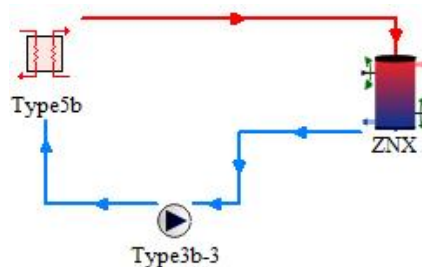


Όπως προαναφέρθηκε, στη συγκεκριμένη θερμική διάταξη παρουσιάζεται ο διαχωρισμός της κεντρικής παροχής θερμού νερού στην έξοδο των συλλεκτών σε δύο επιμέρους ροές θερμού νερού ίσης μαζικής παροχής και θερμοκρασίας, που καταλήγουν σε δύο εναλλάκτες θερμότητας. Ύστερα από την απαγωγή της θερμότητάς στους εναλλάκτες αντιρροής οι ροές νερού επιστρέφουν στην είσοδο των συλλεκτών, αφού πρώτα συγκεντρωθούν σε μία κεντρική ροή μέσω της βαλβίδας ανάμιξης και του κυκλοφορητή.



Εικόνα 6.30: Οι συνδέσεις του υποσυστήματος θερμικών συλλεκτών – εναλλάκτες θερμότητας

6.1.2.3 Υποσύστημα εναλλάκτη θερμότητας – δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης



Στο υποσύστημα εναλλάκτη θερμότητας και δεξαμενής αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης, οι παράμετροι του μοντέλου της δεξαμενής έχουν προσαρμοστεί

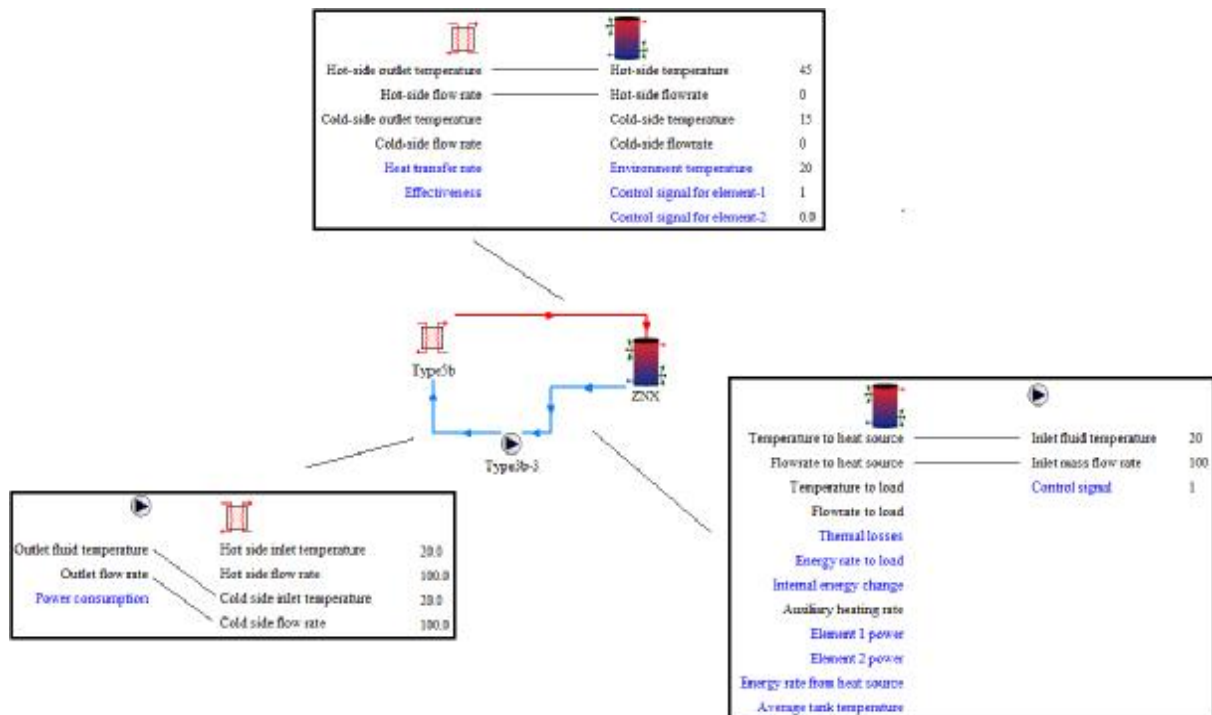
κατάλληλα έτσι ώστε να προσομοιώνεται η λειτουργία μιας δεξαμενής χαμηλών θερμοκρασιών, χωρητικότητας $V=0.2 \text{ m}^3$, με δύο επιπλέον ηλεκτρικά στοιχεία (elements), τα οποία τίθενται σε λειτουργία έως ότου η θερμοκρασία του νερού στο άνω τμήμα της δεξαμενής να φθάσει τους 45°C . Αναλυτικά οι παράμετροι λειτουργίας της δεξαμενής αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης παρουσιάζονται παρακάτω:

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Variable inlet positions	2	-			More...
2	Tank volume	0.200	m ³			More...
3	Fluid specific heat	4.190	kJ/kg.K			More...
4	Fluid density	1000	kg/m ³			More...
5	Tank loss coefficient	2.5	kJ/hr.m ² .K			More...
6	Height of node-1	0.2	m			More...
7	Height of node-2	0.2	m			More...
8	Height of node-3	0.2	m			More...
9	Height of node-4	0.2	m			More...
10	Height of node-5	0.2	m			More...
11	Height of node-6	0.2	m			More...
12	Auxiliary boiler mode	1	-			More...
13	Node containing heating element -1	1	-			More...
14	Node containing thermostat -1	1	-			More...
15	Set point temperature for element-1	45	°C			More...
16	Deadband for heating element-1	0	deltaC			More...
17	Maximum heating rate of element -1	9000	kJ/hr			More...
18	Node containing heating element -2	1	-			More...
19	Node containing thermostat -2	1	-			More...
20	Set point temperature for element-2	45	°C			More...
21	Deadband for heating element-2	0	deltaC			More...
22	Maximum heating rate of element -2	9000	kJ/hr			More...
23	Not used (Flow UA)	0.0	W/K			More...
24	Not used (Tflow)	20.0	°C			More...
25	Boiling point	55	°C			More...

1	How many temperature levels (nodes) should be used in the tank?	6
2	How many heating elements to be modeled in this tank?	2

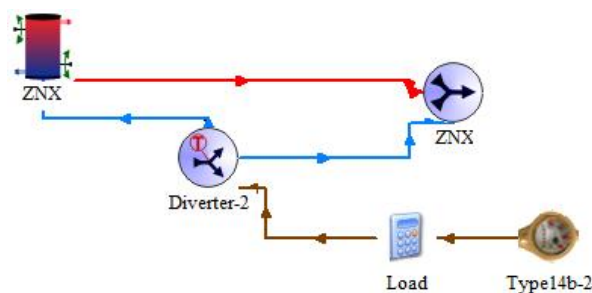
Εικόνα 6.31: Οι παράμετροι της δεξαμενής αποθήκευσης ΖΝΧ

Τα μοντέλα προσομοίωσης που τοποθετήθηκαν στο συγκεκριμένο υποσύστημα επικοινωνούν μεταξύ τους σύμφωνα με τις παρακάτω συνδέσεις:

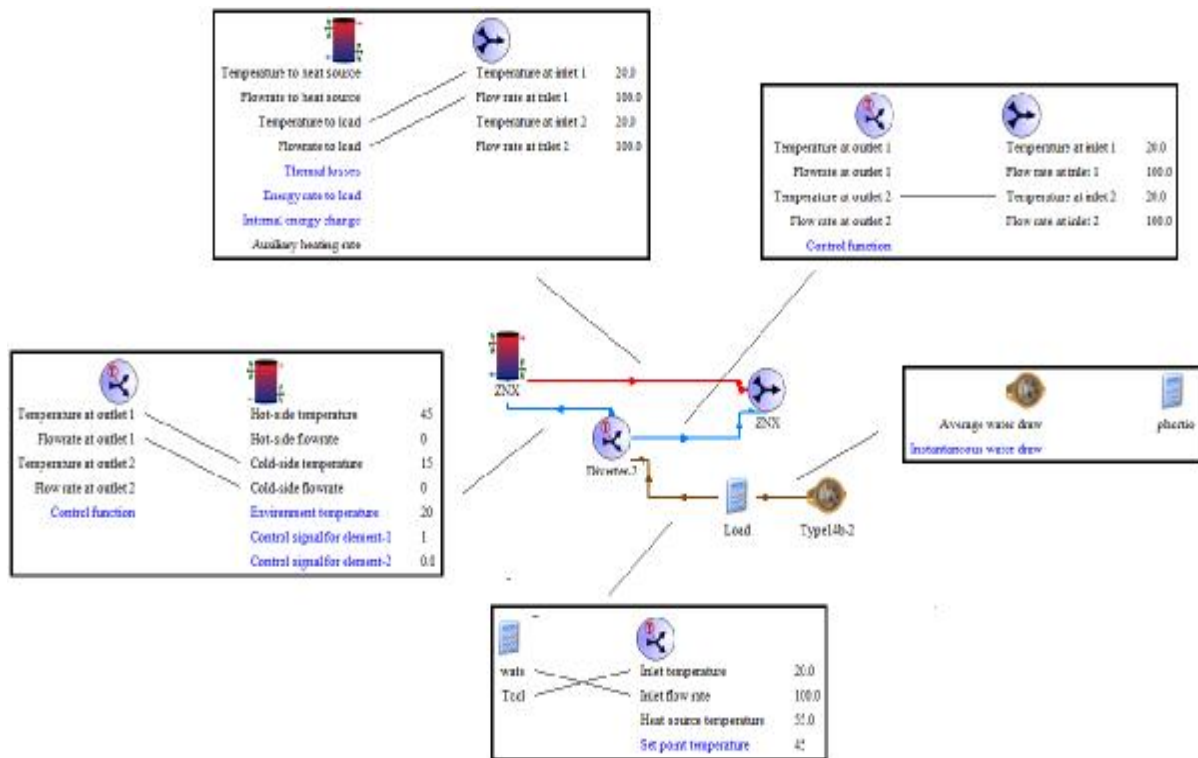


Εικόνα 6.32: Οι συνδέσεις του υποσυστήματος εναλλάκτη θερμότητας - δεξαμενής ZNX

6.1.2.4 Υποσύστημα δεξαμενής αποθήκευσης ZNX - φορτία ζεστού νερού χρήσης



Σε αυτό το σημείο παρέχεται η θερμική ενέργεια της δεξαμενής αποθήκευσης στα θερμικά φορτία κατανάλωσης ζεστού νερού χρήσης μέσω του αναμίκτη ροής και του Diverter, έτσι ώστε η θερμοκρασία του νερού να καλύπτει τους 45°C. Η απαίτηση αυτή πραγματοποιείται με τις ακόλουθες συνδέσεις των μοντέλων προσομοίωσης:



Εικόνα 6.33: Οι συνδέσεις του υποσυστήματος δεξαμενής ZNX - φορτία κατανάλωσης

6.1.2.5 Υποσύστημα εναλλάκτη θερμότητας – δεξαμενή αποθήκευσης νερού για θέρμανση χώρου



Για το υποσύστημα εναλλάκτη θερμότητας και δεξαμενής αποθήκευσης νερού για θέρμανση χώρου, οι παράμετροι του μοντέλου της δεξαμενής καθορίζονται με σκοπό την προσομοίωση μιας δεξαμενής υψηλών θερμοκρασιών, χωρητικότητας $V=0.2 \text{ m}^3$, με δύο εσωτερικά ηλεκτρικά στοιχεία (elements), τα οποία δεν επιτρέπουν στη θερμοκρασία του νερού στο άνω τμήμα της δεξαμενής να πέσει κάτω από τους 70°C . Αναλυτικά οι παράμετροι λειτουργίας της δεξαμενής αποθήκευσης ζεστού νερού χρήσης παρουσιάζονται παρακάτω:

(123456.TPF) Type4c

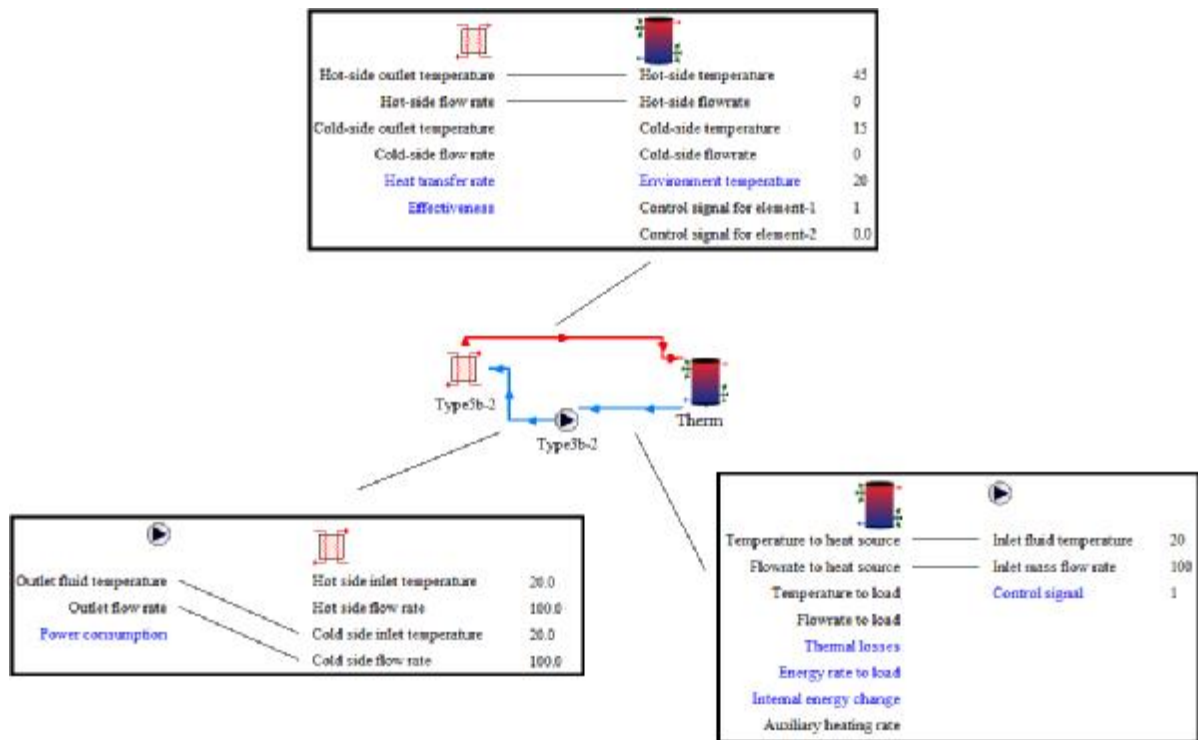
Parameter | Input | Output | Derivative | Special Cards | External Files | Comment

1	Variable inlet positions	2	-	More...
2	Tank volume	0.200	m ³	More...
3	Fluid specific heat	4.190	kJ/kg.K	More...
4	Fluid density	1000	kg/m ³	More...
5	Tank loss coefficient	2.5	kJ/hr.m ² .K	More...
6	Height of node-1	0.2	m	More...
7	Height of node-2	0.2	m	More...
8	Height of node-3	0.2	m	More...
9	Height of node-4	0.2	m	More...
10	Height of node-5	0.2	m	More...
11	Height of node-6	0.2	m	More...
12	Auxiliary heater mode	1	-	More...
13	Node containing heating element -1	1	-	More...
14	Node containing thermostat -1	1	-	More...
15	Set point temperature for element-1	70	C	More...
16	Deadband for heating element-1	0	deltaC	More...
17	Maximum heating rate of element -1	9000	kJ/hr	More...
18	Node containing heating element -2	1	-	More...
19	Node containing thermostat -2	1	-	More...
20	Set point temperature for element-2	70	C	More...
21	Deadband for heating element-2	0	deltaC	More...
22	Maximum heating rate of element -2	9000	kJ/hr	More...
23	Not used (Flue UA)	0.0	W/K	More...
24	Not used (Tflue)	20.0	C	More...
25	Boiling point	85	C	More...

1	How many temperature levels (nodes) should be used in the tank?	6
2	How many heating elements to be modeled in this tank?	2

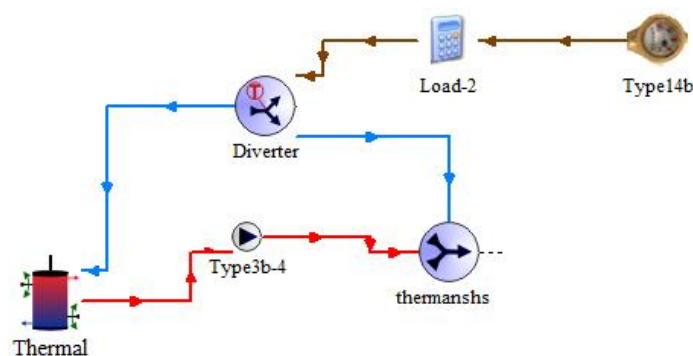
Εικόνα 6.34: Οι παράμετροι της δεξαμενής αποθήκευσης νερού θέρμανσης χώρου

Τα μοντέλα προσομοίωσης του εναλλάκτη θερμότητας, της δεξαμενής αποθήκευσης και του κυκλοφορητή που τοποθετήθηκαν στο παρόν υποσύστημα επικοινωνούν μεταξύ τους σύμφωνα με τις παρακάτω συνδέσεις:

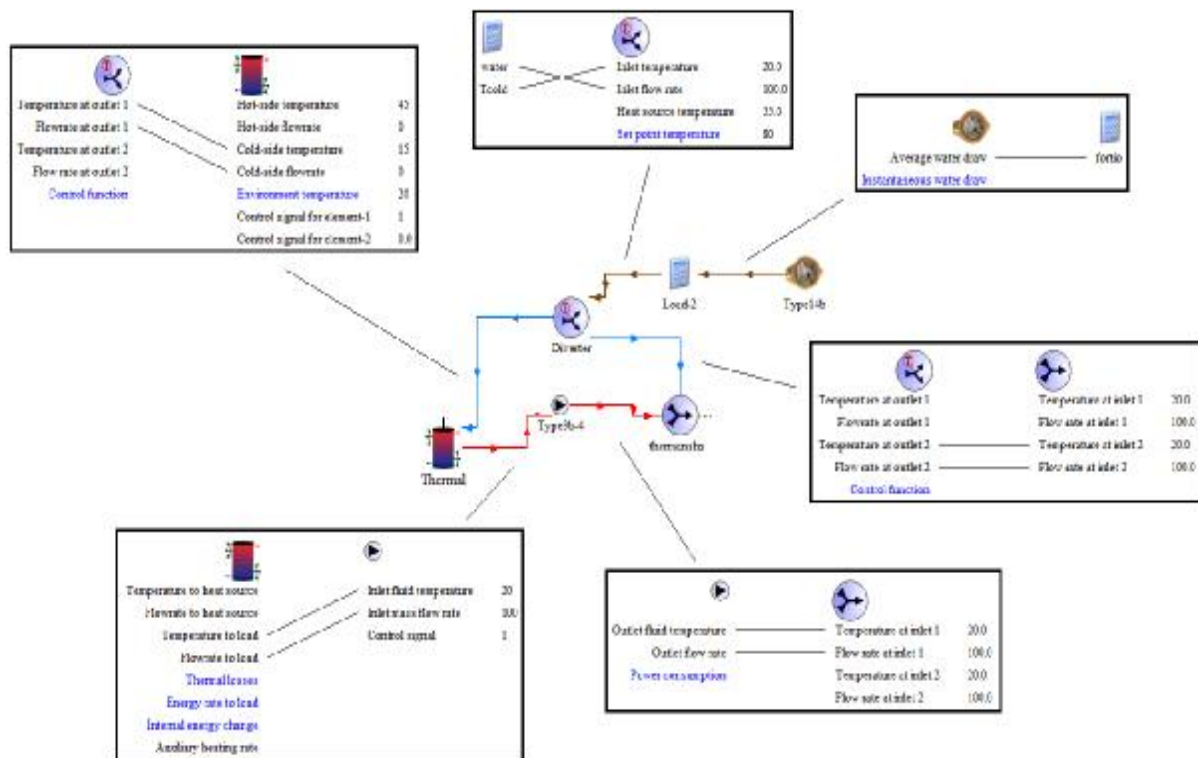


Εικόνα 6.35: Οι συνδέσεις του υποσυστήματος εναλλάκτη θερμότητας - δεξαμενής νερού θέρμανση χώρου

6.1.2.6 Υποσύστημα δεξαμενής αποθήκευσης νερού θέρμανσης χώρου – φορτία κατανάλωσης

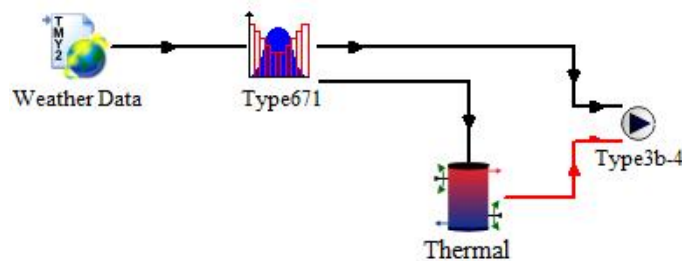


Από την δεξαμενή αποθήκευσης διανέμεται η θερμική ενέργεια στα φορτία θέρμανσης χώρου μέσω του αναμίκτη ροής και του Diverter, έτσι ώστε η θερμοκρασία του νερού να καλύπτει τους **70°C**. Η απαίτηση αυτή πραγματοποιείται με τις ακόλουθες συνδέσεις των μοντέλων προσομοίωσης:



