

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Μεταπτυχιακή Εργασία

**ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΤΗΡΙΟΥ**

υπό

ΛΕΩΝΙΔΑ ΚΑΛΙΑΚΑΤΣΗ

Πτυχιούχου Μηχανολόγου Μηχανικού Τ.Ε.Ι. ΣΕΡΡΩΝ, 2000

Πτυχιούχου Φυσικού Α.Π.Θ., 2008

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των

απαιτήσεων για την απόκτηση του

Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

2013

© 2013 Λεωνίδας Καλιακάτσης

Η έγκριση της μεταπτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) Δρ. Αναστάσιος Σταμάτης
Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Νικόλαος Ανδρίτσος
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Τάσος Σταματέλλος
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο
Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ το προσωπικό του τμήματος για την ενθάρρυνση και συμπαράστασή τους στην ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας. Ευχαριστώ ιδιαίτερος την σύζυγο μου Καλλιόπη Γαβρά για την στήριξη και ανοχή της.

Αυτή η εργασία είναι αφιερωμένη στον Ηλία και τον Γιάννη.

Λεωνίδας Καλιακάτσης

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΤΗΡΙΟΥ

ΛΕΩΝΙΔΑΣ ΚΑΛΙΑΚΑΤΣΗΣ

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 2013

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Αναστάσιος Σταμάτης, Αναπληρωτής Καθηγητής Εφαρμοσμένης
Θερμοδυναμικής – Θερμικών Σταθμών

Περίληψη

Στο πλαίσιο της διεθνούς προσπάθειας για περιορισμό των συνεπειών της κλιματικής αλλαγής έχει τονιστεί ότι η συνεισφορά του κτηριακού τομέα μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης είναι σημαντική.

Το μεγαλύτερο μέρος της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτηρίου αφορά την θέρμανση και την ψύξη. Με την εργασία αυτή, εστιάζοντας στην θέρμανση, γίνεται μια προσπάθεια ανάλυσης ενός σύγχρονου συστήματος χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης ώστε να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για την λειτουργία του και να εντοπιστούν εκείνες οι κρίσιμες παράμετροι που η τροποποίησή τους βελτιώνει την ενεργειακή του συμπεριφορά.

Ενσωματώνοντας στο σύστημα αυτό ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές προκύπτει σημαντική χρονική εξάρτηση της κατάστασής του και συνεπώς η ανάλυσή του πρέπει να είναι δυναμική. Για το σκοπό αυτό επιλέγεται η χρήση του λογισμικού TRNSYS.

Σταδιακά συντίθεται ένα σύστημα που αποτελείται από πολυζωνικό κτήριο κατοικίας σε σύνδεση με εξοπλισμό για την θέρμανση χώρων και ζεστού νερού χρήσης.

Μετά από εξέταση ευαισθησίας κρίσιμων θερμικών μεγεθών του συστήματος εξάγονται χρήσιμα συμπεράσματα. Έμφαση δίνεται στη σημασία του μεγέθους της προσωρινής δεξαμενής αποθήκευσης αλλά και στη διαχείριση της θερμικής της φόρτισης.

Η εργασία ολοκληρώνεται με μια βελτιστοποίηση που στόχο έχει την επιλογή του κατάλληλου μεγέθους δεξαμενής αδράνειας ώστε να επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών του συστήματος για κάθε σενάριο ικανότητας λειτουργίας θερμαντήρα σε μερικό φορτίο.

Πίνακας Περιεχομένων

| | |
|---|-----------|
| Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή | 1 |
| 1.1 Κίνητρο και Υπόβαθρο..... | 1 |
| 1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση..... | 2 |
| 1.3 Οργάνωση Μεταπτυχιακής Εργασίας..... | 3 |
| Κεφάλαιο 2 Θέρμανση Κτηρίων και Ζ.Ν.Χ..... | 7 |
| 2.1 Ρύπανση Περιβάλλοντος | 8 |
| 2.2 Κτήριο Σχεδόν Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης | 13 |
| 2.3 Συστήματα Θέρμανσης Κτηρίων | 19 |
| 2.3.1 Ενεργητικά ηλιακά θερμικά συστήματα | 21 |
| 2.3.2 Συστήματα βιομάζας..... | 23 |
| 2.3.3 Συστήματα γεωθερμίας και αντλιών θερμότητας | 25 |
| Κεφάλαιο 3 Θερμική Αποθήκευση και η Σημασία της | 31 |
| 3.1 Μέγεθος και Θερμοχωρητικότητα | 33 |
| 3.2 Θερμικές Απώλειες..... | 34 |
| 3.3 Θερμική Διαστρωμάτωση | 35 |
| 3.4 Θερμικός Έλεγχος | 38 |
| Κεφάλαιο 4 Υπολογιστικό Πρόγραμμα TRNSYS..... | 41 |
| 4.1 Γενική Περιγραφή Δομής..... | 42 |
| 4.2 Χώρος Σύνθεσης..... | 48 |
| 4.3 Συστατικά Στοιχεία | 48 |
| 4.4 Στοιχείο Κτηρίου Πολλών Θερμικών Ζωνών και υποπρόγραμμα TRNBuild..... | 57 |
| 4.4.1 Παράθυρο αρχικών τιμών έργου | 60 |
| 4.4.2 Παράθυρο θερμικής ζώνης..... | 64 |
| Κεφάλαιο 5 Σχεδιασμός Εξεταζόμενου Συστήματος | 81 |
| 5.1 Τμήμα Μετεωρολογικών Παραμέτρων | 82 |
| 5.1.1 Στοιχείο μετεωρολογικών παραμέτρων (TYPE109-TMY2) | 83 |
| 5.1.2 Στοιχείο συνάρτησης μονάδων πίεσης (Equa_Pa-Atm)..... | 84 |
| 5.1.3 Στοιχείο ψυχομετρικού χάρτη (TYPE33e)..... | 84 |

| | | |
|--|---|------------|
| 5.1.4 | Στοιχείο ενεργής θερμοκρασίας ουρανού (TYPE69b)..... | 85 |
| 5.2 | Τμήμα Κτηρίου | 87 |
| 5.3 | Τμήμα Φόρτισης και Θερμικής Αποθήκευσης..... | 95 |
| 5.3.1 | Στοιχείο θερμαντήρα (TYPE6)..... | 96 |
| 5.3.2 | Στοιχείο κυκλοφορητή φόρτισης δεξαμενής αδράνειας (TYPE114)..... | 99 |
| 5.3.3 | Στοιχείο ελεγκτή by-pass αδράνειας (PID TYPE23)..... | 100 |
| 5.3.4 | Στοιχείο ενεργής τρίοδης βάνας διανομής by-pass αδράνειας (TYPE11f)..... | 102 |
| 5.3.5 | Στοιχείο σταθερού μείκτη by-pass αδράνειας (TYPE11h)..... | 103 |
| 5.3.6 | Στοιχείο προσωρινής δεξαμενής αδράνειας (TYPE4e)..... | 104 |
| 5.3.7 | Στοιχείο διαφορικού ελεγκτή δεξαμενής αδράνειας (TYPE2b-3)..... | 106 |
| 5.3.8 | Στοιχείο συνάρτησης θερμοκρασιακού στόχου αδράνειας (Equa-MANAGER)..... | 109 |
| 5.3.9 | Στοιχεία συναρτήσεων συλλεκτών ροών (Collector hot – Collector cold)..... | 109 |
| 5.3.10 | Στοιχείο κυκλοφορητή ZNX (TYPE114-4)..... | 110 |
| 5.3.11 | Στοιχείο διαφορικού ελεγκτή ZNX (TYPE2b)..... | 111 |
| 5.3.12 | Στοιχείο δεξαμενής ZNX (TYPE60d)..... | 112 |
| 5.3.13 | Στοιχείο ηλιακού συλλέκτη (TYPE1b)..... | 114 |
| 5.3.14 | Στοιχείο Κυκλοφορητή Ηλιακού (TYPE114-5)..... | 115 |
| 5.3.15 | Στοιχείο διαφορικού ελεγκτή ηλιακού (TYPE2b-2)..... | 116 |
| 5.4 | Τμήμα Φορτίων Χώρου | 118 |
| 5.4.1 | Στοιχεία σταθερού μείκτη για τα θερμικά κυκλώματα χώρων (TYPE11h-2&3)..... | 119 |
| 5.4.2 | Συστατικά στοιχεία ελεγκτή PID για τα θερμικά κυκλώματα (TYPE23-2&3)..... | 120 |
| 5.4.3 | Στοιχεία τρίοδης βάνας διανομής για τα θερμικά κυκλώματα (TYPE11f-2&3)..... | 122 |
| 5.4.4 | Στοιχεία Συνάρτησης Φορτίων (Equa_LOAD1&2)..... | 125 |
| 5.4.5 | Στοιχεία κυκλοφορητών θερμικών κυκλωμάτων (TYPE114-2&3)..... | 128 |
| 5.5 | Τμήμα Φορτίων Ζεστού Νερού Χρήσης..... | 130 |
| 5.5.1 | Στοιχείο θερμικά ελεγχόμενης τρίοδης βάνας διανομής (TYPE11b-3)..... | 131 |
| 5.5.2 | Στοιχείο σταθερού μείκτη ZNX (TYPE11h-4)..... | 132 |
| 5.5.3 | Στοιχείο συνάρτησης φορτίου ZNX (Equa_WATER)..... | 133 |
| 5.5.4 | Συστατικό στοιχείο χρονικού προφίλ κατανάλωσης ZNX (TYPE14b)..... | 134 |
| 5.6 | Σύνδεση Τμημάτων | 135 |
| 5.6.1 | Σύνδεση τμημάτων μετεωρολογικών παραμέτρων – κτηρίου..... | 135 |
| 5.6.2 | Σύνδεση τμημάτων φόρτισης και θερμικής αποθήκευσης – κτηρίου..... | 136 |
| 5.6.3 | Σύνδεση τμημάτων φόρτισης και θερμικής αποθήκευσης – φορτίων χώρου..... | 140 |
| 5.6.4 | Σύνδεση τμημάτων μετεωρολογικών παραμέτρων – Φορτίων χώρου..... | 141 |
| 5.6.5 | Σύνδεση τμημάτων μετεωρολογικών παραμέτρων – φόρτισης και αποθήκευσης..... | 141 |
| 5.7 | Κρίσιμα Εξεταζόμενα Μεγέθη | 142 |
| 5.8 | Συνολική Δομή Εξεταζόμενης Σύνθεσης..... | 144 |
| Κεφάλαιο 6 Εξέταση Ευαισθησίας Συστήματος | 147 | |
| 6.1 | Λειτουργία Συστήματος αναφοράς | 150 |
| 6.2 | Τροποποιούμενες Μεταβλητές..... | 164 |
| 6.3 | Συμπεράσματα..... | 168 |

| | |
|---|------------|
| Κεφάλαιο 7 Βελτιστοποίηση Σχεδιασμού..... | 169 |
| 7.1 Συνάρτηση βελτιστοποίησης..... | 171 |
| 7.2 Αποτελέσματα | 173 |
| 7.3 Συμπεράσματα..... | 182 |
| Κεφάλαιο 8 Σύνοψη Μεταπτυχιακής Εργασίας | 185 |
| Βιβλιογραφία..... | 191 |

Κατάλογος Εικόνων

| | |
|---|----|
| Εικόνα 2-1: Όρια για εκτίμηση ισοζυγίου Net ZEB..... | 19 |
| Εικόνα 2-2: Συστήματα ρηχής γεωθερμίας σε υγρό ή ξηρό έδαφος | 27 |
| Εικόνα 3-1: Βασική διάταξη δοχείου προσωρινής αποθήκευσης θερμότητας. | 32 |
| Εικόνα 3-2: Βασική διαστασιολόγηση δεξαμενής αδράνειας..... | 34 |
| Εικόνα 3-3: Διαφορετικές μέθοδοι χαρακτηρισμού θερμικής διαστρωμάτωσης αποθήκης ... | 37 |
| Εικόνα 4-1: Βασικό περιβάλλον εργασίας με ενεργό το χώρο σύνθεσης έργου..... | 43 |
| Εικόνα 4-2: Ο άμεσος εκτυπωτής προσομοίωσης..... | 44 |
| Εικόνα 4-3: Πρόγραμμα TRNBuild..... | 45 |
| Εικόνα 4-4: Δομή TRNSYS..... | 47 |
| Εικόνα 4-5: Βασικές καρτέλες Proforma..... | 49 |
| Εικόνα 4-6: Καρτέλες μεταβλητών (Παραμέτρων, Εισόδων, Εξόδων και Παραγώγων)..... | 51 |
| Εικόνα 4-7: Καρτέλα Special Cards | 52 |
| Εικόνα 4-8: Καρτέλα εξωτερικών αρχείων..... | 53 |
| Εικόνα 4-9: Καρτέλα σχολίων..... | 53 |
| Εικόνα 4-10: Βοηθητική εφαρμογή δυναμικής συνάρτησης | 54 |
| Εικόνα 4-11: Σύνδεση παραμέτρων μεταξύ δυο συστατικών στοιχείων..... | 55 |
| Εικόνα 4-12: Παράθυρο δημιουργίας εξισώσεων | 56 |
| Εικόνα 4-13: Βασικό περιβάλλον TRNBuild με ενεργό κτηριακό αρχείο | 59 |
| Εικόνα 4-14: Γενικά Χαρακτηριστικά κτηρίου..... | 60 |

| | |
|--|----|
| Εικόνα 4-15: Γενικές φυσικές ιδιότητες | 62 |
| Εικόνα 4-16: Μεταβλητές εισόδου | 63 |
| Εικόνα 4-17: Μεταβλητές εξόδου | 64 |
| Εικόνα 4-18: Παράθυρο ζώνης..... | 65 |
| Εικόνα 4-19: Παράθυρο ζώνης με στοιχεία εξωτερικού τοίχου και ανοίγματος | 67 |
| Εικόνα 4-20: Διαχειριστής τοίχων (δομικών στοιχείων) ζώνης..... | 69 |
| Εικόνα 4-21: Διαχειριστής υλικών στρώσεων δομικών στοιχείων | 70 |
| Εικόνα 4-22: Διαχειριστής παραθύρων ζώνης | 72 |
| Εικόνα 4-23: Καθορισμός νέας μεθόδου θέρμανσης ζώνης | 73 |
| Εικόνα 4-24: Καθορισμός νέας μεθόδου ψύξης ζώνης | 74 |
| Εικόνα 4-25: Καθορισμός διείσδυσης αέρα..... | 75 |
| Εικόνα 4-26: Καθορισμός νέας μεθόδου αερισμού..... | 76 |
| Εικόνα 4-27: Καθορισμός εσωτερικών κερδών | 77 |
| Εικόνα 4-28: Καθορισμός πρόσθετων θερμικών κερδών | 77 |
| Εικόνα 4-29: Εισαγωγή παραμέτρων θερμικής άνεσης..... | 78 |
| Εικόνα 5-1: Υδραυλικό σχέδιο ενεργειακού συστήματος κτηρίου | 81 |
| Εικόνα 5-2: Τμήμα μετεωρολογικών παραμέτρων..... | 82 |
| Εικόνα 5-3: Σύνδεση εισόδων στο στοιχείο ψυχομετρικού διαγράμματος (Type33e) | 84 |
| Εικόνα 5-4: Σύνδεση εισόδων στο στοιχείο ενεργής θερμοκρασίας ουρανού (Type 69b) | 87 |
| Εικόνα 5-5: Τοίχος εξωτερικός σε ισόγειο και σοφίτα..... | 90 |

| | |
|--|-----|
| Εικόνα 5-6: Τοίχος εξωτερικός (συνοριακός) υπογείου | 91 |
| Εικόνα 5-7: Δάπεδο (συνοριακό) υπογείου..... | 91 |
| Εικόνα 5-8: Δάπεδο ισογείου | 92 |
| Εικόνα 5-9: Οροφή ισογείου | 92 |
| Εικόνα 5-10: Οροφή σοφίτας | 93 |
| Εικόνα 5-11: Τμήμα φόρτισης και θερμικής αποθήκευσης..... | 95 |
| Εικόνα 5-12: Σύνδεση εισόδων στοιχείου θερμαντήρα (Type6) | 99 |
| Εικόνα 5-13: Σύνδεση εισόδων στοιχείου κυκλοφορητή φόρτισης αδράνειας (Type114) ... | 100 |
| Εικόνα 5-14: Σύνδεση εισόδων στοιχείου ελεγκτή PID αδράνειας (TYPE23) | 102 |
| Εικόνα 5-15: Σύνδεση εισόδων τρίοδης βάνας διανομής by-pass αδράνειας (TYPE11f)..... | 103 |
| Εικόνα 5-16: Σύνδεση εισόδων στοιχείου σταθερού μείκτη by-pass αδράνειας (TYPE11h) | 104 |
| Εικόνα 5-17: Σύνδεση εισόδων στοιχείου δεξαμενής αδράνειας (TYPE4e)..... | 105 |
| Εικόνα 5-18: Σύνδεση εισόδων διαφορικού ελεγκτή δεξαμενής αδράνειας TYPE2b-3..... | 108 |
| Εικόνα 5-19: Σύνδεση εισόδων στοιχείου κυκλοφορητή ZNX (TYPE114-4) | 111 |
| Εικόνα 5-20: Σύνδεση εισόδων στοιχείου διαφορικού ελεγκτή ZNX (TYPE2b)..... | 112 |
| Εικόνα 5-21: Σύνδεση εισόδων στοιχείου δεξαμενής ZNX (TYPE60d)..... | 114 |
| Εικόνα 5-22: Σύνδεση εισόδων στοιχείου ηλιακού συλλέκτη (TYPE1b)..... | 115 |
| Εικόνα 5-23: Σύνδεση εισόδων στοιχείου ηλιακού κυκλοφορητή (TYPE114-5)..... | 116 |
| Εικόνα 5-24: Σύνδεση εισόδων στοιχείου ηλιακού διαφορικού ελεγκτή (TYPE2b-2)..... | 117 |
| Εικόνα 5-25: Τμήμα θερμικών φορτίων χώρου | 118 |

| | |
|---|-----|
| Εικόνα 5-26: Σύνδεση εισόδων βάνας μείξης θερμικών κυκλωμάτων (TYPE11h-2&3) | 120 |
| Εικόνα 5-27: Σύνδεση εισόδων ελεγκτή PID θερμικών κυκλωμάτων (TYPE23-2&3) | 122 |
| Εικόνα 5-28: Σύνδεση εισόδων τρίοδης βάνας θερμικών κυκλωμάτων (TYPE11f-2&3) | 124 |
| Εικόνα 5-29: Σύνδεση εισόδων στοιχείων συναρτήσεων φορτίων χώρων..... | 128 |
| Εικόνα 5-30: Σύνδεση εισόδων κυκλοφορητών θερμικών κυκλωμάτων (TYPE114-2&3) .. | 130 |
| Εικόνα 5-31: Τμήμα φορτίων Ζεστού Νερού Χρήσης | 130 |
| Εικόνα 5-32: Σύνδεση εισόδων θερμικής βάνας διανομής ZNX (TYPE11b-3)..... | 132 |
| Εικόνα 5-33: Σύνδεση εισόδων σταθερού μείκτη ZNX (TYPE11h-4) | 133 |
| Εικόνα 5-34: Σύνδεση εισόδων συνάρτησης φορτίου ZNX (Equa_WATER) | 133 |
| Εικόνα 5-35: Περιοδική συνάρτηση λήψης ZNX | 134 |
| Εικόνα 5-36: Σύνδεση ενεργής θερμοκρασίας του ουρανού στο κτήριο..... | 135 |
| Εικόνα 5-37: Σύνδεση μετεωρολογικών παραμέτρων με κτήριο..... | 136 |
| Εικόνα 5-38: Σύνδεση θερμοκρασίας υπογείου στον θερμαντήρα | 137 |
| Εικόνα 5-39: Σύνδεση θερμοκρασίας υπογείου με δεξαμενή αδράνειας. | 137 |
| Εικόνα 5-40: Σύνδεση θερμοκρασιών ζωνών με τις συναρτήσεις φορτίων χώρου. | 138 |
| Εικόνα 5-41: Σύνδεση συναρτήσεων φορτίων χώρου με κτήριο | 139 |
| Εικόνα 5-42: Σύνδεση φορτίων χώρου με θερμοκρασιακή διαχείρισης δεξαμενής. | 140 |
| Εικόνα 5-43: Σύνδεση θερμοκρασίας ατμόσφαιρας με συναρτήσεις φορτίων χώρου..... | 141 |
| Εικόνα 5-44: Σύνδεση μετεωρολογικών παραμέτρων με ηλιακό συλλέκτη..... | 141 |
| Εικόνα 5-45: Παραγωγή κρίσιμων εξεταζόμενων μεγεθών..... | 143 |

| | |
|--|-----|
| Εικόνα 5-46: Συνολική δομή εξεταζόμενης σύνθεσης | 145 |
| Εικόνα 6-1: Πληροφοριακή σύνδεση εξεταζόμενου συστήματος..... | 147 |
| Εικόνα 6-2: Δένδρο σταθερών και τροποποιούμενων μεταβλητών. | 150 |
| Εικόνα 6-3: Τιμές αναφοράς τροποποιούμενων μεταβλητών | 151 |
| Εικόνα 6-4: Τροποποιούμενες μεταβλητές | 164 |
| Εικόνα 7-1: Κατάσταση αναφοράς για τη βελτιστοποίηση. | 169 |

Κατάλογος Διαγραμμάτων

| | |
|--|-----|
| Διάγραμμα 2-1: Παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου / 2005 WRI..... | 9 |
| Διάγραμμα 2-2: Συνολικές εκπομπές CO ₂ σε επιλεγμένους τομείς..... | 10 |
| Διάγραμμα 2-3: Χρονική εξέλιξη πυκνότητας CO ₂ /Μονάδα ενέργειας ανά σενάριο ETP | 12 |
| Διάγραμμα 2-4: Συνεισφορά ανά τομέα στην μείωση των εκπομπών CO ₂ (2DS)..... | 12 |
| Διάγραμμα 2-5: Ενεργειακή εξοικονόμηση και μείωση εκπομπών για το 2020 (2DS) | 14 |
| Διάγραμμα 2-6: Οικιακή ενεργειακή χρήση σε χώρες μέλη της IEA | 15 |
| Διάγραμμα 2-7: Ενεργειακή κατανάλωση υπηρεσιών ανά προστιθέμενη αξία | 16 |
| Διάγραμμα 2-8: Είδη Δικτυωμένων Κτηρίων Μηδενικής Ενέργειας (Net ZEB) | 18 |
| Διάγραμμα 2-9: Ωριμότητα τεχνολογιών ΑΠΕ για θέρμανση και ψύξη | 28 |
| Διάγραμμα 5-1: Προσομοίωση κτηρίου με ιδανικό σύστημα θέρμανσης..... | 97 |
| Διάγραμμα 5-2: Τυπικό διάγραμμα διαφορικού ελεγκτή | 106 |
| Διάγραμμα 6-1: Κτηριακής συμπεριφοράς..... | 152 |
| Διάγραμμα 6-2: Κτηριακή συμπεριφορά τις πρώτες 10 ημέρες | 153 |
| Διάγραμμα 6-3: Κτηριακή συμπεριφορά με Cor.Factor_1 = 5 στις Θ. Ζώνες..... | 153 |
| Διάγραμμα 6-4: Κτηριακή συμπεριφορά με Cor.Factor_1 = 15 στις Θ. Ζώνες..... | 154 |
| Διάγραμμα 6-5: Φόρτισης δεξαμενής αδράνειας | 155 |
| Διάγραμμα 6-6: Φόρτιση δεξαμενής αδράνειας τις πρώτες 5 ημέρες του έτους. | 156 |
| Διάγραμμα 6-7: Φόρτιση δεξαμενής αδράνειας τις πρώτες 15 ημέρες του Αυγούστου. | 156 |
| Διάγραμμα 6-8: Θερμικού κυκλώματος ισογείου | 157 |

| | |
|---|-----|
| Διάγραμμα 6-9: Θερμικού κυκλώματος ισογείου για τις 5 πρώτες ημέρες του έτους | 158 |
| Διάγραμμα 6-10: Θερμικού κυκλώματος ισογείου με έμφαση στο σήμα και την παροχή.... | 158 |
| Διάγραμμα 6-11: Θερμικού κυκλώματος ισογείου τις 15 πρώτες ημέρες του Αυγούστου... | 159 |
| Διάγραμμα 6-12: Θερμικού κυκλώματος σοφίτας | 160 |
| Διάγραμμα 6-13: Θερμικού κυκλώματος σοφίτας για τις 5 πρώτες ημέρες του έτους | 161 |
| Διάγραμμα 6-14: Θερμικού κυκλώματος σοφίτας τις 15 πρώτες ημέρες του Αυγούστου... | 161 |
| Διάγραμμα 6-15: Θερμικού κυκλώματος ZNX..... | 162 |
| Διάγραμμα 6-16: Θερμικού κυκλώματος ZNX για τις 5 πρώτες ημέρες του έτους..... | 163 |
| Διάγραμμα 6-17: Θερμικού κυκλώματος ZNX για τις 15 πρώτες ημέρες του Αυγούστου... | 163 |
| Διάγραμμα 6-18: Εξέταση ευαισθησίας συστήματος..... | 165 |
| Διάγραμμα 7-1: Σενάριο Α - Βελτιστοποίηση για $T_{\text{κάτω, max}} = 68^{\circ}$ | 176 |
| Διάγραμμα 7-2: Σενάριο Β - Βελτιστοποίηση για $T_{\text{κάτω, max}} = 70^{\circ}$ | 177 |
| Διάγραμμα 7-3: Σενάριο Γ – Βελτιστοποίηση για $T_{\text{κάτω, max}} = 72^{\circ}\text{C}$ | 178 |
| Διάγραμμα 7-4: Σενάριο Δ - Βελτιστοποίηση για $T_{\text{κάτω, max}} = 74^{\circ}\text{C}$ | 179 |
| Διάγραμμα 7-5: Σενάριο Ε – Βελτιστοποίηση για $T_{\text{κάτω, max}} = 76^{\circ}\text{C}$ | 180 |
| Διάγραμμα 7-6: Ελαχιστοποίηση συνολικών απωλειών ανά σενάριο. | 181 |
| Διάγραμμα 7-7: Πλήθος κύκλων φορτίσεων ανά σενάριο..... | 182 |

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάζουμε πληροφορίες εισαγωγικού χαρακτήρα που δίνουν το κίνητρο και το υπόβαθρο αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας, παραθέτουμε μια ανασκόπηση της σχετικής με την εργασία βιβλιογραφίας και περιγράφουμε συνοπτικά τις βασικές ενότητες της μεταπτυχιακής εργασίας.

1.1 Κίνητρο και Υπόβαθρο

Οι σύγχρονες τάσεις για βελτιωμένες ενεργειακές συμπεριφορές στα συστήματα θέρμανσης κτηρίων απαιτούν αναλυτική και δυναμική αντιμετώπιση λόγω της χρονικής εξάρτησης τους ώστε να είναι δυνατός ο εντοπισμός των κρίσιμων παραμέτρων σχεδιασμού. Η βελτιστοποίηση αυτών των παραμέτρων και η ενσωμάτωση των απαραίτητων συστημάτων ελέγχου αποτελούν προϋπόθεση για την δημιουργία ενός συστήματος υψηλής ενεργειακής απόδοσης.

Το κτηριακό απόθεμα στην Ελλάδα, στην πλειονότητά του, δεν έχει ενσωματωμένα συστήματα υψηλής ενεργειακής απόδοσης. Η αιτία για αυτό ήταν κυρίως η πολιτική επιλογή για παροχή προς τους πολίτες εισαγόμενου πετρελαίου σε χαμηλό κόστος και δευτερεύοντος η ασθενής προσπάθεια της πολιτείας για κατασκευή παραδειγματικών κτηρίων με ενσωματωμένα σύγχρονα συστήματα χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης.

Η χρήση του όρου χαμηλή ενεργειακή κατανάλωση συχνά δεν έχει ορθή ερμηνεία εξαιτίας της ελλειμματικής γνώσης από τον τελικό χρήστη της πραγματικής αξίας της κάθε

μορφής ενέργειας η οποία και θα πρέπει να είναι ανάλογη του θερμοδυναμικού της περιεχομένου αλλά και αντιστρόφως ανάλογη των αρνητικών συνεπειών από την παραγωγή της μέχρι την τελική χρήση.

Στην κατεύθυνση μιας ορθολογιστικής και μακροπρόθεσμης αντιμετώπισης των προβλημάτων είναι παράλογο να μην αποτελέσουν και για την χώρα μας αυτές οι σύγχρονες τάσεις σημείο αναφοράς, στόχο και γενικευμένο πεδίο εφαρμογής.

Στον ευρωπαϊκό χώρο τα τελευταία χρόνια έχουν προκύψει πολλές σχετικές πρωτοβουλίες ενώ η ωριμότητα των επιλέξιμων τεχνολογιών δεν εμπεριέχει πλέον επενδυτικό ρίσκο. Ιδιαίτερη βαρύτητα δίδεται στην χρήση συστημάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας τα οποία με ορθό ενεργειακό σχεδιασμό μπορούν να βοηθήσουν στην επίτευξη του στόχου για κτήρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης.

Το μεγαλύτερο μέρος της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτηρίου αφορά την θέρμανση και την ψύξη. Με την εργασία αυτή εστιάζοντας στην θέρμανση γίνεται μια προσπάθεια ανάλυσης ενός σύγχρονου συστήματος χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης ώστε να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα της λειτουργίας του και να εντοπιστούν εκείνοι οι κρίσιμοι παράμετροι που η τροποποίησή τους βελτιώνει την ενεργειακή του συμπεριφοράς.

1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Υπάρχουν αρκετές μελέτες που παρουσιάζουν την επίδραση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στην ρύπανση του περιβάλλοντος. Δύο σημαντικές εκθέσεις έχουν πραγματοποιηθεί από το World Resources Institute [1 και 2]. Από την International Energy Agency (IEA) έχουν παραχθεί οδηγοί παρουσίασης των σύγχρονων τεχνολογιών και της επίδρασής τους στην επίτευξη στόχων για τον περιορισμό των κλιματικών αλλαγών [3, 4 και 5] αλλά και σχεδιασμού συστημάτων [9]. Από τον Voss K. και άλλους έχει γίνει μια

προσπάθεια αποσαφήνισης του όρου Κτήριο Σχεδόν μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης καθώς και του ρόλου και της δυνατότητας των κτηρίων αυτών σε ένα σύγχρονο ενεργειακό δίκτυο [6 και 7]. Ο ρόλος και η σημασία των δεξαμενών θερμικής αποθήκευσης και της διαστρωμάτωσής τους έχει εξεταστεί από πολλούς ερευνητές και αποτελεί πεδίο σύγχρονης διερεύνησης. Σε μια εργασία ο Rosen και άλλοι [13] περιγράφουν την σημασία της διαστρωμάτωσης ενώ σε εργασίες του Haller και άλλων [10, 11 και 12] γίνεται μια προσπάθεια προσδιορισμού της απόδοσής της. Πολλές πληροφορίες για την αρχική παραμετροποίηση του εξεταζόμενου συστήματος στην παρούσα εργασία έχουν αντληθεί από οδηγούς σχεδιασμού και τεχνικά εγχειρίδια εταιριών που έχουν ενσωματώσει στα προϊόντα τους σύγχρονα τεχνικά πρότυπα [8, 14 και 15]. Πρόσθετες πληροφορίες για τον σχεδιασμό έχουν ληφθεί από τεχνικές οδηγίες του Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος [16, 17 και 18], μια εργασία από τον Α. Αηδόνη και άλλους [19] που αφορά τα συστήματα συνδυασμού θέρμανσης χώρων και ζεστού νερού χρήσης καθώς και ιστοσελίδες δικτύου που αφορούν βάσεις δεδομένων [20]. Για την κρίσιμη επιλογή του συντελεστή θερμικών απωλειών των δεξαμενών αποθήκευσης μεταξύ άλλων λήφθηκε υπόψη μια εργασία του Sutter [21].

Καθοριστική συμβολή στην παρούσα εργασία αποτέλεσαν τα ενσωματωμένα εγχειρίδια βοήθειας του λογισμικού προσομοίωσης TRNSYS [22, 23 και 24] που επιλέχθηκε για την προσομοίωση του εξεταζόμενου συστήματος.

1.3 Οργάνωση Μεταπτυχιακής Εργασίας

Μετά το πρώτο μέρος της εργασίας που αποτελείται από το 1^ο κεφάλαιο και περιλαμβάνονται εισαγωγικές πληροφορίες ακολουθεί μια ανάλυση υποβάθρου στα κεφάλαια 2, 3 και 4, η περιγραφή του εξεταζόμενου συστήματος στο κεφάλαιο 5, η ανάλυση ευαισθησίας στο κεφάλαιο 6, η βελτιστοποίηση στο κεφάλαιο 7 και τέλος η σύνοψη της

εργασίας στο κεφάλαιο 8. Αναλυτικότερα στο κάθε κεφάλαιο υπάρχει το ακόλουθο περιεχόμενο:

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται πληροφορίες που δικαιολογούν την ανάγκη αυτής της εργασίας. Δηλαδή γίνεται αναφορά στην ρύπανση του περιβάλλοντος ανά τομέα ανθρώπινης δραστηριότητας, στην κρισιμότητα της κατάστασης όσο αφορά την εκτροπή του κλίματος, τους στόχους που πρέπει να επιτευχθούν και την συμβολή του κτηριακού τομέα και ειδικότερα της θέρμανσης για την επίτευξη των στόχων. Επιπλέον παρουσιάζεται η ιδέα του κτηρίου σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης καθώς και των σύγχρονων συστημάτων που μπορούν με την ενσωμάτωσή τους στα κτήρια να οδηγήσουν αυτή την ιδέα σε εφαρμογή.

Στο 3^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται η σημασία της δεξαμενής θερμικής αποθήκευσης για ένα θερμικό σύστημα και η κρισιμότητα των βασικών της παραμέτρων.

Στο 4^ο κεφάλαιο παρουσιάζεται το υπολογιστικό πρόγραμμα δυναμικής προσομοίωσης που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή των αποτελεσμάτων σε αυτή την εργασία.

Στο 5^ο κεφάλαιο περιγράφεται το εξεταζόμενο σύστημα και ενσωματώνεται σταδιακά στην πλατφόρμα του TRNSYS μαζί με εκείνα τα στοιχεία που παράγουν τα κρίσιμα εξεταζόμενα μεγέθη του συστήματος.

Στο 6^ο κεφάλαιο περιγράφεται η λειτουργική συμπεριφορά του εξεταζόμενου συστήματος, εκλέγονται οι τροποποιούμενες μεταβλητές και εξετάζεται η ευαισθησία των κρίσιμων εξεταζόμενων μεγεθών.

Στο 7^ο κεφάλαιο αφού αρχικά επιχειρηθεί η αναζήτηση κοινού τόπου για την εκτίμηση των κρίσιμων εξεταζόμενων μεγεθών πραγματοποιείται στη συνέχεια η βελτιστοποίηση.

Τέλος στο κεφάλαιο 8 καταγράφεται μια σύνοψη για το σύνολο της εργασίας.

Κεφάλαιο 2 Θέρμανση Κτηρίων και Ζ.Ν.Χ

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύουμε τις ενεργειακές ανάγκες που υπάρχουν σε μια σύγχρονη κοινωνία, την σημασία τους και τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον και κατά συνέπεια στον άνθρωπο.

Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ανάγκη θέρμανσης χώρου και Ζεστού Νερού Χρήσης (Ζ.Ν.Χ.) η κάλυψη των οποίων είναι θεμελιώδους σημασίας και προϋπόθεση για την επίτευξη δευτερευόντων στόχων για την βελτίωση της ποιότητας ζωής.

Η κάλυψη των καθημερινών θερμικών αναγκών και η διαχείρισή τους με στόχο τις ελάχιστες δυνατές αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την οικονομία έχουν οδηγήσει τα τελευταία χρόνια στον σχεδιασμό κτηρίων το οποία σε ετήσια βάση έχουν σχεδόν μηδενικό το ενεργειακό τους ισοζύγιο.

Σε ένα κτήριο το οποίο είναι σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης, το είδος της πρόσθετης θερμικής πηγής για την κάλυψη των θερμικών φορτίων είναι μειωμένης σημασίας σε σχέση με την βαρύτητα που πρέπει να δίνεται στον γενικότερο ενεργειακό σχεδιασμό και την διαχείριση των ενεργειακών ροών.

Τέλος πραγματοποιείται μια αναφορά σε σύγχρονα συστήματα θέρμανσης κτηρίων και καταγράφονται συνοπτικά τα βασικά συμπεράσματα του κεφαλαίου.

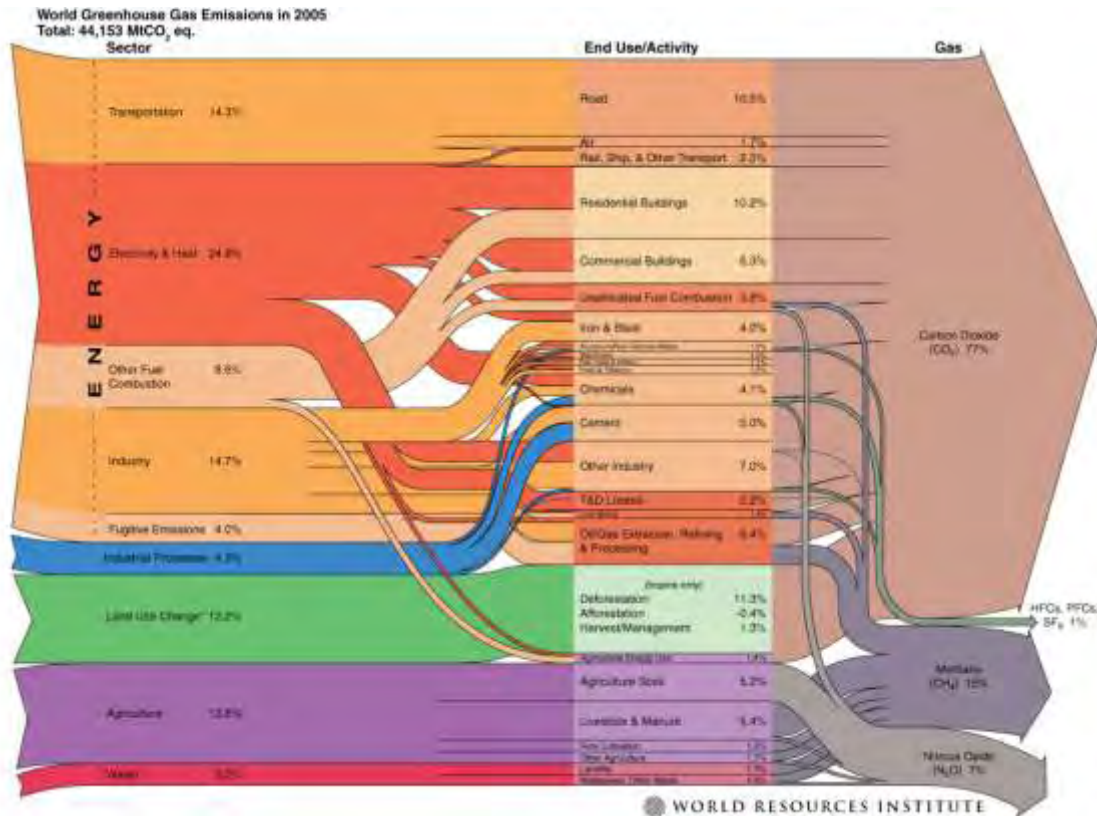
2.1 Ρύπανση Περιβάλλοντος

Μια από τις μεγαλύτερες προκλήσεις που σχετίζονται με την υπερθέρμανση του πλανήτη μας είναι τα αέρια του θερμοκηπίου τα οποία είναι άμεσα ή έμμεσα εκκλιόμενα από την κάθε δραστηριότητα του ανθρώπου.

Το έτος 2005 η συνολική ποσότητα αερίων θερμοκηπίου ανήλθε σε 44153 MtCO₂-eq. Το ισοδύναμο CO₂ (CO₂-eq) βασίζεται στο 100 ετών Δυναμικό Συνολικής Θέρμανσης (Global Warming Potential) που έχει εκτιμηθεί από την Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (International Panel on Climate Change)

Το Παγκόσμιο Ίδρυμα Πόρων (World Resources Institute) το 2009, κάνοντας χρήση των πιο πρόσφατων ολοκληρωμένων πληροφοριών που υπήρχαν και ήταν του έτους 2005, προχώρησε στην παραγωγή ενός διαγράμματος όπου παρουσιάζονται οι βιομηχανικές και οι άλλες δραστηριότητες του ανθρώπου καθώς και το είδος και ο όγκος των αερίων του θερμοκηπίου που προκύπτουν από αυτές.

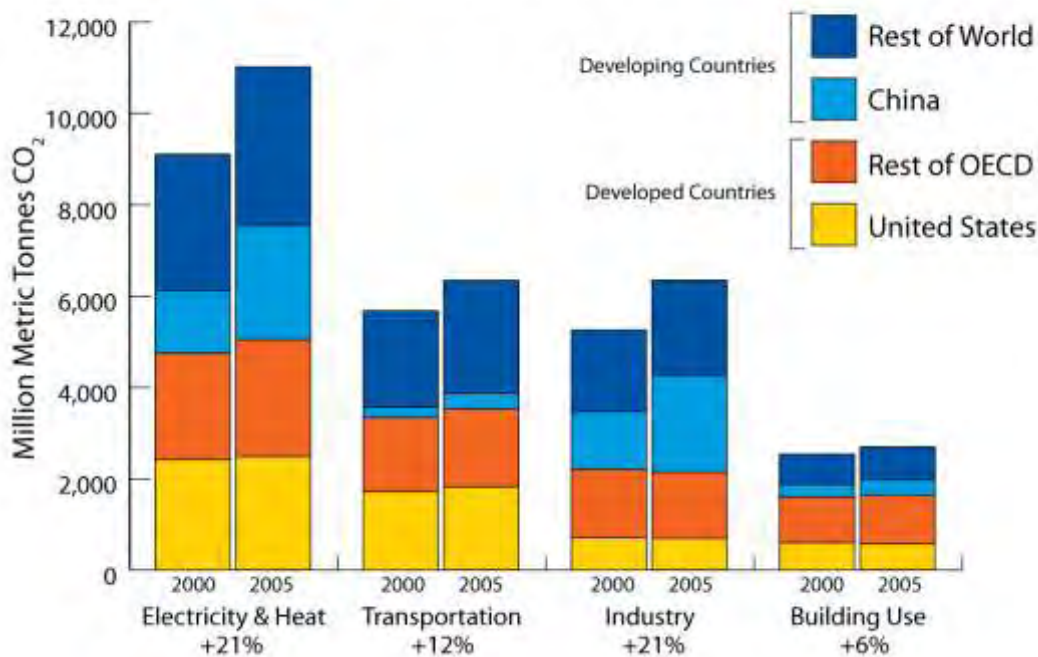
Σύμφωνα με σύγκριση των εκπομπών ρυπων αερίων θερμοκηπίου που πραγματοποιήθηκε για τα έτη 2000 και 2005 υπάρχει αύξηση 12.7%, δηλαδή μέση ετήσια αύξηση ίση με 2.4%. Οι πιο σημαντικές αυξήσεις υπήρξαν στους τομείς της παραγωγής ισχύος, των μεταφορών και της βιομηχανίας. Όσο αφορά την βιομηχανία οι υποτομείς με την μεγαλύτερη αύξηση 39% και 37% ήταν του τσιμέντου και του σιδήρου & χάλυβα. Η αύξηση των εκπομπών που υπήρξε έχει δραματικές διαφορές μεταξύ των ανεπτυγμένων και των αναπτυσσόμενων χωρών.



Διάγραμμα 2-1: Παγκόσμιες εκπομπές αερίων θερμοκηπίου / 2005 WRI

Η αύξηση εκπομπών σε τέσσερις επιλεγμένους τομείς: ηλεκτρισμού & θερμότητας, μεταφορών, βιομηχανία και κτηρίων φαίνεται στο επόμενο διαγραμμα. Η μεγάλη αύξηση εκπομπών οφείλεται κυρίως στις αναπτυσόμενες χώρες οι οποίες πλέον ξεπερνούν σε ρύπους τις ανεπτυγμένες χώρες στους τομείς του ηλεκτρισμού & θερμότητας και της βιομηχανίας ενώ το αντίστροφο συμβαίνει στους τομείς των κτηρίων και των μεταφορών. Διευκρινίζεται ότι οι εκπομπές στους τομείς μεταφορών, βιομηχανίας και κτηριακής χρήσης δεν περιλαμβάνουν ηλεκτρισμό και θερμότητα δικτύων που αποδίδονται τελικά σε αυτούς τους τομείς. Επίσης οι εκπομπές από τη βιομηχανία δεν περιλαμβάνουν τα φλεγόμενα αέρια και την παραγωγή αλουμινίου.

Global CO₂ Emissions Growth in Select Sectors: 2000-2005



Διάγραμμα 2-2: Συνολικές εκπομπές CO₂ σε επιλεγμένους τομείς

Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (International Energy Agency) εξετάζοντας τις νέες εξελίξεις στον τομέα της ενέργειας έχει δείξει πως οι τεχνολογίες - από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μέχρι τα ευφυή δίκτυα – μπορούν να συμβάλουν με αποφασιστικό στόχο στην επίτευξη του στόχου για το 2050, δηλαδή τον στόχο του περιορισμού της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας στους 2°C και την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας. Σε μια σημαντική έκδοση με τίτλο Energy Technology Perspectives 2012 (ETP 2012) παρουσιάζει σενάρια και στρατηγικές για το 2050, με στόχο την καθοδήγηση των φορέων λήψης αποφάσεων σχετικά με τις ενεργειακές τάσεις και το τι πρέπει να γίνει ώστε να οικοδομηθεί ένα καθαρό, ασφαλές και ανταγωνιστικό ενεργειακό μέλλον.

Το πρώτο σενάριο (σενάριο 6 βαθμών, 6DS) που εξετάζεται είναι η επικράτηση των τρεχουσών τάσεων όπου το 2050 οι ενεργειακές απαιτήσεις σχεδόν διπλασιάζονται (σε

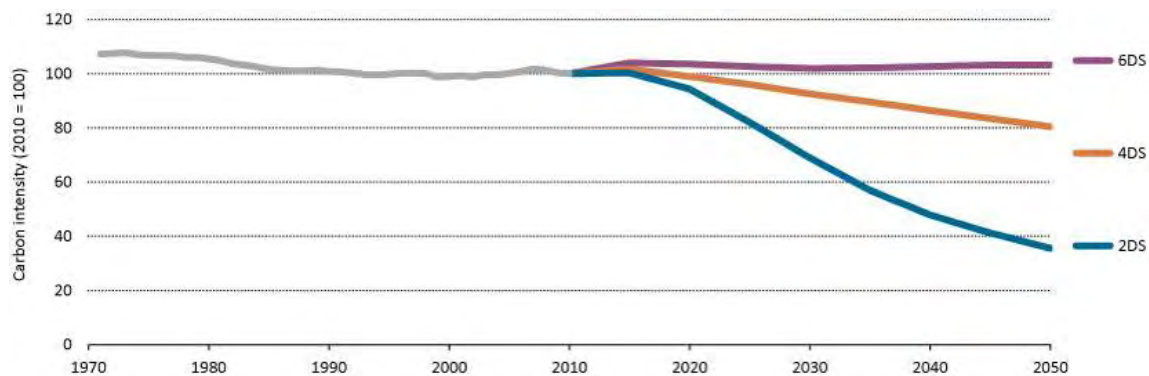
σύγκριση με το 2009) με αντίστοιχη αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου. Η συνολική μακράς περιόδου μέση θερμοκρασιακή αύξηση σε αυτή την περίπτωση εκτιμάται ότι θα είναι τουλάχιστον 6°C.

Το δεύτερο σενάριο (4DS) λαμβάνει υπόψη τις πρόσφατες δεσμεύσεις από τις χώρες για τον περιορισμό των εκπομπών και ενσωματώνει βελτιώσεις στην ενεργειακή απόδοση. Πρόκειται για ένα φιλόδοξο σενάριο που απαιτεί σημαντικές αλλαγές στην πολιτική και τις τεχνολογίες. Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας εκτιμάται ότι θα είναι 4°C όμως ο περιορισμός της σε αυτό τον στόχο απαιτεί και πρόσθετες μειώσεις εκπομπών και μετά το 2050.

Το τρίτο σενάριο (2DS) είναι και ο στόχος του ETP 2012. Το σενάριο αυτό περιγράφει ένα ενεργειακό σύστημα στο οποίο η πορεία των εκπομπών θα είναι τέτοια όπου πρόσφατες έρευνες για το κλίμα δείχνουν ότι υπάρχει 80% πιθανότητα περιορισμού της μέσης συνολικής θερμοκρασιακής αύξησης στους 2°C. Ενσωματώνει τον στόχο η μείωση των ενεργειακά συσχετισμένων εκπομπών CO₂ να είναι το 2050 περισσότερο από το 50% (σε σχέση με το 2009) και να διασφαλιστεί ότι συνεχίζει να υπάρχει μείωση και μετά από αυτό. Στο σενάριο 2DS αναγνωρίζεται ότι η μετατροπή του ενεργειακού τομέα είναι απαραίτητη αλλά ο συνολικός στόχος μπορεί να επιτευχθεί μόνο αν οι εκπομπές του CO₂ και των άλλων αερίων του θερμοκηπίου μειωθούν και στους υπόλοιπους μη ενεργειακούς τομείς.

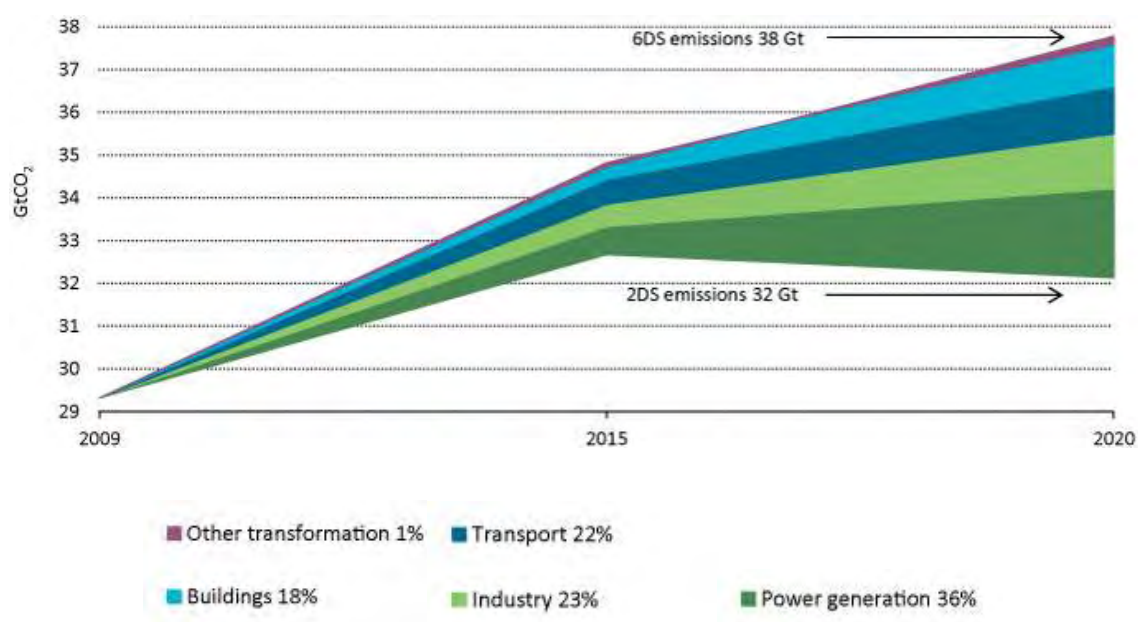
Στα ακόλουθα διαγράμματα παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη κρίσιμων μεγεθών για τα τρία εξεταζόμενα σενάρια.

Στο διάγραμμα 2.3 παρουσιάζεται ο λόγος της ποσότητας τόνων CO₂ που εκλύεται για κάθε μονάδα ενεργειακής τροφοδοσίας ως προς την ποσότητα τόνων CO₂ που εκλύεται για κάθε μονάδα ενεργειακής τροφοδοσίας το έτος 2010.



Διάγραμμα 2-3: Χρονική εξέλιξη πυκνότητας CO₂/Μονάδα ενέργειας ανά σενάριο ETP

Στο διάγραμμα 2.4 παρουσιάζεται η βέλτιστη συνεισφορά που απαιτείται από πέντε τομείς ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή μείωση των εκπομπών CO₂ και να πραγματοποιηθεί το σενάριο 2DS.



Διάγραμμα 2-4: Συνεισφορά ανά τομέα στην μείωση των εκπομπών CO₂ (2DS)

2.2 Κτήριο Σχεδόν Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης

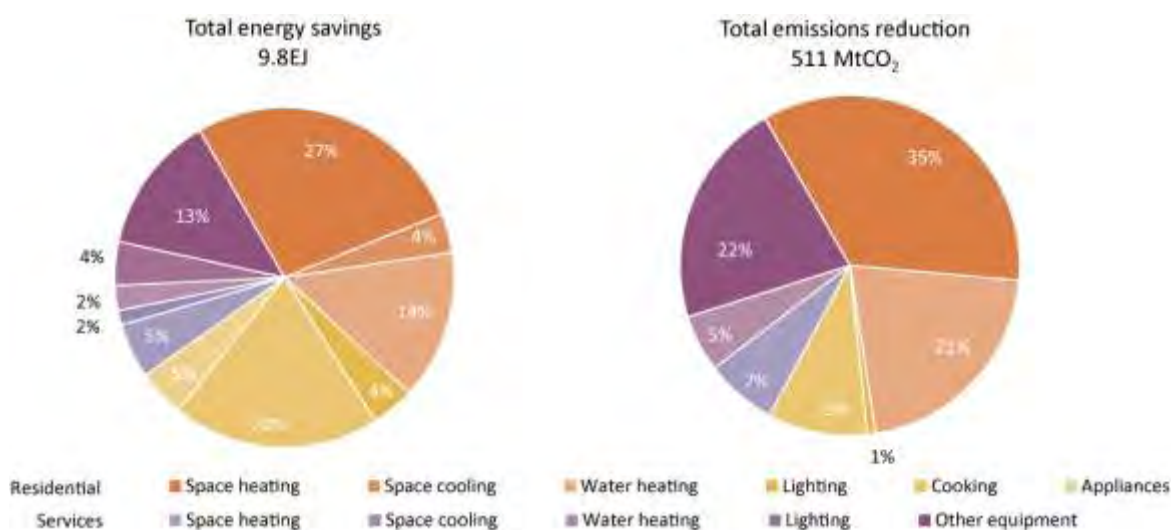
Η χρήση της υπάρχουσας νέας τεχνολογίας μπορεί να προσφέρει μια σημαντική μείωση των εκπομπών του CO₂ από τον κτηριακό τομέα. Για να γίνει αυτό εφικτό θα πρέπει οι κυβερνήσεις να εφαρμόσουν αυστηρούς κώδικες στην ενεργειακή απόδοση των κτηρίων, να προωθήσουν την ανακαίνιση των υπαρχόντων κτηρίων και να θεσπίσουν τις ελάχιστες προδιαγραφές ενεργειακής απόδοσης που θα βασίζεται στις καλύτερες διαθέσιμες τεχνολογίες δομικών στοιχείων, συσκευών και εξοπλισμού.

Το ενεργειακό προφίλ των κτιρίων είναι αρκετά σύνθετο και το σενάριο 2DS απαιτεί επεμβάσεις σε κάθε κατηγορία της ενεργειακής τους κατανάλωσης. Σύμφωνα με το σενάριο 2DS η εξοικονόμηση στην ενεργειακή κατανάλωση του κτηριακού τομέα για το 2020 θα είναι 9.8EJ περισσότερο σε σχέση με το σενάριο 6DS και θα οδηγήσει σε μόλις 6.6 % αύξηση στην ενεργειακή κατανάλωση σε σχέση με σήμερα παρόλη την αναμενόμενη αύξηση στο πλήθος των νοικοκυριών κατά 23% και της κτηριακής επιφάνειας παροχής υπηρεσιών κατά 21%.

Στο διάγραμμα 2.5 φαίνεται συνολικά και ανά κατηγορία η εξοικονόμηση ενέργειας και η μείωση των εκπομπών CO₂ σύμφωνα με το σενάριο 2DS για το 2020. Με την γραφική αυτή απεικόνιση φαίνεται καθαρά η βαρύτητα που δίδεται στην θέρμανση χώρου.