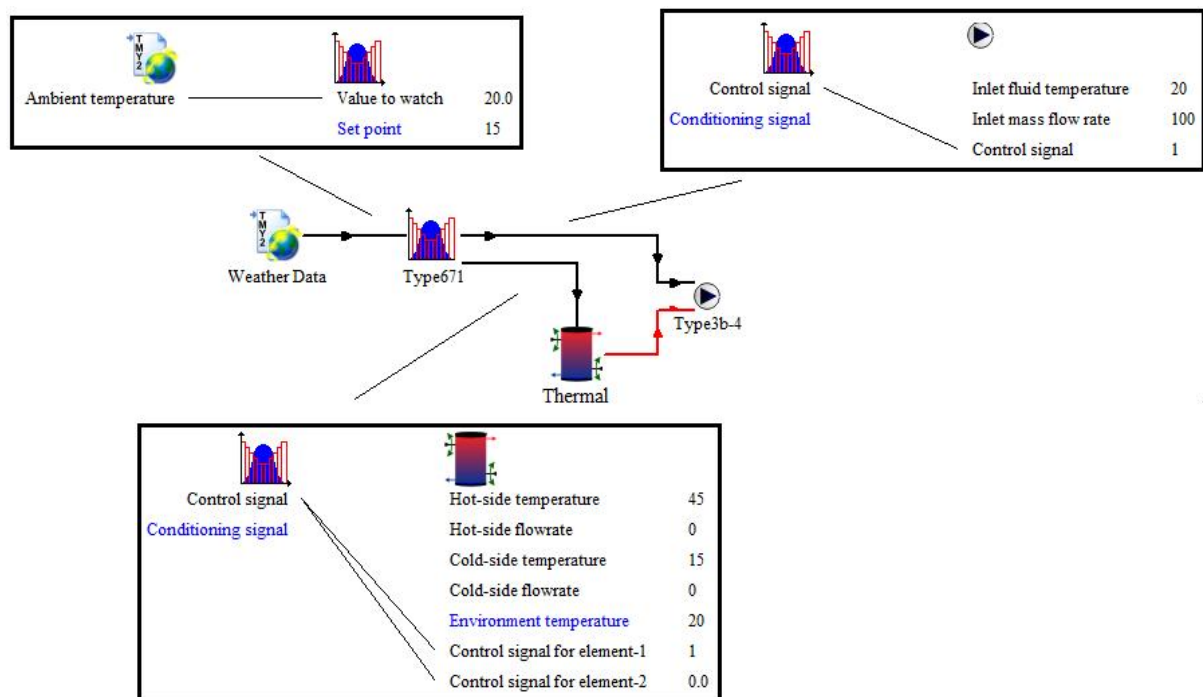
Εικόνα 6.36: Οι συνδέσεις του υποσυστήματος δεξαμενής νερού θέρμανσης χώρου – φορτία θέρμανσης χώρου

6.1.2.7 Υποσύστημα πολλαπλού διαφορικού ελεγκτή



Τέλος, παρουσιάζεται το τελευταίο υποσύστημα της προσομοίωσης του δεύτερου σεναρίου του θερμικού συστήματος με δύο ξεχωριστές δεξαμενές αποθήκευσης θερμότητας, στο οποίο αναλύεται ο τρόπος σύνδεσής του πολλαπλού διαφορικού ελεγκτή με τα υπόλοιπα components του υποσυστήματος. Οι παράμετροι λειτουργίας του δε μεταβάλλονται συγκριτικά με το πρώτο σενάριο (θερμικό σύστημα με μία δεξαμενή αποθήκευσης). Επομένως, κατ' απαίτηση του μελετητή ο ελεγκτής θέτει εκτός λειτουργίας τα element και τον κυκλοφορητή, με

σκοπό να αποκόψει τη ροή θερμού νερού προς την κάλυψη των φορτίων θέρμανσης χώρου, όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος υπερβαίνει τους 15°C:

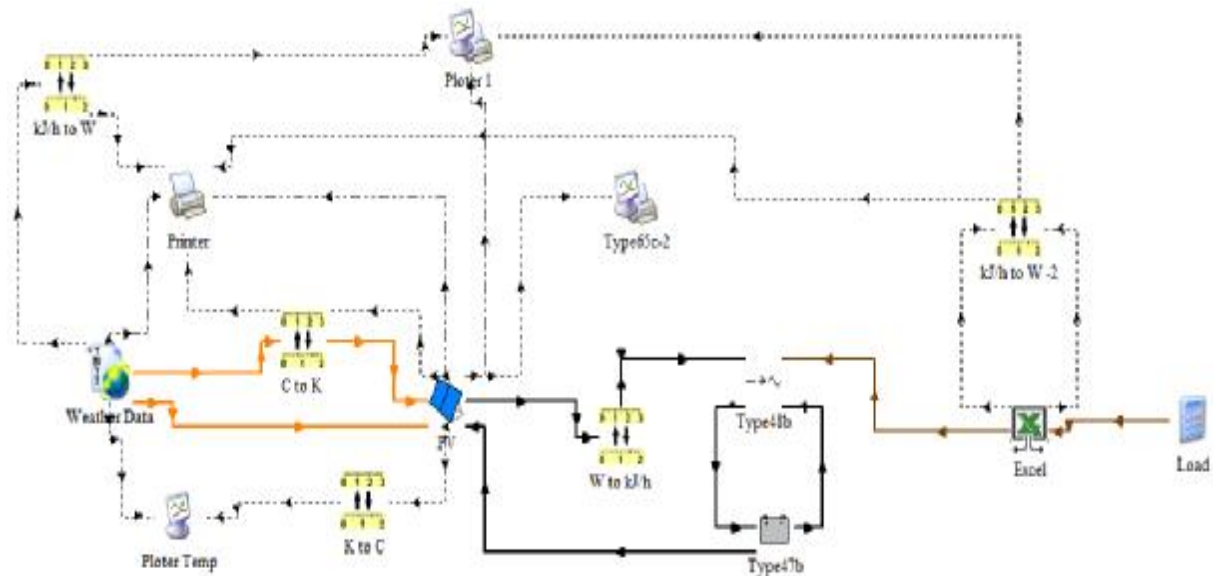


Εικόνα 6.37: Οι συνδέσεις του υποσυστήματος του πολλαπλού διαφορικού ελεγκτή

Σε αυτό το σημείο ολοκληρώνεται και το **δεύτερο σενάριο** θερμικού συστήματος που αποτελείται από τις δύο δεξαμενές αποθήκευσης θερμού νερού για την κάλυψη των θερμικών φορτίων καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Κατά τη σύγκριση των δύο παραπάνω σεναρίων προσομοίωσης, αξίζει να σημειωθεί ότι η διάταξη που προσομοιώνει ορθότερα μια θερμική εγκατάσταση για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρου εμπίπτει στο 2^ο σενάριο (τοποθέτηση δύο δεξαμενών αποθήκευσης), καθώς προτιμάται το ζεστό νερό χρήσης να μην αναμιγνύεται με το νερό που προορίζεται για την κάλυψη των φορτίων θέρμανσης χώρου. Όμως, η διάταξη αυτή έχει μεγαλύτερο κόστος, λόγω των λειτουργικών εξόδων της. Για το λόγο αυτό, η διάταξη του 1^{ου} σεναρίου προτείνεται για την προσομοίωση του θερμικού συστήματος, αφού οι διαφορές των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης των δύο σεναρίων παρουσιάζουν την ελάχιστη δυνατή απόκλιση.

6.2 Προσομοίωση Φωτοβολταϊκού συστήματος



Εικόνα 6.38: Διάταξη προσομοίωσης Φωτοβολταϊκού υποσυστήματος

Το φωτοβολταϊκό σύστημα προσομοίωσης αποτελεί το δεύτερο μέρος της μελέτης του υβριδικού συστήματος στο TRNSYS Simulation Studio. Η προσομοίωση στοχεύει στην παρουσίαση του συστήματος μιας αυτόνομης φωτοβολταϊκής εγκατάστασης όπου και εδώ, όπως και στο θερμικό σύστημα, ο μελετητής θα ορίζει τις παραμέτρους λειτουργίας του συστήματος. Τα μοντέλα (components) που χρησιμοποιήθηκαν για τη σχεδίαση του συγκεκριμένου συστήματος είναι τα παρακάτω:

- Type 109-TMY2 → Κλιματολογικά δεδομένα
- Type 94a → Κρυσταλλικό ΦΒ πλαίσιο
- Type 57 → Μετατροπέας μονάδων
- Type 48b → Inverter
- Type 47b → Συσσωρευτές αποθήκευσης
- Type 62 → Calling Excel
- Μοντέλο εξισώσεων
- Type 65 → Plotter
- Type 25 → Εκτυπωτής

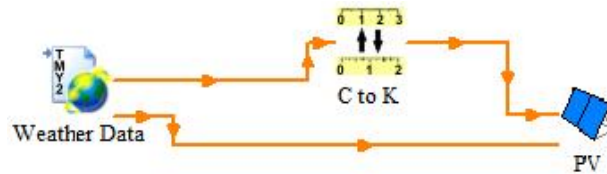
Στο Φωτοβολταϊκό σύστημα προσομοίωσης η ροή των πληροφοριών ξεκινάει από το μοντέλο προσομοίωσης των κλιματολογικών δεδομένων, όπως άλλωστε συμβαίνει και στο θερμικό σύστημα. Από το μοντέλο κλιματολογικών δεδομένων (Weather Data) παρέχονται πληροφορίες θερμοκρασίας περιβάλλοντος και έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας, οι οποίες εισάγονται στην είσοδο του μοντέλου προσομοίωσης των κρυσταλλικών φωτοβολταϊκών πλαισίων. Το μοντέλο των Φ/Β πλαισίων επεξεργάζεται τα δεδομένα καιρού υπολογίζοντας τη παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς συνεχούς τάσης (DC) που αντιστοιχεί στην ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην φωτοβολταϊκή επιφάνεια.

Εν συνεχεία, η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς της συστοιχίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων μεταφέρεται στην είσοδο του μοντέλου προσομοίωσης των ηλεκτρικών διατάξεων inverter και ρυθμιστή φόρτισης. Στο σημείο αυτό, υλοποιούνται τα εξής. Σε πρώτο στάδιο ο ρυθμιστής φόρτισης, του οποίου η λειτουργία προσομοιώνεται με το **ίδιο μοντέλο** του inverter, αναλαμβάνει τον έλεγχο φόρτισης και εκφόρτισης του component των συσσωρευτών αποθήκευσης. Σε δεύτερη φάση, ο inverter μετατρέπει το παραγόμενο συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο (AC) για την κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων του συστήματος.

Μέσω του μοντέλου των εξισώσεων (Load) και του μοντέλου της εξαναγκασμένης εξωτερικής συνάρτησης του Excel, ο χρήστης καθορίζει τις ηλεκτρικές απαιτήσεις που καλείται να καλύψει το παρόν αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα. Έτσι, το μοντέλο προσομοίωσης του inverter λαμβάνει τα δεδομένα των καταναλώσεων και διανείμει κατάλληλα την παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς της εγκατάστασης.

Τέλος, τοποθετείται το μοντέλο προσομοίωσης μετατροπής φυσικών μονάδων, όπου είναι απαραίτητο, για την ορθή διεξαγωγή των αποτελεσμάτων προσομοίωσης, τα οποία παρουσιάζονται στον χρήστη με την εισαγωγή των μοντέλων προσομοίωσης των plotter και printer αντίστοιχα. Στη συνέχεια, ακολουθεί η ανάλυση της λειτουργίας του κάθε μοντέλου προσομοίωσης ξεχωριστά.

6.2.1 Υποσύστημα κλιματολογικών δεδομένων – ΦΒ πλαισίου



Το πρώτο υποσύστημα της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης απαρτίζεται από το component του καιρού (Weather Data), το στοιχείο του ΦΒ πλαισίου και έναν μετατροπέα μονάδων. Αναλυτικά παρουσιάζονται ως εξής:

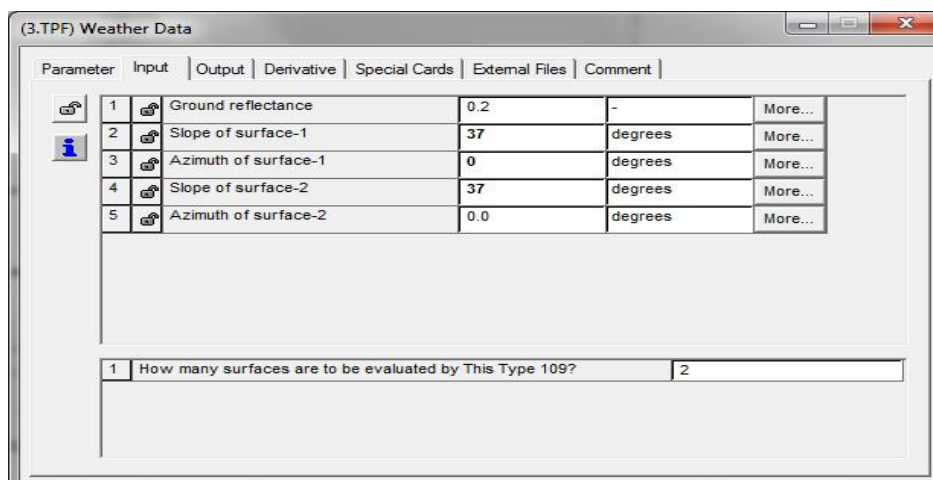


Weather Data

Type 109-TMY2

Η απαραίτητη ηλιακή ακτινοβολία για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας παρέχεται στο φωτοβολταϊκό σύστημα της προσομοίωσης μέσω του Weather Data. Επιπλέον μέσω του στοιχείου αυτού ρυθμίζεται η κλίση και ο προσανατολισμός της συλλεκτικής φωτοβολταϊκής επιφάνειας, ανάλογα με τις απαιτήσεις τις εκάστοτε εφαρμογής.

Όπως για το θερμικό σύστημα προσομοίωσης, έτσι και για το φωτοβολταϊκό σύστημα επιλέχθηκε κλίση $\beta=37^\circ$ και πλήρης προσανατολισμός στον Νότο ($\gamma_s = 0^\circ$).



Εικόνα 6.39: Τα δεδομένα εισόδου του Weather Data



ΦΒ πλαίσιο

Type 94a

Η λειτουργία ενός μονοκρυσταλλικού ή πολυκρυσταλλικού ΦΒ πλαισίου παρουσιάζεται από το Type 94a, το οποίο χρησιμοποιείται σε εφαρμογές παραγωγής και αποθήκευσης ηλεκτρικού ρεύματος. Η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύ εξαρτάται από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στην κεκλιμένη επιφάνεια. Επιπλέον, σημαντική αρνητική επιρροή στην λειτουργία των ΦΒ πλαισίων ασκεί η αναπτυσσόμενη θερμοκρασία επιφανείας τους, η οποία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$T_c = T_a + \frac{1 - \frac{\eta_c}{I_T \tau_a}}{U_L}$$

όπου T_a : θερμοκρασία περιβάλλοντος
 I_T : ολική προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία
 η_c : βαθμός απόδοσης φ/β πλαισίου
 τ_a : συντελεστής απορόφησης - διαπερατότητας
 U_L : συντελεστής θερμικών απωλειών

Το Type 94a μοντελοποιεί ένα κρυσταλλικό ΦΒ πλαίσιο με τις παρακάτω χαρακτηριστικές τιμές ρεύματος βραχυκυκλώματος I_{sc} , τάσης ανοιχτού κυκλώματος V_{oc} και τις τιμές ρεύματος και τάσης στο σημείο μέγιστης ισχύος I_{mp} , V_{mp} .

Ο σκοπός της συγκεκριμένης ΦΒ εγκατάστασης είναι η κάλυψη ημερήσιας ισχύος κατανάλωσης $P = 10\text{kW}$ με μέγιστη τάση ΦΒ συστοιχίας 48 V. Από τη διαστασιολόγηση του συστήματος προέκυψε ότι θα πρέπει να εγκατασταθούν 25 παράλληλες συστοιχίες των 3 πλαισίων σε σειρά για την κάλυψη των φορτίων, καθώς το ένα ΦΒ πλαίσιο αποδίδει μέγιστη ισχύ $P_{mp} = 100,3\text{W}$ ($P_{mp} = I_{mp} \cdot V_{mp}$). Οι παράμετροι και τα χαρακτηριστικά του φωτοβολταϊκού component παρουσιάζονται αναλυτικά στο παρακάτω παράθυρο παραμέτρων:

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Module short-circuit current at reference conditions	6.5	amperes	More...		
2	Module open-circuit voltage at reference conditions	21.6	V	More...		
3	Reference temperature	298	K	More...		
4	Reference insolation	1000	W/m ²	More...		
5	Module voltage at max power point and reference conditions	17	V	More...		
6	Module current at max power point and reference conditions	5.9	amperes	More...		
7	Temperature coefficient of Isc (ref. cond.)	0.02	any	More...		
8	Temperature coefficient of Voc (ref. cond.)	-0.079	any	More...		
9	Number of cells wired in series	36	-	More...		
10	Number of modules in series	3	-	More...		
11	Number of modules in parallel	25	-	More...		
12	Module temperature at NOCT	313	K	More...		
13	Ambient temperature at NOCT	293	K	More...		
14	Insolation at NOCT	800	W/m ²	More...		
15	Module area	0.89	m ²	More...		
16	tau-alpha product for normal incidence	0.95	-	More...		
17	Semiconductor bandgap	1.12	any	More...		
18	Slope of IV curve at Isc	0	any	More...		
19	Module series resistance	-1	any	More...		

Εικόνα 6.40: Οι παράμετροι του ΦΒ πλαισίου



Μετατροπέας Μονάδων

Type 57

Το συγκεκριμένο component χρησιμοποιείται για την μετατροπή μονάδων των πληροφοριών που ανταλλάσσονται μεταξύ των στοιχείων της προσομοίωσης, όπου αυτό είναι απαραίτητο. Υπάρχει η δυνατότητα μετατροπής μονάδων θερμοκρασίας, ενέργειας, πίεσης, ισχύος, μήκους και επιφάνειας, ταχύτητας, παροχής κ.α ανάλογα με τις ανάγκες της προσομοίωσης. Για την παρούσα προσομοίωση το Type 57 χρησιμοποιείται για μετατροπή μονάδων θερμοκρασίας και ισχύος:

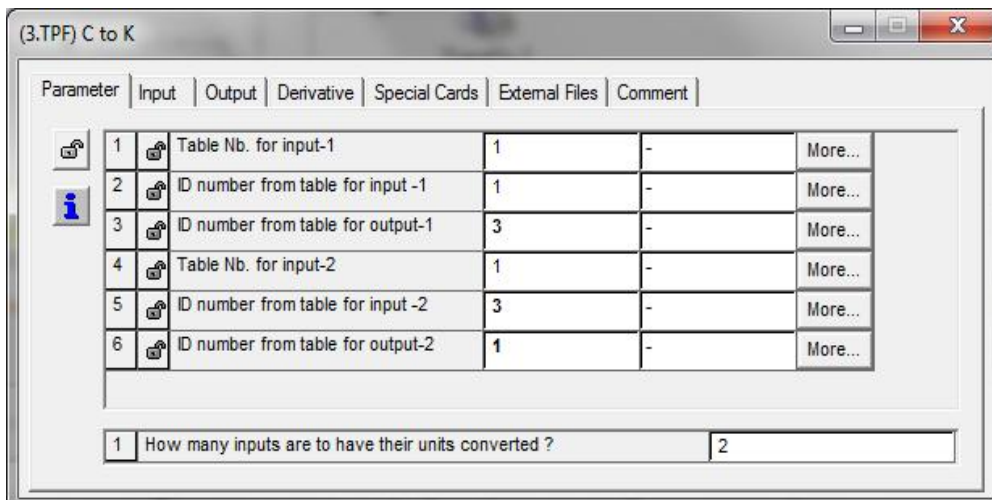
TABLE #1: TEMPERATURE

VAR. TYPE #	VAR. UNITS	VAR. TYPE	MULT. FACTOR	ADD. FACTOR
1	° C	TE1	1.0	0
2	° F	TE2	1.8	32
3	K	TE3	1.0	273.15
4	R	TE4	1.8	492

TABLE #12: POWER

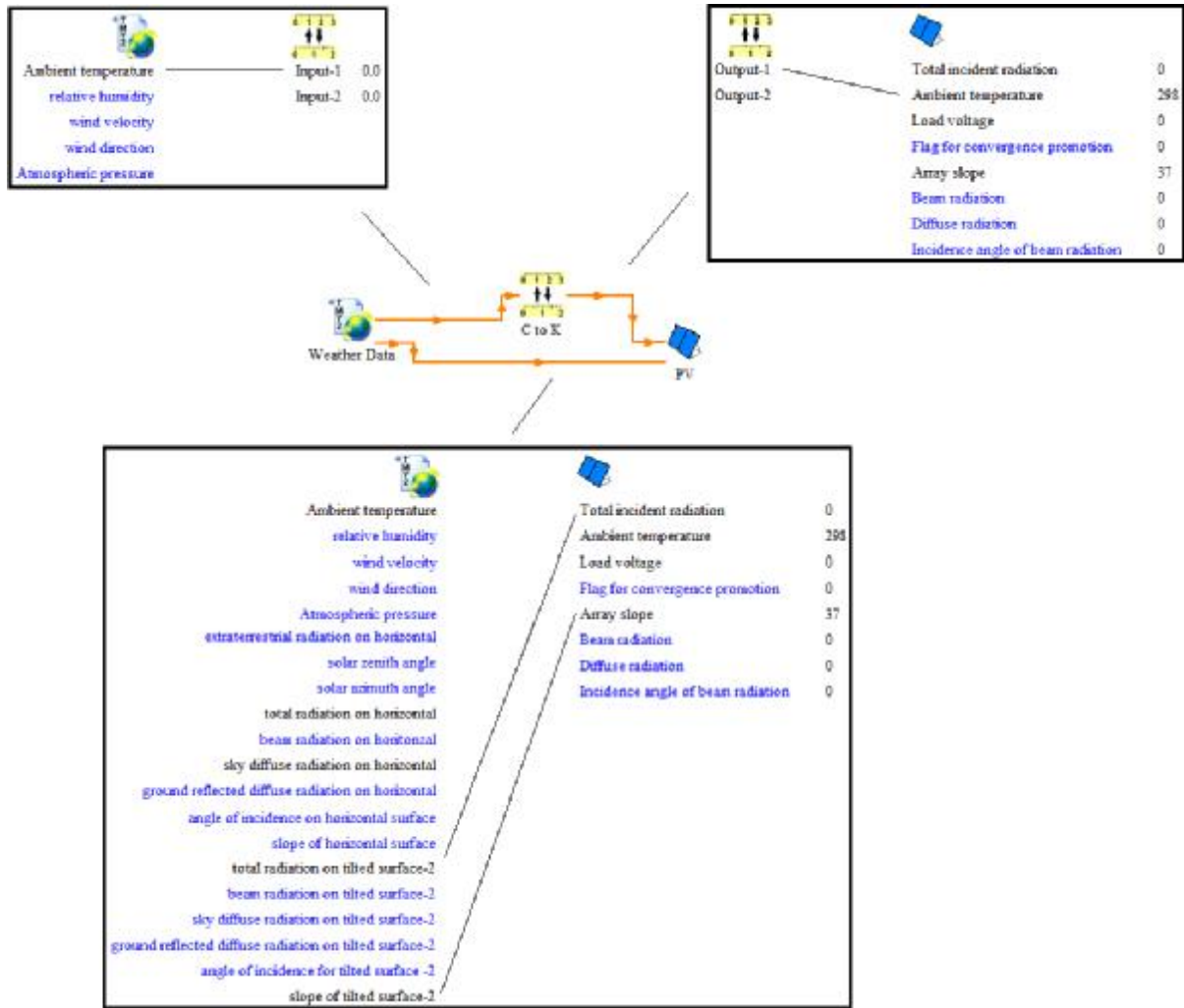
VAR. TYPE #	VAR. UNITS	VAR. TYPE	MULT. FACTOR	ADD. FACTOR
1	kJ/hr	PW1	1	0
2	W	PW2	0.277778	0
3	kW	PW3	2.77778 E-04	0
4	hp	PW4	3.72505 E-04	0
5	BTU/hr	PW5	0.947817	0
6	BTU/min	PW6	1.57969 E-02	0
7	Tons	PW7	7.89847 E-05	0

Ακολουθούν οι παράμετροι ενός μετατροπέα μονάδων θερμοκρασίας που χρησιμοποιείται στο υποσύστημα Weather Data – ΦΒ πλαισίου, καθώς τα δεδομένα θερμοκρασίας του καιρού εξάγονται σε °C ενώ το ΦΒ δέχεται τιμές θερμοκρασίας σε μονάδες Kelvin.