Η ενεργειακή κατανάλωση του κτηριακού τομέα αυξήθηκε κατά 18% από το 2000 στο 2010 και ανέρχεται σε 117 EJ. Το ποσό αυτό είναι περίπου το ένα τρίτο της συνολικής χρησιμοποιούμενης ενέργειας και αποτελεί αιτία για την παραγωγή του ενός έκτου του συνόλου των άμεσων εκπομπών CO₂. Οι σημαντικότεροι παράγοντες για αυτή την εξέλιξη στην ενεργειακή κατανάλωση των κτηρίων και των αντίστοιχων εκπομπών είναι η αύξηση του πληθυσμού με την επαγόμενη αύξηση των κτηρίων για χρήση οικιακή και υπηρεσιών. Ο

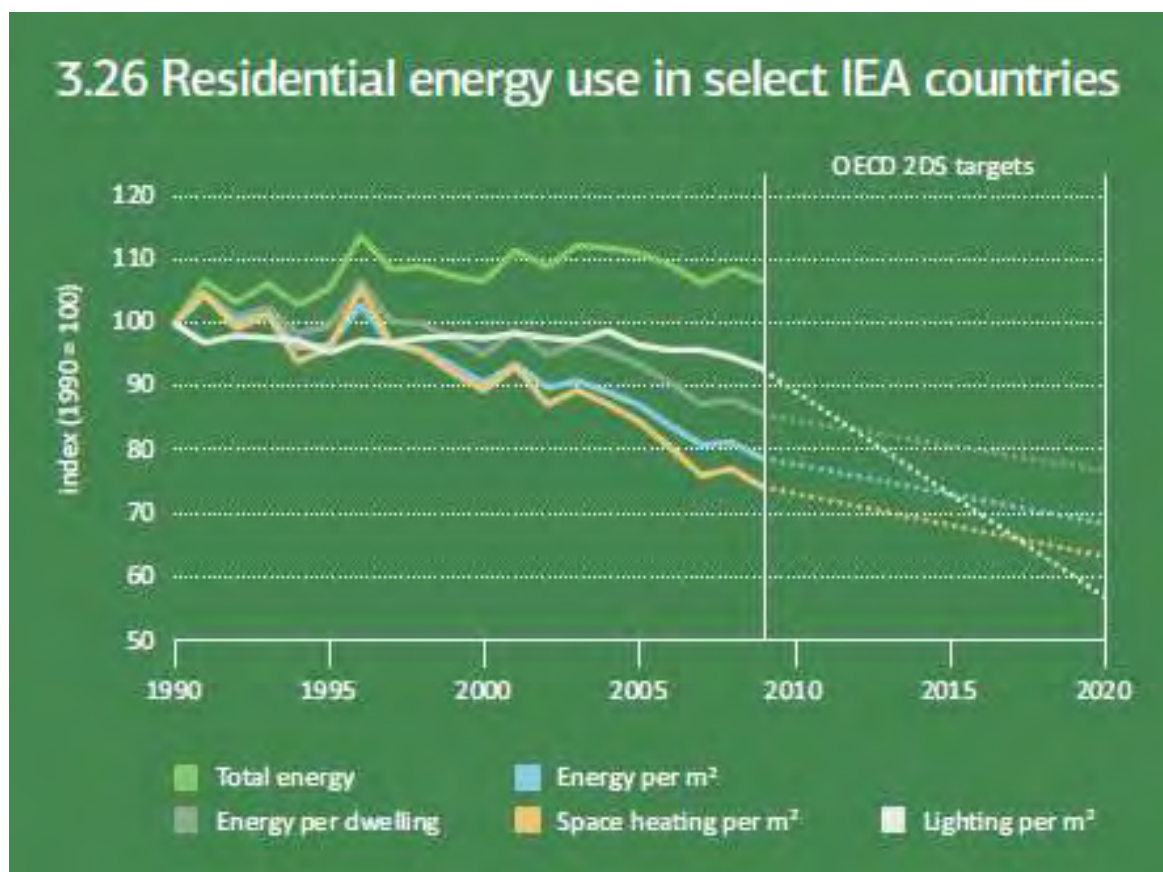
συνολικός πληθυσμός αυξήθηκε κατά 14% από το 2000 μέχρι το 2011, σε σχεδόν 7 δισεκατομμύρια, και αναμένεται να αυξηθεί επιπλέον 10% από το 2011 μέχρι το 2020, φθάνοντας τα 7.6 δισεκατομμύρια. Η αστικοποίηση είναι ένας άλλος παράγοντας καθώς οδηγεί σε μεγαλύτερη πρόσβαση σε εμπορικούς ενεργειακούς πόρους. Η αναλογία του πληθυσμού που ζει σε αστικό περιβάλλον έχει αυξηθεί από 47% που ήταν το 2000 σε σχεδόν το μισό σήμερα. Για το 2020 αναμένεται να φθάσει το 56%.



Διάγραμμα 2-5: Ενεργειακή εξοικονόμηση και μείωση εκπομπών για το 2020 (2DS)

Στον οικιακό κτηριακό υποτομέα το προφίλ κατοίκησης και η συμπεριφορά παίζουν σημαντικό ρόλο. Στα κράτη μέλη της ΙΕΑ, η μέση κάλυψη μειώθηκε από 2.9 άτομα ανά νοικοκυριό το 1990 σε 2.6 το 2009. Με τον μέσο αριθμός ανθρώπων ανά νοικοκυριό να έχει μειωθεί σε πολλές περιοχές, ο αριθμός των νοικοκυριών αυξάνεται ακόμα ταχύτερα με την αύξηση του πληθυσμού. Η μεγαλύτερη κατοχή προσωπικών συσκευών αυξάνει επίσης την οικιακή ενεργειακή κατανάλωση, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες οικονομίες. Αυτές οι τάσεις ευθύνονται κυρίως για το γεγονός ότι η συνολική οικιακή ενεργειακή κατανάλωση έχει παραμείνει σχεδόν σταθερή από το 1990 παρόλη την βελτίωση των ενεργειακών αποδόσεων στη θέρμανση χώρων, ψύξης, φωτισμού και άλλων πεδίων των κτηριακών ενεργειακών

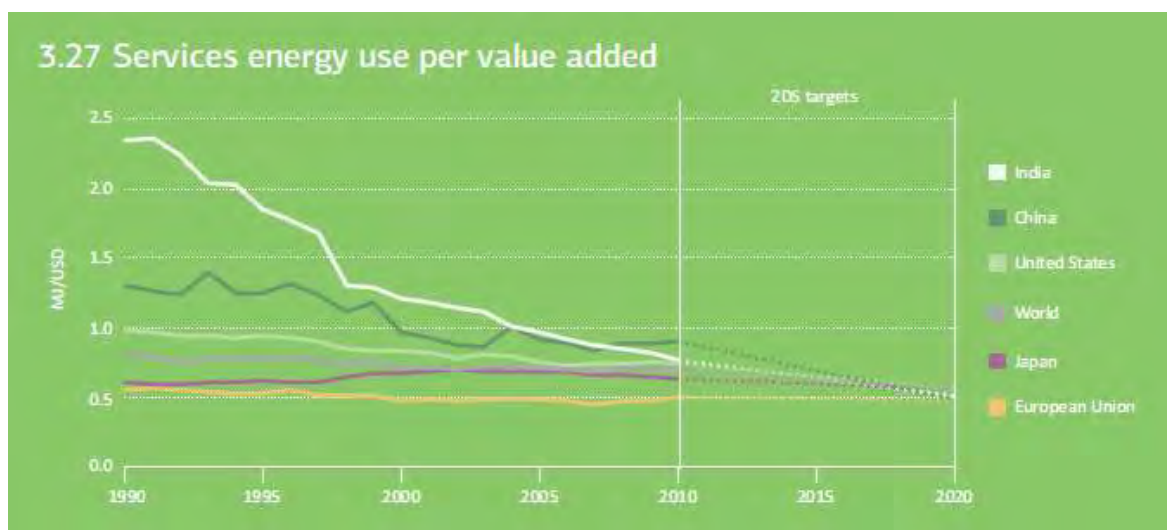
καταναλώσεων. Στο διάγραμμα 2-6 παρουσιάζεται η σύγκριση της οικιακής ενεργειακής κατανάλωσης με σημείο αναφοράς την κατανάλωση του έτους 1990 και προβολή των ενεργειακών στόχων για το σενάριο 2DS.



Διάγραμμα 2-6: Οικιακή ενεργειακή χρήση σε χώρες μέλη της IEA

Η αύξηση της οικονομικής δραστηριότητας στον τομέα των υπηρεσιών και η σχετική αύξηση της κτηριακής επιφάνειας εργασιών οδηγεί σε αύξηση των ενεργειακών απαιτήσεων παράλληλη την βελτίωση των ενεργειακών αποδόσεων. Η προστιθέμενη αξία στον τομέα των υπηρεσιών αυξήθηκε ραγδαία από το 2000 στο 2010, με ένα ρυθμό 2.8% ετησίως. Η αύξηση για το 2020 αναμένεται 3.3% ετησίως. Συνεπώς η επιφάνεια εργασιών εκτιμάται να αυξηθεί κατά 20% το 2020 σε σχέση με το 2010. Αυτό σημαίνει ότι παράλληλη την βελτίωση στην ενεργειακή κατανάλωση των υπηρεσιών ανά μονάδα προστιθέμενης αξίας από 790KJ/USD

το 2000 σε 710KJ/USD το 2010 (Σχήμα 2.7) η ενεργειακή κατανάλωση στον τομέα των υπηρεσιών προβλέπεται να αυξηθεί κατά 9% και να φθάσει σε πάνω από 33EJ το 2020, από 30EJ που ήταν το 2009.



Διάγραμμα 2-7: Ενεργειακή κατανάλωση υπηρεσιών ανά προστιθέμενη αξία.

Οι ενεργειακές απαιτήσεις στον κτηριακό τομέα αναμένεται να αυξηθούν κατά 6.6% σε περίπου 124EJ το 2020 όμως σημαντικές μειώσεις στις εκπομπές μπορούν να επιτευχθούν με χαμηλό κόστος βασιζόμενοι στην υπάρχουσα τεχνολογία. Η πρόκληση είναι να εξασφαλιστεί ότι κατάλληλες πολιτικές θα αξιοποιήσουν της δυνατότητες της εξοικονόμησης ενέργειας σε νέα και υπάρχοντα κτήρια, οικιακά και εμπορικά.

Οι κτηριακοί ενεργειακοί κώδικες (Building Energy Codes) είναι η ραχοκοκαλιά και το μέσον για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης. Όλες οι χώρες μέλη του ΟΑΣΑ καθώς και κάποιες που δεν είναι μέλη όπως η Κίνα, η Ινδία και η Ρωσία, έχουν κτηριακούς ενεργειακούς κώδικες. Για να είναι αποτελεσματικοί αυτοί οι κώδικες θα πρέπει, η εφαρμογή τους να είναι υποχρεωτική και να αφορούν νέα αλλά και υπάρχοντα κτήρια υπό ανακαίνιση ή επέκταση, να βασίζονται στην συνολική απόδοση αλλά και να θέτουν ταυτόχρονα ελάχιστες

ενεργειακές προδιαγραφές απόδοσης και στις επιμέρους διαθέσιμες τεχνολογίες δομικών στοιχείων (π.χ. παράθυρα, οροφές, τοίχοι), συσκευών και εφαρμογών.

Οι πιο προχωρημένοι κτηριακοί ενεργειακοί κώδικες είναι δυναμικοί και περιλαμβάνουν διάφορες βαθμίδες ενεργειακών αποδόσεων επιτρέποντας στην αγορά να προσαρμοστεί για την επίτευξη των επερχόμενων ενεργειακών στόχων. Η Γερμανία είναι η μόνη χώρα που έχει υιοθετήσει ένα τέτοιο κώδικα ο οποίος περιλαμβάνει προδιαγραφές ελάχιστης αποδεκτής ενεργειακής απόδοσης από το 2012 μέχρι το 2015 αλλά και τη στοχευόμενη απόδοση για το 2020 που είναι τα Κτήρια Σχεδόν Μηδενικής Ενεργειακής Κατανάλωσης όπως απαιτείται από την Ευρωπαϊκή Οδηγία Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (Energy Performance of Buildings Directive - EPBD) 2010/31/EU.

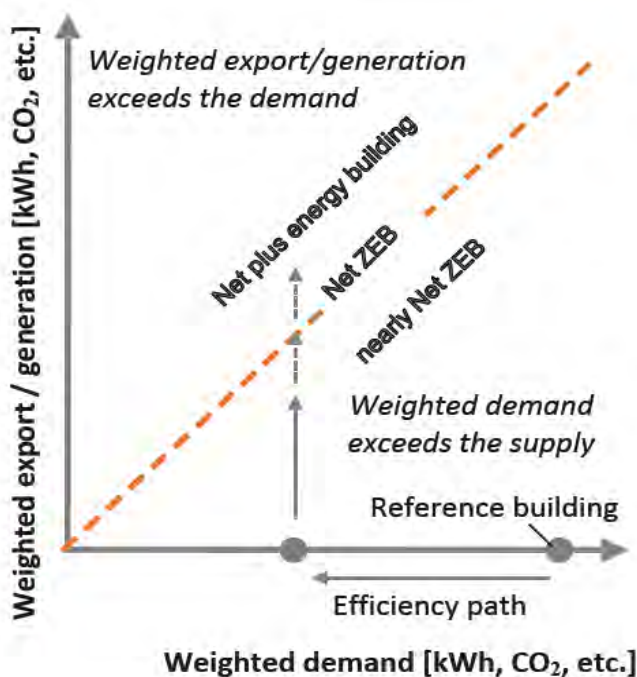
Αναλυτικότερα, σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία του 2010 για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτηρίων ο ορισμός για το Κτήριο Σχεδόν Μηδενικής Ενέργειας δίδεται στο δεύτερο άρθρο και νοείται ένα κτήριο που έχει πολύ καλή ενεργειακή απόδοση στο οποίο η σχεδόν μηδενική ή πολύ μικρή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται θα πρέπει να παρέχεται σε πολύ σημαντικό βαθμό από την ενέργεια ανανεώσιμων πηγών που παράγεται επί τόπου ή στη γύρο περιοχή. Πρόσθετα στο ένατο άρθρο δίδονται οι ακόλουθες οδηγίες:

- Μέχρι τις 31 Δεκεμβρίου του 2020 όλα τα νέα κτήρια να είναι σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης.
- Μετά τις 31 Δεκεμβρίου του 2018 τα νέα κτήρια που στεγάζουν και ανήκουν σε δημόσιες αρχές να είναι σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης.

Οι δύο βασικές κατηγορίες κτηρίων είναι τα Ενεργειακά Αυτόνομα κτήρια και τα Δικτυωμένα κτήρια. Στα ενεργειακά αυτόνομα κτήρια, δηλαδή αυτά τα κτήρια που δεν συνδέονται με μια εξωτερική ενεργειακή υποδομή, τα επί τόπου ενεργειακά συστήματα τους

(συχνά Ηλιακά συστήματα) και η ενεργειακή αποθήκευση πρέπει να είναι διαστασιολογημένα ώστε να εγγυώνται την ενεργειακή τροφοδοσία του κτηρίου κάθε στιγμή του έτους. Στα δικτυωμένα κτήρια αρκεί να υπάρχει ουδέτερο αποτέλεσμα όσο αφορά το ετήσιο ισοζύγιο ενέργειας ή εκπομπών. Σε αυτή την περίπτωση ονομάζονται Κτήρια Μηδενικής Ενέργειας ή πιο σωστά Δικτυωμένα Κτήρια Μηδενικής Ενέργειας (Net Zero Energy Building) με σχετικές παραλλαγές ως προς το αν είναι ενεργειακά ελλειμματικά ή πλεονασματικά.

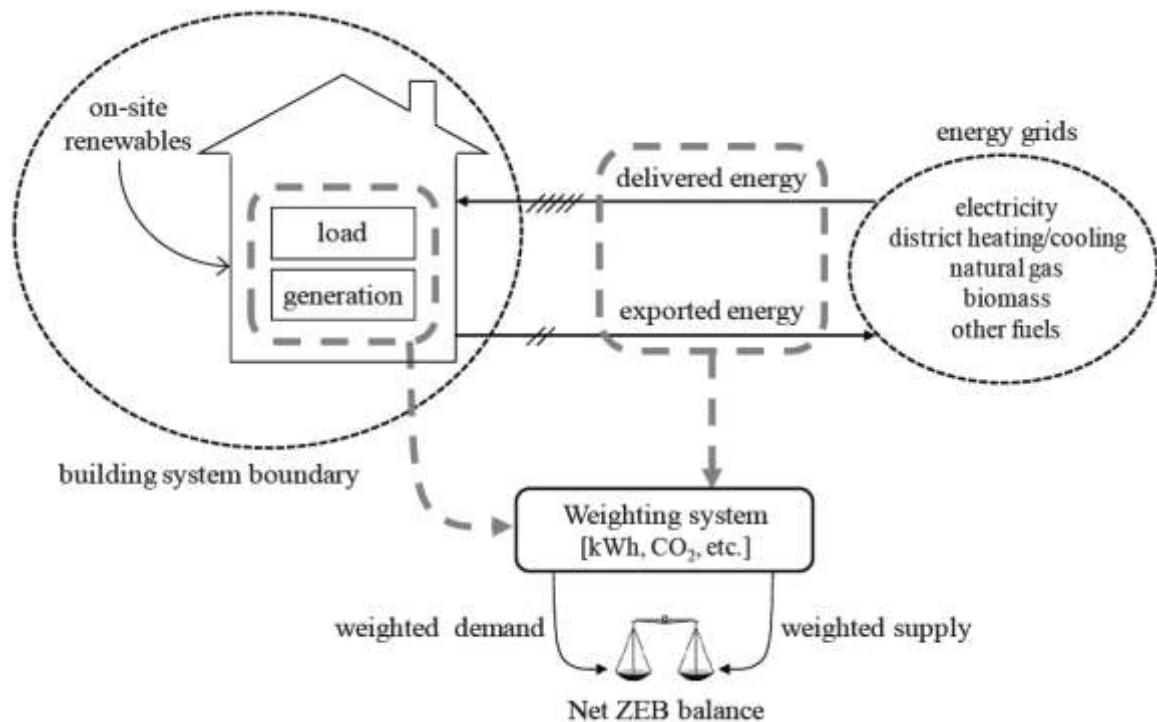
Το Μηδενικής Ενέργειας Κτήριο είναι ένα ενεργειακά αποδοτικό κτήριο το οποίο σε συνδυασμό με το δημόσιο δίκτυο ηλεκτρισμού θα πρέπει οι συνολικές ετήσιες πρωτογενείς ενεργειακές απαιτήσεις, όπως προκύπτουν από το μηνιαίο ισοζύγιο, να συμψηφίζονται με την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια που διοχετεύεται στο δίκτυο από τα συστήματα του κτηρίου και έχει πιστωθεί ώστε να χρησιμοποιηθεί κατά προτεραιότητα στην κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτηρίου.



Διάγραμμα 2-8: Είδη Δικτυωμένων Κτηρίων Μηδενικής Ενέργειας (Net ZEB)

Όταν υπάρχει πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας το κτήριο ονομάζεται Δικτυωμένο Πλεονασματικής Ενέργειας Κτήριο (Net Plus Energy Building) ενώ αν είναι ελλειμματικό ονομάζεται Δικτυωμένο Σχεδόν Μηδενικής Ενέργειας Κτήριο (Nearly Net Zero Energy Building). Στο διάγραμμα 2.8 παρουσιάζεται η γραφική κατηγοριοποίηση των σχετικών κτηρίων με οριζόντιο άξονα τις κτηριακές απαιτήσεις (πχ kWh) και κατακόρυφη τον λόγο εξαγωγής στο δίκτυο προς την παραγωγή του κτηρίου (πχ kWh).

Στην επόμενη εικόνα γίνεται μια σαφή διάκριση μεταξύ των φυσικών ορίων, των ορίων ισοζυγίου και του συνεπαγόμενου ορίου του κτηριακού συστήματος.



Εικόνα 2-1: Όρια για εκτίμηση ισοζυγίου Net ZEB

2.3 Συστήματα Θέρμανσης Κτηρίων

Σύμφωνα με την IEA (2006e) ανανεώσιμη ενέργεια είναι η ενέργεια που λαμβάνεται από μια φυσική διεργασία η οποία ανανεώνεται συνεχώς. Αυτός ο ορισμός ταιριάζει σε ένα

μεγάλο εύρος ενεργειακών πηγών που οδηγούνται άμεσα ή έμμεσα από τον ήλιο, στις οποίες περιλαμβάνεται ο ηλιακή, η υδραυλική, η αιολική, η κυματική, η βιομάζα και η θερμότητα περιβάλλοντος. Επίσης περιλαμβάνονται και οι ενεργειακές πηγές που δεν είναι ηλιακά οδηγούμενες όπως είναι η γεωθερμική, η παλιρροιακή και τα ωκεάνια ρεύματα.

Η ηλιακή, η γεωθερμική και η βιομάζα μπορούν όλες τους να χρησιμοποιηθούν ως άμεσες πηγές θερμότητας ενώ επίσης θερμότητα μπορεί να εξαχθεί από τον αέρα, το νερό ή το έδαφος. Η θερμότητα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να οδηγήσει ψύκτες απορρόφησης για παραγωγή ψύξης. Τέλος, κάθε μορφή ηλεκτρισμού που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ψύξη ή θέρμανση.

Στην κατεύθυνση υλοποίησης του στόχου για κτήρια σχεδόν μηδενικής ενέργειας και στο πλαίσιο της μείωσης της ενεργειακής κατανάλωσης των κτηρίων έχουν αναπτυχθεί σημαντικά πολλές τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για θέρμανση και ψύξη ενώ το κόστος τους διαρκώς μειώνεται.

Γενικά, όταν απαιτείται από ένα ενεργειακό σύστημα να προσφέρει ενέργεια χαμηλής ποιότητας (χαμηλού εξεργειακού περιεχομένου), για παράδειγμα ποσό θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας, και η παραγωγή της γίνεται από πηγή υψηλότερης ενεργειακής ποιότητας, για παράδειγμα από θερμότητα υψηλής θερμοκρασίας ή ηλεκτρικό ρεύμα, τότε η ποιότητα της ενέργειας της πηγής χάνεται μη αντιστρεπτά. Κατά συνέπεια, η ενέργεια υψηλότερης ποιότητας δεν προσφέρει το μέγιστο δυνατό της περιεχόμενο στο ενεργειακό σύστημα.

Εξετάζοντας το ποιοτικό ενεργειακό περιεχόμενο στον τομέα της θέρμανσης μπορούμε να προχωρήσουμε σε μια κατάταξη συστημάτων – επιλογών για την ενεργειακή αναβάθμιση στη θέρμανση των κτηρίων.

1. Ενεργειακή απόδοση και συντήρηση

2. Παθητικός ηλιακός θερμικός κτηριακός σχεδιασμός
3. Γεωθερμικά όπου υπάρχουν επαρκείς πηγές ή Ηλιακά θερμικά
4. Γεωθερμικές αντλίες θερμότητας όπου είναι δυνατόν, με επιθυμητή την οδήγηση από ηλεκτρισμό που παράγεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. (*)
5. Βιομάζα σε ολοκληρωμένα συστήματα για συμπαραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας (Combined Heat and Power, CHP)
6. Καύση βιομάζας

(*) Οι αντλίες θερμότητας που ανταλλάσσουν θερμότητα με τον αέρα της ατμόσφαιρας δεν κατατάσσονται γιατί έχουν μεγάλη διακύμανση στον βαθμό απόδοσης και συνεπώς έχει μεγάλη σημασία η τεχνολογική ενσωμάτωση που υπάρχει στην κάθε επιλογή από το χρήστη. Η κατηγορία αυτή εντάχθηκε στα συστήματα ΑΠΕ τα τελευταία λίγα χρόνια.

Ιδιαίτερη σημασία θα πρέπει να δοθεί στο γεγονός ότι λαμβάνοντας και κριτήρια οικονομικά πολύ πιθανό να προκύπτει σημαντική τροποποίηση στην παραπάνω κατάταξη.

2.3.1 Ενεργητικά ηλιακά θερμικά συστήματα

Τα θερμικά ηλιακά είναι μια ώριμη τεχνολογία η οποία έχει αποδειχθεί ότι είναι αξιόπιστη και οικονομικά ανταγωνιστική καθώς οι ηλιακοί θερμαντήρες νερού είναι εμπορικά ευρέως διαθέσιμοι τα τελευταία τριάντα χρόνια.

Νερό, ή κάποιο άλλο θερμικό μέσο μεταφοράς, κυκλοφορεί δια μέσου δικτύου σωληνώσεων και αυξάνει την θερμοκρασία του με θερμική μεταφορά από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε μια συλλεκτική επιφάνεια. Υπάρχουν διάφοροι σχεδιασμοί ηλιακών συλλεκτών που έχουν σκοπό την συγκέντρωση του θερμικού περιεχομένου της ηλιακής ακτινοβολίας στο υδραυλικό δίκτυο. Το ποσό της θερμικής ενέργειας που

συλλαμβάνεται ανά τετραγωνικό μέτρο συλλεκτικής επιφάνειας ποικίλει από το σχεδιασμό και την περιοχή αλλά τυπικά μπορεί να είναι από 300 – 800 kWh.m⁻².yr⁻¹.

Κάποιοι σχεδιαστές χρησιμοποιούν ένα θερμικό μέσο μεταφοράς το οποίο όταν θερμαίνεται κυκλοφορεί προς μια δεξαμενή αποθήκης ή μια αντλία θερμότητας όπου η θερμότητα του μεταφέρεται σε νερό το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για Ζεστό Νερό Χρήσης ή Θέρμανση Χώρου. Το πλήρες δυναμικό των θερμικών ηλιακών συστημάτων δεν έχει επιτευχθεί στις περισσότερες χώρες μέλη της IEA εξαιτίας του σχετικά μεγάλου κόστους σε σύγκριση με τα συμβατικά συστήματα θέρμανσης νερού. Σε εξάρτηση με την συμπεριφορά των χρηστών όσο αφορά την κατανάλωση του νερού και με τον αριθμό των ατόμων σε ένα νοικοκυριό, ένας ηλιακός θερμαντήρας νερού χρήσης μπορεί να κάνει την απόσβεση από 5 μέχρι 10 χρόνια ή και περισσότερο.

Υπό κανονικές συνθήκες, έχει εκτιμηθεί ότι η χρήση συμβατικής ενέργειας όπως αερίου ή ηλεκτρικού ρεύματος για θέρμανση νερού χρήσης μπορεί να μειωθεί έως και 50% σε εφαρμογές που απαιτούν θερμοκρασίες μέχρι 250°C και περίπου 60-70% για τη θέρμανση του οικιακού νερού χρήσης που απαιτεί θερμοκρασίες περίπου 60°C όταν η εγκατάσταση είναι σε γεωγραφικό πλάτος χαμηλότερο από 40 μοίρες. Το ποσοστό εξοικονόμησης ωστόσο είναι εξαρτώμενο από την συμπεριφορά του χρήστη και τις χρονικές στιγμές λήψης του ζεστού νερού χρήσης.

Όταν στην ηλιακή θέρμανση συνδυάζεται η ενεργειακή εξοικονόμηση με μετρήσεις απόδοσης μπορεί να επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερη εξοικονόμηση. Ωστόσο, για να επιτευχθεί ηλιακή κάλυψη περισσότερο από 90% είναι απαραίτητο να υπάρχει στα μεγάλης κλίμακας ηλιακά συστήματα ενσωμάτωση τεχνολογιών εποχιακής αποθήκευσης θερμότητας αλλά και στα μικρής κλίμακας προχωρημένες τεχνολογίες υψηλής θερμικής χωρητικότητας.

Υποσχόμενοι νέοι σχεδιασμοί ηλιακών συστημάτων αποτελούν τα συστήματα Combi. Δηλαδή ηλιακά συστήματα τα οποία συνδυάζουν θέρμανση νερού χρήσης και χώρου. Αυτά τα συστήματα επεκτείνουν την περίοδο λειτουργίας και συνεπώς βελτιώνουν την ενεργειακή ωφέλεια. Τα ενεργά ηλιακά συστήματα θέρμανσης νερού χρήσης και χώρου συχνά χρειάζονται και υποσυστήματα υποστήριξης για την περίοδο χαμηλής ηλιοφάνειας όπως αερίου, ηλεκτρισμού ή βιομάζας ώστε να μπορούν να προσφέρουν την απαιτούμενη θερμική ενέργεια. Σε νέες τεχνολογίες πλέον ενσωματώνονται ηλιακά θερμικά συστήματα σε συνεργασία με αντλίες θερμότητας με αποτέλεσμα επίτευξη πολύ μεγάλου βαθμού απόδοσης συστήματος.

2.3.2 Συστήματα βιομάζας

Η βιομάζα προσφέρει ένα πολύ καλό μελλοντικό ενεργειακό δυναμικό καθώς είναι μια ενεργειακή πηγή που μπορεί να αντικαταστήσει άμεσα συμβατικά καύσιμα. Η αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια στη βιοδιασπώμενη ύλη της βιομάζας μπορεί να μετατραπεί σε χρήσιμη μορφή βιοενέργειας για χρήση σε θέρμανση, ψύξη άλλα και άλλες ενεργειακές ανάγκες. Η βιομάζα είναι διαφόρων ειδών και περιλαμβάνει υπολείμματα ξυλείας, οργανικά απόβλητα, υπολείμματα αγροτικών καλλιεργειών, ανάπτυξη καλλιεργειών ειδικά για ενεργειακή παραγωγή, απόβλητα ζώων, αστικά στερεά απόβλητα (Municipal Solid Waste, MWS) και άλλα. Εξαιτίας της περιορισμένης διαθεσιμότητας γεωργικών εκτάσεων, η παραγωγή βιομάζας για ενέργεια θα πρέπει να είναι σε σημαντική εξισορρόπηση με τις ανάγκες για τρόφιμα, κλωστοϋφαντουργικών πρώτων υλών, τροφή ζώων, βιοχημικά καθώς και σε εξάρτηση με τις εκπομπές άνθρακα και τη δασική δυνατότητα απορρόφησής του.