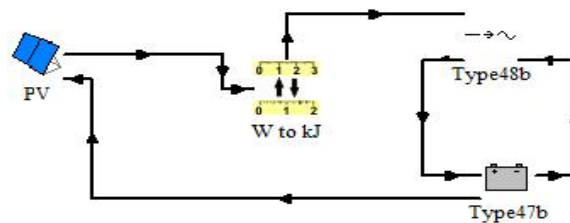
Εικόνα 6.41: Οι παράμετροι του μετατροπέα μονάδων

Η επικοινωνία των παραπάνω στοιχείων του υποσυστήματος πραγματοποιείται μέσω των παρακάτω γραμμών σύνδεσης:



Εικόνα 6.42: Οι συνδέσεις του υποσυστήματος κλιματολογικών δεδομένων- ΦΒ πλαισίου

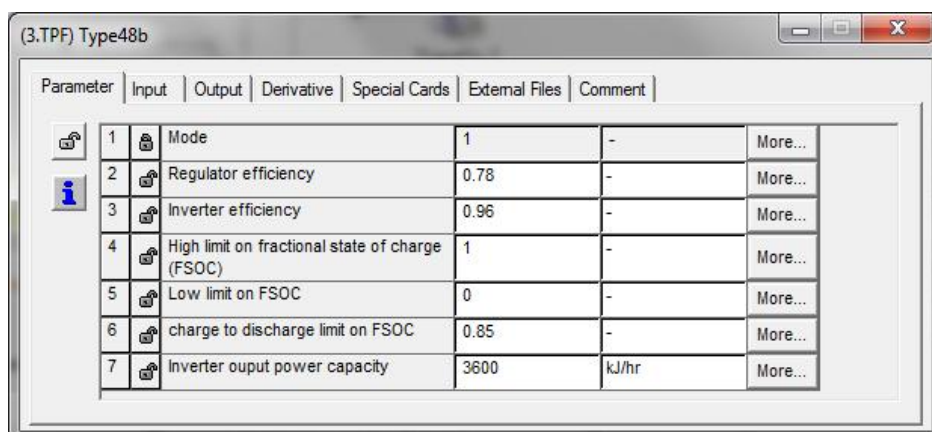
6.2.2 Υποσύστημα ΦΒ πλαισίων – συσσωρευτών



Το υποσύστημα αυτό αποτελείται από τη συστοιχία των ΦΒ πλαισίων, τον inverter και τους συσσωρευτές, στους οποίους αποθηκεύεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά. Ακολουθεί η ανάλυση των καινούριων component, δηλαδή του inverter και των συσσωρευτών.

—→~
Inverter
Type 48b

Για την ορθή λειτουργία της συγκεκριμένης αυτόνομης ΦΒ εγκατάστασης απαιτούνται εκτός από την συστοιχία των ΦΒ πλαισίων και των συσσωρευτών, και οι απαραίτητες ηλεκτρονικές διατάξεις του ρυθμιστή φόρτισης και του Inverter. Το Type 48b συνδυάζει τη λειτουργία των δύο προαναφερθέντων διατάξεων ταυτόχρονα σε ένα component. Επιπλέον, επιλέγονται διαφορετικοί τρόποι λειτουργίας (Mode 0 ~ 3), όπου ο καθένας χρησιμοποιείται για διαφορετικές διατάξεις Φβ συστημάτων. Το πρότυπο λειτουργίας ``**Mode 1**`` επιλέγεται για ένα σύστημα αποτελούμενο από ΦΒ πλαίσια παρακολούθησης του σημείου μέγιστης ισχύος (Peak-power tracking collectors), από ηλεκτρικούς συσσωρευτές και από τον ελεγκτή φόρτισης. Παρατίθενται οι παράμετροι λειτουργίας του Type 48b:



Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Mode	1	-			More...
2	Regulator efficiency	0.78	-			More...
3	Inverter efficiency	0.96	-			More...
4	High limit on fractional state of charge (FSOC)	1	-			More...
5	Low limit on FSOC	0	-			More...
6	charge to discharge limit on FSOC	0.85	-			More...
7	Inverter ouput power capacity	3600				kJ/hr More...

Εικόνα 6.43: Οι παράμετροι λειτουργίας του inverter


Συσσωρευτές
Type 47b

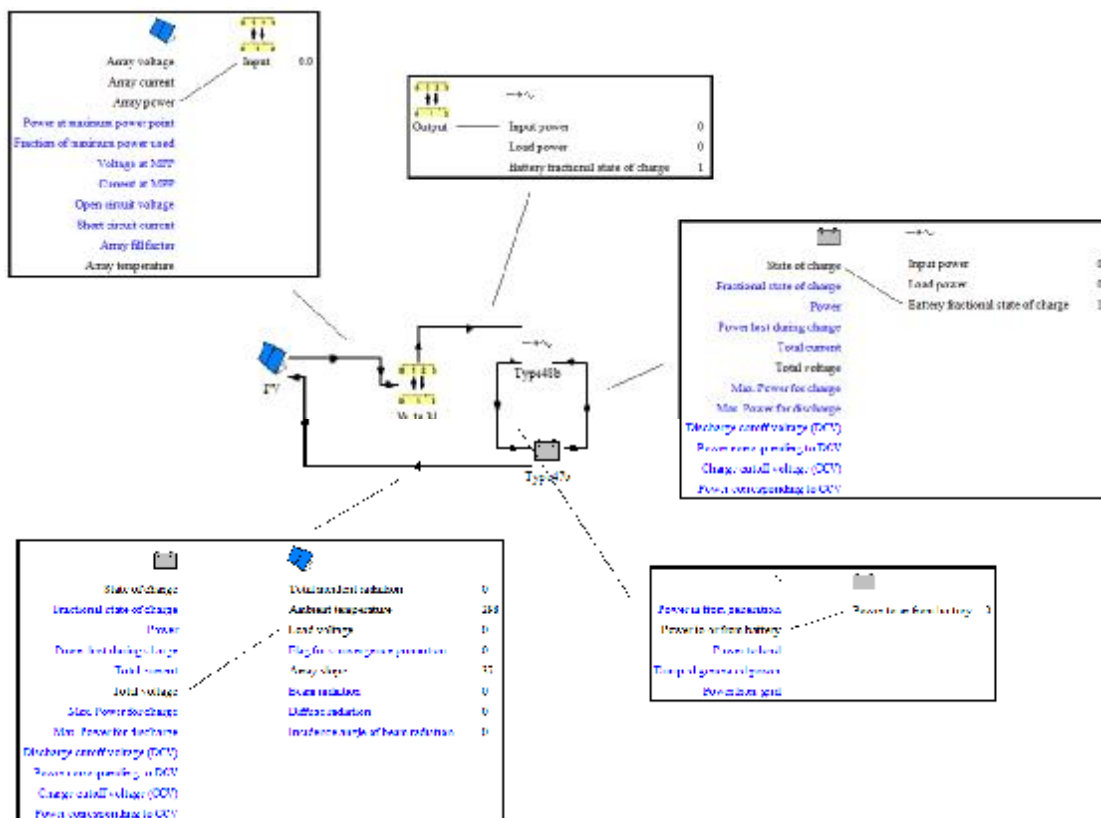
Πρόκειται για ένα μοντέλο προσομοίωσης συσσωρευτών μολύβδου-οξέος, οι οποίοι λειτουργούν έχοντας ως είσοδο ηλεκτρική ισχύς. Από το παράθυρο παραμέτρων του component δίνεται η δυνατότητα επιλογής των χαρακτηριστικών μεγεθών των στοιχείων εσωτερικά των συσσωρευτών, όπως η χωρητικότητα C (σε Ah) και η τάση τους (σε Volt). Επιπλέον, καθορίζεται ο αριθμός στοιχείων που

χρειάζεται να συνδεθούν σε σειρά και παράλληλα ώστε να καλύψουν την απαίτηση για αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος.

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
1	Mode	2	-			More...
2	Cell Energy Capacity	16.7	Ah			More...
3	Cells in parallel	96	-			More...
4	Cells in series	24	-			More...
5	Charging efficiency	0.9	-			More...
6	Max. current per cell charging	3.33	amperes			More...
7	Max. current per cell discharge	-3.33	amperes			More...
8	Max. charge voltage per cell	2	V			More...
9	Calculate discharge cutoff voltage	-1	-			More...

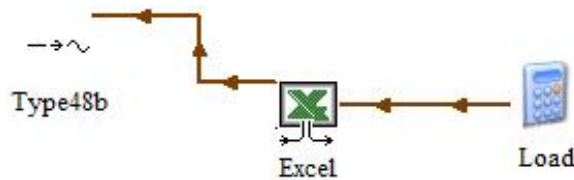
Εικόνα 6.44: Οι παράμετροι των συσσωρευτών

Τα components που χρησιμοποιήθηκαν στο υποσύστημα των ΦΒ πλαισίων και των συσσωρευτών συνδέονται με τον ακόλουθο τρόπο:



Εικόνα 6.45: Οι συνδέσεις του υποσυστήματος ΦΒ πλαισίων - συσσωρευτών

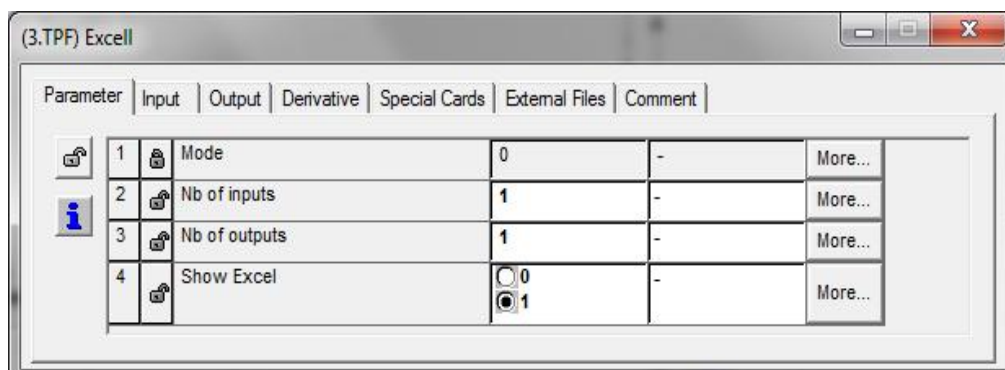
6.2.3 Υποσύστημα φορτίων κατανάλωσης – Inverter



Στο τελευταίο υποσύστημα της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο εισάγεται το ηλεκτρικό φορτίο των καταναλώσεων. Για την παραπάνω εφαρμογή έχει επιλεγθεί εισαγωγή των δεδομένων του φορτίου να γίνει μέσω του προγράμματος Excel.



Με αυτό το μοντέλο πραγματοποιείται η σύνδεση του TRNSYS με το Excel. Ο κώδικας Fortran επικοινωνεί με το Excel μέσω μιας διεπαφής (COM) για γρήγορη μεταφορά δεδομένων. Το TRNSYS στέλνει τις εισροές του στοιχείου σε συγκεκριμένα κελιά στα φύλλα εργασίας του Excel, όπου τα κελιά αυτά θα πρέπει να έχουν προσδιοριστεί με τον ορισμό ενός excel-name π.χ. "Inp1"... "Inp10". Με τον ίδιο τρόπο τα δεδομένα εξόδου πρέπει να πάρουν ονόματα όπως "Out1"... "Out10". Το παράθυρο παραμέτρων του συγκεκριμένου component είναι το ακόλουθο:



Εικόνα 6.46: Οι παράμετροι του μοντέλου Calling Excel

Time	Load
0	1440
1	972
2	702
3	612
4	504
5	576
6	684
7	936
8	1728
9	1476
10	1098
11	1440
12	1656
13	1530
14	1476
15	1512
16	1512
17	1872
18	2124
19	2106
20	2448
21	2268
22	2142
23	1746
24	1440
kJ / h	36000
W	10000

Εικόνα 6.47: Τα φορτία κατανάλωσης από το αρχείο Excel

Κατά τη διάρκεια της ημέρας η συνολική ισχύς καταναλώσεων που καλείται να καλύψει η ΦΒ εγκατάσταση είναι $P = 10 \text{ kW} = 36000 \text{ kJ/h}$.



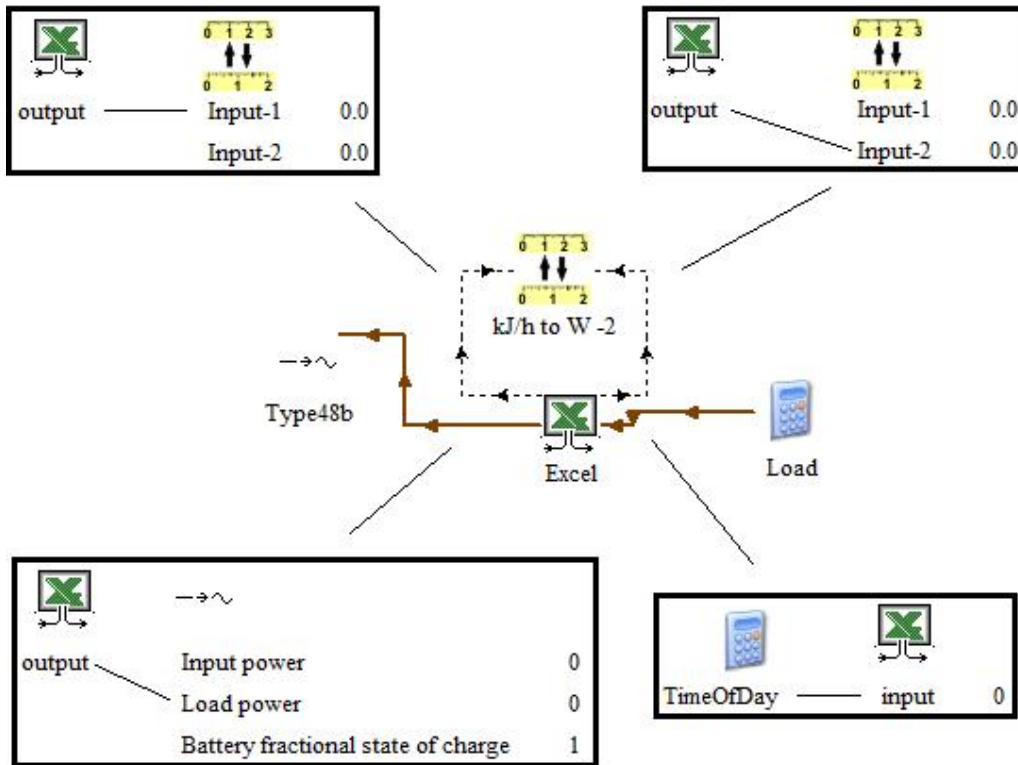
Μοντέλο Εξισώσεων

Από το μοντέλο εξισώσεων εισάγεται η χρονοσειρά κατανάλωσης του ηλεκτρικού φορτίου.



Εικόνα 6.48: Εισαγωγή δεδομένων χρόνου

Τέλος, παρατίθενται οι συνδέσεις των στοιχείων του υποσυστήματος αυτού, με την φορά των βελών να παρουσιάζει την ροή πληροφοριών:



Εικόνα 6.49: Οι συνδέσεις του υποσυστήματος φορτίων – inverter

6.3 Μοντέλα προσομοίωσης για παρουσίαση αποτελεσμάτων

Για την παρατήρηση και τη διερεύνηση της προσομοίωσης του θερμικού και του φωτοβολταϊκού συστήματος, κρίνεται απαραίτητη η διεξαγωγή των αποτελεσμάτων σε στοιχεία εξόδου ευανάγνωστα από τον χρήστη, όπως διαγράμματα και αρχεία δεδομένων. Από τις βιβλιοθήκες του TRNSYS η δυνατότητα αυτή παρέχεται μέσω εξειδικευμένων μοντέλων προσομοίωσης, όπως οι plotter και printer. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την συγκεκριμένη προσομοίωση είναι ο plotter Type 65 και ο printer Type 25a. Πιο αναλυτικά:

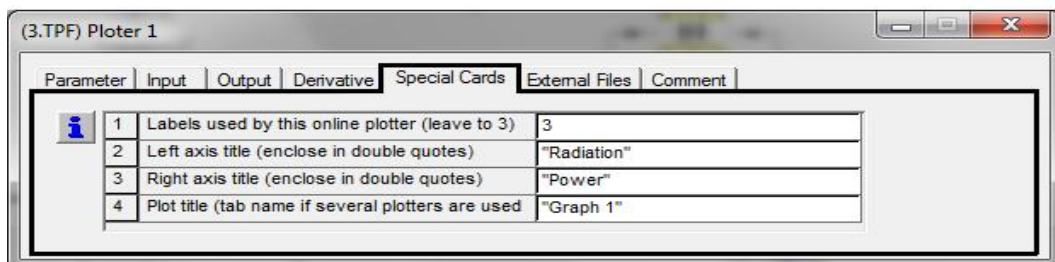
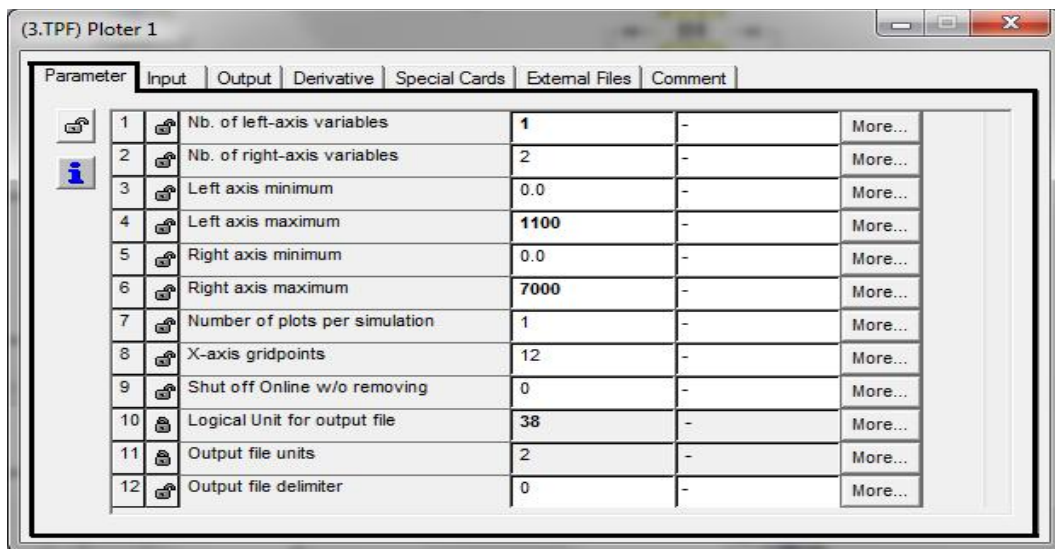


Plotter

Type 65

Το στοιχείο αυτό χρησιμοποιείται για την εμφάνιση επιλεγμένων μεταβλητών του συστήματος σε διαγράμματα, ενώ ταυτόχρονα η προσομοίωση εξελίσσεται. Έτσι, παρέχονται χρήσιμες πληροφορίες στον χρήστη που το επιτρέπουν να ελέγξει εάν η λειτουργία του συστήματος προσομοίωσης βαίνει ορθώς. Το διάγραμμα εμφανίζεται στο εκτελέσιμο αρχείο του TRNSYS Simulation Studio, δηλαδή στο TRNEXE, το οποίο ανοίγει με την εντολή ``Calculate/Run`` σε ξεχωριστό παράθυρο.

Από την καρτέλα των παραμέτρων του component καθορίζονται τα όρια και το βήμα των αξόνων του διαγράμματος, ενώ από την καρτέλα Special Cards δίνεται η ονομασία των αξόνων.



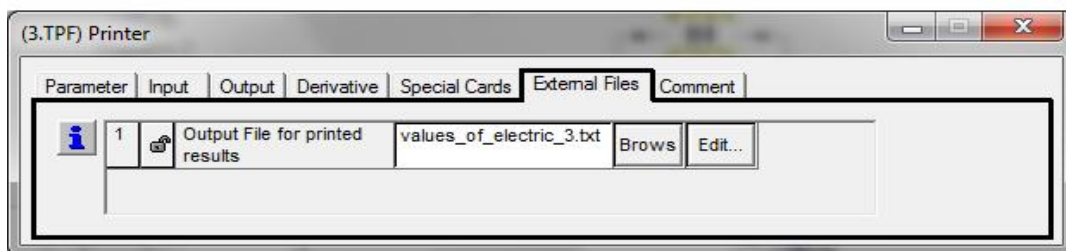
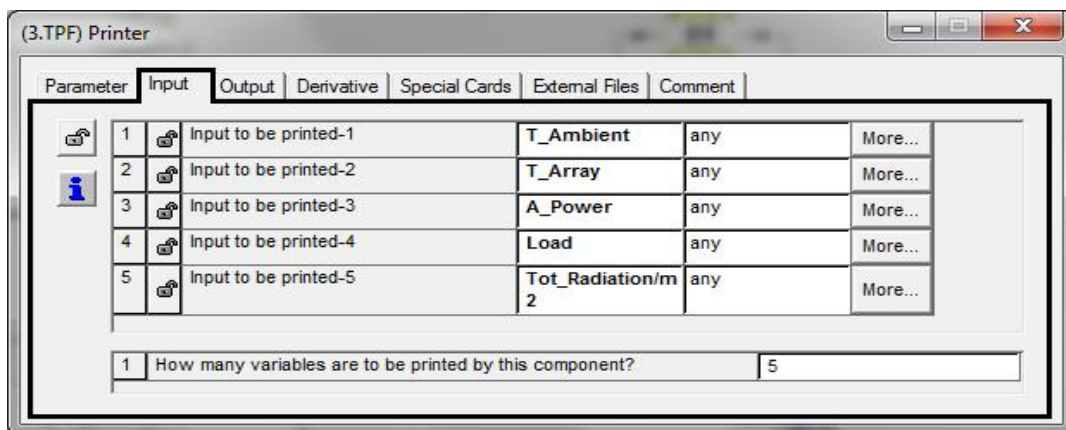
Εικόνα 6.50: Οι παράμετροι λειτουργίας του plotter



Printer

Type 25a

Το συγκεκριμένο component χρησιμοποιείται για την εκτύπωση των επιλεγμένων μεταβλητών από τον χρήστη για καθορισμένα χρονικά διαστήματα. Οι μεταβλητές τυπώνονται σε ξεχωριστό αρχείο από το πρόγραμμα, π.χ σε αρχείο .txt , του οποίου η θέση καθορίζεται από τον χρήστη μέσω τις καρτέλας External Files. Επιπλέον, οι τιμές των μεταβλητών που επιθυμείται να εκτυπωθούν καθορίζονται στην καρτέλα εισόδου του μοντέλου προσομοίωσης (Input).