Ειδικότερα η καύση βιομάζας για παραγωγή θερμότητας είναι μια ώριμη τεχνολογία και σε πολλές περιπτώσεις ανταγωνιστική σε σχέση με τη χρήση συμβατικών καυσίμων.

Παραδείγματα ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας αποτελούν οι σόμπες και λέβητες πέλλετ, ξύλων, θρύμματος ξύλου ή γενικότερα δασικών και αγροτικών υπολειμμάτων, η αποτέφρωση αστικών στερεών αποβλήτων (τα παραγόμενα από ζωντανούς οργανισμούς συστατικά θεωρούνται ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή) και η αναερόβια χώνευση για την παραγωγή βιοαερίου. Ο μελλοντικός στόχος των βιοενεργειακών συστημάτων θα πρέπει να είναι η τριπλή ενεργειακή παραγωγή, δηλαδή ηλεκτρισμού, θέρμανσης και ψύξης ταυτόχρονα ώστε να μεγιστοποιείτε ο συνολικός βαθμός απόδοσης ανά μονάδα βιομάζας. Ένα πλεονέκτημα των διαφόρων μορφών βιομάζας σε σύγκριση με τις άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ότι μπορεί εύκολα να είναι αποθηκευμένη για μεγάλη χρονική περίοδο.

Τα συστήματα ωστόσο για Συμπαραγωγή Θερμότητας και Ηλεκτρικής ισχύος (Combined Heat Power) είναι μια υποσχόμενη τεχνολογία με σημαντικά ικανοποιητικό συνολικό βαθμό απόδοσης ανά μονάδα βιομάζας. Εξετάζοντας το σύστημα από την σκοπιά της ενεργειακής ποιότητας, είναι ωφελιμότερο να υπάρχει συμπαραγωγή από το να υπάρχει μόνο παραγωγή ηλεκτρισμού ή μόνο παραγωγή θερμότητας.

Σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα η βιομάζα έχει σχετικά χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα. Αυτό οδηγεί σε μεγάλο κόστος μεταφοράς. Συνεπώς το κόστος ανά μονάδα ενέργειας για την βιομάζα είναι σε σημαντική εξάρτηση από το είδος της βιομάζας, την απόσταση μεταφοράς και το κόστος αποθήκευσης.

Η μεγαλύτερη συμβολή της βιομάζας σήμερα είναι με την χρήση της παραδοσιακής καύσης βιομάζας σε ανοιχτές εστίες από περίπου 2.5 δισεκατομμύρια ανθρώπους στις αναπτυσσόμενες χώρες οι οποίοι βασίζονται στη βιομάζα για τις οικιακές τους ανάγκες. (IEA , 2006f). Εκτιμάται ότι 1.3 εκατομμύριο άνθρωποι πεθαίνουν πρόωρα κάθε χρόνο εξαιτίας της μόλυνσης του αέρα εσωτερικού χώρου από μονοξείδια του άνθρακα, υδρογονάνθρακες και σωματίδια. Αυτό μπορεί να μειωθεί με την χρήση καλά σχεδιασμένων σομπών οι οποίες

μπορούν να ελέγχουν καλύτερα την διεργασία της καύσης αλλά και να φιλτράρουν τα καυσαέρια. Οι εκπομπές από τα σύγχρονα συστήματα για οικιακή θέρμανση που χρησιμοποιούνται στις ανεπτυγμένες χώρες μπορούν να προκαλέσουν τοπική αέρια μόλυνση ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιείται βιομάζα ξύλων με υψηλή περιεκτικότητα υγρασίας. Όταν ένα καλοσχεδιασμένο σύστημα σόμπας ή λέβητα χρησιμοποιείται σωστά, δηλαδή οι ρυθμίσεις και η επιλογή του καυσίμου έχουν γίνει σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή, τότε οι εκπομπές ελαχιστοποιούνται. Πολύ συχνά όμως αυτό δεν συμβαίνει και συνεπώς, λόγω της μεγάλης ποικιλίας καύσιμης βιομάζας που υπάρχει αλλά και της διαφορετικής κατανόησης από τον χρήστη, τα συστήματα καταλήγουν να είναι υψηλής παραγωγής ρύπων. Σε έρευνα το 2006 (de Wilde), που επιβεβαιώνει τα παραπάνω, βρέθηκε ότι ένα εμπορικό σύστημα βιομάζας θερμικής παραγωγής παράγει από 5 έως 15 g/GJ σωματίδια ενώ ένα οικιακό, για παράδειγμα μια σόμπα, μπορεί να εκπέμψει μέχρι και 150g/GJ.

Η βιομάζα είναι σαφές ότι είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Τα συστήματα είναι ώριμα και με μεγάλο βαθμό απόδοσης. Η μόνη προϋπόθεση είναι η εξασφάλιση από την κάθε χώρα ότι η χρήση της είναι ελεγχόμενη, με προδιαγραφές και με εκπαιδευμένους χρήστες είτε εμπορικούς είτε οικιακούς ώστε το ισοζύγιο εκπομπής και απορρόφησης ρύπων να είναι ισορροπημένο.

2.3.3 Συστήματα γεωθερμίας και αντλιών θερμότητας

Για την ανθρώπινη κλίμακα χρόνου, η γεωθερμική ενέργεια είναι μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Έχει μια εκτεταμένη παγκόσμια διασπορά και είναι ανεξάρτητη από τις καιρικές συνθήκες.

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες γεωθερμικών συστημάτων. Τα συστήματα βαθιάς γεωθερμίας τα οποία χρησιμοποιούν θερμότητα που παράγεται στο εσωτερικό της γης

(κεντρικά υπάρχουν θερμοκρασίες που φθάνουν τους 6000 °C) εξαιτίας της διαδοχικής διάσπασης των μακρόβιων ραδιενεργών ισοτόπων (^{40}K , ^{232}Th , ^{235}U και ^{238}U) και τα συστήματα ρηχής γεωθερμίας όπου η πηγή θερμότητας είναι ο ήλιος και η σταθερή διατήρηση της θερμοκρασίας στα επιφανειακά εδάφη ανεξάρτητα από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και την εποχή του χρόνου.

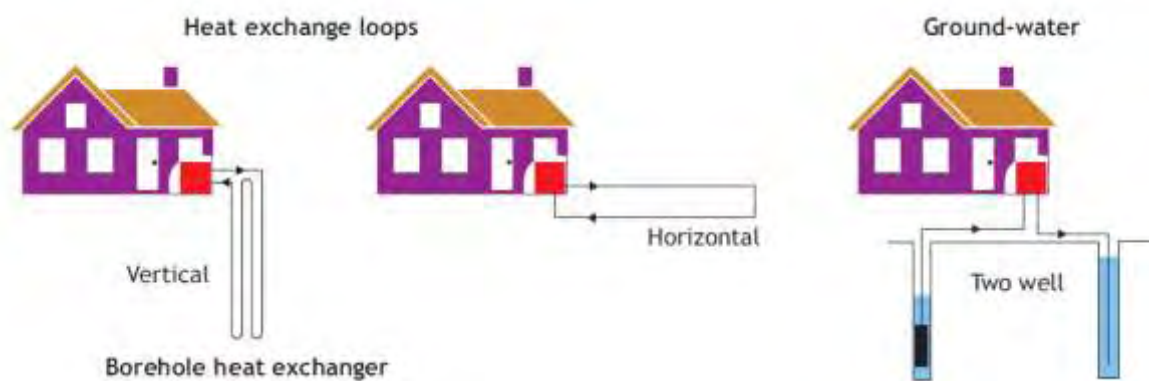
Τα συστήματα βαθιάς γεωθερμίας χρησιμοποιούν θερμότητα από βάθη 500 – 5000 m κάνοντας χρήση γεωτρήσεων σε επιλεγμένα μέρη που επικρατούν ευνοϊκές γεωλογικές συνθήκες. Τα γεωθερμικά συστήματα με πηγή υψηλής θερμοκρασίας αξιοποιούνται ορθότερα ενεργειακά όταν η υψηλής θερμοκρασίας πηγή χρησιμοποιείται πρωτίστως για παραγωγή ηλεκτρισμού και το χαμηλότερης θερμοκρασίας υπόλοιπο από την διεργασία οδηγείται στη συνέχεια για την κάλυψη αναγκών θέρμανσης ή ψύξης.

Τα συστήματα ρηχής γεωθερμίας παρέχουν χαμηλής θερμοκρασίας θερμότητα για άμεση χρήση με την βοήθεια αντλιών θερμότητας από βάθη λιγότερο από 300m. Αυτά τα συστήματα είναι οικιακής κλίμακας και μπορούν να εγκατασταθούν στην πραγματικότητα οπουδήποτε ώστε να παρέχουν θέρμανση και ψύξη με χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

Ειδικότερα τα συστήματα ρηχής γεωθερμίας χρησιμοποιώντας την αποθηκευμένη θερμότητα περιβάλλοντος που υπάρχει στα επιφανειακά εδάφη αποτελούν σύστημα υψηλής απόδοσης για θέρμανση και ψύξη των κτηρίων. Υπάρχει περίπτωση να συμβαίνει και υδροφόρα ενεργειακή αποθήκευση η οποία λαμβάνει χώρα όταν η θερμότητα αποθηκεύεται σε στρώματα νερού εντός του εδάφους. Και οι δύο θερμικές πηγές μπορούν να αξιοποιηθούν αποτελεσματικά με την χρήση αντλιών θερμότητας για θέρμανση χώρου και νερού χρήσης. Την περασμένη δεκαετία έχει γίνει μια πολύ σημαντική ανάπτυξη στις Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας (Geothermal Heat Pumps, GHP). Πρόκειται για μια πλήρως αναπτυσσόμενη

τεχνολογία με σχετικά χαμηλό αρχικό κόστος. Τις περισσότερες περιπτώσεις η αποθηκευμένη θερμότητα συλλέγεται ή σε κάποιες περιπτώσεις αναπληρώνεται ώστε να παρέχεται μια εποχιακή πηγή για θέρμανση και ψύξη.

Οι αντλίες θερμότητας μπορούν να μετασχηματίζουν την θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας του υπεδάφους, του υπόγειου νερού ή βράχων σε θερμότητα υψηλότερης θερμοκρασίας η οποία μπορεί να είναι χρήσιμη για συστήματα θέρμανσης χαμηλής θερμοκρασίας (Εικόνα 2.2). Το καλοκαίρι, όταν το έδαφος είναι ψυχρότερο από τον ατμοσφαιρικό αέρα, τα συστήματα ρηχής γεωθερμίας κυκλοφορούν το υγρό θερμικής μεταφοράς μεταξύ του κτηρίου και του εδάφους παρακάμπτοντας την αντλία θερμότητας. Κατά συνέπεια η θερμότητα του κτηρίου μεταφέρεται προς το έδαφος προς αποθήκευση για την άντλησή της το χειμώνα (“free cooling”). Με τον τρόπο αυτό το ίδιο σύστημα ρηχής γεωθερμίας λειτουργεί εκτός από θέρμανση και για ψύξη.

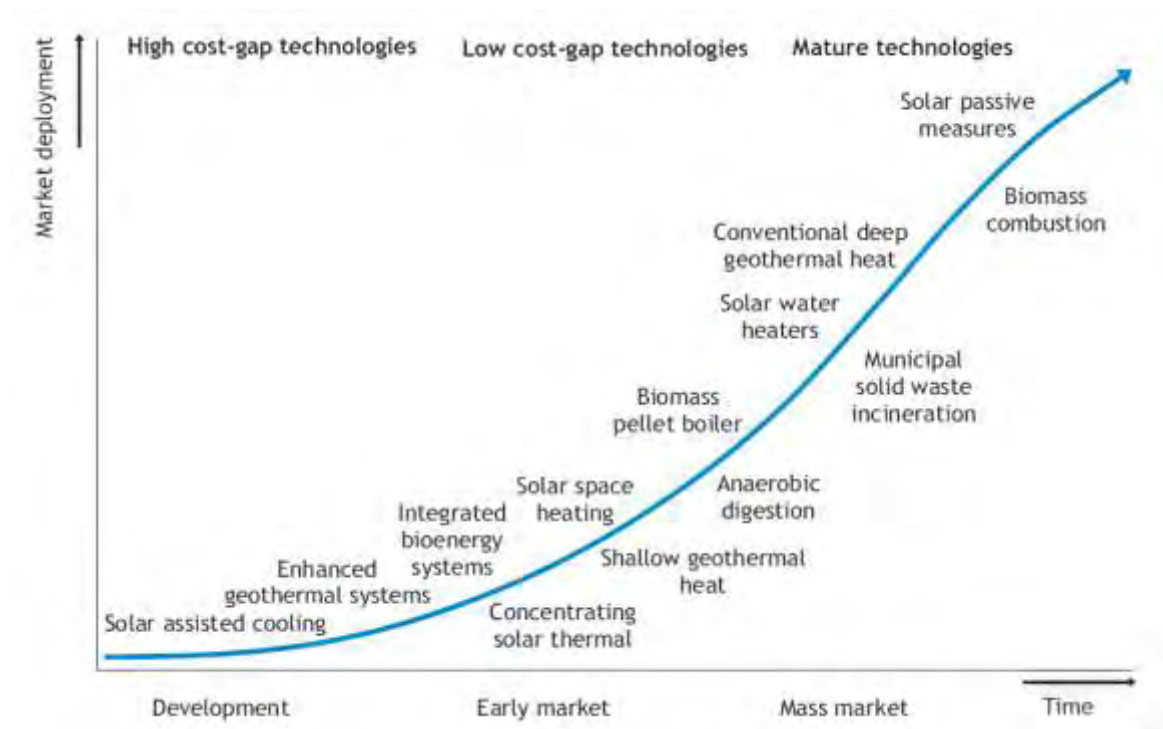


Εικόνα 2-2: Συστήματα ρηχής γεωθερμίας σε υγρό ή ξηρό έδαφος

Μια αντλία θερμότητας χρειάζεται ηλεκτρική ενέργεια για την λειτουργία της. Ο συντελεστής απόδοσης (COP) είναι ο λόγος της θερμικής εξαγόμενης ενέργειας προς την αναγκαία εισαγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Ένα τυπικό σύστημα αντλίας θερμότητας σε σύζευξη με το έδαφος έχει COP περίπου 4, όμως σε εξάρτηση με την διαμόρφωση του

συνολικού συστήματος θέρμανσης μπορεί να επιτευχθεί COP περίπου 7. Αυτό θα μπορούσε να συμβεί για παράδειγμα με την ελαχιστοποίηση της θερμοκρασίας επιθυμητής ανύψωσης και εφαρμόζοντας σύστημα εναλλακτών θερμότητας με το θερμικό μέσο σε χαμηλή θερμοκρασία. Οι αντλίες θερμότητας μπορούν να εξάγουν θερμότητα επίσης από τον αέρα ή το επιφανειακό νερό όμως είναι λιγότερο αποδοτικές εξαιτίας της σημαντικής θερμοκρασιακής διακύμανσης της θερμικής πηγής.

Ιστορικά η θερμική ενέργεια κυρίως προέρχονταν από τη βιομάζα αλλά και αρχαίες αρχιτεκτονικές πρακτικές βεβαιώνουν ότι η παθητική ηλιακή θέρμανση και η ψύξη δεν είναι κάτι καινούριο. Τα σύγχρονα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορούμε να τα κατατάξουμε με βάση την τεχνική τους ωριμότητα σε τρεις γενιές (Διάγραμμα 2.9) (IEA 2006c; Ros 2007).



Διάγραμμα 2-9: Ωριμότητα τεχνολογιών ΑΠΕ για θέρμανση και ψύξη

Οι αναπτυσσόμενες τεχνολογίες “τεχνολογίες τρίτης γενιάς” έχουν μεγάλο αρχικό κόστος σχετικά με τις συνηθισμένες τεχνολογίες στην αγορά και ακόμα χρειάζονται πολιτική στήριξη. Οι νέες εμπορικές τεχνολογίες “τεχνολογίες δεύτερης γενιάς” έχουν σχετικά χαμηλό αρχικό κόστος και η αποκτούμενη εμπειρία συχνά βοηθάει στο να γίνουν πιο αποδοτικές. Ενώ τέλος οι ώριμες τεχνολογίες “τεχνολογίες πρώτης γενιάς” είναι για την ώρα οι οικονομικά ανταγωνιστικότερες.

Κεφάλαιο 3 Θερμική Αποθήκευση και η Σημασία της

Η ενεργειακή αποθήκευση είναι σημαντική για τη θέρμανση και την ψύξη όταν το προφίλ της ενεργειακής πηγής ή/ και το φορτίο είναι μεταβλητά. Οι ανανεώσιμες πηγές έχουν μεταβλητό προφίλ συνεπώς και τα θερμικά συστήματά τους, με κυριότερο τα θερμικά ηλιακά που έχουν εξαιρετικά μεταβλητές παραμέτρους, μπορούν να κερδίσουν πολλά από τις βελτιωμένες δυνατότητες αποθήκευσης. Η θερμική αποθήκευση θεωρείται το κλειδί για την μελλοντική επιτυχία των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Rantil, 2006). Τα τελευταία χρόνια γίνεται σημαντική προσπάθεια ανάπτυξης συστημάτων και υλικών θερμικής αποθήκευσης τα οποία επιτρέπουν τρεις φορές μικρότερο όγκο από αυτή του νερού για αποθήκευση ίδιας ποσότητας θερμότητας. Η ανάγκη για βελτίωση υπάρχοντων τεχνολογιών θερμικής αποθήκευσης αλλά και ανάπτυξης νέων είναι απαραίτητη όχι μόνο για εποχιακή αποθήκευση αλλά και για αποθήκευση σύντομης περιόδου.

Η πιο απλή και συνηθισμένη θερμική αποθήκη είναι μια δεξαμενή νερού καλά μονωμένη. Σε ένα θερμικό σύστημα τα κρισιμότερα χαρακτηριστικά μιας θερμικής αποθήκης νερού είναι ο όγκος της, οι θερμικές απώλειες της, η θερμική διαστρωμάτωση του νερού και ο θερμικός έλεγχος για τη θερμική φόρτιση και εκφόρτιση της.

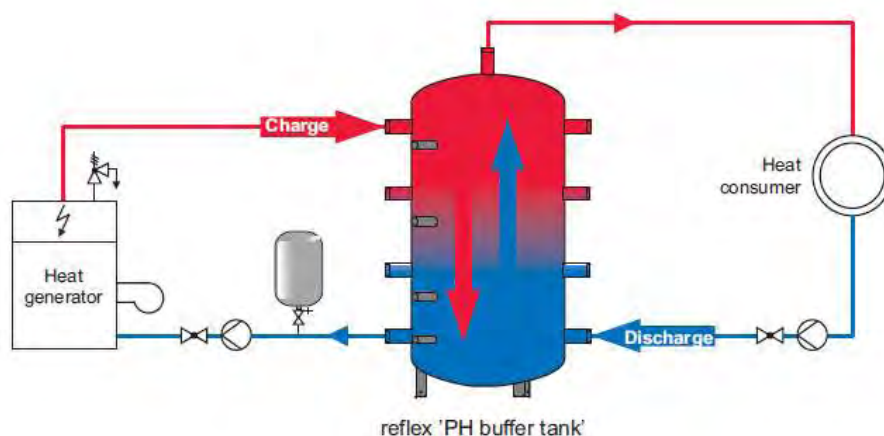
Όταν η θερμική αποθήκη έχει στόχο τον διαχωρισμό της θερμικής παραγωγής από το φορτίο κατανάλωσης ονομάζεται δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης (Buffer Tank) ή συχνά

δεξαμενή αδράνειας αφού το κύριο αποτέλεσμά της είναι η αύξηση της θερμικής αδράνειας του συστήματος.

Τα δοχεία αδράνειας είναι σημαντικά συστατικά για κάθε θερμικό ή ψυκτικό σύστημα αφού μπορούν να καλύψουν τα φορτία αιχμής προστατεύοντας το σύστημα ενεργειακής παραγωγής. Ειδικότερα, είναι ιδανικά για:

- Συστήματα αντλιών θερμότητας, αφού η λειτουργία της αντλίας θερμότητας είναι οικονομικά βέλτιστη ανεξάρτητα από τις τρέχουσες θερμικές απαιτήσεις φορτίου.
- Θερμικά ηλιακά συστήματα, αφού η θερμική αφθονία από την ηλιακή ενέργεια αποθηκεύεται και είναι διαθέσιμη στο χρήστη για μακρύτερο χρονικό διάστημα ακόμα και όταν δεν υπάρχει ηλιοφάνεια.
- Λέβητες βιομάζας (στερεών καυσίμων) αφού επιτυγχάνεται υψηλή απόδοση στον λέβητα με την ομαλή καύση της βιομάζας.

Μια δεξαμενή αδράνειας διαχωρίζει την θερμική παραγωγή από την θερμική κατανάλωση όχι μόνο χρονικά αλλά και σχεδόν υδραυλικά. Αυτό κάνει δυνατή την πιο ευνοϊκή ρύθμιση της θερμικής παραγωγής και της θερμικής κατανάλωσης (Σχήμα3.1).



Εικόνα 3-1: Βασική διάταξη δοχείου προσωρινής αποθήκευσης θερμότητας.

3.1 Μέγεθος και Θερμοχωρητικότητα

Το μέγεθος του δοχείου προσωρινής αποθήκευσης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά και της θερμικής κατανάλωσης αλλά και της θερμικής παραγωγής. Στην παρούσα παράγραφο θα δοθούν μόνο γενικές πληροφορίες οι οποίες σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να αναιρούν τον αναλυτικό σχεδιασμό.

Η αξιοποιήσιμη θερμική ενέργεια μιας αποθήκης αδράνειας είναι ανάλογη του όγκου της και της θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ θερμοκρασίας φόρτισης και επιστροφής.

Πιο αναλυτικά η χρήσιμη θερμική ενέργεια $Q_{\Delta\theta}$ [kWh] προκύπτει από τις σχέσεις:

$$Q_{\Delta\theta} = V_{St} \cdot \rho \cdot c_p \cdot n \cdot \Delta\theta \text{ [kJ]} \quad [1]$$

$$1[\text{kWh}] = 1\left[\frac{\text{kJ}}{\text{s}}\right] \cdot 1[\text{h}] = 1\left[\frac{\text{kJ}}{\text{s}}\right] \cdot 3600 [\text{s}] = 3600[\text{kJ}] \quad [2]$$

Όπου:

$Q_{\Delta\theta}$ Η χρήσιμη θερμική ποσότητα για τη διεργασία φόρτισης ή αποφόρτισης σε μονάδες [kJ] ή [kWh]

V_{St} Χωρητικότητα δεξαμενής σε μονάδες [l]

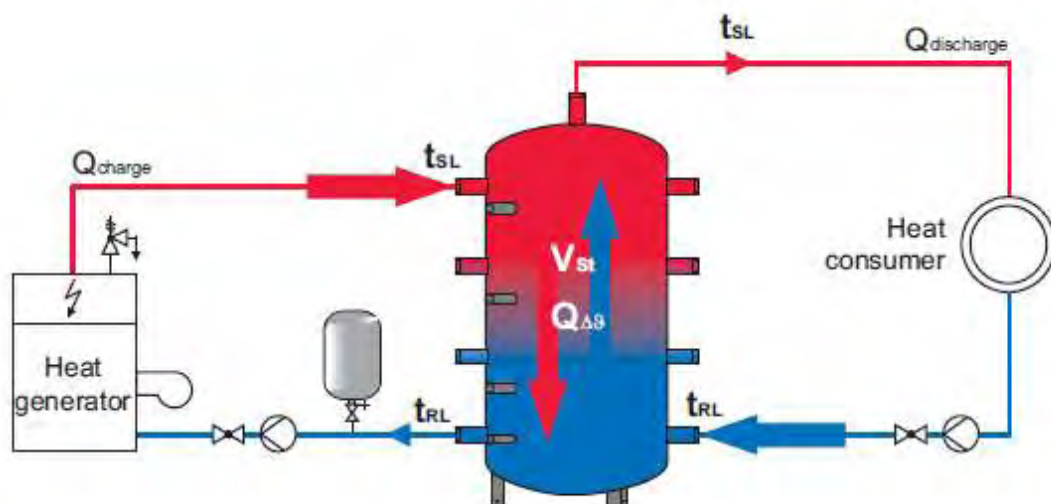
ρ Πυκνότητα του θερμικού μέσου μεταφοράς [kg/l] (Για νερό $\rho = 1 \text{ kg/l}$)

c_p Ειδική θερμοχωρητικότητα του θερμικού μέσου μεταφοράς [kJ/(kg.K)] (Για νερό $c_p = 4.19 \text{ kJ/(kg.K)}$)

n Βαθμός αξιοποίησης της δεξαμενής [-], με μέγιστη δυναμικότητα $n = 0.9$

$\Delta\theta$ Θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ τροφοδοσίας δεξαμενής και επιστροφής.

$$\Delta\theta = t_{SL} - t_{RL} \text{ σε μονάδες [K]}$$



| Nominal capacity buffer tank | Q_{20} kWh | Q_{30} kWh | Q_{40} kWh | Q_{50} kWh |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 300 | 6 | 9 | 13 | 16 |
| 500 | 10 | 16 | 21 | 26 |
| 800 | 17 | 25 | 33 | 42 |
| 1000 | 21 | 31 | 42 | 52 |
| 1500 | 31 | 47 | 63 | 78 |
| 2000 | 42 | 63 | 84 | 105 |

Εικόνα 3-2: Βασική διαστασιολόγηση δεξαμενής αδράνειας

Συνεπώς η χρήσιμη θερμική ροή [kW] από τη δεξαμενή είναι ίση με την διαίρεση του $Q_{\Delta\theta}$ [kJ] με τον χρόνο φόρτισης ή αποφόρτισης [s].

3.2 Θερμικές Απώλειες

Οι θερμικές απώλειες του δοχείου προσωρινής αποθήκευσης εξαρτώνται κυρίως από τη θερμοκρασία του θερμικού μέσου, την θερμοκρασία χώρου της δεξαμενής, την θερμική μόνωση, την πολλαπλότητα συνδέσεων των περιφερικών συστημάτων με τη δεξαμενή και την θερμική διαστρωμάτωση που υπάρχει εντός της δεξαμενής η οποία είναι σημαντική

παράμετρος και ενσωματώνει πληροφορίες όπως η θερμοκρασιακή διαβάθμιση κατά το ύψος της δεξαμενής και η θερμική συναγωγή που είναι κρίσιμες για της θερμικές απώλειες.