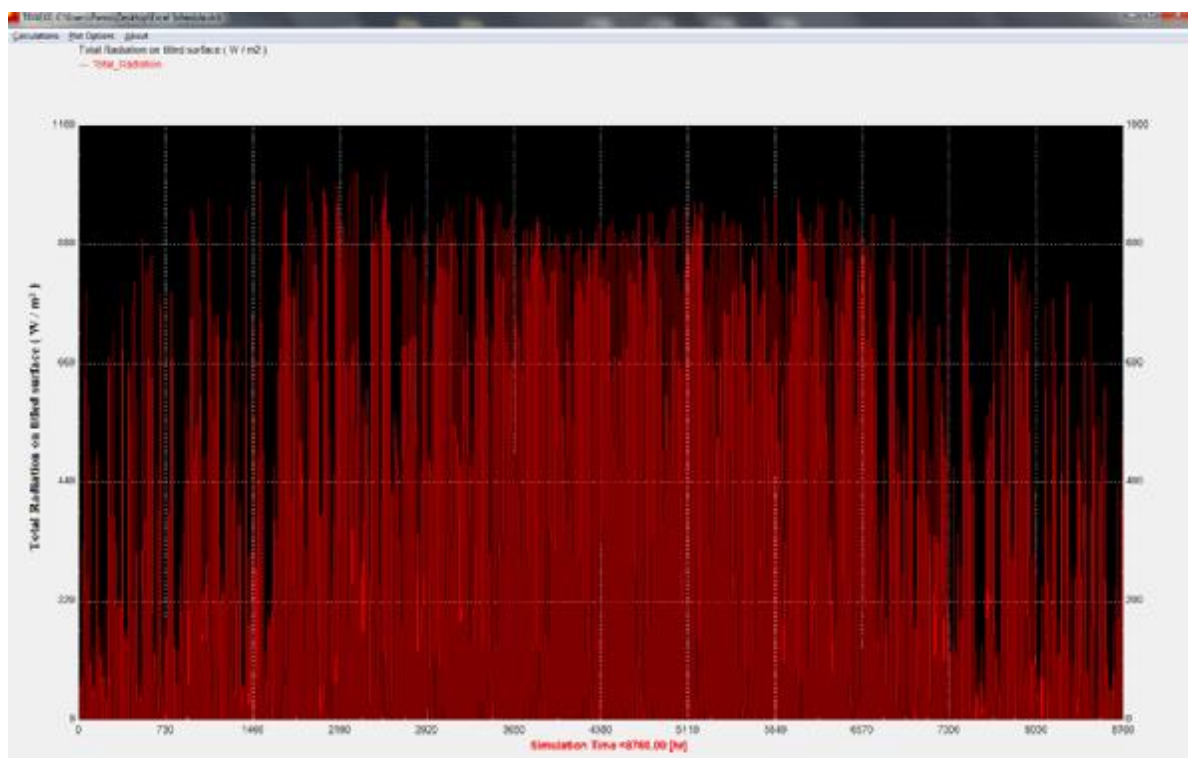
Εικόνα 6.51: Καρτέλες εισαγωγής και εξαγωγής δεδομένων του printer

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7. Παρουσίαση και ανάλυση αποτελεσμάτων της προσομοίωσης του υβριδικού συστήματος

Το έβδομο κεφάλαιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποσκοπεί στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων του υβριδικού συστήματος που προσομοιώθηκε με σκοπό την κάλυψη των καθορισμένων από τον χρήστη ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων. Αναλυτικά, θα ακολουθήσει η παρουσίαση διαγραμμάτων για την συμπεριφορά του θερμικού συστήματος (πρώτο και δεύτερο θερμικό σενάριο) και του φωτοβολταϊκού συστήματος προσομοίωσης σε ετήσια βάση.

Για την παραγωγή της απαιτούμενης θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας τα θερμικά και φωτοβολταϊκά συστήματα αξιοποιούν την ολική ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνειά τους. Το προφίλ της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας (σε W/m^2) που φθάνει σε μια συλλεκτική επιφάνεια κλίσης $\beta = 37^\circ$, εγκαταστημένη στην περιοχή της Ανδραβίδας παρουσιάζεται παρακάτω:



Διάγραμμα 7.1: Ετήσια προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία

7.1 Αποτελέσματα θερμικού συστήματος προσομοίωσης

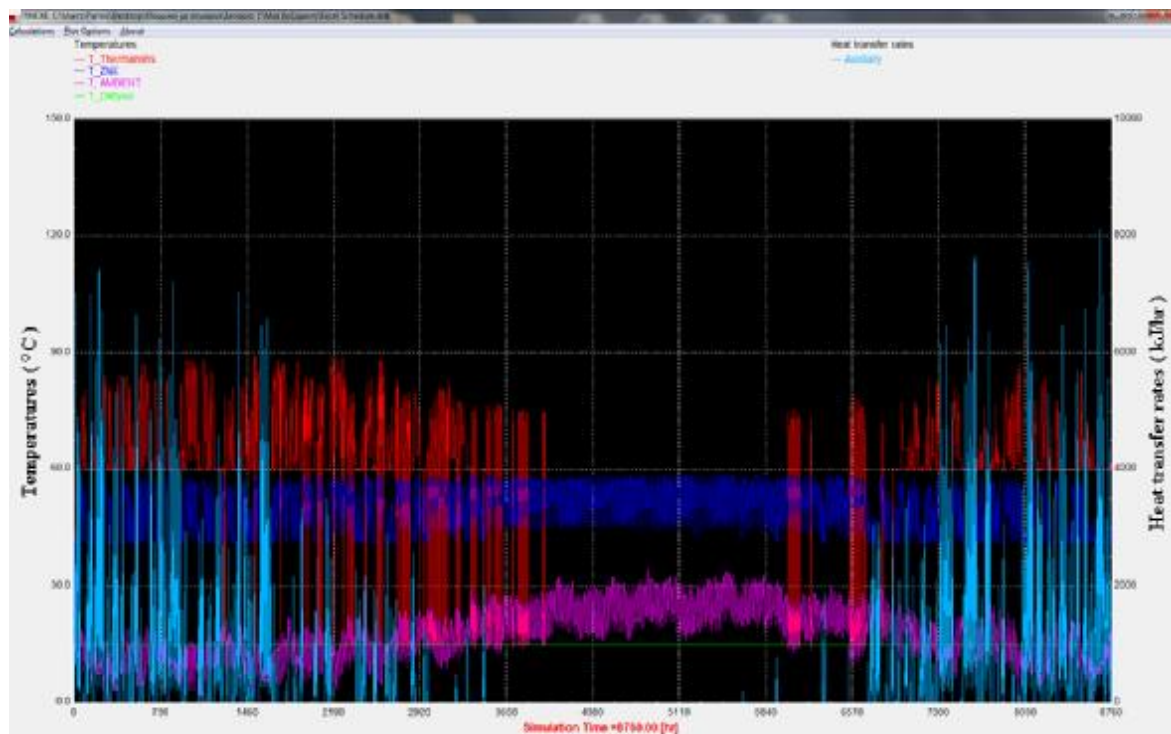
Κατά τη διεξαγωγή της προσομοίωσης του θερμικού συστήματος στο TRNSYS Simulation Studio υπάρχει η δυνατότητα παρουσίασης διαγραμμάτων που αφορούν μεγέθη όπως την θερμοκρασία περιβάλλοντος συλλεκτικών επιφανειών, δεξαμενών αποθήκευσης και νερού προς την εκάστοτε χρήση, αποδιδόμενες ποσότητες θερμότητας, παροχές νερού, καθώς και οποιοδήποτε άλλο αποτέλεσμα επιθυμεί να μελετήσει ο χρήστης. Για τα θερμικά συστήματα που προσομοιώθηκαν επιλέχθηκε η παρουσίαση των κάτωθι μεγεθών:

Γενικό προφίλ 1^{ου} σεναρίου από το TRNEXE (Θερμικό σύστημα με μία δεξαμενή αποθήκευσης):

Επιφάνεια θερμικών συλλεκτών: $A_C = 20 \text{ m}^2$

Χωρητικότητα δεξαμενής αποθήκευσης: $V=0.4 \text{ m}^3$

Ημερήσια ποσότητα θερμού νερού προς τα φορτία: **400 lt**



Διάγραμμα 7.2: Χρήσιμες θερμοκρασίες και ενέργεια εναλλακτικής πηγής θέρμανσης σε ετήσια βάση για το Σενάριο 1

Οι καμπύλες που απεικονίζονται παραπάνω για **διάρκεια προσομοίωσης ενός έτους (8760 hr)** αντιστοιχούν στα εξής μεγέθη:

Κόκκινη καμπύλη → Θερμοκρασία νερού για θέρμανση χώρου
Μπλε καμπύλη → Θερμοκρασία ζεστού νερού χρήσης
Μωβ καμπύλη → Θερμοκρασία περιβάλλοντος
Πράσινη καμπύλη → Θερμοκρασία νερού ύδρευσης
Γαλάζια καμπύλη → Επιπρόσθετη ενέργεια βοηθητικών πηγών

Αρχικά, ο οριζόντιος άξονας (x^{x'}) εκφράζει την χρονική διάρκεια διεξαγωγής της προσομοίωσης (1 έτος = 8760 hr). Αποτελείται από 12 τμήματα, τα οποία αντιπροσωπεύουν τον κάθε μήνα του έτους. Στους κάθετους άξονες του διαγράμματος απεικονίζονται οι θερμοκρασίες που έχουν επιλεγθεί (αριστερός άξονας) και η ποσότητα της επιπρόσθετης ενέργειας (δεξιός άξονας) που απαιτείται να παραχωρηθεί στο σύστημα από κάποια βοηθητική πηγή.

Αναλύοντας το Διάγραμμα 7.2, παρατηρείται αυξημένη θερμοκρασία του νερού για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης χώρου κατά τους χειμερινούς μήνες. Αντιθέτως, τους καλοκαιρινούς μήνες, που η θερμοκρασία περιβάλλοντος υπερβαίνει τους 15 °C, το θερμικό σύστημα δεν τροφοδοτεί τα κυκλώματα θέρμανσης χώρου, γεγονός που ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις που έχει ορίσει ο χρήστης στο στάδιο της σχεδίασης της προσομοίωσης.

Αναφορικά με το ζεστό νερό χρήσης, παρατηρείται μια σταθερή διακύμανση της θερμοκρασίας (της τάξεως των +/-10°C) καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Αυτό οφείλεται στο φορτίο καταναλώσεων του ζεστού νερού χρήσης, το οποίο ακολουθεί ένα συγκεκριμένο προφίλ που έχει ορίσει ο χρήστης.

Όπως είναι λογικό, η βοηθητική πηγή ενέργειας παρέχει την επιπρόσθετη ενέργεια στο θερμικό σύστημα τις χρονικές περιόδους όπου η ηλιακή ακτινοβολία δεν επαρκεί πλήρως για την θέρμανση του νερού της δεξαμενής αποθήκευσης.

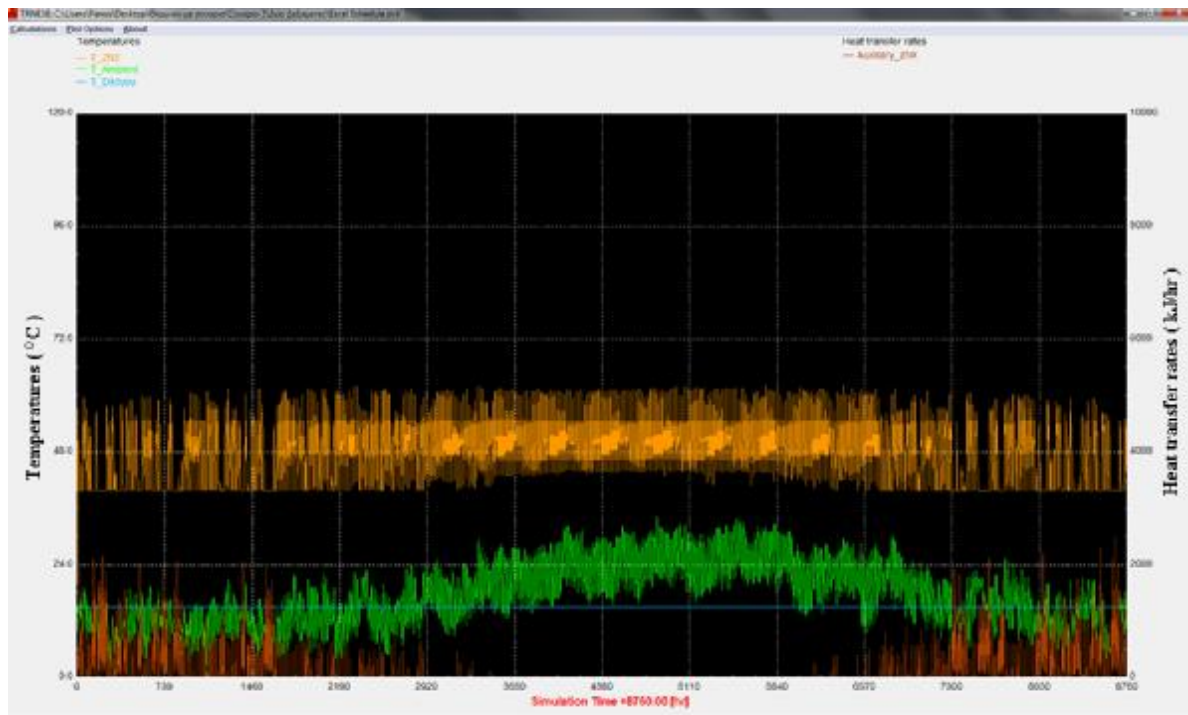
Γενικό προφίλ 2^ο σεναρίου από το TRNEXE (Θερμικό σύστημα με δύο δεξαμενές αποθήκευσης):

Επιφάνεια θερμικών συλλεκτών: $A_C = 20 \text{ m}^2$

Χωρητικότητα δεξαμενής αποθήκευσης ZNX: $V=0.2 \text{ m}^3$

Χωρητικότητα δεξαμενής αποθήκευσης νερού θέρμανσης χώρου: $V=0.2 \text{ m}^3$

Ημερήσια ποσότητα θερμού νερού προς τα φορτία: **400 lt**



Διάγραμμα 7.3: Θερμοκρασία ZNX και ενέργεια εναλλακτικής πηγής θέρμανσης σε ετήσια βάση για το Σενάριο 2

Οι καμπύλες που απεικονίζονται στο Διάγραμμα 7.3 αντιπροσωπεύουν τα παρακάτω μεγέθη:

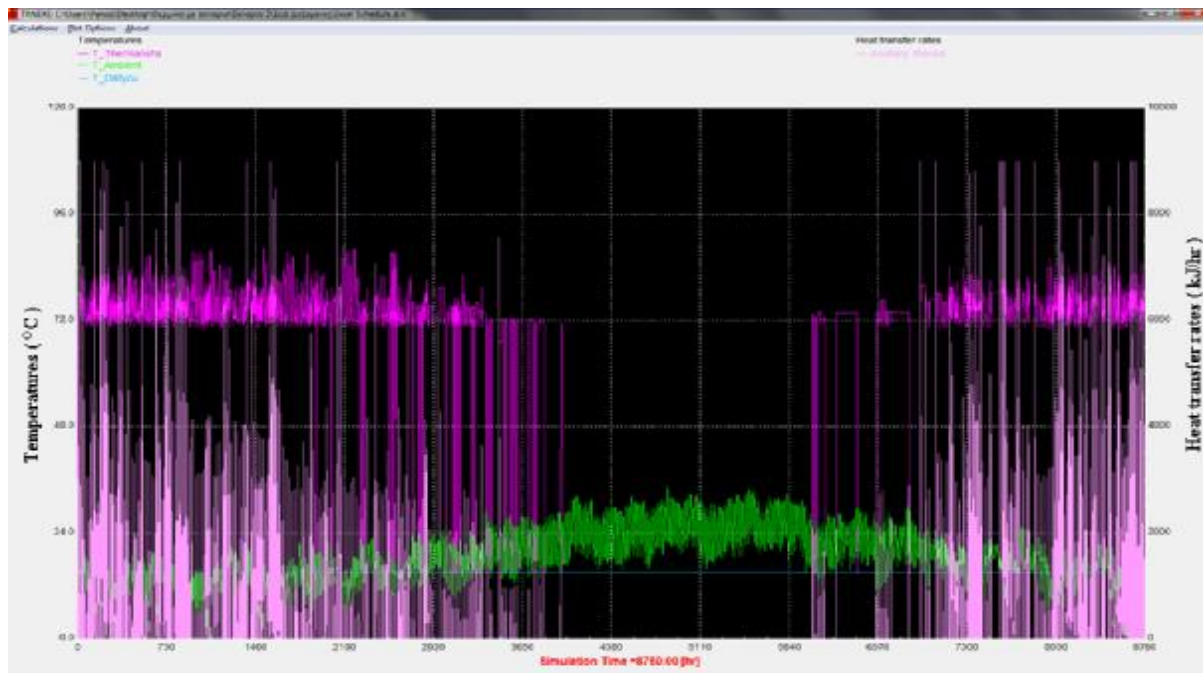
Κίτρινη καμπύλη → Θερμοκρασία ζεστού νερού χρήσης

Πράσινη καμπύλη → Θερμοκρασία περιβάλλοντος

Γαλάζια καμπύλη → Θερμοκρασία νερού ύδρευσης

Καφέ καμπύλη → Επιπρόσθετη ενέργεια βοηθητικών πηγών

Το αντίστοιχο διάγραμμα που εμφανίζεται στο TRNEXE κατά την έναρξη της προσομοίωσης για τις θερμοκρασίες νερού για θέρμανση χώρου είναι:



Διάγραμμα 7.4: Θερμοκρασία νερού για θέρμανση χώρου και ενέργεια εναλλακτικής πηγής θέρμανσης σε ετήσια βάση για το Σενάριο 2

Μωβ καμπύλη → Θερμοκρασία νερού θέρμανσης χώρου

Πράσινη καμπύλη → Θερμοκρασία περιβάλλοντος

Γαλάζια καμπύλη → Θερμοκρασία νερού ύδρευσης

Ροζ καμπύλη → Επιπρόσθετη ενέργεια βοηθητικών πηγών

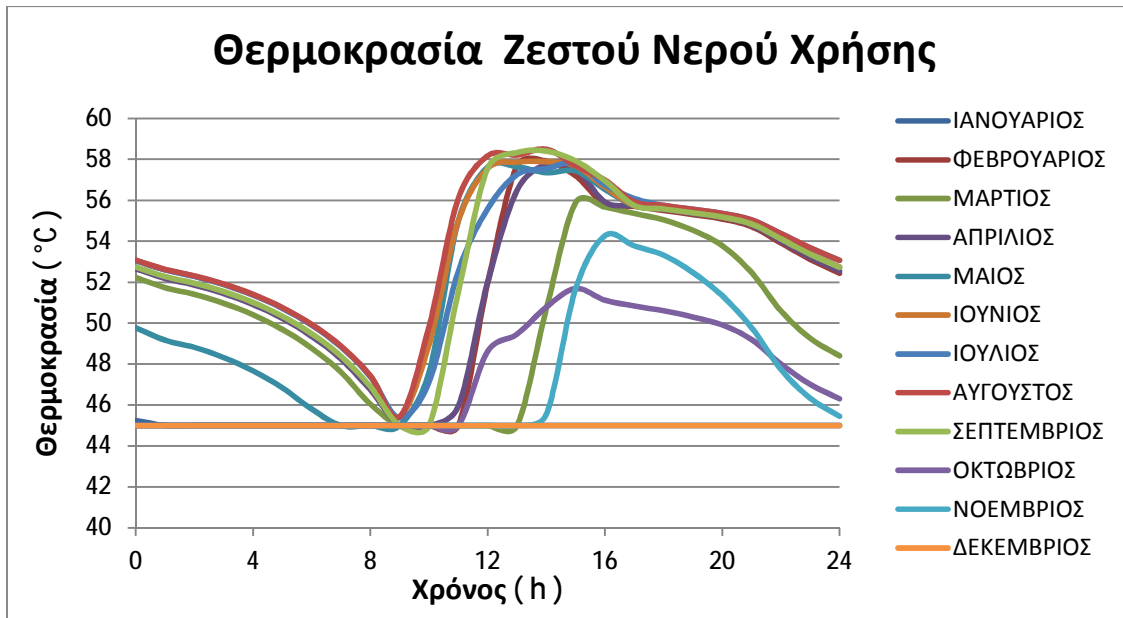
Στα Διαγράμματα 7.3, 7.4 η συμπεριφορά των προς μελέτη μεγεθών παρατηρείται να είναι όμοια με εκείνη του Διαγράμματος 7.2. Συγκεκριμένα, η θερμοκρασία του ζεστού νερού χρήσης κυμαίνεται σε σταθερά επίπεδα καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, ενώ το νερό της δεξαμενής αποθήκευσης υψηλών θερμοκρασιών για την θέρμανση χώρου παρέχεται στα φορτία μόνο τους χειμερινούς μήνες.