3.3 Θερμική Διαστρωμάτωση

Η διαστρωμάτωση στις θερμικές ενεργειακές αποθήκες είναι ένα φυσικό φαινόμενο που συμβαίνει στα συστήματα αποθήκευσης υγρού όπως για παράδειγμα στις δεξαμενές νερού με θερμοκρασία πάνω από 4° C. Εξαιτίας των ανωστικών δυνάμεων, το ζεστό νερό τείνει να συγκεντρωθεί στην κορυφή της θερμικής ενεργειακής αποθήκης, ενώ το κρύο νερό πάντα πιέζεται ώστε να κινηθεί προς τα κάτω. Επομένως, μια θερμική ενεργειακή αποθήκη βασιζόμενη σε νερό θα έχει πάντα κάποια διαστρωμάτωση. Ωστόσο διάφοροι παράγοντες τείνουν στην καταστροφή της διαστρωμάτωσης σε μια θερμική ενεργειακή δεξαμενή:

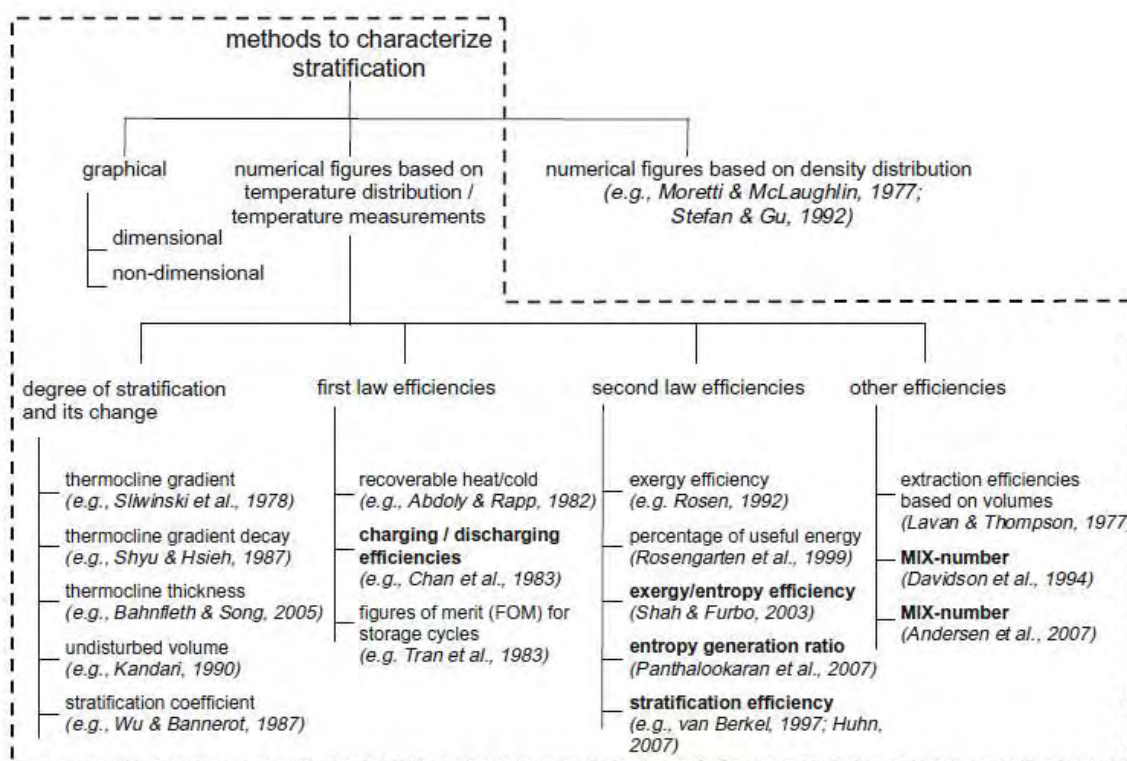
- Ανάμιξη του νερού εξαιτίας φυσικής συναγωγής οφειλόμενη στην άνωση του ζεστού το οποίο περιτριγυρίζεται από κρύο νερό (για παράδειγμα αν το νερό εισόδου είναι ζεστότερο από την θερμοκρασία στην περιοχή εισόδου ή αν η θερμικά ενεργειακή αποθήκη φορτίζεται με εμβαπτισμένο θερμικό εναλλάκτη).
- Ανάμιξη στα ακροφύσια εισόδου εξαιτίας της κινητικής ενέργειας του νερού που εισέρχεται στην θερμική ενεργειακή αποθήκη.
- Θερμική αγωγιμότητα και διάχυση εντός του υγρού αυτού κάθε αυτού, εντός των τοιχωμάτων και των εμβαπτισμένων στο υγρό συστατικών της θερμικής ενεργειακής αποθήκης.

Μια θερμική ενεργειακή αποθήκη χωρίς διαστρωμάτωση μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μια αποθήκη πλήρους ανάμιξης. Η δυνατότητα οργάνωσης διαστρωμάτωσης κατά την

διάρκεια φορτίσεων και εκφορτίσεων δεν είναι εξαρτώμενη μόνο από την κατασκευή της θερμικής αποθήκης και τις αυξητικές διατάξεις διαστρωμάτωσης αλλά επίσης και από τις μαζικές παροχές εισόδου και τις θερμοκρασίες. Επιπρόσθετα, κρίσιμο ρόλο στον προσδιορισμό της διαστρωματικής απόδοσης παίζει και ο καθορισμός των οριακών συνθηκών φόρτισης και εκφόρτισης.

Μέθοδοι για την εκτίμηση και σύγκριση των διαστρωματικών αποδόσεων που προτείνονται στην βιβλιογραφία μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως ακολούθως.

- Γραφική απεικόνιση θερμοκρασιακών καμπυλών.
- Μέθοδοι βασιζόμενοι στην γραμμική θερμοκρασιακή κλίση ή στο πάχος της περιοχής της γραμμικής θερμοκρασιακής κλίσης μετά από αναλυτικό πείραμα.
- Μέθοδοι βασιζόμενοι στον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής (εξετάζοντας για παράδειγμα την “χρήσιμη” ενέργεια η οποία μπορεί να εκφορτιστεί μετά από μία φόρτιση της θερμικής ενεργειακής αποθήκης).
- Μέθοδοι βασιζόμενοι στον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής (ισοζύγια εξέργειας / εντροπίας ή συγκρίσεις εξεργειακού / εντροπικού περιεχομένου μετά από αναλυτικό πείραμα στη θερμική ενεργειακή αποθήκη)
- Άλλες μέθοδοι όπως ο αριθμός ανάμιξης (MIX-number)



Εικόνα 3-3: Διαφορετικές μέθοδοι χαρακτηρισμού θερμικής διαστρωμάτωσης αποθήκης

Το 2010 σε εργασία τους οι M. Haller, E. Yazdanshenas, E. Andersen, C. Bales, W. Streicher, S. Furbo παρουσίασαν μια νέα μέθοδο για τον υπολογισμό της απόδοσης διαστρωμάτωσης θερμικών ενεργειακών αποθηκών βασισμένη στον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής. Η προδιάθεση επίδρασης των θερμικών απωλειών μελετάται θεωρητικά και πειραματικά. Θεωρητικά, δεν προκαλεί διαφοροποίηση αν η απόδοση διαστρωμάτωσης είναι υπολογισμένη με βάση το εντροπικό ή το εξεργειακό ισοζύγιο. Πρακτικά, ωστόσο, το εξεργειακό ισοζύγιο είναι λιγότερο επηρεαζόμενο από τις αβεβαιότητες των μετρήσεων από ότι το εντροπικό και συνεπώς το δεύτερο δεν μπορεί να προτείνεται αν οι αβεβαιότητες των μετρήσεων δεν είναι διορθωμένες κατά τέτοιο τρόπο ώστε το ενεργειακό ισοζύγιο της διεργασίας αποθήκευσης να είναι σε συμφωνία με τον πρώτο νόμο της θερμοδυναμικής. Επίσης πραγματοποιείται και μια σύγκριση των αποδόσεων διαστρωμάτωσης που λαμβάνεται

από πειραματικά αποτελέσματα διεργασιών φόρτισης, αναμονής και εκφόρτισης και δίνει βαρύτητα στην σημασία των διαφορετικών συμπεριφορών ανάμιξης μιας αποθηκευτικής δεξαμενής η οποία φορτίζεται και εκφορτίζεται άμεσα αλλά και σε συστήματα δεξαμενής μέσα σε δεξαμενή στα οποία η εξωτερική δεξαμενή φορτίζεται και η εσωτερική δεξαμενή εκφορτίζεται συνεχώς. Η νέα αυτή μέθοδος έχει μεγάλη δυνατότητα στη σύγκριση αποδόσεων διαστρωμάτωσης των θερμικών ενεργειακών αποθηκών αλλά και των συστατικών των αποθηκών όπως για παράδειγμα διατάξεων διαστρωμάτωσης

Στα θερμικά ηλιακά συστήματα θέρμανσης, η βέλτιστη διαστρωμάτωση εντός της αποθηκευτικής δεξαμενής έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερες θερμοκρασίες επιστροφής στον ηλιακό συλλέκτη και μειώνει τις απαιτήσεις υποστηρικτικής θέρμανσης.

Σύμφωνα με τα μέχρι σήμερα συμπεράσματα η χρήση της διαστρωμάτωσης στον σχεδιασμό θερμικών αποθηκών πρέπει να μελετάται, αφού αυξάνει την χωρητικότητα της εξέργειας που αποθηκεύεται στην θερμική αποθήκη

Η θερμική απόδοση ενός συστήματος ζεστού νερού μπορεί να αυξηθεί μεγιστοποιώντας την θερμοκρασιακή διαστρωμάτωση εντός της δεξαμενής αποθήκευσης και μπορεί να επιτευχθεί τεράστια εξοικονόμηση ενέργειας. Για την ανάλυση της επίδρασης της γεωμετρίας της δεξαμενής και των λειτουργικών συνθηκών στην θερμική διαστρωμάτωση εντός δεξαμενής αποθήκευσης πραγματοποιούνται σήμερα πολλές έρευνες.

3.4 Θερμικός Έλεγχος

Ο θερμικός έλεγχος της προσωρινής θερμικής αποθήκης αφορά κυρίως τις οριακές συνθήκες φόρτισης και εκφόρτισης. Η κρισιμότητα αυτών των συνθηκών είναι μεγάλη στην συνολική ενεργειακή απόδοση κάθε θερμικού συστήματος αφού επιδρά καθοριστικά στην συμπεριφορά του συστήματος στα ακόλουθα σημεία:

- Στην έναρξη και διακοπή λειτουργίας της μονάδας ενεργειακής τροφοδοσίας της δεξαμενής θερμικής αποθήκευσης.
- Στις λειτουργικές συνθήκες της μονάδας ενεργειακής τροφοδοσίας της δεξαμενής θερμικής αποθήκευσης
- Στις θερμικές απώλειες της δεξαμενής θερμικής αποθήκευσης και του συστήματος γενικότερα.
- Στη διαστρωμάτωση της δεξαμενής θερμικής αποθήκευσης

Για το λόγο αυτό οι συνθήκες αυτές θα πρέπει να είναι τέτοιες ώστε, η βασική μονάδα ενεργειακής τροφοδοσίας της δεξαμενής να έχει λειτουργία στην περιοχή υψηλής απόδοσης της, να μην αναβοσβήνει αλλά να πραγματοποιεί μεγάλους και ομαλούς κύκλους λειτουργίας, και ταυτόχρονα οι θερμοκρασίες παραγωγής να είναι κοντά στις θερμοκρασίες κατανάλωσης ώστε να ελαχιστοποιούνται οι θερμικές απώλειες και να εξασφαλίζεται η όσο το δυνατόν ομαλότερη θερμική ροή χωρίς εξεργιακές καταστροφές.

Κεφάλαιο 4 Υπολογιστικό Πρόγραμμα TRNSYS

Το TRNSYS είναι ένα ολοκληρωμένο και επεκτάσιμο περιβάλλον προσομοίωσης για δυναμικές προσομοιώσεις ενεργειακών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένου των πολυζωνικών κτηρίων. Χρησιμοποιείται από μηχανικούς και ερευνητές σε όλο τον κόσμο για την επικύρωση νέων ιδεών, από απλά συστήματα ζεστού νερού οικιακής χρήσης μέχρι τον σχεδιασμό και την προσομοίωση κτηρίων και του εξοπλισμού τους, συμπεριλαμβανομένου στρατηγικών ελέγχου, συμπεριφορών χρηστών, εναλλακτικών ενεργειακών συστημάτων (αιολικών, θερμικών ηλιακών, φωτοβολταϊκών, υδρογόνου) και άλλα.

Ένας από τους βασικότερους παράγοντες για την επιτυχία του TRNSYS τα τελευταία 25 χρόνια είναι η ανοιχτή, αρθρωτή δομή του. Ο πηγαίος κώδικας του πυρήνα, καθώς και των συστατικών μοντέλων είναι προσβάσιμος από τον χρήστη. Αυτό επιτρέπει με απλό τρόπο την προσαρμογή των υπάρχοντων συστατικών μοντέλων στις ιδιαίτερες ανάγκες του χρήστη.

Η αρχιτεκτονική του προγράμματος βασίζεται σε Βιβλιοθήκες Δυναμικής Σύνδεσης (Dynamic Link Library) και επιτρέπει στους χρήστες και σε τρίτους προγραμματιστές να μπορούν εύκολα να προσθέτουν νέα συστατικά μοντέλα χρησιμοποιώντας όλες τις συνηθισμένες γλώσσες προγραμματισμού (C, C++, Pascal, Fortran, κλπ). Επιπλέον το TRNSYS μπορεί εύκολα να συνδέεται με αρκετές άλλες εφαρμογές για προ ή μετά επεξεργασίες ή ακόμα και διαμέσου διαδραστικών κλήσεων κατά την διάρκεια της

προσομοίωσης (π.χ. Microsoft Excel, Matlab, COMIS, κ.λ.π.). Η εφαρμογή TRNSYS περιλαμβάνει:

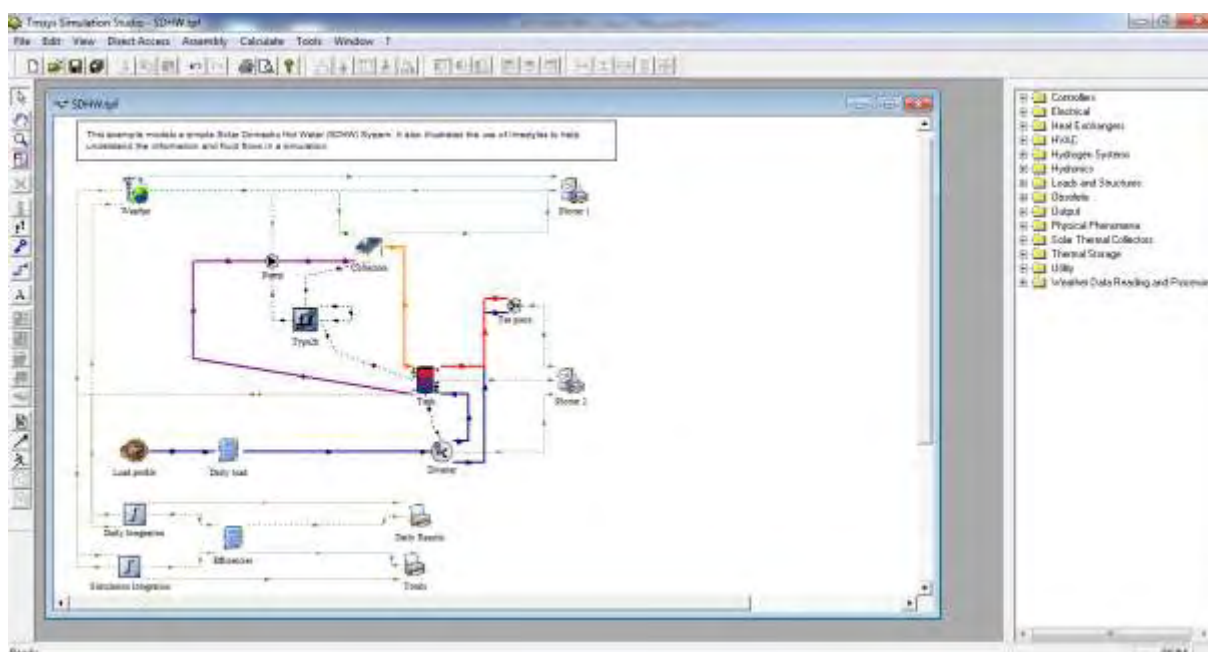
- Ηλιακά συστήματα (θερμικά ηλιακά ή φωτοβολταϊκά)
- Κτήρια χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης και συστήματα Θέρμανσης Αερισμού Κλιματισμού με ανεπτυγμένα σχεδιαστικά χαρακτηριστικά.
- Συστήματα ανανεώσιμης ενέργειας.
- Συμπαραγωγή, κυψέλες καυσίμου.
- Οτιδήποτε απαιτεί δυναμική προσομοίωση.

4.1 Γενική Περιγραφή Δομής

Ένα έργο TRNSYS οργανώνεται με γραφική σύνδεση των συστατικών μερών (Components) του σχεδιαζόμενου συστήματος. Αυτή η γραφική σύνθεση γίνεται στο βασικό περιβάλλον εργασίας της εφαρμογής (Simulation Studio), και ειδικότερα στο ενσωματωμένο παράθυρο με τον χώρο για την γραφική σύνθεση των συστατικών μερών του έργου (Assembly Panel). Κάθε τύπος συστατικού στην μηχανή προσομοίωσης του TRNSYS περιγράφεται από ένα μαθηματικό μοντέλο και ο χρήστης μπορεί να επεμβαίνει σε αυτό μέσω φορμών επικοινωνίας (Proforma) στο Simulation Studio. Κάθε φόρμα επικοινωνίας έχει χαρακτήρα μαύρου κουτιού όπου ο χρήστης χειρίζεται τις εισόδους, τις εξόδους, τις παραμέτρους και άλλα.

Κάθε είδος - τύπος - συστατικού (Component's Type) στο TRNSYS είναι αριθμημένος. Για παράδειγμα Type 1 είναι ο ηλιακός συλλέκτης και Type 56 είναι το μοντέλο του Πολυζωνικού Κτηρίου (Multizone building model).

Από το Simulation Studio μπορούν να παραχθούν δύο αρχεία. Το ένα είναι ένα αρχείο κειμένου αναγκαίο για είσοδο στη μηχανή προσομοίωσης του TRNSYS. Αυτό το αρχείο εισόδου (Input file ή deck file), μορφής *.dck, ενσωματώνει όλες τις κρίσιμες πληροφορίες που δίδονται από το χρήστη και αφορά το είδος των συστατικών, τις συνδέσεις μεταξύ τους, τις παραμέτρους και άλλα. Το άλλο αρχείο είναι ένα αρχείο Trnsys (Trnsys Project File), μορφής *.trf. Πρόκειται για αρχείο που περιέχει όλες τις πληροφορίες που έχει εισάγει ο χρήστης. Δηλαδή ότι περιέχεται στο Deck File και επιπλέον γραφικές πληροφορίες (πχ. χρώματα, διάταξη και άλλα).



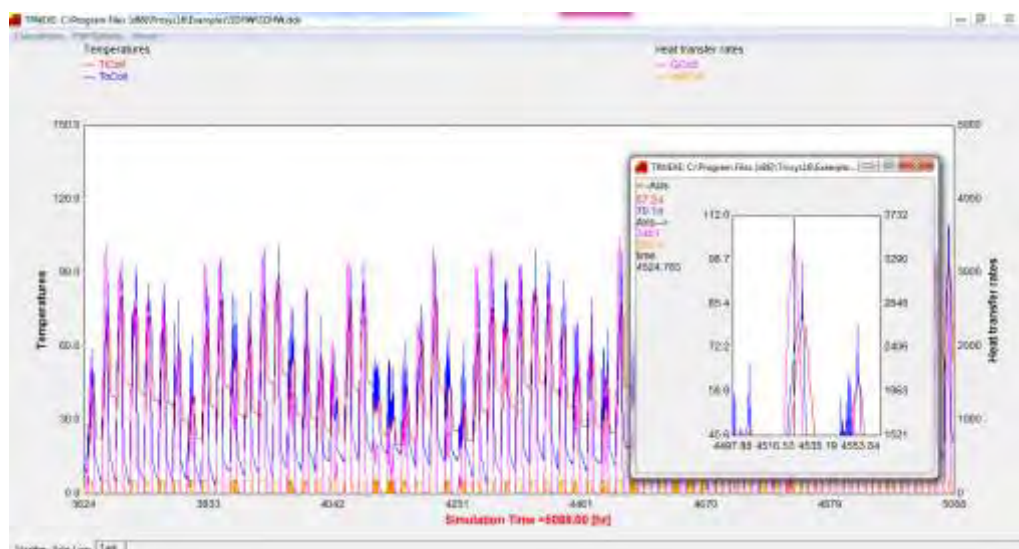
Εικόνα 4-1: Βασικό περιβάλλον εργασίας με ενεργό το χώρο σύνθεσης έργου

Από το Simulation Studio είναι δυνατή η πρακτικότερη διαχείριση των εξεταζόμενων μεταβλητών για τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μέσω ενός υποπρογράμματος διαχείρισης εξόδων (Output Manager). Δηλαδή ελέγχονται συγκεντρωτικά οι μεταβλητές που ολοκληρώνονται, εκτυπώνονται σε αρχείο ή παρουσιάζονται άμεσα με γράφημα. Επίσης υπάρχει και ο διαχειριστής συνδέσεων και σφαλμάτων (Log/Error Manager) ο οποίος

επιτρέπει στο χρήστη να εξετάζει με λεπτομέρεια την ιστορική εξέλιξη της κάθε προσομοίωσης. Τα αρχεία που παράγονται και συνδέονται με τον διαχειριστή σφαλμάτων είναι της μορφής *.log και *.lst. Το πρώτο είναι αρχείο χρήσιμο για την οπτικοποίηση των πληροφοριών του lst μέσα από τις καρτέλες του διαχειριστή ενώ το lst που περιέχει όλες τις πληροφορίες από την εξέλιξη της προσομοίωσης μπορεί να είναι αναγνώσιμο και από μια εφαρμογή απλού κειμενογράφου (για παράδειγμα το Notepad).

Η μηχανή προσομοίωσης είναι προγραμματισμένη με Fortran και ο κώδικάς της ανοιχτός. Η μηχανή μεταγλωττίζεται σε μια Βιβλιοθήκη Δυναμικής Σύνδεσης των Windows (Windows Dynamic Link Library – DLL), με όνομα αρχείου TRNDLL.dll. Ο πυρήνας του TRNSYS διαβάζει όλες τις πληροφορίες ενός έργου για την προσομοίωση του από το deck file (*.dck) και άλλα πρόσθετα αναγκαία αρχεία που έχει ορίσει ο χρήστης, όπως για παράδειγμα μετεωρολογικά δεδομένα, και δημιουργεί στη συνέχεια τα αρχεία εξόδου.

Η μηχανή προσομοίωσης ενεργοποιείται από το εκτελέσιμο πρόγραμμα TRNExe (TRNExe.exe) το οποίο ενεργοποιεί επιπλέον και ένα παράθυρο άμεσης γραφικής απεικόνισης μεταβλητών προσομοίωσης που έχουν επιλεγεί από το χρήστη (On-line Plotter).

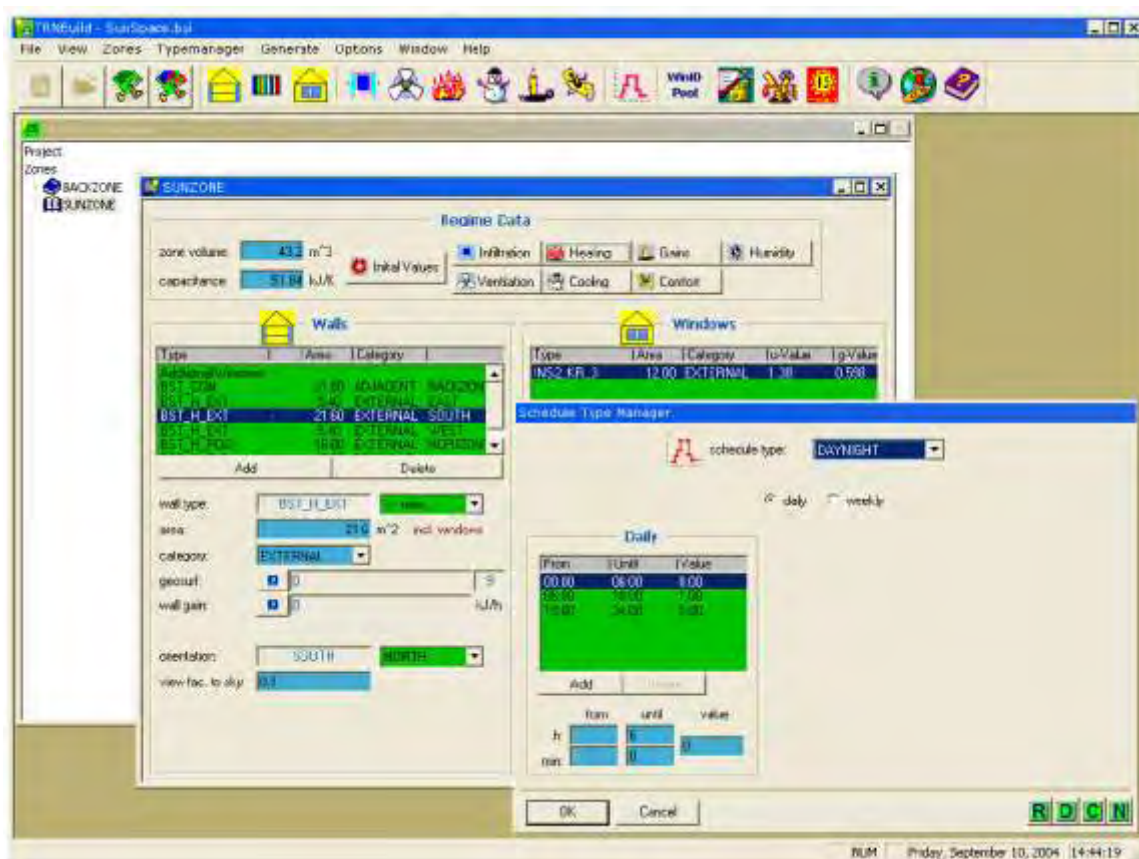


Εικόνα 4-2: Ο άμεσος εκτυπωτής προσομοίωσης

Ο καθορισμός αυτών των μεταβλητών γραφικής απεικόνισης γίνεται μέσω της ενσωμάτωσης στη σύνθεση του έργου του αντίστοιχου σχετικού συστατικό στοιχείου.

Ο άμεσος εκτυπωτής παρέχει δυνατότητες όπως μεγεθύνσεις και αριθμητικές τιμές σε κάθε χρονικό βήμα όπως φαίνεται στην εικόνα 4-2.

Όταν ο χρήστης επιλέγει στο σύστημά του την ενσωμάτωση ενός πολυζωνικού κτηρίου δεν αρκεί η χρήση του συστατικού Type 56. Λόγο της ανάγκης χρήσης πάρα πολλών παραμέτρων για την πλήρη περιγραφή του κτηρίου και γενικά εξαιτίας της πολυπλοκότητας που παρουσιάζεται, το Type 56 δεν έχει ρόλο αυτόνομης περιγραφής του κτηρίου άλλα εξυπηρετεί την σύνδεση του σχεδιαζόμενου συστήματος στο Simulation Studio με το ενσωματωμένο πρόγραμμα στο TRNSYS που ονομάζεται TRNBuild.

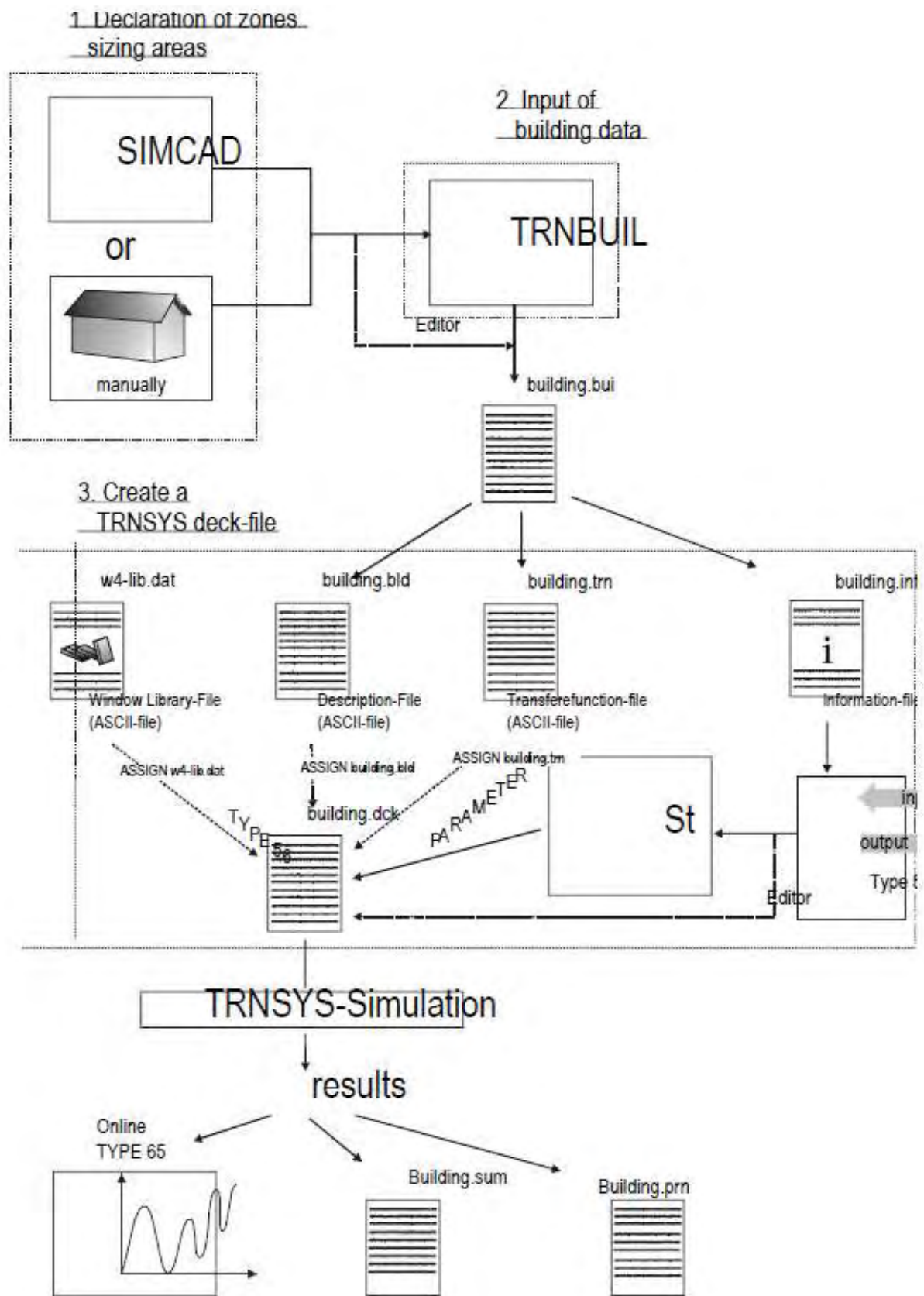


Εικόνα 4-3: Πρόγραμμα TRNBuild

Συγκεκριμένα, το πρόγραμμα TRNBuild είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για να εισάγει παραμέτρους ενός πολυζωνικού κτηρίου. Επιτρέπει τον καθορισμό όλων των κτηριακών κατασκευαστικών λεπτομερειών καθώς επίσης και οτιδήποτε είναι απαραίτητο για την προσομοίωση της θερμικής συμπεριφοράς του κτηρίου, όπως οπτικές ιδιότητες παραθύρων, θερμικά και ψυκτικά χρονοδιαγράμματα και άλλα.

Όλες οι απαραίτητες για την προσομοίωση του κτηρίου πληροφορίες που εισάγονται με το πρόγραμμα TRNBuild και αποθηκεύονται σε ένα αρχείο κτηριακής περιγραφής, μορφής *.bui, χρησιμοποιούνται για την παραγωγή δύο νέων αρχείων. Ένα αρχείο που περιλαμβάνει τις γεωμετρικές πληροφορίες του κτηρίου, με μορφή *.bld, και ένα άλλο που περιλαμβάνει όλες τις εξισώσεις μεταφοράς κατά ASHRAE για τους τοίχους, σε μορφή *.trn. Αυτά τα δύο αρχεία χρησιμοποιούνται από το συστατικό Type 56 κατά την διαδικασία της προσομοίωσης. Τέλος παράγεται και ένα πρόσθετο πληροφοριακό αρχείο κειμένου, σε μορφή *.inf, το οποίο δείχνει την δομή του επεξεργασμένου αρχείου .bui καθώς και τις απαιτούμενες μεταβλητές εισόδου και τις διαθέσιμες μεταβλητές εξόδου του Type 56.

Στην εικόνα της επόμενης σελίδας παρουσιάζεται μια γραφική απεικόνιση της δομής του TRNSYN.



Εικόνα 4-4: Δομή TRNSYS

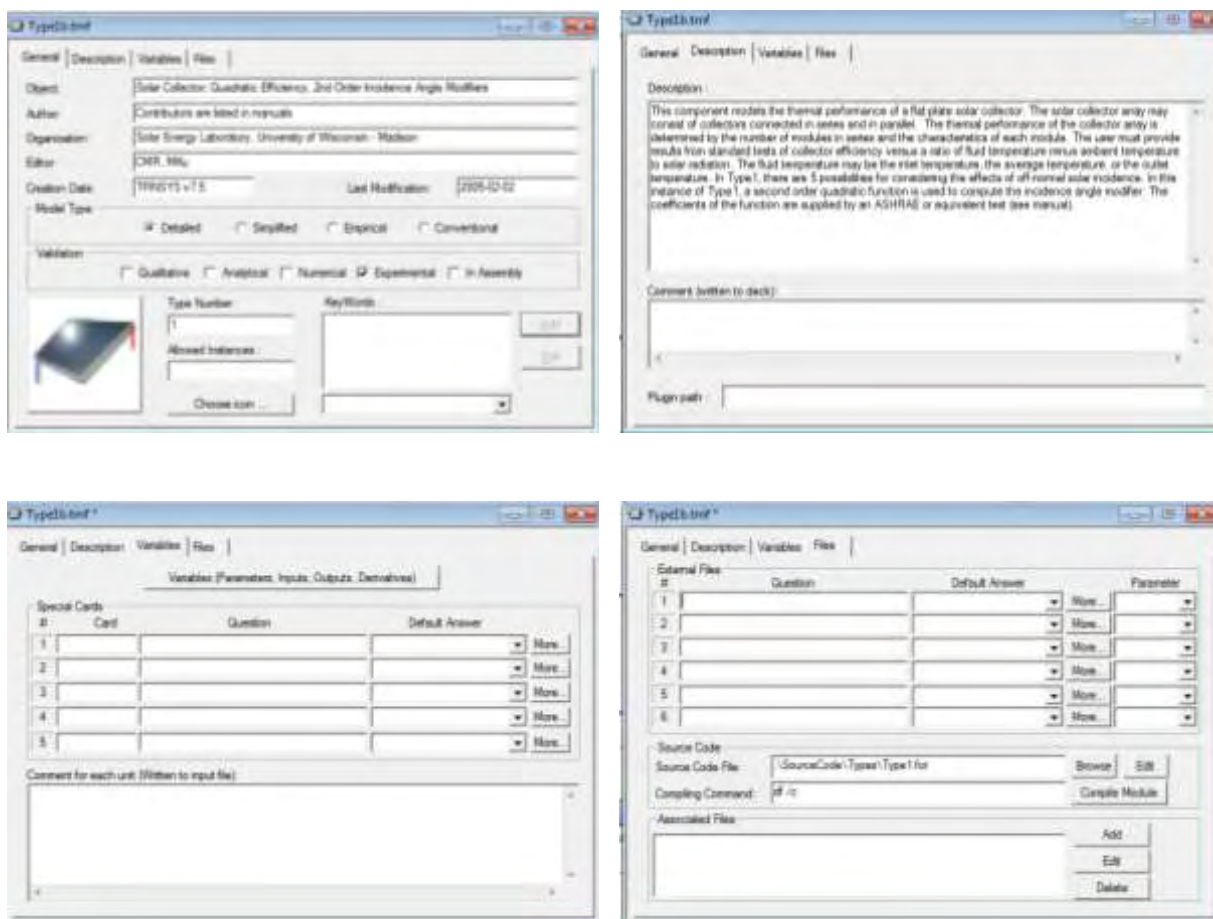
4.2 Χώρος Σύνθεσης

Ο χώρος σύνθεσης ενεργοποιείται μετά από την επιλογή για δημιουργία ενός νέου έργου ή την επιλογή για άνοιγμα ενός έργου που υπάρχει αποθηκευμένο (.tpf). Σε αυτό το χώρο, που είναι εντός του βασικού παραθύρου εργασίας του Simulation Studio, ο χρήστης δημιουργεί και τροποποιεί τη σύνθεση έργου με τα συστατικά στοιχεία που επιλέγει από μια μεγάλη βάση δεδομένων και προχωράει σε ενεργοποίηση της (τρέξιμο κωδίκων) για την παραγωγή των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης. Αυτή η βάση δεδομένων είναι άμεσα προσβάσιμη και βρίσκεται στην δεξιά πλευρά του Simulation Studio σε μορφή δένδρου για την εύκολη χρήση του κάθε είδους συστατικού το οποίο μπορεί να προστεθεί στον χώρο σύνθεσης απλά παρασέρνοντάς το με το βέλος που κατευθύνεται από το ποντίκι του υπολογιστή.

4.3 Συστατικά Στοιχεία

Το κάθε εικονίδιο στο δένδρο συστατικών που βρίσκεται στο Simulation Studio αποτελεί μια συντόμευση που οδηγεί στα συστατικά στοιχεία που είναι αποθηκευμένα στον υπολογιστή, στο πλαίσιο της εγκατάστασης του TRNSYS. Κάθε συστατικό είναι δομημένο σε μία μορφοποίηση που ονομάζεται Proforma και πρόκειται για αρχεία της μορφής .tmf (Transys Model File). Τα αρχεία tmf είναι αναγνωρίσιμα από το Simulation Studio και προβάλλονται γραφικά σε μορφή φακέλου με τέσσερις καρτέλες στις οποίες περιλαμβάνονται όλες οι απαραίτητες πληροφορίες που σχετίζονται με το μοντέλο του συστατικού. Η πρώτη καρτέλα περιλαμβάνει γενικές πληροφορίες που αφορούν την ιστορία και το είδος του μοντέλου του συστατικού. Η δεύτερη καρτέλα στην Proforma περιλαμβάνει μια σύντομη περιγραφή του συστατικού και μια διεύθυνση υποπρογράμματος για τις περιπτώσεις που η ενημέρωση της Proforma από το χρήστη γίνεται με ενεργοποίηση κάποιας

βοηθητικής εφαρμογής ενσωματωμένης ή όχι στο TRNSYS. Η τρίτη καρτέλα περιγράφει με λεπτομέρεια την κάθε μεταβλητή (παράμετρος, είσοδος, έξοδος και παράγωγα) που είναι απαραίτητη για τον καθορισμό του μοντέλου και τις συνδέσεις του με τα άλλα συστατικά στοιχεία. Η τέταρτη και τελευταία καρτέλα περιέχει συνδέσεις και εργαλεία για εργασία με αρχεία που σχετίζονται με το μοντέλο του συστατικού. Δηλαδή περιλαμβάνει την πρόσβαση στον πηγαίο κώδικα και σε άλλα περιγραφικά αρχεία (όπως έγγραφο MS Word) καθώς και δυνατότητα για συσχέτιση εξωτερικών αρχείων με το μοντέλο (όπως αρχεία δεδομένων και αρχεία εξόδου).



Εικόνα 4-5: Βασικές καρτέλες Proforma

Η Proforma αποτελεί αρχικό εργαλείο και για την δημιουργία ενός νέου συστατικού στοιχείου από το χρήστη. Συγκεκριμένα ο χρήστης αρχικά μπορεί να πραγματοποιήσει από το TRNSYS την ενημέρωση των καρτελών σε ένα καινούριο αρχείο Proforma (ιδιαίτερα την καρτέλα των μεταβλητών) και στην συνέχεια υπάρχει η δυνατότητα για αυτόματη παραγωγή του βασικού σκελετού του πηγαίου κώδικα για το μοντέλο που επιθυμεί να δημιουργήσει, σε μορφή αρχείου Fortran ή C++. Έτσι το μοντέλο μπορεί να ολοκληρωθεί στη συνέχεια προσθέτοντας μόνο τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά στον πηγαίο κώδικα.

Η εξέταση των χαρακτηριστικών και της δομής των Proforma δεν είναι στόχος της παρούσας εργασίας. Ο χρήστης στο επίπεδο της σύνθεσης ενός έργου με τα έτοιμα συστατικά στοιχεία έρχεται σε επαφή με τα αρχεία Proforma και τον πηγαίο κώδικα σε μια βασική, οικία και απλή μορφή που εξυπηρετεί τις ανάγκες χρήσης των συστατικών στοιχείων και όχι την τροποποίησή τους.

Το κρίσιμο βήμα λοιπόν για τη δημιουργία μιας σύνθεσης έργου στο Simulation Studio είναι ο καθορισμός των απαιτούμενων μεταβλητών σε κάθε μοντέλο συστατικού στοιχείου. Το σημαντικό αυτό παράθυρο για την πρόσβαση σε αυτές τις μεταβλητές (παράμετροι, εισόδοι, έξοδοι και παράγωγα) ενεργοποιείται με διπλό κλικ πάνω στο εικονίδιο του συστατικού που έχει εισαχθεί από το χρήστη στον χώρο σύνθεσης (Assembly Panel). Πρόκειται για ένα παράθυρο απλό στη χρήση, όπως έχει προαναφερθεί, το οποίο έχει την μορφή φακέλου και όλες οι μεταβλητές είναι κατανεμημένες σε καρτέλες παραμέτρων, εισόδων, παραγωγών και εξόδων. Ο χρήστης απαιτείται να καθορίσει όλες τις παραμέτρους, τις αρχικές τιμές για όλες τις μεταβλητές εισόδου και κάθε άλλο παράγωγο που μπορεί να υπάρχει στο μοντέλο. Η καρτέλα μεταβλητών εξόδου υπάρχει μόνο για πληροφόρηση. Σε περίπτωση αδυναμίας να καταχωρηθούν όλες αυτές οι πληροφορίες μεταβλητών το

αποτέλεσμα θα είναι η χρήση προκαθορισμένων τιμών από το μοντέλο του συστατικού στοιχείου.

Οι καρτέλες των μεταβλητών μοιάζουν πολύ μεταξύ τους και έχουν την μορφή που φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα. Δηλαδή περιλαμβάνουν κυρίως τον αύξοντα αριθμό, το όνομα της μεταβλητής, την σταθερή τιμή της ή την αρχική αν πρόκειται για δυναμικά μεταβαλλόμενο μέγεθος σε σύνδεση με άλλο συστατικό και τέλος τις μονάδες της μεταβλητής.

Καρτέλα Παραμέτρων

| Parameter | Input | Output | Derivative | Special Cards | External File | Comment |
|-----------|--------------------------|--------|---------------------|---------------|---------------|---------|
| 1 | Variable inlet positions | 2 | - | | | More... |
| 2 | Tank volume | 3.500 | m ³ | | | More... |
| 3 | Fluid specific heat | 4.186 | kJ/kg.K | | | More... |
| 4 | Fluid density | 1000.0 | kg/m ³ | | | More... |
| 5 | Tank loss coefficient | 0.5 | 1/h ² .K | | | More... |
| 6 | Height of node-1 | 0.5 | m | | | More... |
| 7 | Height of node-2 | 0.5 | m | | | More... |
| 8 | Height of node-3 | 0.5 | m | | | More... |
| 9 | Height of node-4 | 0.5 | m | | | More... |

Καρτέλα Εισόδων

| Parameter | Input | Output | Derivative | Special Cards | External File | Comment |
|-----------|------------------------------|--------|------------|---------------|---------------|---------|
| 1 | Hot side temperature | 40.0 | C | | | More... |
| 2 | Hot side flowrate | 0 | kg/h | | | More... |
| 3 | Cold side temperature | 15 | C | | | More... |
| 4 | Cold side flowrate | 0 | kg/h | | | More... |
| 5 | Environment temperature | 30 | C | | | More... |
| 6 | Control signal for element-1 | 1 | - | | | More... |
| 7 | Control signal for element-2 | 0.0 | - | | | More... |

Καρτέλα Εξόδων

| Parameter | Input | Output | Derivative | Special Cards | External File | Comment |
|-----------|----------------------------|--------|------------|---------------|---------------|---------|
| 1 | Temperature to heat source | 0 | | | | More... |
| 2 | Flowrate to heat source | kg/h | | | | More... |
| 3 | Temperature to load | C | | | | More... |
| 4 | Flowrate to load | kg/h | | | | More... |
| 5 | Thermal losses | kJ/h | | | | More... |
| 6 | Energy rate to load | kJ/h | | | | More... |
| 7 | Internal energy change | kJ | | | | More... |
| 8 | Auxiliary heating rate | kJ/h | | | | More... |
| 9 | Element 1 power | kJ/h | | | | More... |

Καρτέλα Παραγωγών

| Parameter | Input | Output | Derivative | Special Cards | External File | Comment |
|-----------|-------------------------------|--------|------------|---------------|---------------|---------|
| 1 | Initial temperature of node-1 | 60 | C | | | More... |
| 2 | Initial temperature of node-2 | 50 | C | | | More... |
| 3 | Initial temperature of node-3 | 40 | C | | | More... |
| 4 | Initial temperature of node-4 | 30 | C | | | More... |
| 5 | Initial temperature of node-5 | 20 | C | | | More... |

Εικόνα 4-6: Καρτέλες μεταβλητών (Παραμέτρων, Εισόδων, Εξόδων και Παραγωγών)

Συχνά σε κάποιες καρτέλες μεταβλητών στο τέλος υπάρχει μία ή περισσότερες ερωτήσεις που η αριθμητική απάντησή τους από το χρήστη καθορίζει το πλήθος των μεταβλητών που εμφανίζονται στην κάθε καρτέλα.

Στην ιδιαίτερη καρτέλα που ονομάζεται Special Cards ο χρήστης θα πρέπει να δώσει κάποιες πρόσθετες πληροφορίες που αφορούν το μοντέλο του στοιχείου. Ένα παράδειγμα θα μπορούσε να είναι το συστατικό στοιχείο Type 65d (Online Plotter) που αποτελεί το μοντέλο της άμεσης γραφικής παράστασης μεταβλητών στην οθόνη του H/Y. Σε αυτή την καρτέλα που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα απαιτούνται πληροφορίες από το χρήστη που αφορούν τον τίτλο του γραφήματος αλλά και των κατακόρυφων αξόνων του διαγράμματος.

| | | |
|---|--|-----------------------|
| 1 | Labels used by this online plotter (leave to 3) | 3 |
| 2 | Left axis title (enclose in double quotes) | "Temperatures" |
| 3 | Right axis title (enclose in quotes) | "Heat transfer rates" |
| 4 | Online plot title (this name if several plotters are used) | "Tank" |

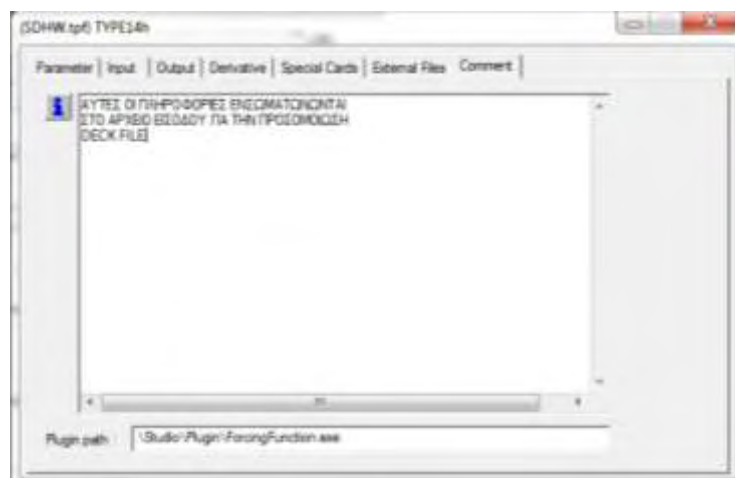
Εικόνα 4-7: Καρτέλα Special Cards

Στα περισσότερα συστατικά στοιχεία που έχουν στόχο την εξαγωγή αποτελεσμάτων από την προσομοίωση, στην καρτέλα Εξωτερικών Αρχείων (External Files) μπορούν να δοθούν από το χρήστη τα επιθυμητά ονόματα αρχείων ώστε να είναι πιο πρακτική η μετέπειτα διαχείρισή τους. Μια τέτοια καρτέλα φαίνεται παρακάτω από ένα εκτυπωτή αρχείου (Type 25c).



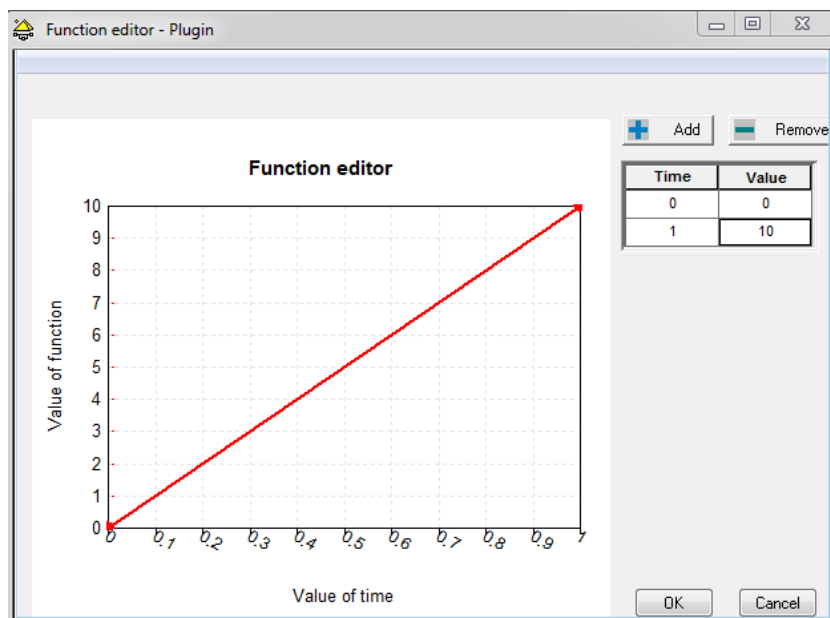
Εικόνα 4-8: Καρτέλα εξωτερικών αρχείων

Τέλος υπάρχει και η καρτέλα Σχολίων (Comment) όπου είναι δυνατή η καταγραφή ενός σύντομου κειμένου το οποίο ενσωματώνεται και στο αρχείο εισόδου (deck file) για την προσομοίωση. Στην παρακάτω εικόνα δίδεται μια τέτοια καρτέλα από ένα συστατικό στοιχείο που παράγει περιοδικές δυναμικές συναρτήσεις (Type14h). Σε κάποια συστατικά στοιχεία όπως το συγκεκριμένο, στο τέλος της καρτέλας είναι δυνατόν να μπορεί να γίνει εισαγωγή διεύθυνσης ενός εκτελέσιμου αρχείου από βοηθητική εφαρμογή που χρησιμοποιείται για την παραμετροποίηση του συστατικού στοιχείου.



Εικόνα 4-9: Καρτέλα σχολίων

Ένα τέτοιο βοηθητικό πρόγραμμα που είναι ενσωματωμένο στο TRNSYS είναι το Function Editor (ForcingFunction.exe) το οποίο βοηθάει στην εύκολη μορφοποίηση του προφίλ μιας δυναμικής συνάρτησης όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.

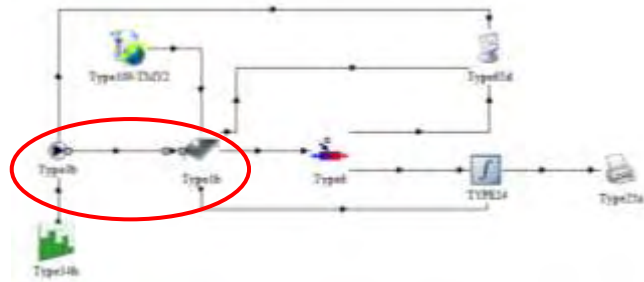


Εικόνα 4-10: Βοηθητική εφαρμογή δυναμικής συνάρτησης

Μετά τον καθορισμό των μεταβλητών στα μοντέλα των συστατικών στοιχείων ενός έργου πρέπει να εισαχθεί από το χρήστη ο τρόπος που θα γίνεται η ροή των πληροφοριών από το ένα συστατικό στοιχείο στο άλλο. Στο Simulation Studio αυτή η ροή πληροφορίας μπορεί να γίνει στον χώρο σύνθεσης (Assembly Panel) με την χρήση γραφικών συνδέσεων.

Κάθε σύνδεση στην επιφάνεια του χώρου σύνθεσης που πραγματοποιεί ο χρήστης φαίνεται σαν μια γραμμή που ενώνει δύο στοιχεία. Η επεξεργασία της κάθε σύνδεσης γίνεται μέσα από ένα παράθυρο τροποποίηση συνδέσεων. Δηλαδή στην αριστερή πλευρά υπάρχουν οι μεταβλητές εξόδου ενός συστατικού στοιχείου και στην δεξιά πλευρά υπάρχουν οι μεταβλητές εισόδου του άλλου στοιχείου της εξεταζόμενης σύνδεσης. Η σύνδεση των μεταβλητών μπορεί να γίνει είτε με γραφικό τρόπο είτε με μορφή πίνακα. (Σχήμα 4-11).

Σύνδεση στοιχείων στον χώρο σύνθεσης:



Μορφή Πίνακα:

| | Type1b | | Type1b |
|---|--------------------------|---|-------------------|
| 1 | Outlet fluid temperature | → | Inlet temperature |
| 2 | Outlet flow rate | → | Inlet flow rate |

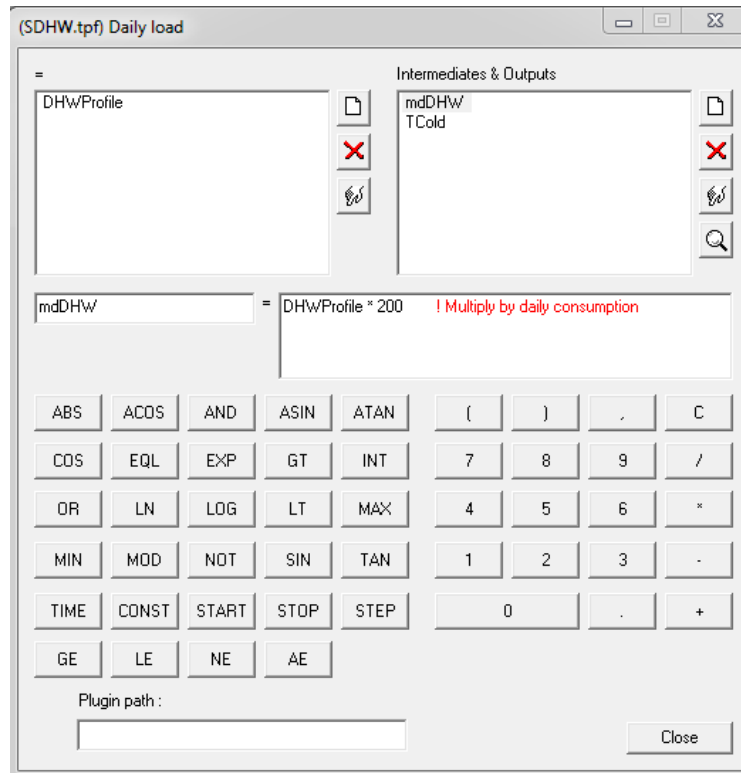
Μορφή Γραφική (Κλασική):

| Parameter | Value |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Outlet fluid temperature | Inlet temperature: 20.0 |
| Outlet flow rate | Inlet flow rate: 100.0 |
| Surface convection | Ambient temperature: 10.0 |
| | Incident radiation: 0.0 |
| | Total horizontal radiation: 0.0 |
| | Horizontal diffuse radiation: 0.0 |
| | Ground reflectance: 0.2 |
| | Inclination angle: 45.0 |
| | Collector slope: 0.0 |

Εικόνα 4-11: Σύνδεση παραμέτρων μεταξύ δυο συστατικών στοιχείων.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό στο Trnsys είναι η δυνατότητα να καθοριστούν συναρτήσεις στον χώρο σύνθεσης του έργου οι οποίες δεν είναι μέσα σε συστατικά στοιχεία (Types). Αυτές οι εξισώσεις μπορεί να είναι συναρτήσεις μεταβλητών εξόδου από άλλα στοιχεία, αριθμητικές τιμές ή και προηγούμενες καθορισμένες εξισώσεις. Αυτές οι (εξωτερικές συστατικών στοιχείων) εξισώσεις μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν ως μεταβλητές εισόδου σε άλλα στοιχεία, ή ως παράμετροι, αρχικές τιμές μεταβλητών εισόδου και παράγωγα αν οι εξισώσεις είναι χρονικά ανεξάρτητες. Η κατάστρωση αυτών των εξισώσεων συστήνεται για απλότητα να γίνεται με το ειδικό συστατικό στοιχείο εξισώσεων. Η κάθε εξίσωση που δημιουργείται μπορεί να τοποθετηθεί στο χώρο συνθέσεως όπως κάθε

άλλο συστατικό στοιχείο. Το παράθυρο για την κατάστρωση των εξωτερικών αυτών εξισώσεων φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 4-12: Παράθυρο δημιουργίας εξισώσεων

Στο παράθυρο αυτό περιέχονται:

- Καθοριζόμενοι από το TRNSYS ειδικοί μαθηματικοί τελεστές (τριγωνομετρικές συναρτήσεις, σχέσεις ανισοτήτων κ.α.)
- Καθοριζόμενη από το χρήστη λίστα μεταβλητών εισόδου.
- Καθοριζόμενη από το χρήστη λίστα μεταβλητών εξόδου αλλά και ενδιάμεσων μεταβλητών εξόδου. Δηλαδή έστω μεταβλητές εισόδου οι A και B. Και μεταβλητές εξόδου οι Γ και Δ. Όπου Γ μια ενδιάμεση μεταβλητή εξόδου ως συνάρτηση των A και B ενώ Δ η τελική μεταβλητή εξόδου για σύνδεση με συστατικό στοιχείο και ίση με συνάρτηση των A, B και Γ.

- Πλαίσια στο μέσο που παρουσιάζονται το όνομα και η εξίσωση τις κάθε επιλεγμένης μεταβλητής εξόδου.
- Κουμπιά που δίνουν χρονικές πληροφορίες για την προσομοίωση (έναρξη, τρέχουσα τιμή, τέλος, βήμα, κ.α.)