Για να είναι πιο ευδιάκριτες οι μεταβολές των μεγεθών που μελετώνται, πρόκειται να παρουσιαστούν τα σχετικά διαγράμματα που θα φανερώνουν τις διακυμάνσεις των μεγεθών για τις **24 ώρες της χαρακτηριστικής ημέρας** για κάθε μήνα του έτους. Ακολουθεί ο πίνακας των χαρακτηριστικών ημερών:

Μήνας	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπτ	Οκτ	Νοεμ	Δεκ
Ημέρα	17 ^η	15 ^η	16 ^η	15 ^η	15 ^η	11 ^η	17 ^η	16 ^η	16 ^η	16 ^η	15 ^η	11 ^η
Αύξων αριθμός n	17	46	75	105	135	162	198	228	259	289	319	345

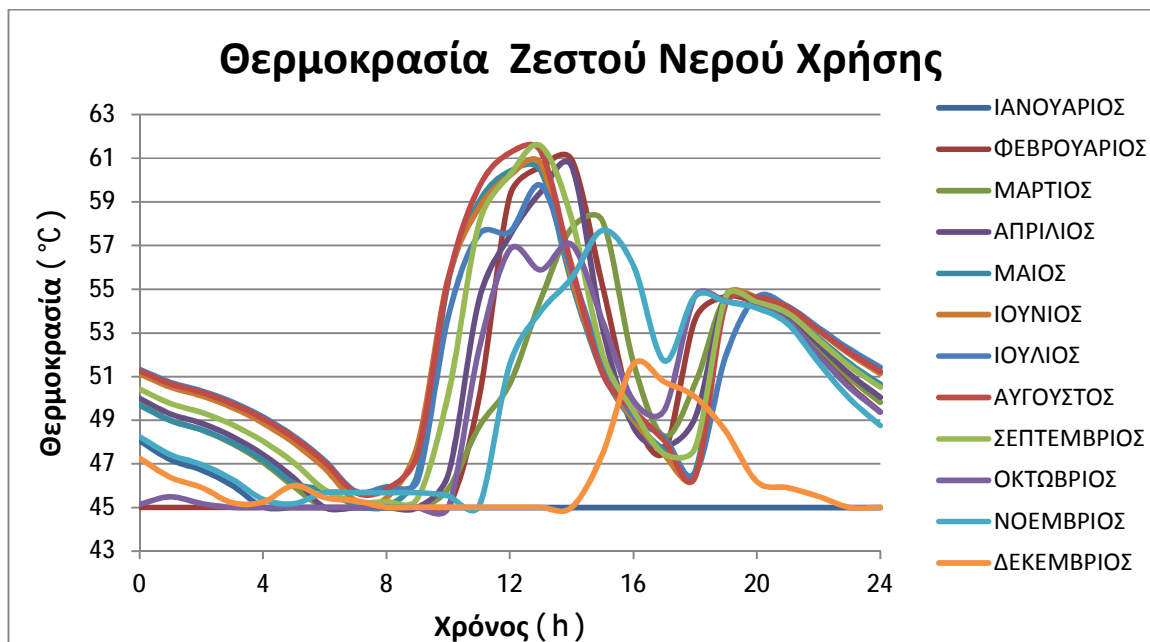
Στη συνέχεια, παρατίθενται τα διαγράμματα θερμοκρασιών του ζεστού νερού χρήσης για τα θερμικά συστήματα προσομοίωσης των δύο σεναρίων:

Θερμικό σύστημα με μια δεξαμενή αποθήκευσης:



Διάγραμμα 7.5: Θερμοκρασία ζεστού νερού χρήσης χαρακτηριστικής ημέρας κάθε μήνα (Σενάριο 1^ο)

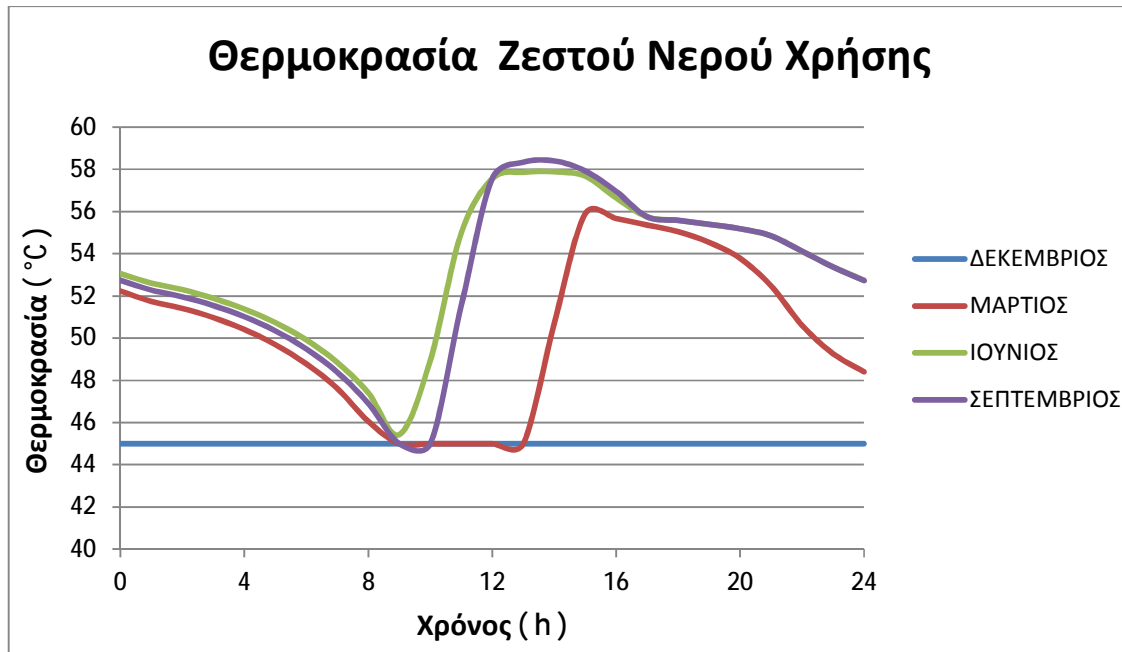
Θερμικό σύστημα με δύο δεξαμενές αποθήκευσης:



Διάγραμμα 7.6: Θερμοκρασία ζεστού νερού χρήσης χαρακτηριστικής ημέρας κάθε μήνα (Σενάριο 2^ο)

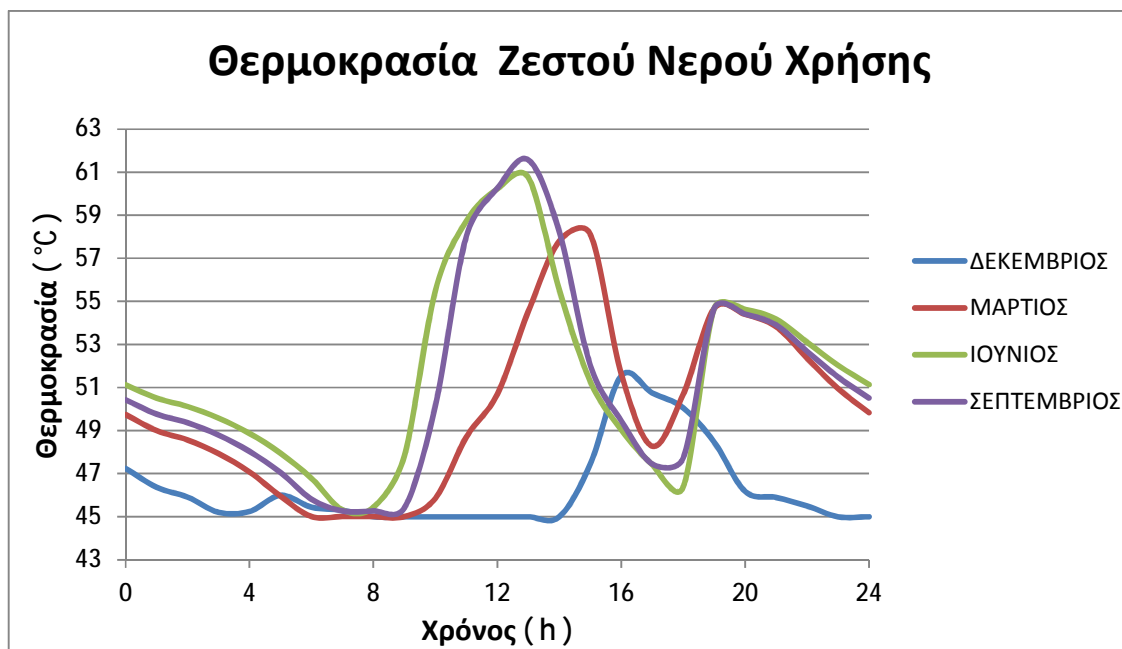
Για καλύτερη ευκρίνεια των αποτελεσμάτων απομονώνονται οι καμπύλες των χαρακτηριστικών ημερών για τις τέσσερις εποχές του χρόνου:

Θερμικό σύστημα με μια δεξαμενή αποθήκευσης:



Διάγραμμα 7.7: Θερμοκρασία ζεστού νερού χρήσης χαρακτηριστικής ημέρας 4 εποχών (Σενάριο 1^ο)

Θερμικό σύστημα με δύο δεξαμενές αποθήκευσης:

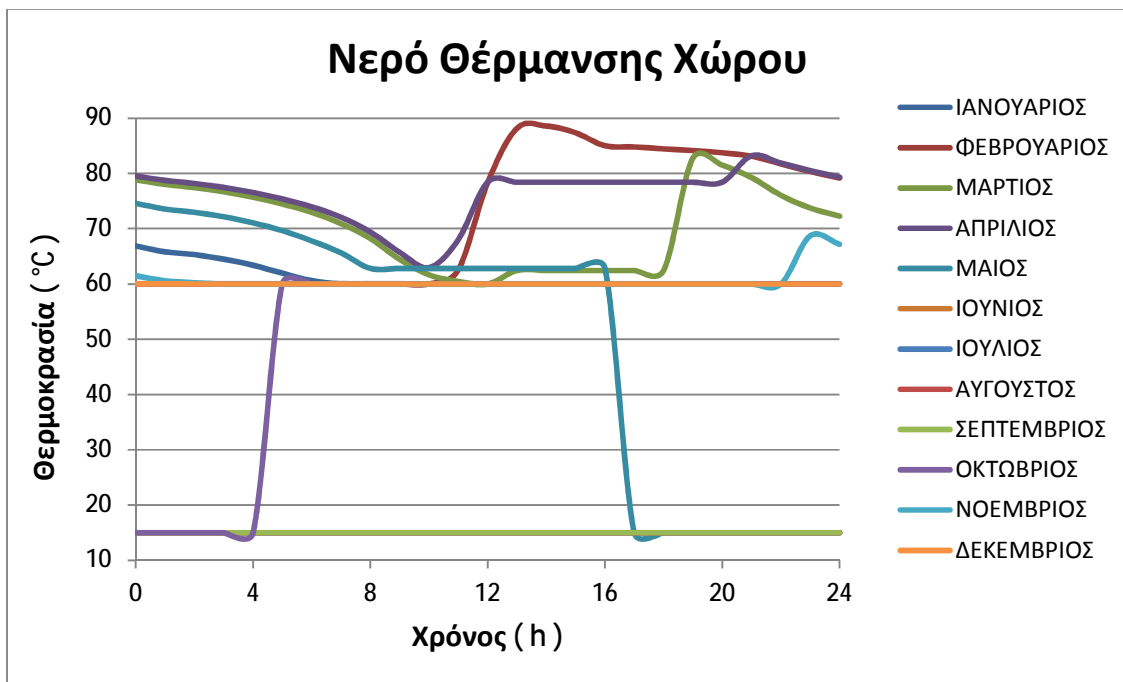


Διάγραμμα 7.8: Θερμοκρασία ζεστού νερού χρήσης χαρακτηριστικής ημέρας 4 εποχών (Σενάριο 2^ο)

Κατά τη σύγκριση των παραπάνω διαγραμμάτων για τη θερμοκρασία νερού χρήσης επισημαίνεται ότι στην περίπτωση του δεύτερου σεναρίου (εγκατάσταση δύο δεξαμενών αποθήκευσης) παρατηρούνται μεγαλύτερες θερμοκρασιακές μεταβολές κατά την διάρκεια της ημέρας. Το γεγονός αυτό εξηγείται αν ληφθεί υπόψη ότι η συγκεκριμένη δεξαμενή αποθήκευσης έχει την μισή χωρητικότητα (200lt) σε σχέση με την δεξαμενή του πρώτου σεναρίου (400lt), και αυτό την καθιστά θερμοκρασιακά ευμετάβλητη στις μεταβολές των συνθηκών λειτουργίας του συστήματος. Για παράδειγμα, στις ώρες των μέγιστων καταναλώσεων (15:00 – 19:00) αντλούνται μεγάλες ποσότητες θερμού νερού προς χρήση, αλλά ταυτόχρονα συμπληρώνεται στην δεξαμενή η αντίστοιχη ποσότητα κρύου νερού από το δίκτυο ύδρευσης με αποτέλεσμα την απότομη μείωση της θερμοκρασίας του νερού.

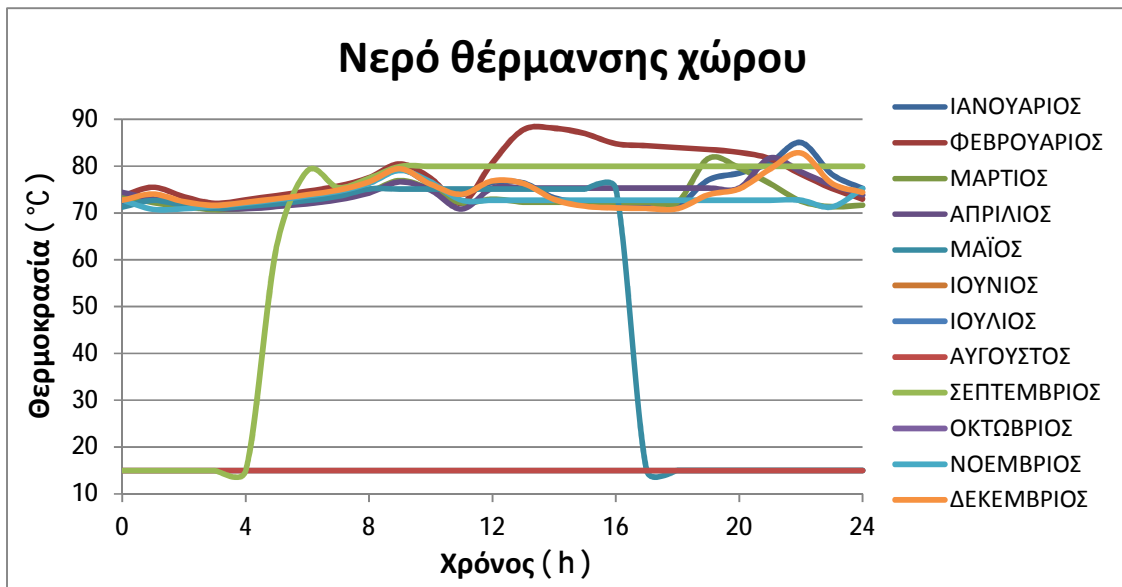
Αντιστοίχως, παρουσιάζονται τα διαγράμματα θερμοκρασιών νερού για θέρμανση χώρου για τα θερμικά συστήματα προσομοίωσης των δύο σεναρίων:

Θερμικό σύστημα με μια δεξαμενή αποθήκευσης:



Διάγραμμα 7.9: Θερμοκρασία ζεστού νερού για θέρμανση χώρου χαρακτηριστικής ημέρας κάθε μήνα (Σενάριο 1^ο)

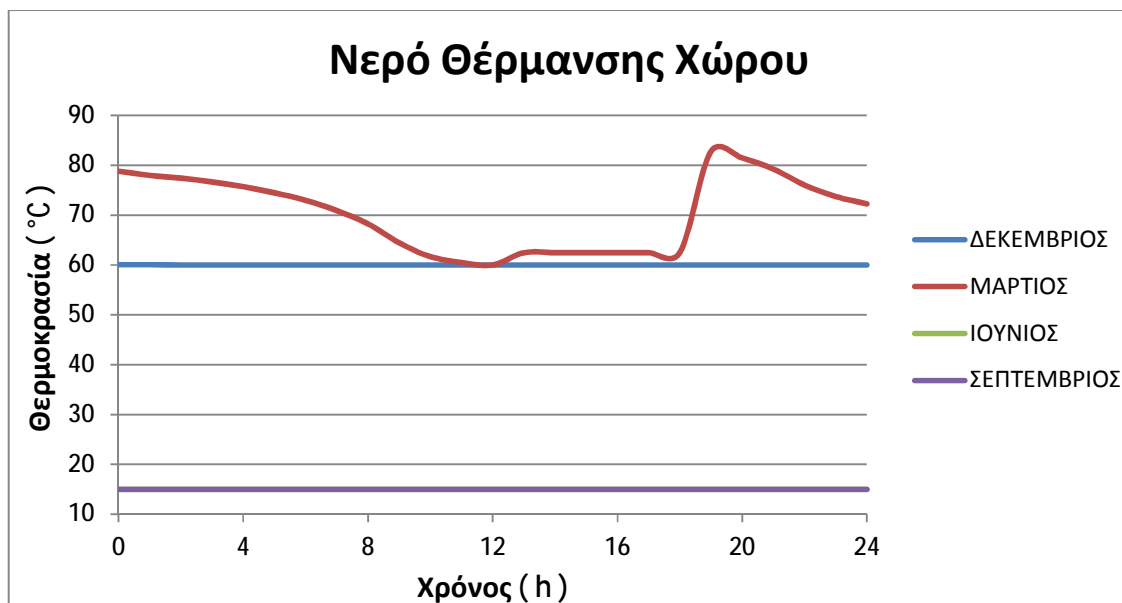
Θερμικό σύστημα με δύο δεξαμενές αποθήκευσης:



Διάγραμμα 7.10: Θερμοκρασία ζεστού νερού για θέρμανση χώρου χαρακτηριστικής ημέρας κάθε μήνα (Σενάριο 2^ο)

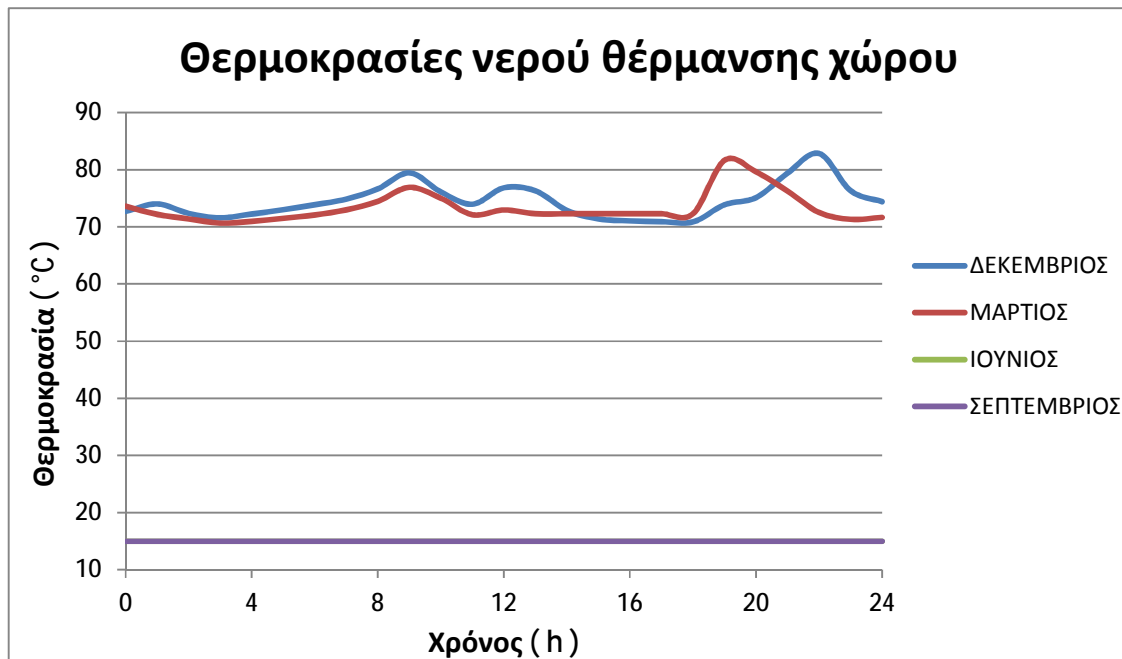
Αντιστοίχως, για καλύτερη παρατήρηση των αποτελεσμάτων απομονώνονται οι καμπύλες των χαρακτηριστικών ημερών για τις τέσσερις εποχές του χρόνου:

Θερμικό σύστημα με μια δεξαμενή αποθήκευσης:



Διάγραμμα 7.11: Θερμοκρασία ζεστού νερού για θέρμανση χώρου χαρακτηριστικής ημέρας 4 εποχών (Σενάριο 1^ο)

Θερμικό σύστημα με δύο δεξαμενές αποθήκευσης:

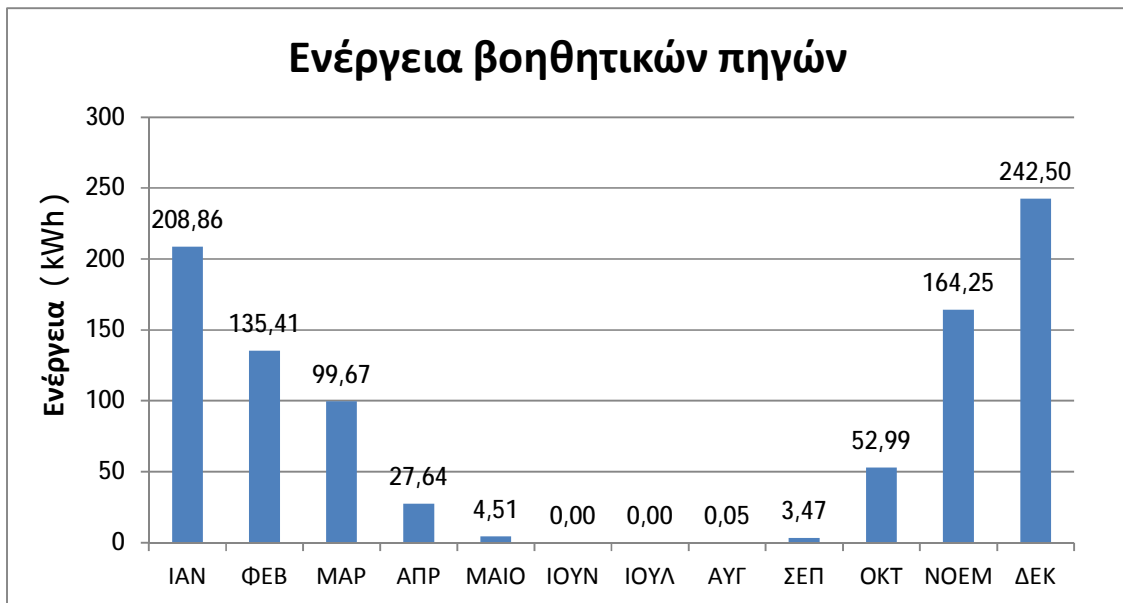


Διάγραμμα 7.12: Θερμοκρασία ζεστού νερού για θέρμανση χώρου χαρακτηριστικής ημέρας 4 εποχών (Σενάριο 2^ο)

Παρατηρώντας τα Διαγράμματα 7.9 και 7.10 διαπιστώνεται ότι οι παράμετροι λειτουργίας που έχουν καθοριστεί από τον χρήστη κατά στην σχεδίαση των θερμικών συστημάτων προσομοίωσης εκτελούνται ορθά. Συγκεκριμένα, στο Σενάριο 1 η θερμοκρασία του νερού για θέρμανση χώρου φθάνει ικανοποιητικές θερμοκρασίες, θέτοντας τα elements της δεξαμενής μόλις στους 60°C, ενώ στο Σενάριο 2 η θερμοκρασία του νερού δεν μειώνεται κάτω από τους 70°C. Επιπλέον, και στα δύο σενάρια προσομοίωσης τους θερινούς μήνες παρατηρείται ότι η θερμοκρασία νερού θέρμανσης χώρου δεν ξεπερνάει την θερμοκρασία νερού του δικτύου ύδρευσης.

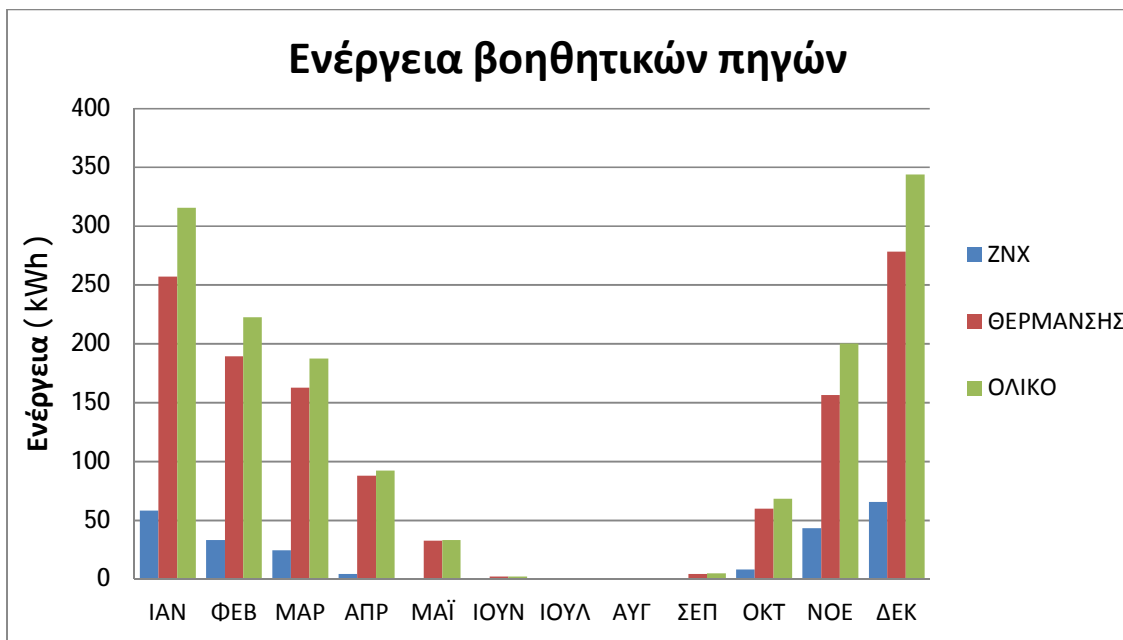
Τέλος, παρουσιάζεται η ενέργεια που απαιτείται να παραχθεί από κάποια βοηθητική πηγή ενέργειας προκειμένου το νερό των δεξαμενών αποθήκευσης των δύο σεναρίων να φθάσει την εκάστοτε επιθυμητή θερμοκρασία.

Θερμικό σύστημα με μια δεξαμενή αποθήκευσης:



Διάγραμμα 7.13: Η απαιτούμενη επιπρόσθετη ενέργεια για κάθε μήνα (Σενάριο 1^ο)

Θερμικό σύστημα με δύο δεξαμενές αποθήκευσης:

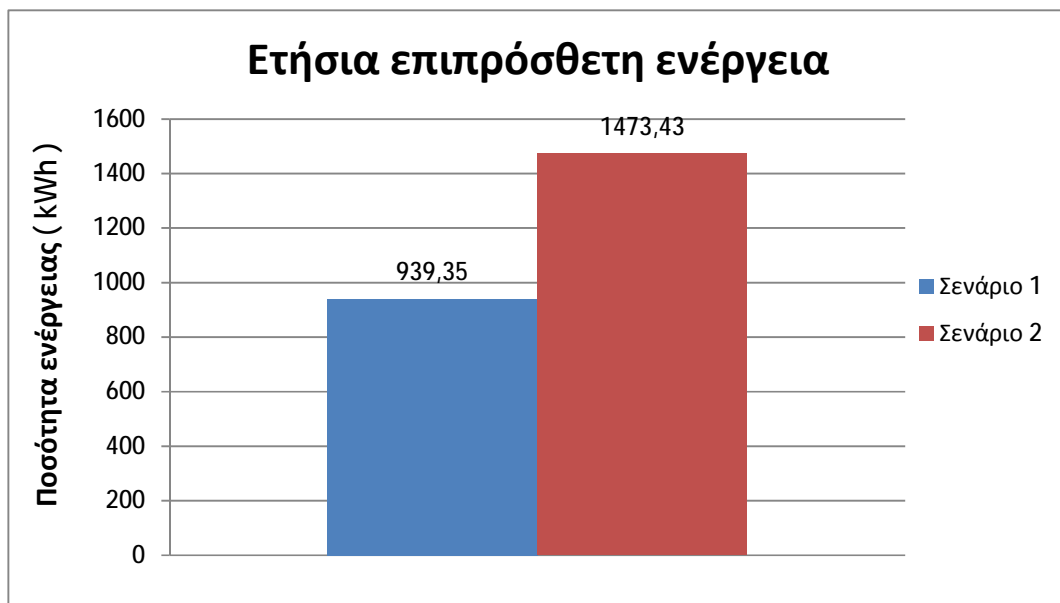


Διάγραμμα 7.14: Η απαιτούμενη επιπρόσθετη ενέργεια για κάθε μήνα (Σενάριο 2^ο)

Όπως διαπιστώνεται από τα παραπάνω διαγράμματα, τους χειμερινούς μήνες η απαίτηση για επιπλέον ενέργεια που θα θερμαίνει το νερό της δεξαμενής είναι μεγάλη. Αυτό συμβαίνει διότι οι ανάγκες για θέρμανση ζεστού νερού χρήσης και κυρίως για τη θέρμανση του νερού που προορίζεται για θέρμανση χώρου δεν καλύπτονται πλήρως από την κύρια πηγή ενέργειας, δηλαδή την ηλιακή ακτινοβολία. Το γεγονός αυτό οφείλεται στη διαστασιολόγηση που πραγματοποιήθηκε στο στάδιο της σχεδίασης του συστήματος, όπου επιλέχθηκε η διαστασιολόγηση της συνολικής θερμική συλλεκτικής επιφάνεια να πραγματοποιηθεί βάσει του βέλτιστου μήνα (Ιούνιος). Έτσι, αποφεύγεται η παραγωγή περίσσειας θερμικής ενέργειας τους θερινούς μήνες.

Επιπλέον, για τον υπολογισμό της ολικής επιπρόσθετης ενέργειας που απαιτείται στο Σενάριο 1 αθροίζονται οι επιμέρους μηνιαίες παρεχόμενες ενέργειες στο νερό της μιας δεξαμενής αποθήκευσης, ενώ η ολική επιπρόσθετη ενέργεια που χρειάζεται το Σενάριο 2 προκύπτει από το άθροισμα των μηνιαίων ενεργειών που προσφέρονται στις δεξαμενές ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρου αντίστοιχα.

Ακολουθεί η γραφική απεικόνιση των συνολικών ετήσιων ενεργειών:



Διάγραμμα 7.15: Σύγκριση ενεργειών από βοηθητικές πηγές σε ετήσια βάση

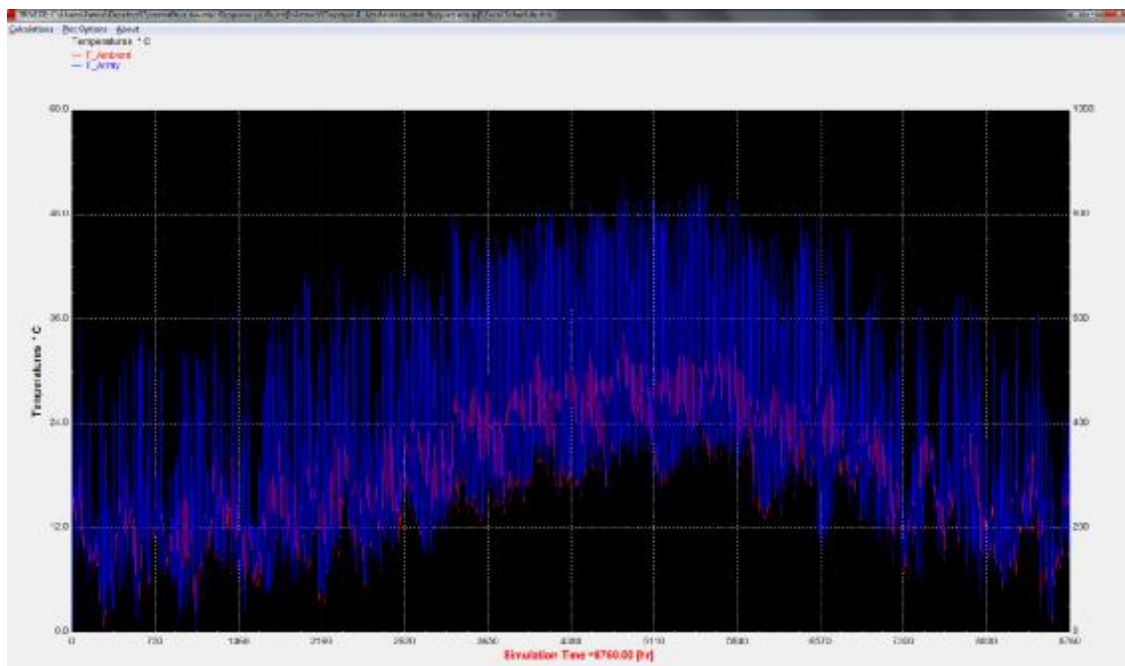
Κλείνοντας, αξίζει να σημειωθεί ότι η σημαντική διαφορά στην ποσότητα της απαιτούμενης ενέργειας από τις βοηθητικές πηγές που παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 7.15 είναι αποτέλεσμα των διαφορετικών απαιτήσεων που τέθηκαν για

την λειτουργία των βοηθητικών πηγών. Όπως είχε αναφερθεί και προηγουμένως, τα βοηθητικά elements στη μια δεξαμενή αποθήκευσης (Σενάριο 1) απενεργοποιούνται στους 60°C, ενώ στη δεξαμενή αποθήκευσης νερού θέρμανσης χώρου του 2^{ου} σεναρίου τα βοηθητικά στοιχεία απαιτείται να λειτουργούν μέχρι τους 70°C. Σε αυτό το σημείο ολοκληρώνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων των θερμικών συστημάτων.

7.2 Αποτελέσματα Φ/Β συστήματος προσομοίωσης

Η προσομοίωση του φωτοβολταϊκού συστήματος στο TRNSYS Simulation Studio παρέχει την δυνατότητα παρουσίασης χρήσιμων πληροφοριών μέσω διαγραμμάτων. Κάποιες από τις πληροφορίες αυτές αφορούν μεγέθη όπως είναι οι θερμοκρασίες που επηρεάζουν την λειτουργία της ΦΒ διάταξης, η προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια και τα παραγόμενα μεγέθη τάσης, ρεύματος, και συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από την ΦΒ συστοιχία. Αναλυτικά εξάγονται οι παρακάτω γραφικές παραστάσεις:

Αρχικά παρουσιάζεται το προφίλ της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στην επιφάνεια των ΦΒ συλλεκτών συγκριτικά με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος:



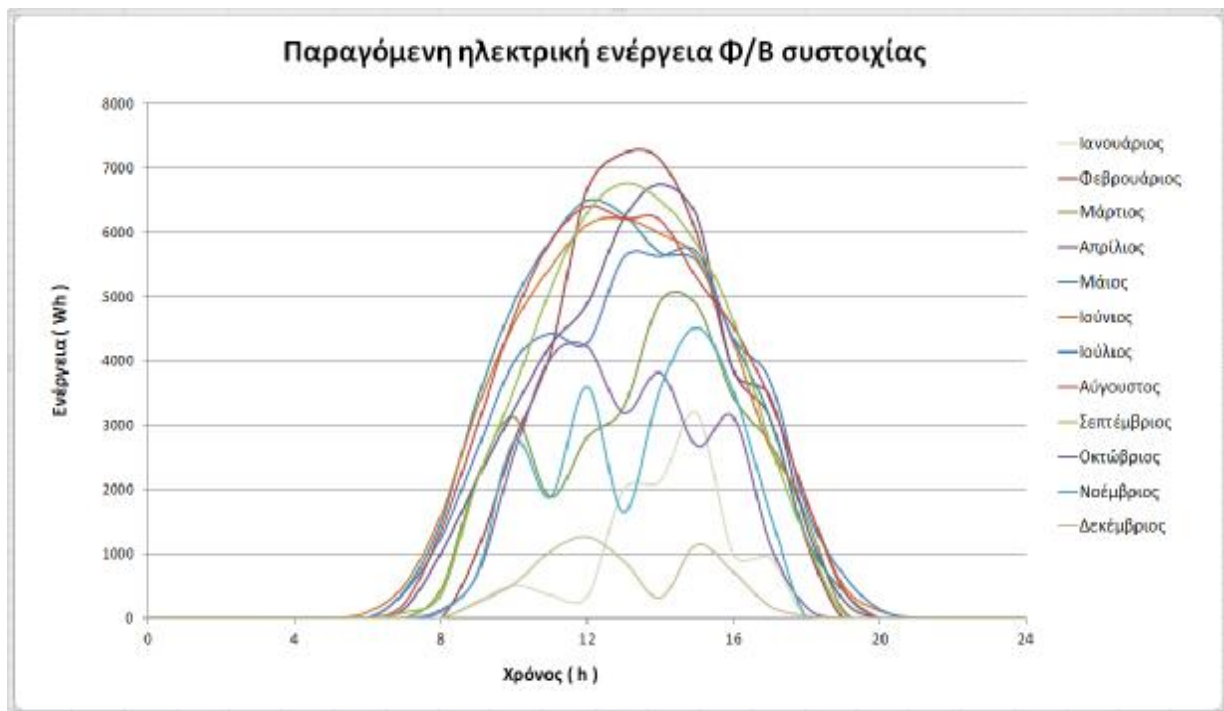
Διάγραμμα 7.16: Ετήσια κατανομή θερμοκρασίας περιβάλλοντος και επιφάνειας ΦΒ

Κόκκινη καμπύλη → Θερμοκρασία περιβάλλοντος

Μπλε καμπύλη → Θερμοκρασία επιφάνειας της ΦΒ συστοιχίας

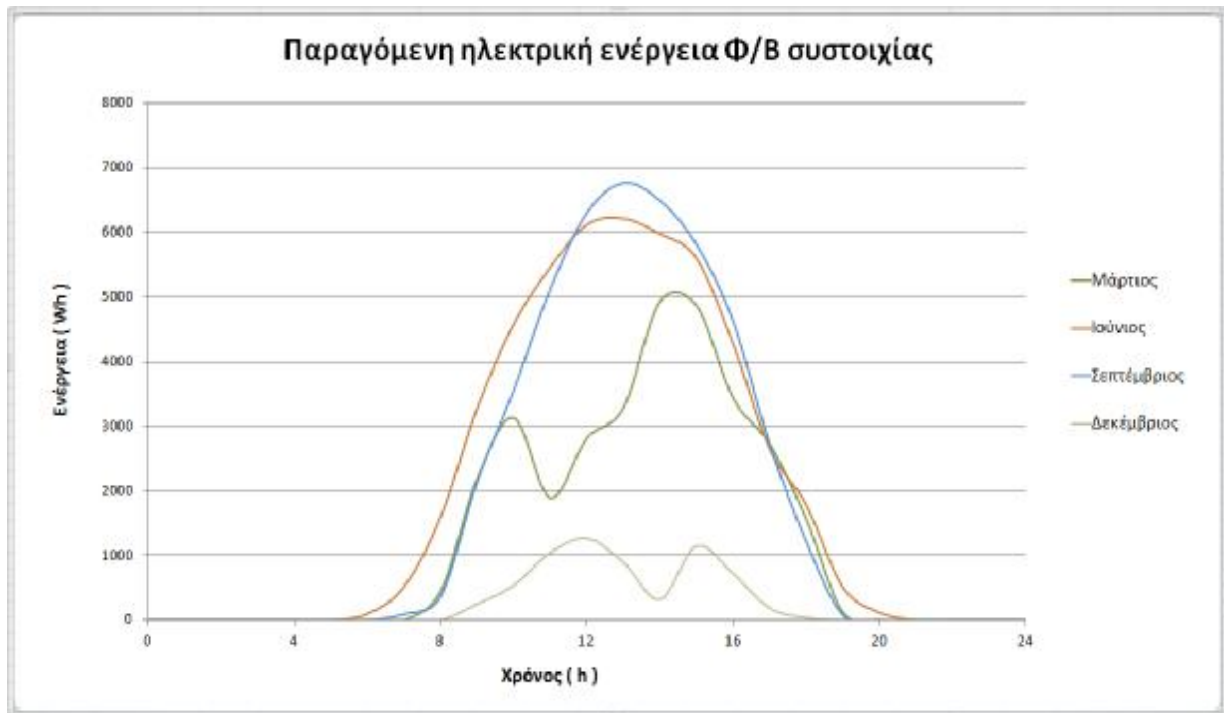
Στο Διάγραμμα 7.16 προσομοιώνονται οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στη φωτοβολταϊκή επιφάνεια κατά τη διάρκεια πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Συγκεκριμένα, παρατηρείται πολύ υψηλή αναπτυσσόμενη θερμοκρασία επιφάνειας τους καλοκαιρινούς μήνες, όπως είναι λογικό, λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας περιβάλλοντος και του υψηλού ηλιακού δυναμικού (απορρόφηση). Επιπλέον, και τους χειμερινούς μήνες η θερμοκρασία των ΦΒ επιφανειών είναι υψηλή παρόλο που η θερμοκρασία περιβάλλοντος έχει μειωθεί αισθητά.

Το φωτοβολταϊκό σύστημα προσομοίωσης διαστασιολογήθηκε με σκοπό την κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων κατανάλωσης που ορίστηκαν από τον χρήστη. Η προσομοίωση αυτή εξήγαγε αποτελέσματα σχετικά με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την συστοιχία των ΦΒ συλλεκτών, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:



Διάγραμμα 7.17: Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για τη χαρακτηριστική ημέρα κάθε μήνα

Αναλυτικότερα, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια της Φ/Β συστοιχίας για τις χαρακτηριστικές ημέρες των 4 εποχών του χρόνου παρουσιάζεται παρακάτω:

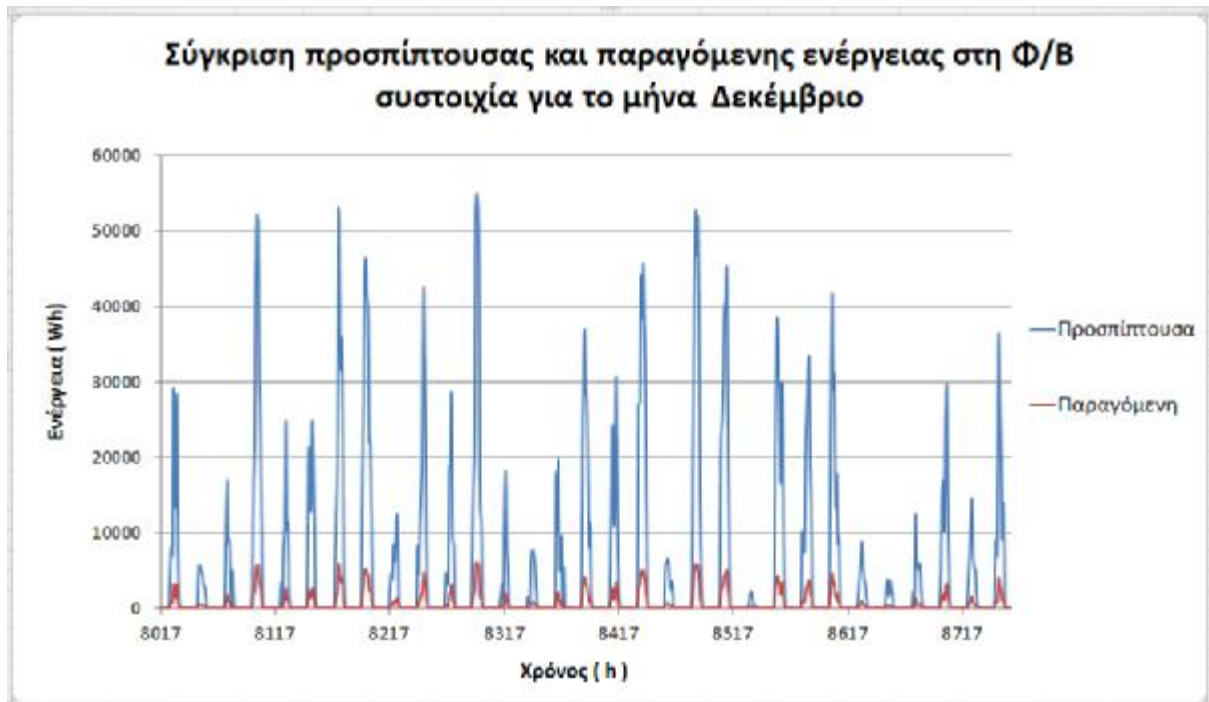


Διάγραμμα 7.18: Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για τη χαρακτηριστική ημέρα 4 εποχών

Για την καλύτερη ανάλυση και μελέτη των αποτελεσμάτων επιλέχθηκε η σύγκριση της συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για την χαρακτηριστική ημέρα του κάθε μήνα. Σκοπός της μελέτης του αυτόνομου ΦΒ συστήματος είναι η 100% κάλυψη του φορτίου καταναλώσεων ($E_K = 10 \text{ kWh}$) καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Επομένως με την επίτευξη 100% κάλυψης των αναγκών του δυσμενέστερου μήνα (Δεκέμβριος), κατ' επέκταση επιτυγχάνεται και η απαιτούμενη κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων και τους υπόλοιπους μήνες.