4.4 Στοιχείο Κτηρίου Πολλών Θερμικών Ζωνών και υποπρόγραμμα TRNBuild

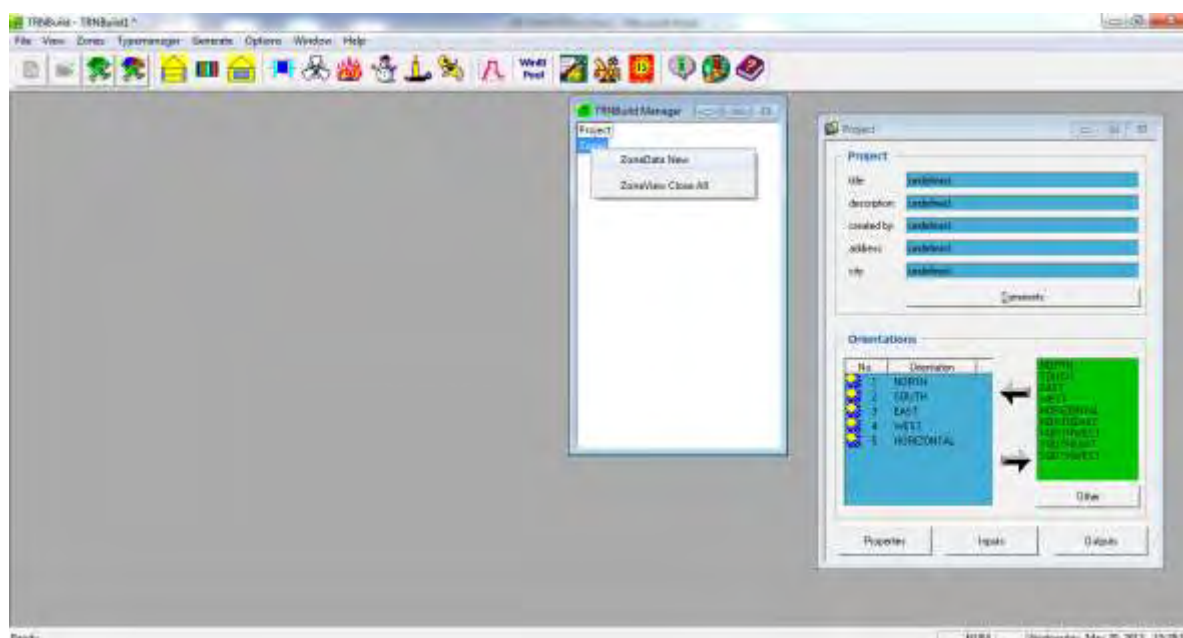
Το συστατικό στοιχείο Κτηρίου Πολλών Θερμικών Ζωνών (Type 56) μοντελοποιεί την θερμική συμπεριφορά κτηρίου που είναι διαιρεμένο σε θερμικές ζώνες. Για την χρήση αυτού του συστατικού στη σύνθεση ενός έργου είναι απαραίτητο να προηγηθεί η εκτέλεση μιας βοηθητικής εφαρμογής, ενσωματωμένης στο Trnsys, που ονομάζεται TRNBuild. Το πρόγραμμα TRNBuild διαβάζει και επεξεργάζεται ένα αρχείο που περιλαμβάνει την κτηριακή περιγραφή και παράγει όπως έχει αναφερθεί δύο αρχεία τα οποία χρησιμοποιούνται από το στοιχείο Type 56 κατά την διάρκεια την προσομοίωσης που εκτελεί το TRNSYS, δηλαδή το αρχείο γεωμετρικής περιγραφής του κτηρίου και το αρχείο εξισώσεων μεταφοράς. Το αρχείο που περιλαμβάνει την κτηριακή περιγραφή και το επεξεργάζεται το TRNBuild μπορεί να παραχθεί από το χρήστη με έναν απλό επεξεργαστή κειμένου ή με τη χρήση του ίδιου του προγράμματος TRNBuild μέσα από ένα γραφικό και κατανοητό περιβάλλον εργασίας. Για το συστατικό στοιχείο Type 56 απαιτούνται τρεις παράμετροι. Η πρώτη παράμετρος είναι η διεύθυνση του αποθηκευμένου αρχείου των κτηριακών δεδομένων (.bui). Εντός του αρχείου αυτού, από την έκδοση 16 και μετά, ενσωματώνονται όλα τα θερμικά και οπτικά δεδομένα παραθύρων που χρησιμοποιούνται στην εκάστοτε σύνθεση από το χρήστη. Αυτά τα δεδομένα λαμβάνονται από την βιβλιοθήκη παραθύρων του προγράμματος, από ένα αρχείο ACCII το

οποίο δίδεται από την εταιρία του λογισμικού TRNSYS μαζί με το στοιχείο Type 56. Αυτό το αρχείο μπορεί να επεκταθεί χρησιμοποιώντας το εμπορικό πρόγραμμα WINDOW 4.1 ή 5 που έχει αναπτυχθεί από το Lawrence Berkeley Laboratory στις ΗΠΑ. Η δεύτερη παράμετρος επιλέγεται να έχει την τιμή 1 εφόσον χρησιμοποιούνται συντελεστές συναγωγής για την θερμική μεταφορά χρονικά εξαρτώμενοι (για παράδειγμα σε συνδυασμό με συστήματα θέρμανσης δαπέδου). Η τρίτη παράμετρος δίνει τον συντελεστή βάρους μεταξύ της θερμοκρασίας του αέρα και της μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας των δομικών στοιχείων για τον υπολογισμό της ενεργής (λειτουργικής) θερμοκρασίας σε κάθε χώρο του κτηρίου. Οι μεταβλητές εισόδου και εξόδου στο Type 56 εξαρτώνται από την κτηριακή περιγραφή και τις ιδιότητες του κτηρίου που έχουν δοθεί με το πρόγραμμα TRNBuild. Συγκεκριμένα το TRNBuild παράγει ένα πληροφοριακό αρχείο που περιγράφει τις εξόδους και τις απαιτούμενες εισόδους στο Type 56.

Υπάρχουν δύο τρόποι για την μοντελοποίηση του εξοπλισμού θέρμανσης, ψύξης, ύγρανσης και αφύγρανσης. Η μέθοδος “ενεργειακής ροής” (“energy rate” method) και η μέθοδος “θερμοκρασιακού επιπέδου” (“temperature level” method). Με τη μέθοδο “ενεργειακής ροής” εφαρμόζεται ένα απλοποιημένο μοντέλο κλιματιστικού εξοπλισμού μέσα από το στοιχείο του Type 56 και με την βοήθεια του TRNBuild. Ο χρήστης σε αυτή την περίπτωση καθορίζει την επιθυμητή θερμοκρασία για θέρμανση και ψύξη, την επιθυμητή κατάσταση για τον έλεγχο της υγρασίας και την μέγιστη επιτρεπτή θερμική και ψυκτική ισχύ του εξοπλισμού. Αυτές οι βασικές περιγραφές εξοπλισμού είναι επιτρεπτό από το TRNBuild να διαφέρουν σε κάθε θερμική ζώνη του κτηρίου. Αν ο χρήστης επιλέξει την δημιουργία ενός λεπτομερέστερου μοντέλου για τον εξοπλισμό θέρμανσης και ψύξης απαιτείται η χρήση της μεθόδου “θερμοκρασιακού επιπέδου”. Σε αυτή την περίπτωση απαιτούνται ξεχωριστά συστατικά στοιχεία για το μοντέλο του εξοπλισμού θέρμανσης ή / και ψύξης. Οι έξοδοι από

την κάθε θερμική ζώνη του Type 56 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εισόδοι στο μοντέλο εξοπλισμού, δηλαδή στα συστατικά του στοιχεία, και ταυτόχρονα κατά την εξέλιξη της προσομοίωσης να εισάγεται η θέρμανση και η ψύξη στις θερμικές ζώνες του Type 56 μέσα από τις μεταβλητές εισόδου του. Οι μεταβλητές αυτές εισόδου μπορούν να συζευχτούν με τις θερμικές ζώνες ως εσωτερικά θερμικά κέρδη συναγωγής ή θερμικά κέρδη αερισμού μέσα από το TRNBuild.

Με την ενεργοποίηση του TRNBuild και την δημιουργία ενός καινούριου κτηριακού αρχείου (.bui) εμφανίζονται αυτόματα δύο παράθυρα.

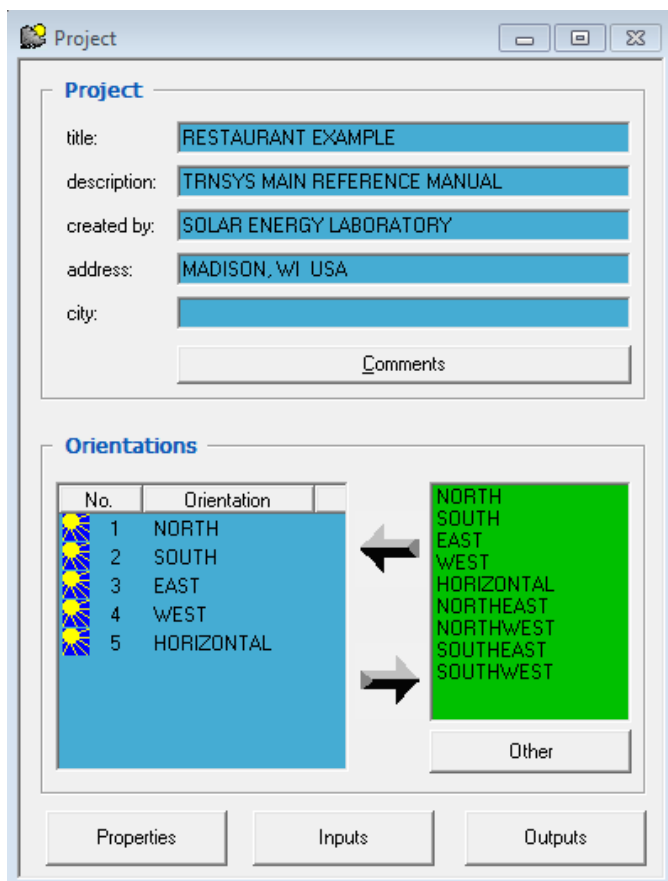


Εικόνα 4-13: Βασικό περιβάλλον TRNBuild με ενεργό κτηριακό αρχείο

Το πρώτο αφορά το παράθυρο διαχείρισης “TRNBuild Manager” στο οποίο οργανώνονται σε φακέλους οι γενικές πληροφορίες του σχεδιαζόμενου κτηρίου και οι θερμικές ζώνες. Το δεύτερο παράθυρο αφορά το αυτόματο άνοιγμα του φακέλου Project που φαίνεται στο παράθυρο διαχείρισης.

4.4.1 Παράθυρο αρχικών τιμών έργου

Από το παράθυρο Project εισάγονται οι γενικοί χαρακτηρισμοί του έργου, οι προσανατολισμοί που θα χρησιμοποιηθούν για την περιγραφή του κτηρίου, παράμετροι φυσικών ιδιοτήτων, οι αναγκαίες μεταβλητές εισόδου που θα πρέπει η εισαγωγή τους να απαιτηθεί στο στοιχείο Type 56 και τέλος οι μεταβλητές εξόδου που επιλέγει να εξάγει το στοιχείο Type 56. Αυτές οι μεταβλητές εξόδου μπορούν να επιλεγούν μέσα από μια μεγάλη λίστα παραμέτρων εξόδου που είναι δυνατόν να υπολογιστούν αυτόματα από το κτηριακό μοντέλο.



Εικόνα 4-14: Γενικά Χαρακτηριστικά κτηρίου

Αναλυτικότερα εισάγεται, ο τίτλος του κτηριακού έργου, μια σύντομη περιγραφή του, το όνομα του δημιουργού, η διεύθυνση, η πόλη και κάποια γενικότερα σχόλια.

Μετά ακολουθεί ο καθορισμός των προσανατολισμών. Όλοι οι πιθανοί προσανατολισμοί των εξωτερικών τοίχων του κτηρίου πρέπει να καθοριστούν σε αυτή τη θέση με μοναδικά ονόματα. Ο πίνακας στην αριστερή πλευρά περιέχει όλους τους προσανατολισμούς που καθορίζονται για αυτό το κτηριακό έργο. Αυτοί οι προσανατολισμοί είναι είτε οι βασικοί που λαμβάνονται από τη δεξιά λίστα προσανατολισμών είτε δημιουργούνται καινούριοι όταν απαιτείται η χρήση διαφορετικού προσανατολισμού. Για κάθε νέο προσανατολισμό που εισάγεται, προκύπτει και η απαίτηση μιας νέας μεταβλητής εισόδου άμεσης ακτινοβολίας στο συστατικό στοιχείο Type 56.

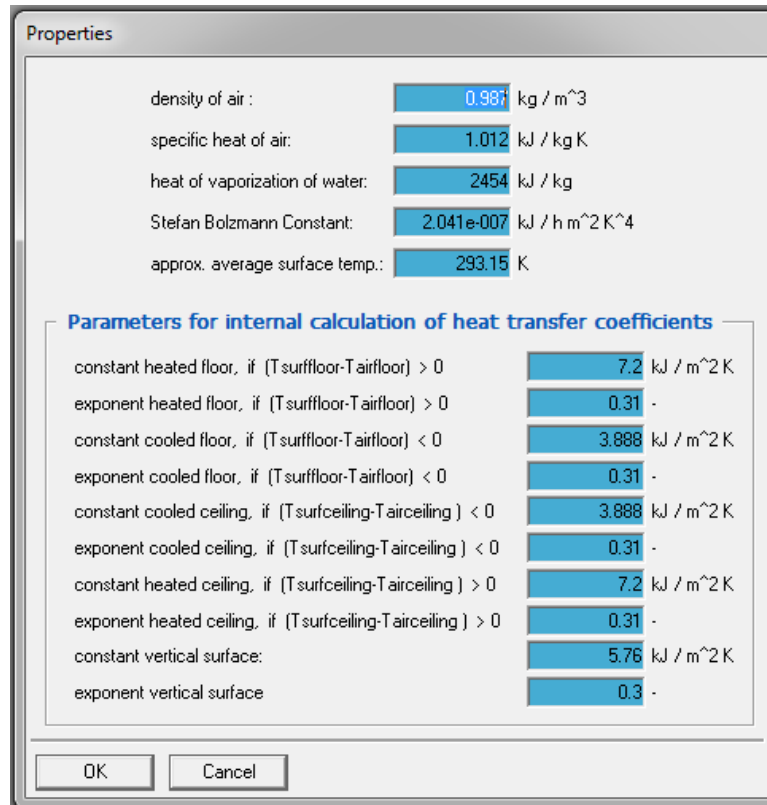
Με τα κουμπιά που υπάρχουν στο τέλος του παραθύρου εισάγονται:

1. Γενικές φυσικές ιδιότητες

Η πυκνότητα και η ειδική θερμοχωρητικότητα του αέρα, η ειδική θερμότητα εξάτμισης του νερού, η σταθερά ακτινοβολίας Stefan Boltzmann και η μέση προσεγγιστική επιφανειακή θερμοκρασία.

Επιπλέον εξαιτίας του ότι οι συντελεστές θερμικής συναγωγής είναι ισχυρά εξαρτώμενοι από τις θερμοκρασίες των επιφανειών, των ρευστών αλλά και από την φορά της θερμικής ροής χρησιμοποιείται μια σχέση για τον καθορισμό τους όταν επιλέγεται η αυτόματη επιλογή τους από το πρόγραμμα. Αυτή η σχέση είναι της μορφής $\alpha_{\text{conv}} = \text{const} (T_{\text{επιφάνειας}} - T_{\text{αέρα}})^{\text{exp}}$. Οι συντελεστές const και exp μπορούν να τροποποιηθούν σε αυτόν τον πίνακα ιδιοτήτων ώστε να προσεγγίζουν πιο αποτελεσματικά διαφορετικές ερευνητικές μεθόδους θερμικής μεταφοράς. Ο αυτόματος υπολογισμός του συντελεστή συναγωγής συστήνεται ανεπιφύλακτα σε ενεργά δομικά στοιχεία (για παράδειγμα θερμαινόμενες ή ψυχωμένες κτηριακές επιφάνειες), συχνά χρησιμοποιείται σε εσωτερικές επιφάνειες αλλά δεν προτείνεται για εξωτερικές όπου εκεί η ανεμοπίεση έχει πρωτεύοντα ρόλο. Πρέπει να σημειωθεί

ότι η πιθανή χρήση του αυτόματου υπολογισμού του συντελεστή συναγωγής επιλέγεται για κάθε επιφάνεια ξεχωριστά και η χρήση του αυξάνει τον υπολογιστικό χρόνο της προσομοίωσης.



Εικόνα 4-15: Γενικές φυσικές ιδιότητες

2. Μεταβλητές εισόδου

Δηλαδή δημιουργείται μια λίστα μεταβλητών εισόδου για το Type 56 που χρειάζονται για παράδειγμα για εισαγωγή θερμικών φορτίων στο κτήριο, ανάπτυξη στρατηγικών ενεργειακού ελέγχου κ.α.



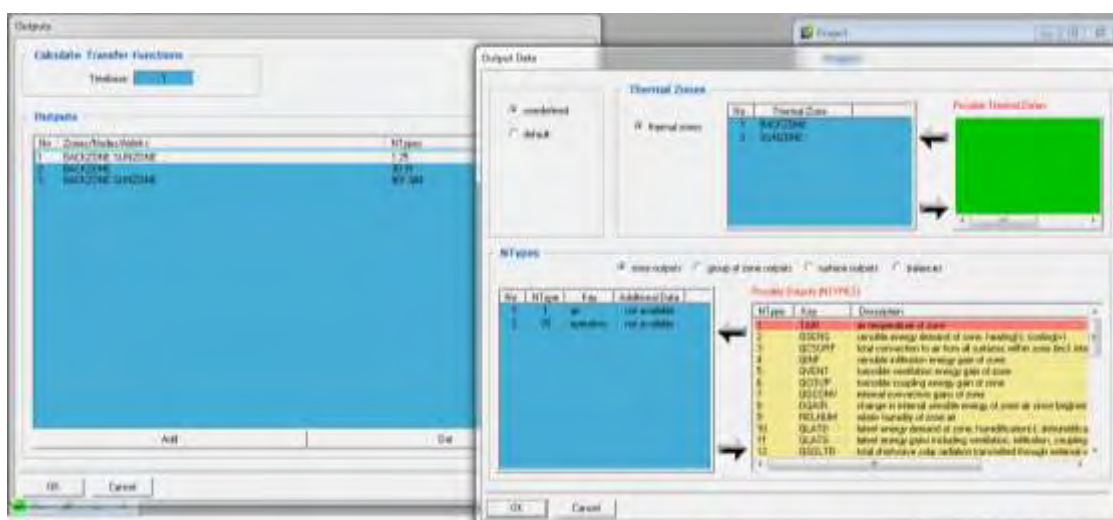
Εικόνα 4-16: Μεταβλητές εισόδου

3. Μεταβλητές εξόδου

Σε αυτή την περιοχή ορίζεται το χρονικό βήμα για τις εξισώσεις μεταφοράς. Αυτό πρέπει να ορίζεται με βάση το είδος του κτιρίου. Στις μέτριες κατασκευές ορίζεται ίσο με 1, στις βαριές κατασκευές ορίζεται ίσο με 2 έως 4 και στην περίπτωση με ελαφριούς τοίχους ορίζεται ίσος με 0.5. Είναι πολύ σημαντικό το χρονικό βήμα στις εξισώσεις μεταφοράς να ταιριάζει με το βασικό χρονικό βήμα του TRNSYS που ορίζεται στο TRNSYS\Properties και εισέρχεται στο αρχείο .dck

Στην περιοχή καθορισμού των μεταβλητών εξόδου ο χρήστης μπορεί να τροποποιήσει, προσθέσει ή διαγράψει εξόδους από το συστατικό στοιχείο Type 56. Αυτές οι μεταβλητές ονομάζονται NTYPEs και είναι αριθμημένες. Οι

προκαθορισμένες μεταβλητές εξόδου είναι η θερμοκρασία του αέρα ανά θερμική ζώνη (NTYPE 1) και η αισθητή ενεργειακή απαίτηση ανά θερμική ζώνη επίσης (NTYPE 2). Ο χρήστης μπορεί ακυρώσει τις επιλεγμένες προκαθορισμένες μεταβλητές ή / και να εισάγει άλλες μεταβλητές εξόδου έχοντας επιλογές μεταξύ γενικών ομάδων που αφορούν μεταβλητές εξόδου ανά ζώνη, ανά ομάδα ζωνών, ανά επιφάνεια και ανά ισοζύγιο.



Εικόνα 4-17: Μεταβλητές εξόδου

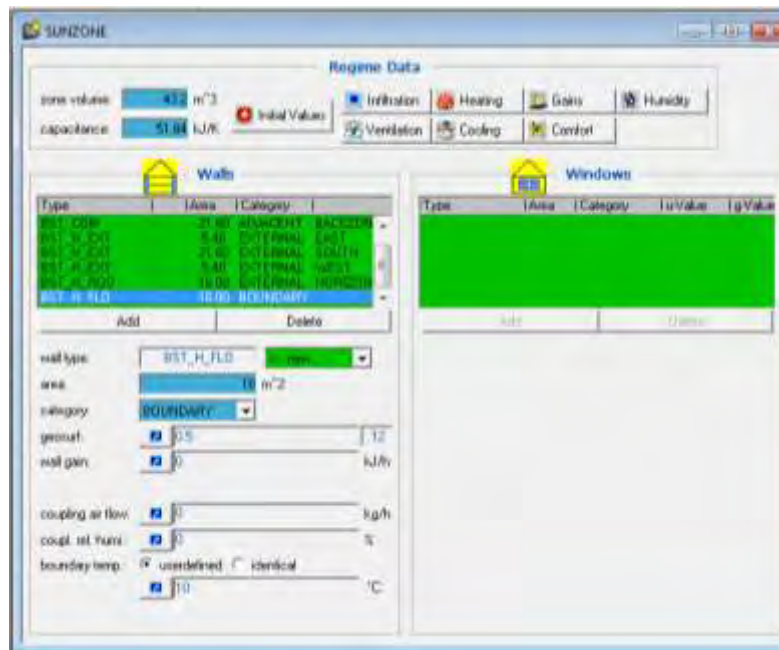
4.4.2 Παράθυρο θερμικής ζώνης

Από το παράθυρο διαχείρισης είναι δυνατή η πρόσθεση νέας θερμικής ζώνης ή η πρόσβαση σε μια υπάρχουσα. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται το παράθυρο διαμόρφωσης μιας θερμικής ζώνης.

Τα δεδομένα που περιγράφουν μια ζώνη διαιρούνται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες:

1. Τα βασικά δεδομένα.
2. Τους τοίχους της ζώνης

3. Τα παράθυρα της ζώνης
4. Τα προαιρετικά δεδομένα εξοπλισμού και χαρακτηριστικών λειτουργίας συμπεριλαμβάνοντας διείσδυση αέρα, αερισμό, ψύξη, θέρμανση, κέρδη και άνεση.



Εικόνα 4-18: Παράθυρο ζώνης

Στις επόμενες παραγράφους περιγράφεται αναλυτικά η κάθε βασική κατηγορία.

4.4.2.1 Εισαγωγή βασικών δεδομένων ζώνης

Τα απαιτούμενα για τη ζώνη δεδομένα είναι τα ακόλουθα:

- Όγκος ζώνης

Αφορά τον όγκο του αέρα εντός της ζώνης

- Θερμοχωρητικότητα

Αφορά την συνολική θερμοχωρητικότητα του αέρα της ζώνης προσαυξημένη με την θερμοχωρητικότητα κάθε άλλης μάζας που δεν ανήκει σε κατηγορία όπως οι

τοίχοι (δηλαδή αφορά θερμοχωρητικότητα που συμπεριλαμβάνει έπιπλα κ.α.). Ένας πρακτικός, γενικής προσέγγισης, κανόνας είναι ότι η θερμοχωρητικότητα του εσωτερικού της ζώνης [kJ/K] είναι $1.2 \times \text{Όγκο εσωτερικού της ζώνης [m}^3\text{]}$.

- Αρχική θερμοκρασία

Αφορά την αρχική θερμοκρασία του αέρα στη ζώνη

- Αρχική σχετική υγρασία

Αφορά την αρχική σχετική υγρασία του αέρα στην ζώνη

- Μοντέλο υγρασίας

Αφορά την επιλογή χρήσης μεταξύ δύο μοντέλων για την διαχείριση της υγρασίας. Το πρώτο είναι ένα απλό μοντέλο που λαμβάνει υπόψη το περιεχόμενο υγρασίας του αέρα και των άλλων μαζών της ζώνης. Το δεύτερο, είναι ένα λεπτομερέστερο μοντέλο που εξετάζει ξεχωριστά και διαχωρίζει στους υπολογισμούς την προσωρινή αποθήκευση των επιφανειών των μαζών από την σε βάθος προσωρινή αποθήκευση των μαζών.

4.4.2.2 Εισαγωγή δεδομένων τοίχων

Η εισαγωγή δεδομένων για τους τοίχους της ζώνης γίνεται στο κάτω αριστερό τμήμα του παραθύρου ζώνης.

Συγκεκριμένα καθορίζονται οι διαστάσεις, η κατηγορία (παρακείμενος σε άλλη ζώνη, εξωτερικός ή με οριακές συνθήκες), ο προσανατολισμός των τοίχων και το είδος (υλικά) του τοίχου. Εκτός από τα παραπάνω πρέπει να οριστούν ο συντελεστής θέασης του τοίχου από τον ουρανό, ο συντελεστής κατανομής της εισερχόμενης ακτινοβολίας (geosurf) και τυχόν επιπρόσθετα φορτία του τοίχου. Το είδος του τοίχου μπορεί να επιλεγθεί από τις παρεχόμενες

βιβλιοθήκες του TRNSYS ή να περιγραφεί από τον χρήστη μέσω των διαχειριστών τοίχων και των στρώσεων δομικών υλικών που τους αποτελούν. Οι βιβλιοθήκες που παρέχει το TRNSYS περιλαμβάνουν: α) την βασική Αμερικανική βιβλιοθήκη, η οποία περιλαμβάνει συνηθισμένους τοίχους και οροφές, β) την γερμανική βιβλιοθήκη με τοίχους κατασκευασμένους σύμφωνα με το γερμανικό VDI 2078, γ) την αμερικανική βιβλιοθήκη η οποία περιλαμβάνει 144 τοίχους κατασκευασμένους στα πρότυπα της ASHRAE.



Εικόνα 4-19: Παράθυρο ζώνης με στοιχεία εξωτερικού τοίχου και ανοίγματος

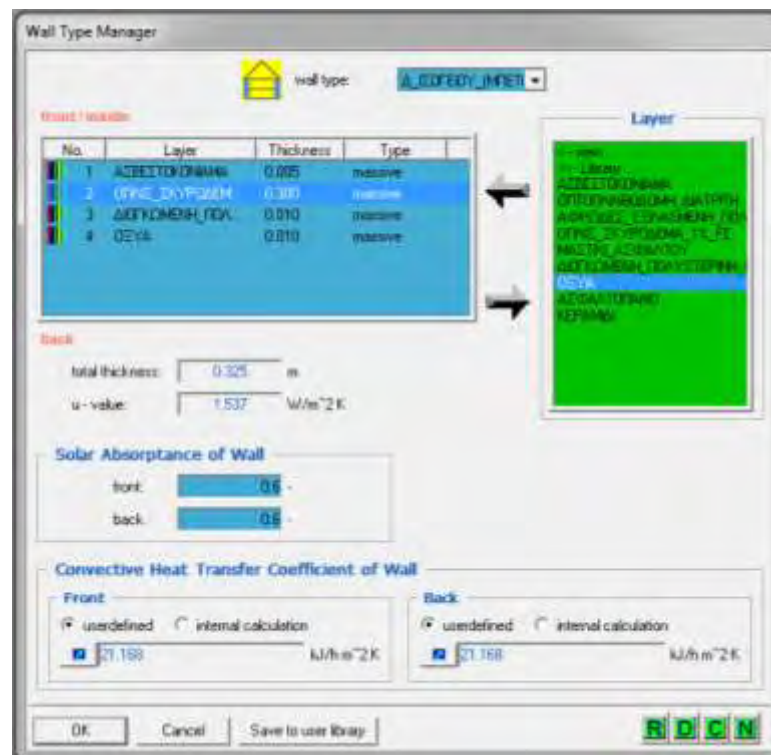
Σχετικά με την εισαγωγή δεδομένων σημειώνονται επίσης οι ακόλουθες τεχνικές λεπτομέρειες και ορισμοί παραμέτρων:

- Όταν ορίζεται ένας εσωτερικός τοίχος πρέπει η επιφάνεια που δίδεται να είναι διπλάσια γιατί εκτίθεται διπλά εντός της θερμικής ζώνης
- Όταν ορίζεται μια επιφάνεια τοίχου σε αυτή πρέπει να περιλαμβάνονται και τα ανοίγματα. Στην συνέχεια στους υπολογισμούς αφαιρείτε αυτόματα η επιφάνεια των ανοιγμάτων από τους τοίχους.