Επίσης, συμπεραίνεται ότι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια των ΦΒ συστημάτων συμπίπτει χρονικά με το προφίλ έντασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή για τις ώρες μέγιστης ηλιοφάνειας επιτυγχάνεται και η παραγωγή μέγιστης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ τις ώρες της ημέρας όπου δεν υφίσταται ηλιακή ακτινοβολία η παραγόμενη ενέργεια ελαχιστοποιείται.

Πιο συγκεκριμένα, ακολουθούν γραφικές παραστάσεις των μεγεθών που αντληθήκαν για τον δυσμενέστερο μήνα κατά την προσομοίωση στο TRNSYS.



Διάγραμμα 7.19: Η ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας συγκριτικά με την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια στην ΦΒ επιφάνεια

Στο Διάγραμμα 7.19 απεικονίζονται οι τιμές της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για τον μήνα Δεκέμβριο. Η μεγάλη διαφορά που παρουσιάζεται μεταξύ των τιμών της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας και της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας εξηγείται λαμβάνοντας υπόψη τις χαρακτηριστικές παραμέτρους λειτουργίας των ΦΒ πλαισίων που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση (παράθυρο parameters του ΦΒ μοντέλου προσομοίωσης), από τις οποίες προκύπτει και ο βαθμός εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας της ΦΒ συστοιχίας (βαθμός απόδοσης).

Παρόλο το χαμηλό ποσοστό εκμετάλλευσης της ηλιακής ακτινοβολίας από τα ΦΒ πλαίσια, επιτυγχάνεται η κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων κατανάλωσης (ζητούμενο μελέτης). Το γεγονός αυτό απορρέει από τις αρχικές παραμέτρους σχεδίασης και διαστασιολόγησης του συστήματος που τέθηκαν στο πρόγραμμα προσομοίωσης.

Στη συνέχεια ακολουθούν διαγράμματα για την σύγκριση του φορτίου κατανάλωσης και της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας:



Διάγραμμα 7.20: Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια και φορτίο κατανάλωσης

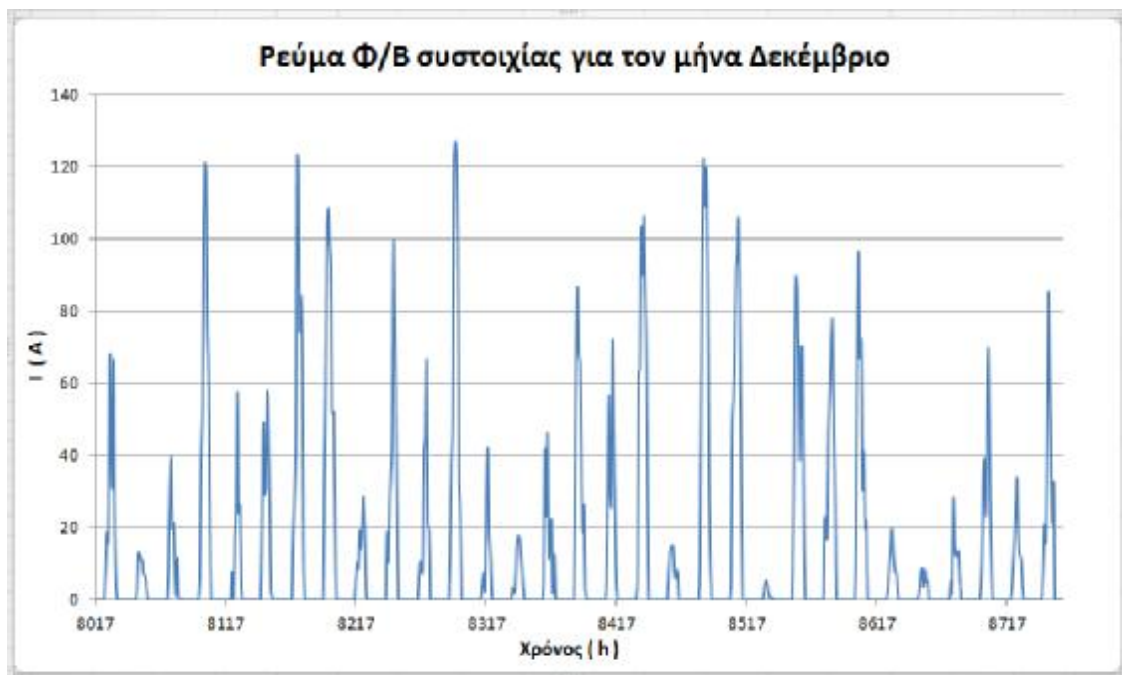


Διάγραμμα 7.21: Παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια και φορτίο κατανάλωσης της χαρακτηριστικής ημέρας του Δεκεμβρίου

Από τα Διαγράμματα 7.20, 7.21 παρατηρείται ότι τις ώρες όπου η επιφάνεια των ΦΒ πλαισίων δέχεται ηλιακή ακτινοβολία, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται καλύπτει την ενέργεια των καταναλώσεων. Επίσης, η ΦΒ συστοιχία θα πρέπει να παράγει συνολικά τόση ενέργεια ώστε να καλύπτει τις καταναλώσεις τα χρονικά διαστήματα όπου δεν υφίσταται ηλιακή ακτινοβολία, π.χ βραδινές ώρες ή τις ημέρες αυξημένης συννεφιάς. Αυτό επιτυγχάνεται με την αποθήκευση ενέργειας στους συσσωρευτές της εγκατάστασης και έτσι εξασφαλίζεται η πλήρης

κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων και η αυτονομία που καθορίζεται από τον μελετητή.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα παραγόμενα μεγέθη έντασης ηλεκτρικού ρεύματος και τάσης της ΦΒ συστοιχίας:



Διάγραμμα 7.22: Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος της ΦΒ συστοιχίας



Διάγραμμα 7.23: Η τάση της ΦΒ συστοιχίας

Τέλος, από το Διαγράμματα 7.22 διαπιστώνεται ότι η παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία συμπίπτει χρονικά με τις ώρες επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ από το Διάγραμμα 7.23 επιβεβαιώνεται η απαίτηση του μελετητή έτσι ώστε η μέγιστη τάση στα άκρα της ΦΒ συστοιχίας να παραμένει σταθερή στα 48 V.

Από το γινόμενο της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος I και της αναπτυσσόμενης τάσης V προκύπτει η στιγμιαία ισχύς P (W) που παράγει η ΦΒ συστοιχία. Αν θεωρήσουμε πως η παραγόμενη ισχύς παραμένει σταθερή σε ωριαία βάση λειτουργίας του συστήματος, υπολογίζεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια (Wh) της ΦΒ συστοιχίας.

Σε αυτό το σημείο ολοκληρώνεται η παρουσίαση των αποτελεσμάτων του φωτοβολταϊκού συστήματος και κατ' επέκταση η παρουσίαση των αποτελεσμάτων του υβριδικού συστήματος προσομοίωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8. Συμπεράσματα - Επίλογος

Στα πλαίσια της παρούσας Πτυχιακής εργασίας παρουσιάστηκε η προσομοίωση ενός υβριδικού συστήματος για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας μιας κατοικίας στην περιοχή της Ανδραβίδας, με τη χρήση του υπολογιστικού προγράμματος TRNSYS 16.

Για την καλύτερη κατανόηση του συστήματος, η διαδικασία ανάλυσης πραγματοποιήθηκε σε τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο καθορίστηκαν οι θερμικές και ηλεκτρικές απαιτήσεις που καλείται να καλύψει το υβριδικό σύστημα της προσομοίωσης, οι οποίες για το θερμικό σύστημα αντιστοιχούν στην παραγωγή θερμού νερού χρήσης θερμοκρασίας 45 °C και θερμού νερού για την θέρμανση χώρων θερμοκρασίας 70 °C, ενώ για το φωτοβολταϊκό σύστημα τα φορτία καταναλώσεων ανέρχονται στις 10 kWh ημερησίως. Εν συνεχεία βάσει των δεδομένων αυτών, διαστασιολογήθηκε η θερμική εγκατάσταση με ετήσιο ποσοστό κάλυψης $F = 69\%$ και η αυτόνομη φωτοβολταϊκή εγκατάσταση με ετήσιο ποσοστό $F = 100\%$ για την κάλυψη την ηλεκτρικών αναγκών.

Το δεύτερο στάδιο μελέτης αφορά στη σχεδίαση του συστήματος των ηλιακών θερμικών συλλεκτών στο πρόγραμμα προσομοίωσης. Σε αυτό το σημείο το θερμικό σύστημα ορίστηκε να αντιπροσωπεύεται από δύο σενάρια. Στο 1^ο σενάριο υφίσταται μια δεξαμενή αποθήκευσης του θερμού νερού για την κάλυψη των φορτίων, ενώ στο 2^ο σενάριο επιλέχθηκε η τοποθέτηση δύο δεξαμενών αποθήκευσης θερμού νερού, όπου η μια αποθηκεύει και παρέχει το ζεστό νερό χρήσης, ενώ η άλλη τροφοδοτεί με θερμότητα το κύκλωμα για θέρμανση χώρου του κτιρίου αναφοράς κατοικίας.

Τέλος, το τρίτο στάδιο πραγματοποιήθηκε και αυτό στο περιβάλλον προσομοίωσης του TRNSYS και απαρτίζεται από την σχεδίαση του φωτοβολταϊκού συστήματος με απαίτηση για αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές, που εξασφαλίζουν την ηλεκτρική αυτονομία τεσσάρων ημερών της κατοικίας.

Για τα παραπάνω στάδια επιλέχθηκε η παρουσίαση συγκεκριμένων γραφικών παραστάσεων, οι οποίες αφορούν την συμπεριφορά λειτουργίας των συστημάτων σε μηνιαία αλλά και σε ετήσια βάση. Τα συμπεράσματα που

διεξάχθηκαν για το θερμικό σύστημα, ύστερα από την σύγκριση των διαγραμμάτων αυτών, είναι ότι το 1^ο Σενάριο προσομοίωσης αναδεικνύεται καταλληλότερο για την κάλυψη των φορτίων ζεστού νερού χρήσης και θέρμανσης χώρου, διότι απαιτεί λιγότερη επιπρόσθετη ενέργεια βοηθητικής πηγής για την επίτευξη των θερμοκρασιακών απαιτήσεων που του έχουν καθοριστεί (Διάγραμμα 7.15). Επίσης, το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος κατασκευής και εγκατάστασης, το καθιστά ως πρώτη επιλογή εφαρμογής θερμικού συστήματος σε σχέση με το 2^ο Σενάριο.

Από την άλλη πλευρά, η προσομοίωση της φωτοβολταϊκής εγκατάστασης οδήγησε στο συμπέρασμα ότι οι ώρες παραγωγής της μέγιστης ηλεκτρικής ενέργειας ταυτίζονται με τις ώρες αιχμής της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στην φωτοβολταϊκή επιφάνεια. Επίσης, από την σύγκριση των Διαγραμμάτων 7.19 και 7.21 παρατηρείται πως με την σωστή διαστασιολόγηση της φωτοβολταϊκής συστοιχίας και των συσσωρευτών αποθήκευσης ενέργειας, η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση είναι ικανή να καλύψει άμεσα ή έμμεσα τα εκάστοτε ηλεκτρικά φορτία, παρόλο τη χαμηλή ηλεκτρική απόδοση που διαθέτουν τα φωτοβολταϊκά πάνελ.

Η παραπάνω διαδικασία σχεδίασης και ανάλυσης του προς μελέτη υβριδικού συστήματος είναι απόρροια των δυνατοτήτων που παρέχει το υπολογιστικό πακέτο προσομοίωσης του TRNSYS. Ειδικότερα, η δυνατότητα ελέγχου των συνθηκών λειτουργίας, η σύγκριση διαφορετικών σεναρίων σχεδίασης και η παραμετροποίηση των στοιχείων που αποτελούν το σύστημα της προσομοίωσης οδηγούν στην βελτιστοποίηση των συστημάτων που μελετώνται. Επιπλέον, σημαντικό προτέρημα του συγκεκριμένου προγράμματος προσομοίωσης είναι η δυνατότητα εκ νέου δημιουργίας νέων μοντέλων προσομοίωσης, που θα πληρούν τις απαιτήσεις του μελετητή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το TRNSYS να καθίσταται ένα πολύτιμο εργαλείο για την υλοποίηση της μελέτης οποιαδήποτε εφαρμογής ερευνητικού περιεχομένου.

Μέσω της εργασίας αυτής έγιναν πιο οικείες οι έννοιες όπως η προσομοίωση και η παραμετροποίηση ενός συστήματος με ρεαλιστικά προβλήματα σε εκτεταμένες συνθήκες. Επίσης, μας δόθηκε η ευκαιρία να εργαστούμε σε ένα πρόγραμμα πολλών δυνατοτήτων, με στόχο αφενός την σχεδίαση ενός υβριδικού συστήματος προσομοίωσης συγκεκριμένων προδιαγραφών και αφετέρου τη δημιουργία ενός εργαλείου προσομοίωσης με πολλές δυνατότητες εξέλιξης σε μελλοντικές εφαρμογές.

Κάποιες προτεινόμενες εφαρμογές είναι:

- Οικονομοτεχνική και Περιβαλλοντική μελέτη του υβριδικού συστήματος λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας
- Βελτίωση της παρούσας πτυχιακής με καλύτερη επιλογή παραμέτρων και εισαγωγή περισσότερων λεπτομερειών
- Μελέτη του υβριδικού συστήματος για την κάλυψη των θερμικών και ηλεκτρικών αναγκών ενός πολυζωνικού κτιρίου σχεδιασμένου στο TRNBuild
- Παραμετρική ανάλυση του υβριδικού συστήματος για την μελέτη λειτουργίας μια θερμικής εγκατάστασης συλλεκτών κενού και εγκατάστασης φωτοβολταϊκών λεπτού φιλμ

Τέλος, επισημαίνεται η σημασία διεξαγωγής μελετών που διερευνούν τρόπους αξιοποίησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, οι οποίες θα εξυπηρετούν τις ανάγκες του ανθρώπου και ταυτόχρονα θα καθίστανται φιλικές προς το περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Β. Μπιζιώνης, Δ. Μπιζιώνης, Ηλιακή & Αιολική Ενέργεια- Θεωρία & Εφαρμογές, Εκδόσεις Τζιόλα, 2015
2. Σ. Πέρδιος, Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις, Τεκδοτική, Αθήνα, 2011
3. Σ. Καπλάνης, Ήπιες μορφές ενέργειας ΙΙ, Ηλιακή Μηχανική, Εκδόσεις Ίων, 2004
4. TRNSYS 16 Documentation
5. PVGIS , <http://photovoltaic-software.com/pvgis.php>
6. Σ. Καπλάνης, Ήπιες μορφές ενέργειας ΙΙΙ, Μηχανική των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων, Εκδόσεις Ίων, 2004
7. ΚΑΠΕ, Centre d' Energétique, Zentrum für Rationelle Energieanwendung und Umwelt GmbH, Guide for the Training of Engineers in the Electricity Production Technologies from Renewable Energy Sources, Αθήνα, Αύγουστος 2001
8. Αντώνιος Ε. Γερασίμου, Η ανάπτυξη της βιομάζας στην Ελλάδα Status, Δυνατότητες & Προκλήσεις, Αθήνα, 2016
9. Αναπτυξιακή Σύμπραξη Ήλιος, Σειρά Πληροφοριακού και Εκπαιδευτικού Υλικού, Χάρτες Δυναμικού στην Ελλάδα, Πάτρα, 2016
10. Χριστοφής Ι. Κορωναίος , Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Διδακτικές Σημειώσεις , Αθήνα, Μάρτιος 2012
11. Τσεκούρας Δ. Παναγιώτης, Παραμετρική μελέτη θέρμανσης χώρων με εποχιακή αποθήκευση με χρήση του προγράμματος TRNSYS, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα, Φεβρουάριος 2008
12. Τσόγκας Κωνσταντίνος, Μοντελοποίηση και ενεργειακή διαχείριση ηλεκτρολογικής εγκατάστασης με το περιβάλλον προσομοίωσης TRNSYS, Διπλωματική εργασία, Χανιά 2012
13. Ανδριοπούλου Χ. Συμεώνη, Μελέτη Θερμοσιφωνικού συστήματος επίπεδου συλλέκτη με χρήση του προγράμματος TRNSYS, Διπλωματική εργασία, Πάτρα 2009
14. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας, <http://www.cres.gr/kape/index.htm>
15. Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας , <http://www.ypeka.gr/>
16. Περιβάλλον & Διαχείριση Ενέργειας, <http://www.allaboutenergy.gr/Piges23.html>

17. Κέντρο Εκπαιδευτικής Έρευνας,
<http://www.kee.gr/perivallontiki/index.html>
18. Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας , <http://eletaen.gr/>
19. Green Energy Plus , <http://greenenergyplus.blogspot.gr>
20. Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης Καστοριάς , <http://kpe-kastor.kas.sch.gr/>
21. Government of Canada, climatechange,
<http://www.climatechange.gc.ca/default.asp?lang=En&n=1A0305D5-1>
22. Εργαστήριο Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Πανεπιστήμιο Πατρών,
<http://www.atmosphere-upatras.gr/solarmaps>
23. Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων
<http://www.physics.uoi.gr/seci/clim2.pdf>
24. Πανελλήνιο Σχολικό Δίκτυο, http://users.sch.gr/imarinakis/solar_energy.htm
25. Λειτουργός Αγοράς Ηλεκτρικής ενέργειας Α.Ε, <http://www.lagie.gr/>
26. Argoenergy, Εταιρία παραγωγής, διαχείρισης και ενεργειακής αξιοποίησης της Βιομάζας, <https://www.agroenergy.gr/>
27. B2Green, <http://www.b2green.gr/el/post/3027/afieroma-i-energeiaki-axiopoisi-tou-vioaeriou>
28. <http://renewablegreece.wikispaces.com>
29. https://en.wikipedia.org/wiki/Greenhouse_effect

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Διαστασιολόγηση θερμικού συστήματος κύριας κατοικίας

Η συγκεκριμένη διαστασιολόγηση περιλαμβάνει τη μελέτη μιας εγκατάστασης ηλιακών θερμικών συλλεκτών για οικία 4 ατόμων στην περιοχή της Ανδραβίδας με γεωγραφικό μήκος L: 21,27° και γεωγραφικό πλάτος Φ: 37,91°. Είναι αναγκαίο να εκτιμηθεί το ποσοστό κάλυψης f των θερμικών αναγκών για θέρμανση χώρου στους 20 °C και για παραγωγή ζεστού νερού στους 45 °C από το σύστημα των ηλιακών θερμικών συλλεκτών κλίσης β= 37° και νότιου προσανατολισμού για μια συγκεκριμένη επιφάνεια θερμικών συλλεκτών. Η διαστασιολόγηση πραγματοποιείται για τον βέλτιστο μήνα του χρόνου, από πλευράς έντασης της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, δηλαδή για τον μήνα Ιούνιο, έτσι ώστε να μην υφίσταται περίσσεια θερμικής ενέργειας τους καλοκαιρινούς μήνες, όσο αυτό είναι δυνατό. Δίνονται επίσης τα παρακάτω στοιχεία για την μελέτη της εγκατάστασης:

- Γινόμενο μέσου συντελεστής θερμοπερατότητας επί την εξωτερική επιφάνεια του κτιρίου: $(UA)_b = 200 \frac{W}{^\circ C}$
- Μήκος του δικτύου σωληνώσεων: $l = 120 \text{ m}$
- Συντελεστής διόρθωσης: $\frac{F'_R}{F_R} = 0,95$
- Βαθμός εκμετάλλευσης εναλλάκτη: $\varepsilon = 0,6$
- Παροχή νερού: $\Pi = 0,015 \text{ l/s}$ ανά m^2 επιφάνεια συλλέκτη
- Χωρητικότητα δεξαμενής νερού: $M = 50 \frac{1}{\text{m}^2 \text{ επιφάνειας συλλεκτών}}$
- Κατανάλωση ζεστού νερού = $50 \frac{1}{\text{άτομο ανά μέρα}}$

Αρχικά, υπολογίζεται το ολικό φορτίο L (απαιτήσεις) που πρέπει να καλύπτει ο συγκεκριμένος συλλέκτης από τον τύπο:

$$L = L_{sh} + L_w + L_p \text{ [Wh]}$$

όπου,

1) L_{sh} είναι το φορτίο θέρμανσης χώρου με τύπο :

$$L_{sh} = 24 \left(\frac{h}{\text{day}} \right) \cdot (UA)_b \left(\frac{W}{^\circ C} \right) \cdot D \text{ (}^\circ C \cdot \text{day)}$$

Επειδή τους καλοκαιρινούς μήνες δεν χρησιμοποιείται η θέρμανση χώρου, το φορτίο θα είναι $L_{sh} = 0 \text{ Wh}$.

2) L_w είναι το φορτίο ζεστού νερού χρήσης με τύπο :

$$L_w = N \cdot \bar{V}_w \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_w - T_m)$$

όπου,

- \bar{V}_w η μέση ημερήσια κατανάλωση νερού / άτομο x πλήθος ατόμων
- T_w η επιθυμητή θερμοκρασία του νερού (45°C)
- T_m η θερμοκρασία νερού του δικτύου (15°C)
- C_p η θερμοχωρητικότητα του νερού ($4180 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$)

Έτσι , το φορτίο ζεστού νερού υπολογίζεται ως εξής :

$$L_w = N \cdot \bar{V}_w \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_w - T_m) = L_w = 209 \text{ [kWh]}$$

3) L_p είναι το φορτίο απωλειών με τύπο :

$$L_p = N \cdot t \cdot \bar{U} \cdot l$$

όπου,

- t η ημερήσια λειτουργία του δικτύου (περίπου 17 ώρες) [s]
- l το μήκος των σωληνώσεων
- $\bar{U} = 0,42 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ ο μέσος συντελεστής (μονωμένων) σωληνώσεων διαμέτρου $\frac{3}{4}$ in [W/m]
- $N = 30$, οι ημέρες του μήνα

Έτσι , το φορτίο απωλειών υπολογίζεται :

$$L_p = N \cdot t \cdot \bar{U} \cdot l \rightarrow L_p = 642,6 \text{ [kWh]}$$

Για τον υπολογισμό του συνολικού θερμικού φορτίου L , αθροίζονται τα παραπάνω φορτία L_{sh} , L_w , L_p .

$$L = L_{sh} + L_w + L_p = 0 + 209 + 642,6 \rightarrow L = 851,6 \text{ [kWh]}$$

Στην συνέχεια, για τον υπολογισμό του ποσοστού κάλυψης f των ενεργειακών αναγκών της οικίας για τον μήνα Ιούνιο, χρησιμοποιούμε το παρακάτω μαθηματικό μοντέλο (**μέθοδος f-chart**) που ισχύει για τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες:

$$f(X, Y) = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,018X^2 + 0,0215Y^3$$

όπου:

$$\cdot X = X_A \cdot A_c$$

$$X_A = F_R U_L \cdot \left(\frac{F'_{R}}{F_R} \right) \cdot (100 - \bar{T}\alpha) \cdot \left(\frac{\Delta t}{L} \right) \cdot K_2 \cdot K_3 \quad \left[\frac{1}{m^2} \right]$$

όπου:

- Δt : ο χρόνος του κάθε μήνα σε δευτερόλεπτα
- K_2, K_3 : οι διορθωτικοί συντελεστές
- M : η χωρητικότητα της δεξαμενής
- $F_R U_L$: οι θερμικές απώλειες του συλλέκτη $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

$$\Delta t = 30 \text{ days} \cdot 24 \frac{\text{hours}}{\text{day}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{hour}} \rightarrow \Delta t = 2592000 \text{ s}$$

$$K_2 = \left(\frac{M}{75} \right)^{-1/4} \rightarrow K_2 = 1,11$$

$$K_3 = \frac{11,6 + 1,18 T_w + 3,86 T_m - 2,32 \bar{T}\alpha}{100 - \bar{T}\alpha} \rightarrow K_3 = 0,84$$

Επιλέγεται επίπεδος θερμικός συλλέκτης συντελεστή θερμικών απωλειών ($F_R U_L$), ο οποίος είναι :

$$F_R U_L = 3,8 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Έτσι, υπολογίζεται η τιμή του X_A :

$$X_A = F_R U_L \cdot \left(\frac{F'_{R}}{F_R} \right) \cdot (100 - \bar{T}\alpha) \cdot \left(\frac{\Delta t}{L} \right) \cdot K_2 \cdot K_3 \rightarrow X_A = 0,2838 \left[\frac{1}{m^2} \right]$$

Υστερα από πολλές επαναλήψεις που πραγματοποιήθηκαν στην μέθοδο f-chart, η επιφάνεια των θερμικών συλλεκτών ορίστηκε να έχει την τιμή $A_c = 20 \text{ m}^2$, προκειμένου να επιτευχθεί ένα ικανοποιητικό ετήσιο ποσοστό κάλυψης των θερμικών αναγκών της εγκατάστασης.

Επομένως:

$$X = X_A \cdot A_c \rightarrow X = 5,68$$

$$\cdot Y = Y_A \cdot A_c$$

$$Y_A = F_R(\tau\alpha)_n \cdot \left(\frac{F'_{R}}{F_R} \right) \cdot \frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n} \cdot \left(\frac{N \cdot \overline{H\tau}}{L} \right) \cdot K_4$$

όπου:

- $F_R(\tau\alpha)_n = 0,802$ είναι η οπτική αποδοτικότητα του συλλέκτη
- $\overline{H\tau} = 6180 \text{ kWh/m}^2$ η μέση μηνιαία ημερήσια ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο
- $\frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n} = 0,90$ ο λόγος αυτός δίνεται από πίνακα για Ιούνιο και κλίση $\beta = 37^\circ$

K_4 είναι ο διορθωτικός συντελεστής με τύπο

$$K_4 = a + b \cdot e^{-c/\lambda}$$

$$\text{όπου : } \quad a = 0,39 \quad b = 0,65 \quad c = 0,139$$

$$\lambda = \frac{\varepsilon \cdot C_{\min}}{(UA)b}$$

$$C_{\min} = (\dot{m} \cdot C_p) \rightarrow C_{\min} = (\rho \cdot \Pi \cdot C_p) \rightarrow C_{\min} = 1254 \frac{W}{^\circ C}$$

$$\lambda = \frac{\varepsilon C_{\min}}{(UA)b} \rightarrow \lambda = 3,762$$

Έτσι, ο συντελεστής K_4 υπολογίζεται ως εξής :

$$K_4 = a + b \cdot e^{-c/\lambda} \rightarrow K_4 = 1,0164$$

Στην συνέχεια, για να προσδιορίσουμε την παράμετρο Y_A πρέπει να γνωρίζουμε τις τιμές των $\overline{H\tau}$ & $F_R(\tau\alpha)_n$. Σύμφωνα με την βάση δεδομένων **PVGIS** η μέση μηνιαία ημερήσια ακτινοβολία $\overline{H\tau}$ συλλέκτη με $\beta = 37^\circ$ και $\gamma = 0^\circ$ για τον μήνα Ιούνιο είναι:

$$\overline{H\tau} = 6180 \frac{Wh}{m^2}$$

Ενώ η οπτική αποδοτικότητα του συλλέκτη είναι $F_R(\tau\alpha)_n$:

$$F_R(\tau\alpha)_n = 0,802$$

Έτσι, υπολογίζετε η τιμή του Y_A

$$Y_A = F_R(\tau\alpha)_n \cdot \left(\frac{F_{R'}}{F_R} \right) \cdot \frac{(\overline{\tau\alpha})}{(\tau\alpha)_n} \cdot \left(\frac{N \cdot \overline{H\tau}}{L} \right) \cdot K_4 \rightarrow Y_A = 0,15 \left[\frac{1}{m^2} \right]$$

Με γνωστή πλέον την τιμή Y_A καθώς και την συνολική επιφάνεια του συλλέκτη, μπορεί να προσδιοριστεί η παράμετρος Y :

$$Y = Y_A \cdot A_c \rightarrow Y = 3$$

Η τελική φάση της μελέτης περιλαμβάνει τον υπολογισμό του ποσοστού κάλυψης f των ενεργειακών αναγκών της οικίας για τον μήνα Ιούνιο, σύμφωνα με το παρακάτω μοντέλο (μέθοδος **f-chart**) που ισχύει για τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες:

$$f(X,Y) = 1,029Y - 0,065X - 0,245Y^2 + 0,018 X^2 + 0,0215 Y^3$$

Αντικαθιστώντας τις παραμέτρους X, Y προκύπτει ότι :

$$f(X,Y) = 1,029 \cdot Y - 0,065 \cdot X - 0,245 \cdot Y^2 + 0,0018 \cdot X^2 + 0,0215 \cdot Y^3 \rightarrow$$

$$f = 1,1516 \rightarrow f = 115,16 \%$$

Ο υπολογισμός του ποσοστού κάλυψης f των ενεργειακών αναγκών της οικίας σύμφωνα με τη μέθοδος **f-chart** πραγματοποιήθηκε για όλους τους μήνες του έτους με σκοπό την ανάδειξη του ετήσιου ποσοστού κάλυψης F για θερμικά φορτία που

αφορούν ζεστό νερό χρήσης $T_w = 45 \text{ }^\circ\text{C}$ και θέρμανση χώρου σε θερμοκρασία $T_{REF} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ενδεικτικά για τον μήνα Δεκέμβριο, ο οποίος καθίσταται ο μήνας με την λιγότερη προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, παρουσιάζονται τα παρακάτω αποτελέσματα:

Για τον δυσμενέστερο μήνα: Δεκέμβριος

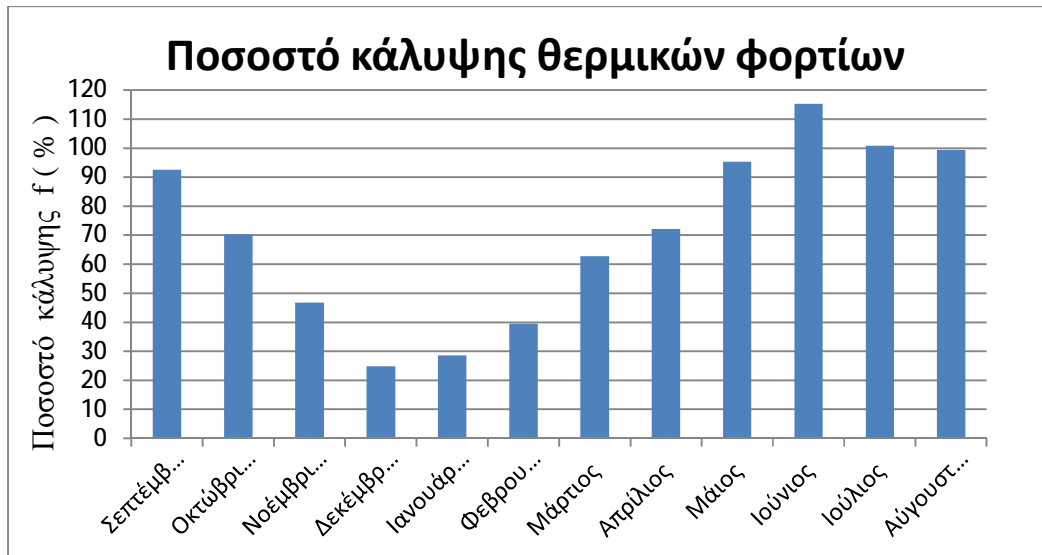
Πόλη	Ανδραβίδα	
Γεωγραφικό μήκος σε μοίρες (°)	L =	21,27
Γεωγραφικό πλάτος σε μοίρες (°)	Φ =	37,91
Προσανατολισμός σε μοίρες (°)	N =	0
Συντελεστής θερμοπερατότητας σε (W / °C)	(UA) =	200
Αριθμός ημερών του μήνα σε (days)	N =	31
Διαφορά θερμοκρασίας Tref με Ta σε (°C)	ΔT =	7,3
Ετήσιος αριθμός βαθμοημερών για τους 18 (°C)	Da =	1100
Βαθμομέρες του μήνα για 20 (°C * day)	D =	228,144
Αριθμός ατόμων	4	
Επιθυμητή Θερμοκρασία χώρου σε (°C)	Tref =	20
Επιθυμητή Θερμοκρασία ζεστού νερού χρήσης σε (°C)	Tw =	45
Θερμοκρασία νερού του δικτύου (από πινάκες) σε (°C)	Tm =	15
Μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος σε (°C)	Ta =	12,7
Μέση ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού σε (lt / άτομο τη μέρα)	Vw =	50
Η πυκνότητα του νερού σε (kg / lt)	ρ =	1
Η ειδική θερμοχωρητικότητα του νερού σε (J / kg * K)	Cp =	4180
Η ημερήσια λειτουργία του δικτύου σε (sec)	t =	64800
Μήκος σωληνώσεων σε (m)	l =	120
Ο μέσος συντελεστής (μονωμένων) σωληνώσεων διαμέτρου 3/4 in σε (W/m)	U =	10,5
Οι θερμικές απώλειες του συλλέκτη σε (W / m ² * K)	FRUL =	3,8
Συντελεστής διόρθωσης	F'R / FR =	0,95
Ο χρόνος του μήνα σε δευτερόλεπτα σε (sec)	Δt =	2678400
Χωρητικότητα δεξαμενής νερού (lt / m ² συλλέκτη)	M =	50
Επιφάνεια συλλεκτών σε (m ²)	Ac =	20
Διορθωτικός συντελεστής	K2 =	1,10668
Διορθωτικός συντελεστής	K3 =	0,93

Κλίση συλλεκτών σε μοίρες (°)	$\beta =$	37
Η οπτική αποδοτικότητα του συλλέκτη σε (%)	$FR(\tau\alpha)n$	0,802
Ο λόγος αυτός δίνεται από πίνακα για τον μήνα επιλογής και με την κλίση β	$(\tau\alpha)/(\tau\alpha)n$	0,9
Η μέση μηνιαία ημερήσια ακτινοβολία στο κεκλιμένο επίπεδο σε (Wh / m^2)	$H\tau$	1990
Συντελεστής	$a =$	0,39
Συντελεστής	$b =$	0,65
Συντελεστής	$c =$	0,139
Βαθμός εκμετάλλευσης εναλλάκτη	$\varepsilon =$	0,60
Η ελάχιστη θερμοχωρητική παροχή του εναλλάκτη σε ($W / ^\circ C$)	$C_{min} =$	1254
Η μαζική παροχή του ρευστού που περνάει από τον συλλέκτη σε (kg / sec)	$m =$	0,3
Παροχή σε ($lt / sec * m^2$ επιφάνεια συλλέκτη)	$\Pi =$	0,015
Συντελεστής	$\lambda =$	3,762
Διορθωτικός συντελεστής	$K4 =$	1,0164

Φορτίο θέρμανσης χώρου σε (Wh)	$L_{sh} =$	1095092,18
από (Wh) -----> (kWh)	$L_{sh} =$	1095,09
Φορτίο θέρμανσης ζεστού νερού χρήσης σε (kWh)	$L_w =$	855228000
από (Joule) -----> (kJ)	$L_w =$	855228
από (kJ) -----> (kWh)	$L_w =$	237,56
Φορτίο απωλειών σε (kJ)	$L_p =$	2531088000
από (Joule) -----> (kJ)	$L_p =$	2531088
από (kJ) -----> (kWh)	$L_p =$	703,1
Το συνολικό φορτίο σε (kWh)	$L =$	2035,7
Συντελεστής σε ($1 / m^2$)	$X_A =$	0,1191
Παράμετρος	$X =$	2,382
Συντελεστής σε ($1 / m^2$)	$Y_A =$	0,0211
Παράμετρος	$Y =$	0,42
Το ποσοστό κάλυψης σε (%)	$f =$	0,24797398
	$f =$	24,80

Το ποσοστό κάλυψης των θερμικών αναγκών f για τους υπόλοιπους μήνες του χρόνου υπολογίζεται :

Μήνας	Ποσοστό κάλυψης (%)
Σεπτέμβριος	92,60
Οκτώβριος	70,26
Νοέμβριος	46,80
Δεκέμβριος	24,80
Ιανουάριος	28,59
Φεβρουάριος	39,59
Μάρτιος	62,69
Απρίλιος	72,19
Μάιος	95,35
Ιούνιος	115,16
Ιούλιος	100,87
Αύγουστος	99,48
Ετήσιο	69,53



Διάγραμμα Π.1: Μηνιαίο ποσοστό κάλυψης f

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Διαστασιολόγηση αυτόνομου Φ/Β συστήματος κύριας κατοικίας

Το αυτόνομο Φ/Β σύστημα που προσομοιώνεται με το υπολογιστικό πρόγραμμα TRNSYS αφορά την εγκατάσταση ΦΒ πλαισίων σε μια κύρια κατοικία με κεραμοσκεπή επιφάνειας 150 m², στην περιοχή της Ανδραβίδας. Η διαστασιολόγηση του συστήματος πραγματοποιείται με σκοπό την κάλυψη των ηλεκτρικών φορτίων σε ποσοστό $f = 100\%$ με συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά ημέρα της τάξεως των **10 kWh**.

Αρχικά, η φωτοβολταϊκή εγκατάσταση επιλέγεται να είναι πλήρως προσανατολισμένη στον Νότο ($\gamma_s = 0^\circ$) για την μέγιστη εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας καθ' όλη την διάρκεια του έτους.

Από τη βάση δεδομένων του **PVGIS** λαμβάνονται πληροφορίες για τη βέλτιστη κλίση της εγκατάστασης και την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία σε μια επιφάνεια βέλτιστης κλίσης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, για μια Φ/Β εγκατάσταση στην Ανδραβίδα η βέλτιστη κλίση είναι $\beta=37^\circ$ και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ανά ημέρα του κάθε μήνα είναι η ακόλουθη:

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
$H_T(37) \text{ Wh/ m}^2 \text{ day}$	2320	2940	4030	5150	5700	6180	6130	5960	5220	3910	2570	1990	4350

Από τα παραπάνω δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας συμπεραίνεται ότι ο δυσμενέστερος μήνας για την λειτουργία της Φ/Β εγκατάστασης, ως προς την ποσότητα της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, είναι ο **Δεκέμβριος** με $H_T = 1990 \text{ Wh/ m}^2 \text{ day}$. Επομένως, εάν η ΦΒ εγκατάσταση διαστασιολογηθεί έτσι ώστε να καλύπτει πλήρως τα ηλεκτρικά φορτία της κατοικίας τον μήνα Δεκέμβριο, θα επιτυγχάνεται η κάλυψη των φορτίων και τους υπόλοιπους μήνες, όπου η προσπίπτουσα στην ΦΒ επιφάνεια ηλιακή ακτινοβολία θα είναι μεγαλύτερη.

Για την διαστασιολόγηση του συστήματος επιλέχθηκαν οι παρακάτω παράμετροι λειτουργίας για τα διάφορα στοιχεία που απαρτίζουν την εγκατάσταση:

Πίνακας αποδόσεων

Βαθμός απόδοσης ΦΒ πλαισίου	$\eta_1 =$	0,113
Βαθμός απόδοσης του ελεγκτή φόρτισης	$\eta_2 =$	0,78
Βαθμός απόδοσης των συσσωρευτών κατά την φόρτιση	$\eta_3 =$	0,90
Βαθμός απόδοσης των συσσωρευτών κατά τη εκφόρτιση	$\eta_4 =$	0,90
Βαθμός απόδοσης του inverter	$\eta_5 =$	0,96

Στοιχεία ΦΒ πλαισίων

Βαθμός απόδοσης ΦΒ πλαισίου	$\eta =$	0,113
Εμβαδόν πλαισίου (m^2)	$A =$	0,89
Τάση πλαισίου V_{mp} (Volt)	$V_{mp} =$	17
Ρεύμα πλαισίου I_{mp} (A)	$I_{mp} =$	5,9
Ισχύς πλαισίου P_{mp} (Watt)	$P_{mp} =$	100,3
Μέγιστη τάση ΦΒ συστοιχίας $V_{m\Sigma}$ (Volt)	$V_{m\Sigma} =$	48

Στοιχεία συσσωρευτών

Χωρητικότητα του ενός στοιχείου στο συσσωρευτή (Ah)	16,7
Τάση του ενός στοιχείου στο συσσωρευτή (Volt)	2
Βάθος εκφόρτισης ανάλογα με τις μέρες αυτονομίας 60%	0,6
Ημέρες αυτονομίας	4

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Η συνολική ημερήσια ηλεκτρική ενέργεια κατανάλωσης είναι:

$$E_K = 10 \text{ kWh}$$

Η ενέργεια που τροφοδοτεί άμεσα τα φορτία κατανάλωσης (E_1) ορίζεται στο 40% της συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τα ΦΒ πλαίσια και η ενέργεια (E_2) που τροφοδοτεί έμμεσα τις καταναλώσεις, μέσω των συσσωρευτών, είναι το υπόλοιπο 60% της συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Επομένως,

$$E_1 = E_K \cdot 40\% \rightarrow E_1 = 4 \text{ kWh}$$

$$E_2 = E_K \cdot 60\% \rightarrow E_2 = 6 \text{ kWh}$$

Για την παραγωγή των ποσών ηλεκτρικής ενέργειας (E_1) και (E_2) από τα ΦΒ πλαίσια θα πρέπει να προσπίπτουν και οι αντίστοιχες απαιτούμενες ενέργειες ηλιακής ακτινοβολίας στην επιφάνεια των ΦΒ συλλεκτών, οι οποίες υπολογίζονται βάσει των παρακάτω σχέσεων:

$$E'_1 = \frac{E_1}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_5} = \frac{4 \text{ kWh}}{0,113 \cdot 0,78 \cdot 0,96} \rightarrow E'_1 = 47,27 \text{ kWh}$$

$$E'_2 = \frac{E_2}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5} = \frac{6 \text{ kWh}}{0,113 \cdot 0,78 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,96} \rightarrow E'_2 = 87,54 \text{ kWh}$$

Επομένως, η συνολική προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια για την παραγωγή της απαιτούμενης ενέργειας των καταναλώσεων θα πρέπει να είναι:

$$E' = E'_1 + E'_2 \rightarrow E' = \mathbf{134,81 \text{ kWh}}$$

Στη συνέχεια, γνωρίζοντας τη μέση ημερήσια προσπίπτουσα ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας για τον Δεκέμβριο ($H_T = 1990 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$), υπολογίζεται η συνολική επιφάνεια των ΦΒ πλαισίων της εγκατάστασης:

$$A_\Sigma = \frac{E'}{H_T} = \frac{134,81 \text{ kWh}}{1,99 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}} \rightarrow A_\Sigma = \mathbf{68 \text{ m}^2}$$

Με βάση την φωτοβολταϊκή επιφάνεια του κάθε πλαισίου που αναγράφεται στον πίνακα παραμέτρων θα προκύψει, εν τέλει, ο συνολικός αριθμός των ΦΒ πλαισίων της εγκατάστασης.

$$N = \frac{A_\Sigma}{A} = \frac{68 \text{ m}^2}{0,89 \text{ m}^2} \rightarrow N = \mathbf{76 \text{ ΦΒ πλαίσια}}$$

Σε αυτό το σημείο επισημαίνεται ότι για την ενέργεια κατανάλωσης της εγκατάστασης ($E_K = 10 \text{ kWh}$) προτείνεται ως η μέγιστη παραγόμενη τάση της συστοιχίας των ΦΒ πλαισίων να είναι τα $V_{m\Sigma} = \mathbf{48V}$. Από τα στοιχεία των ΦΒ πλαισίων του πίνακα για το σημείο μέγιστης ισχύος λαμβάνονται οι τιμές τάσης $V_{mp} = 17V$ και ρεύματος $I_{mp} = 5,9 \text{ A}$. Έτσι, για την επίτευξη των $48V$ τάσης, η συνδεσμολογία των ΦΒ πλαισίων είναι **25 παράλληλες συστοιχίες των 3 πλαισίων εν σειρά**.

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΩΝ

Η ενέργεια αποθήκευσης που θα πρέπει να έχουν οι συσσωρευτές της εγκατάστασης για αυτονομία συστήματος **4 ημερών** και βάθος εκφόρτισης 60% προκύπτει από τον τύπο:

$$E_{\sigma} = \frac{4 \cdot E}{0,6 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5} \rightarrow E_{\sigma} = \mathbf{77,16 \text{ kWh}}$$

και για τάση 48 V υπολογίζεται η τιμή της χωρητικότητας των συσσωρευτών αποθήκευσης:

$$C = \frac{77160 \text{ Wh}}{48 \text{ V}} \rightarrow C = \mathbf{1608 \text{ Ah}}$$

Από τα στοιχεία των συσσωρευτών του πίνακα ($C_{\text{στοιχείου}} = 16,7 \text{ Ah}$ και $V_{\text{στοιχείου}} = 2 \text{ V}$), προκύπτει ότι η εγκατάσταση των συσσωρευτών θα αποτελείται από **96 παράλληλες συστοιχίες των 24 στοιχείων σε σειρά**.

Επιλογή ρυθμιστή φόρτισης και Inverter

Ο ρυθμιστής φόρτισης που θα τοποθετηθεί στην ΦΒ εγκατάσταση καλείται να έχει ονομαστικό ρεύμα τουλάχιστον **150 A**, ενώ ο inverter να δέχεται ισχύς **3,2 kW** (11520 kJ/h) για την σωστή λειτουργία του συστήματος.