- GEOSURF: Είναι ο λόγος της συνολικής άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια επιφάνεια θερμικής ζώνης προς το σύνολο της ηλιακής ακτινοβολίας που εισέρχεται σε μια θερμική ζώνη. Το άθροισμα των συντελεστών GEOSURF εντός μιας θερμικής ζώνης είναι μικρότερο ή ίσο της μονάδας. Αν σε μια θερμική ζώνη το άθροισμα των συντελεστών GEOSURF είναι μηδέν τότε το πρόγραμμα αντιμετωπίζει την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία ως διάχυτη και την κατανέμει στις επιφάνειες.
- WALL GAIN: Είναι προκαθορισμένη θερμική ροή στην εσωτερική επιφάνεια ενός τοίχου
- VIEW FACTOR TO THE SKY: Είναι συντελεστής έκθεσης μιας οποιασδήποτε επιφάνειας στον ουράνιο θόλο. Δηλαδή σε ένα εξωτερικό κατακόρυφο τοίχο έχουμε έκθεση 0.5 ενώ σε έναν οριζόντιο η έκθεση είναι 1.0. $FSKY = (1+\cos\beta)/2$. Για κάθετο επίπεδο $\beta=90$, άρα $FSKY=0.5$ και για οριζόντια επιφάνεια $\beta=0$, άρα $FSKY=1$
- Όταν δίνουμε πληροφορίες για τοίχο που χωρίζει δύο ζώνες (ADJACENT) ενημερώνουμε με ποιο χώρο επικοινωνεί ο τοίχος και με ποια πλευρά του. Από την κατασκευή του τοίχου έχει οριστεί το πρώτο στρώμα στην πλευρά front (inside). Άρα επιλέγω front ή back αν ακουμπάει η front ή η back πλευρά στον γειτονικό χώρο.

Ο ορισμός νέων τοίχων από το χρήστη μπορεί να γίνει από τον διαχειριστή τοίχων. Συγκεκριμένα αυτό γίνεται επιλέγοντας την σύνθεση του νέου τοίχου από λίστα υλικών (υλικών στρώσεων) από βιβλιοθήκη ή καθορίζοντας νέα υλικά (υλικών στρώσεων) και ορίζοντας το πάχος κάθε στρώσης, τους συντελεστές απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας για τις δύο επιφάνειες του τοίχου και τέλος τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας για τις δύο επιφάνειες του τοίχου. Οι συντελεστές θερμικής συναγωγής στις επιφάνειες των τοίχων

μπορεί να είναι είτε προκαθορισμένες τιμές προγράμματος (πχ 11 kJ/h.m2.K εσωτερικά και 64 kJ/h.m2.K εξωτερικά), είτε τιμές του χρήστη, είτε μπορούν να υπολογιστούν αυτόματα από το πρόγραμμα. Η τελευταία περίπτωση όμως, όπως έχει σημειωθεί, δεν προτείνεται για εξωτερικές επιφάνειες. Στο σχετικό παράθυρο φαίνεται το συνολικό πάχος του τοίχου και ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας που προκύπτει από αγωγή, δηλαδή μόνο από την επιλογή των στρώσεων των υλικών και τα πάχη τους.



Εικόνα 4-20: Διαχειριστής τοίχων (δομικών στοιχείων) ζώνης

Ο καθορισμός νέων υλικών γίνεται με τον αντίστοιχο διαχειριστή που εξυπηρετεί αυτή την καταγραφή υλικών για χρήση τους σε στρώσεις στα δομικά στοιχεία τοίχων, δαπέδων κλπ. Στο παράθυρο αυτού του διαχειριστή επιλέγεται το όνομα ενός νέου υλικού και καθορίζεται η αγωγιμότητα ($\text{kJ} / \text{h} \cdot \text{m} \cdot \text{K}$), η θερμοχωρητικότητα ($\text{kJ} / \text{kg} \cdot \text{K}$) και η πυκνότητα του (kg/m^3).



Εικόνα 4-21: Διαχειριστής υλικών στρώσεων δομικών στοιχείων

4.4.2.3 Εισαγωγή δεδομένων παραθύρων ζώνης

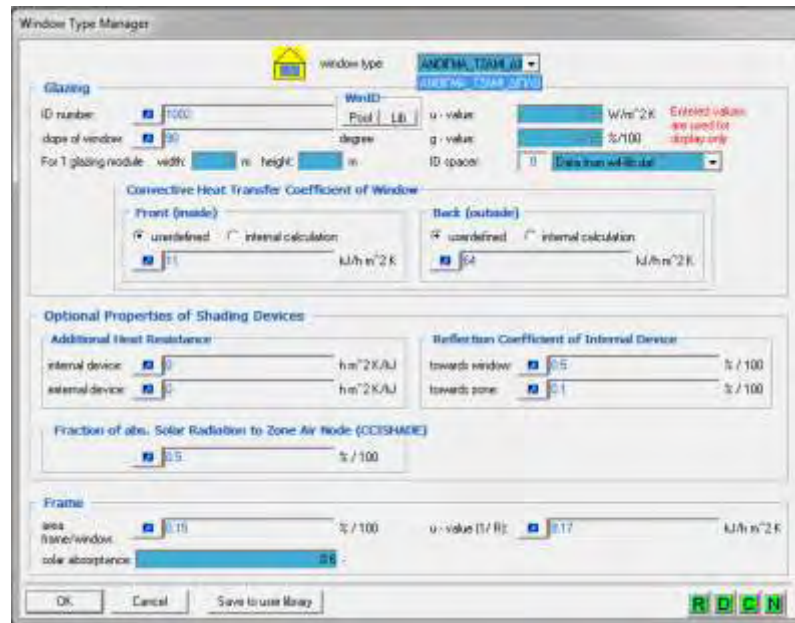
Τα παράθυρα μπορούν να τοποθετηθούν σε εξωτερικούς τοίχους και σε τοίχους παρακείμενους σε άλλες ζώνες. Τα δεδομένα εισάγονται στο δεξιό μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης, απ' όπου καθορίζονται η θέση, οι διαστάσεις, το είδος των παραθύρων και ο μηχανισμός σκίασης. Επίσης καθορίζεται ο συντελεστής θέασης του παραθύρου από τον ουρανό, τυχόν επιπρόσθετα φορτία και τέλος ο προσανατολισμός στην περίπτωση παρακείμενων σε άλλη ζώνη τοίχων ο οποίος μπορεί να είναι ο προσανατολισμός της πρόσθιας ή της οπίσθιας επιφάνειας του τοίχου. Το είδος του παραθύρου επιλέγεται από τις παρεχόμενες βιβλιοθήκες του TRNSYS ή καθορίζεται εκ νέου από τον χρήστη μέσω του διαχειριστή παραθύρων. Οι παρεχόμενες βιβλιοθήκες είναι: α) η γερμανική, η οποία

περιλαμβάνει 14 συνηθισμένα παράθυρα κατασκευασμένα με τις Γερμανικές προδιαγραφές, καθώς και παράθυρα με χαρακτηριστικά που λήφθηκαν από τις εταιρίες Pilkington, Saint Gobain, Interpane, και Luxguard β) η Αμερικάνική, η οποία περιλαμβάνει παράθυρα με προδιαγραφές της ASHRAE. Και οι δύο βιβλιοθήκες έχουν δημιουργηθεί με χρήση του προγράμματος WINDOWS 4.1 που αναπτύχθηκε από το Lawrence Berkeley Laboratory.

Μέσω του διαχειριστή παραθύρων δίνεται επιλογή του συνδυασμού ήδη υπαρχόντων υαλοπινάκων με ήδη υπάρχοντα πλαίσια, καθώς επίσης και ορισμός επιπλέον θερμικής αντίστασης από εσωτερικά ή εξωτερικά σκίαστρα. Οι υαλοπίνακες ορίζονται με την αρίθμηση που έχουν λάβει από την βιβλιοθήκη του “windows4.1” και συνεπώς το όνομα (ID number) του υαλοπίνακα που επιθυμούμε να εισάγουμε πρέπει να υπάρχει στη βιβλιοθήκη. Επιπλέον, πρέπει να οριστεί για τον υαλοπίνακα ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής και για τις δύο επιφάνειες του υαλοπίνακα ενώ η τιμή των συντελεστών u (συντελεστής θερμικών απωλειών παραθύρου) και g (συντελεστής ηλιακού θερμικού κέρδους) διαβάζονται από την βιβλιοθήκη. Επίσης από το παράθυρο ορίζεται το πλαίσιο του υαλοπίνακα από την παρεχόμενη λίστα καθώς και το ποσοστό της επιφάνειας του παραθύρου που καταλαμβάνει, ο συντελεστής ανάκλασης του και ο ολικός συντελεστής θερμοπερατότητας του u . Επισημαίνεται ότι η τιμή του συντελεστή u του πλαισίου πρέπει να εισαχθεί χωρίς να συνυπολογίζονται οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής της εξωτερικής και της εσωτερικής επιφάνειας του.

Η βασική περιγραφή των παραθύρων περιέχεται στο αρχείο W4-LIB.DAT που είναι ένα αρχείο ASCII. Επειδή η βάση δεδομένων W4-LIB.DAT μπορεί να διαφέρει από υπολογιστή/χρήστη σε άλλο υπολογιστή/χρήστη είναι δυνατόν πληροφορίες του αρχείου W4-LIB.DAT να ενσωματωθούν στο αρχείο *.bui και αυτό μπορεί να γίνει μέσω της

χαρακτηριστικής δεξαμενής πληροφοριών (POOL). Στον χώρο των βιβλιοθηκών το μόνο αρχείο .DAT είναι το W4-LIB.DAT ενώ όλα τα άλλα είναι τύπου *.LIB.



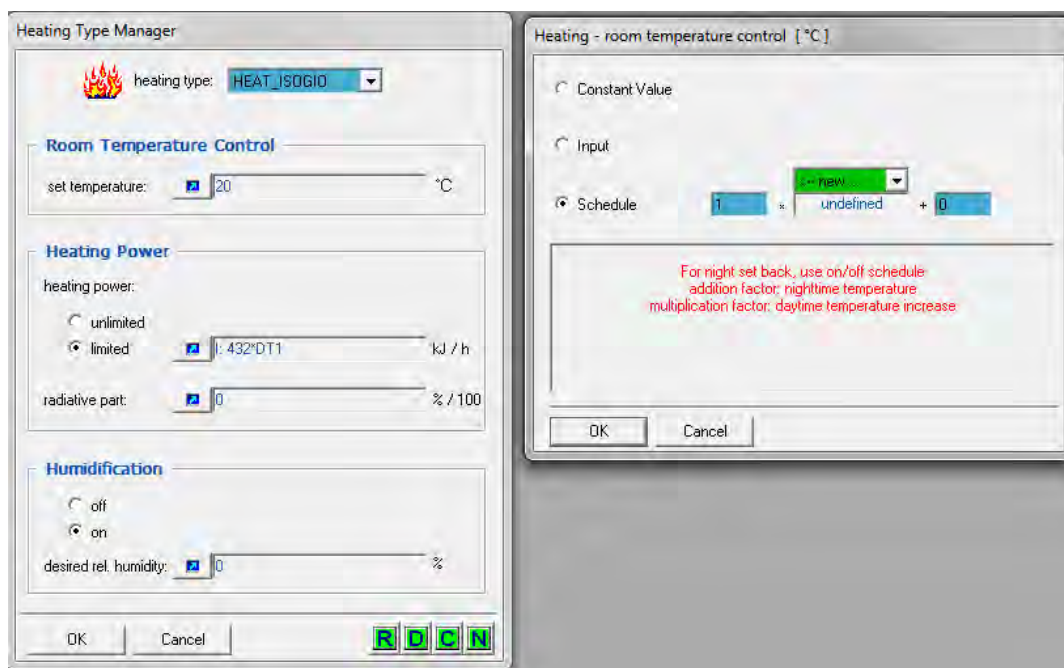
Εικόνα 4-22: Διαχειριστής παραθύρων ζώνης

4.4.2.4 Εισαγωγή δεδομένων εξοπλισμού και χαρακτηριστικών λειτουργίας

- Θέρμανση ζώνης

Η ενεργειακή απαίτηση μιας ζώνης σε θέρμανση εξαρτάται από την στρατηγική που θα επιλεγεί για τη θέρμανση της ζώνης η οποία και καθορίζεται από το χρήστη. Αν ο εξοπλισμός θέρμανσης μοντελοποιείται εξωτερικά του μοντέλου 56 τότε δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί η λειτουργία αυτή, αλλά να ορισθούν ως εισοδοί στο μοντέλο 56 η θερμοκρασία, η υγρασία και οι εναλλαγές του αέρα που υπολογίζονται από το μοντέλο του εξοπλισμού ή εναλλακτικά να ορισθούν ως κέρδη της ζώνης η θερμότητα δια συναγωγής και ακτινοβολίας που παρέχεται από τον εξοπλισμό. Αν όμως η μοντελοποίηση επιλέγεται να γίνει εσωτερικά από το

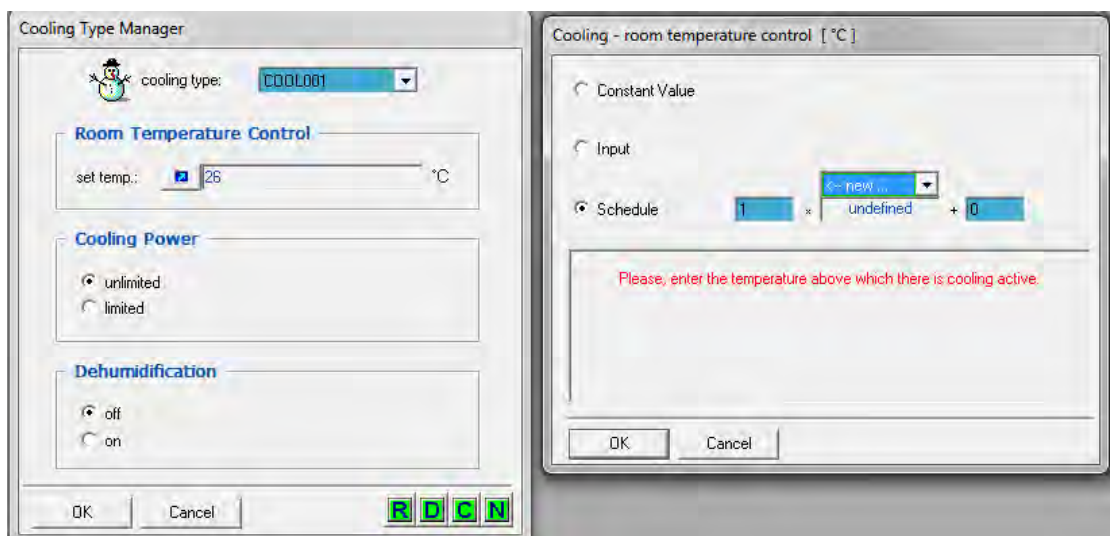
στοιχείο Type 56 τότε η ενσωματωμένη λειτουργία θέρμανσης υπολογίζει την απαιτούμενη ενέργεια στην περίπτωση ιδανικής λειτουργίας εξοπλισμού. Η διαχείριση αυτής της μεθόδου γίνεται με επιλογή του εικονιδίου “Heating” στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης. Στο παράθυρο που εμφανίζεται είτε επιλέγεται μια ήδη υπάρχουσα μέθοδος είτε δημιουργείται νέα επιλέγοντας “New”. Στην δεύτερη περίπτωση ο χρήστης εισάγει την επιθυμητή θερμοκρασία του δωματίου κάτω από την οποία λειτουργεί η θέρμανση στη ζώνη, την μέγιστη ισχύ που μπορεί να παραχθεί για θέρμανση μαζί με το ποσοστό αυτής που δίδεται με ακτινοβολία και τέλος προαιρετικά δίδεται και η επιθυμητή σχετική υγρασία εφόσον είναι επιθυμητή η διαχείρισή της. Συνήθως στην πραγματικότητα η θέρμανση δεν λειτουργεί ασταμάτητα. Για να είναι η προσομοίωση πιο κοντά στην πραγματικότητα πρέπει να ορισθεί ένα πρόγραμμα λειτουργίας. Αυτό ορίζεται έμμεσα θέτοντας χρονοδιάγραμμα της επιθυμητής θερμοκρασίας της ζώνης σε κάθε χρονική στιγμή.



Εικόνα 4-23: Καθορισμός νέας μεθόδου θέρμανσης ζώνης

- Ψύξη ζώνης

Αντίστοιχα με την μέθοδο θέρμανσης δίνεται η επιλογή εισαγωγής μεθόδου ψύξης της ζώνης. Η εισαγωγή γίνεται με το εικονίδιο “Cooling” στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης και αφορά την ιδανική λειτουργία του εξοπλισμού. Στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγεται μία προϋπάρχουσα μέθοδος ψύξης ή καθορίζεται νέα. Σε κάθε μέθοδο καθορίζεται η θερμοκρασία της ζώνης πάνω από την οποία λειτουργεί ο εξοπλισμός για την ψύξη του χώρου, η μέγιστη παρεχόμενη ισχύς για ψύξη, η ύπαρξη αφύγρανσης και η επιθυμητή σχετική υγρασία του χώρου στην περίπτωση που έχουμε αφύγρανση. Ο ορισμός χρονοδιαγράμματος λειτουργίας της συσκευής ψύξης καθορίζεται και πάλι έμμεσα μέσω χρονοδιαγράμματος για την επιθυμητή θερμοκρασία στη ζώνη.

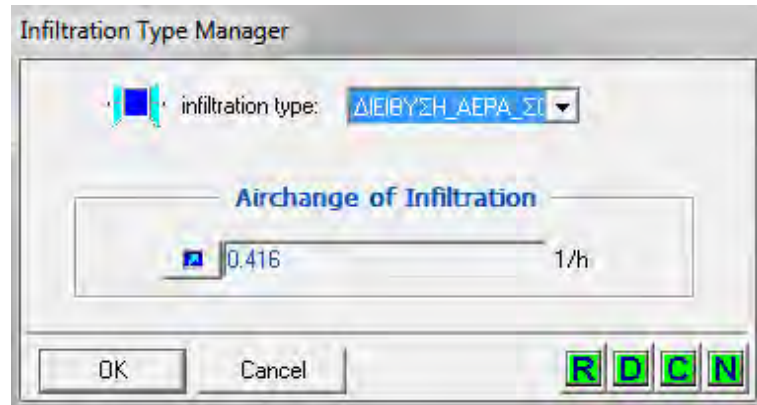


Εικόνα 4-24: Καθορισμός νέας μεθόδου ψύξης ζώνης

- Διείσδυση αέρα

Καθορίζεται το αν θα συνυπολογιστεί για τη συγκεκριμένη ζώνη το φορτίο από τη διείσδυση του αέρα. Η ενεργοποίηση γίνεται με το εικονίδιο “Infiltration”

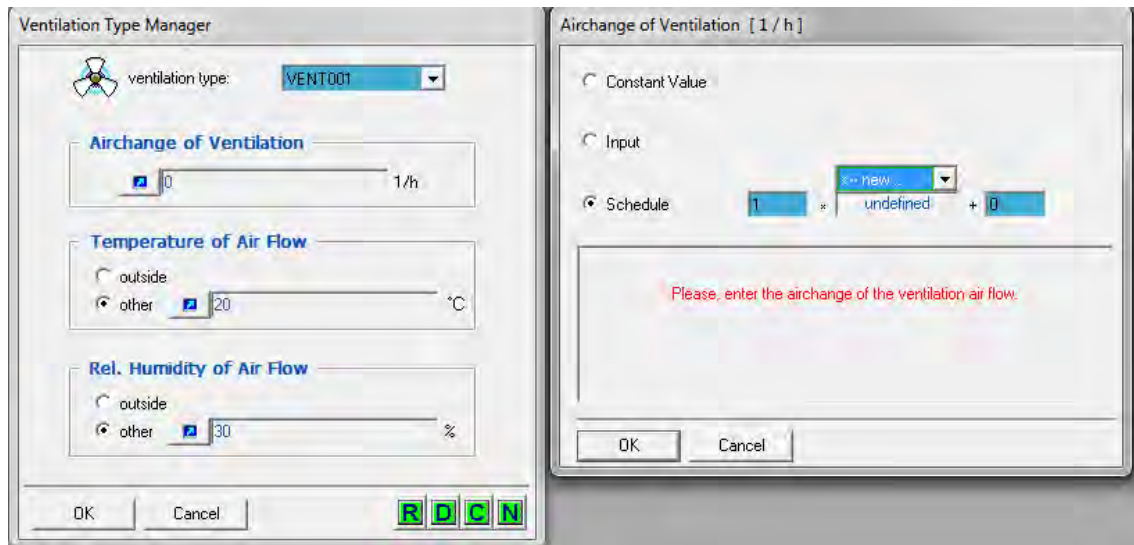
στο άνω μέρος του παραθύρου επεξεργασίας της ζώνης. Στο παράθυρο που ανοίγει επιλέγεται μια προϋπάρχουσα μέθοδος ή δημιουργείται νέα. Για τον καθορισμό της μεθόδου απαιτείται ο ρυθμός εναλλαγών αέρα. Ο αέρας εισέρχεται με την θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος.



Εικόνα 4-25: Καθορισμός διείσδυσης αέρα

- **Αερισμός**

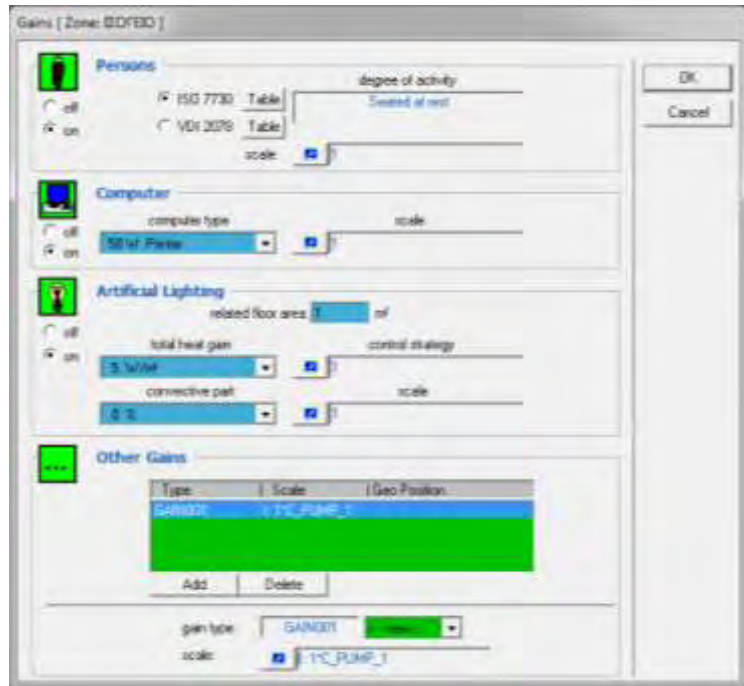
Με τη μέθοδο αυτή μπορεί να καθορισθεί η εισροή αέρα από οποιαδήποτε πηγή (π.χ. από ένα κλιματιστικό). Ο ορισμός μεθόδου αερισμού είναι προαιρετικός και πραγματοποιείται με το εικονίδιο “Ventilation” στο άνω μέρος του παραθύρου. Μπορεί να επιλεγεί μια προϋπάρχουσα μέθοδος ή να οριστεί μία καινούρια. Για τον ορισμό μιας μεθόδου αερισμού εισάγεται ο ρυθμός εναλλαγής αέρα, καθώς και η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του εισερχόμενου αέρα. Μπορεί αντί της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας να οριστεί ότι ο αέρας εισέρχεται με τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος.



Εικόνα 4-26: Καθορισμός νέας μεθόδου αερισμού

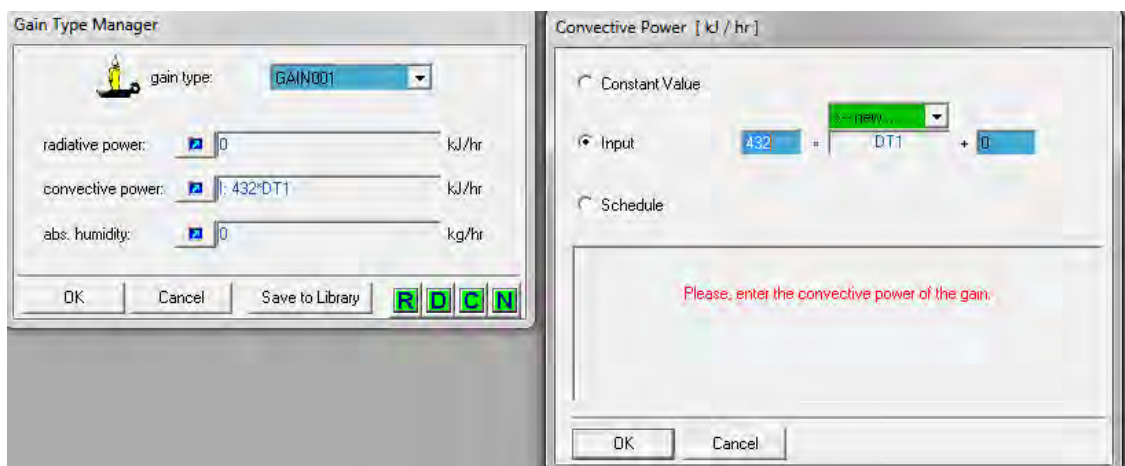
- Εσωτερικά θερμικά κέρδη

Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται τα φορτία ανθρώπων, υπολογιστών, φωτισμού καθώς και κάθε άλλο φορτίο που ορίζεται από το χρήστη. Ο ορισμός των φορτίων γίνεται με το εικονίδιο “Gains” στο άνω μέρος του παραθύρου. Το παράθυρο που εμφανίζεται είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να διευκολύνεται η εισαγωγή των φορτίων ανθρώπων υπολογιστών και φωτισμού. Για το φορτίο των ανθρώπων δίνεται πίνακας σε εξάρτηση με την εργασία που εκτελούν τα άτομα στο χώρο με βάση τις προδιαγραφές ISO 7730 ή VDI 2078. Για τους υπολογιστές καθορίζεται από λίστα η ισχύς τους. Τέλος για τον τεχνητό φωτισμό επιλέγεται από λίστα η εγκατεστημένη ισχύς σε watt/m² και το είδος του λαμπτήρα μαζί με το μέρος της ισχύς που μεταδίδεται στον αέρα μέσω συναγωγής. Το πεδίο “scale” αναφέρεται στον αριθμό ατόμων ή υπολογιστών ενώ στην περίπτωση του φωτισμού λαμβάνει συχνά τιμές 0 ή 1 ορίζοντας έτσι το πότε ανάβει και σβήνει ο φωτισμός. Εναλλακτικά για τον φωτισμό μπορεί να οριστεί στρατηγική έλεγχου από το αντίστοιχο πεδίο “control strategy”.



Εικόνα 4-27: Καθορισμός εσωτερικών κερδών

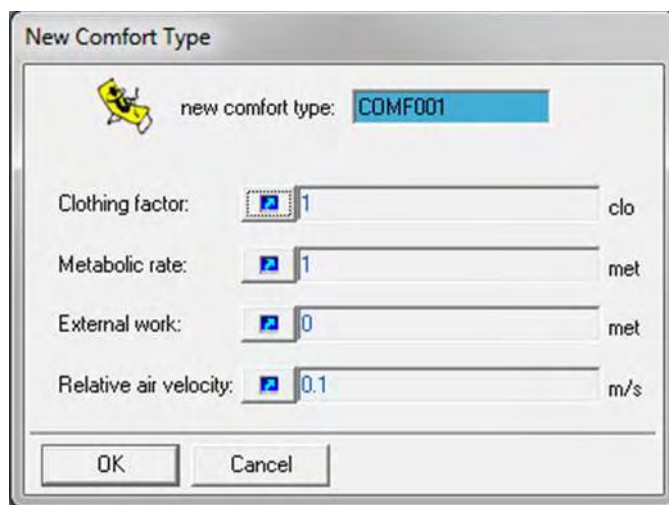
Τα πρόσθετα εσωτερικά θερμικά κέρδη της ζώνης καθορίζονται στο κάτω μέρος του παραθύρου κάνοντας κλικ στο εικονίδιο “Add”. Ο ορισμός ενός κέρδους απαιτεί την εισαγωγή της ισχύος που μεταδίδεται στη ζώνη μέσω συναγωγής, ακτινοβολίας και της απόλυτης υγρασίας που παράγεται.



Εικόνα 4-28: Καθορισμός πρόσθετων θερμικών κερδών

- Θερμική άνεση

Η θερμική άνεση είναι προαιρετική και ορίζεται με το εικονίδιο “Comfort” στο άνω μέρος του παραθύρου. Στο παράθυρο που ανοίγει απαιτείται εισαγωγή του συντελεστή ένδυσης ανάλογα με την ένδυση των ατόμων στο χώρο, του μεταβολικού ρυθμού ανάλογα με την δραστηριότητα των ατόμων στο χώρο, του εξωτερικού έργου, το οποίο συνήθως είναι περίπου μηδέν, και της σχετικής ταχύτητας του αέρα με τα άτομα στο χώρο.



Εικόνα 4-29: Εισαγωγή παραμέτρων θερμικής άνεσης

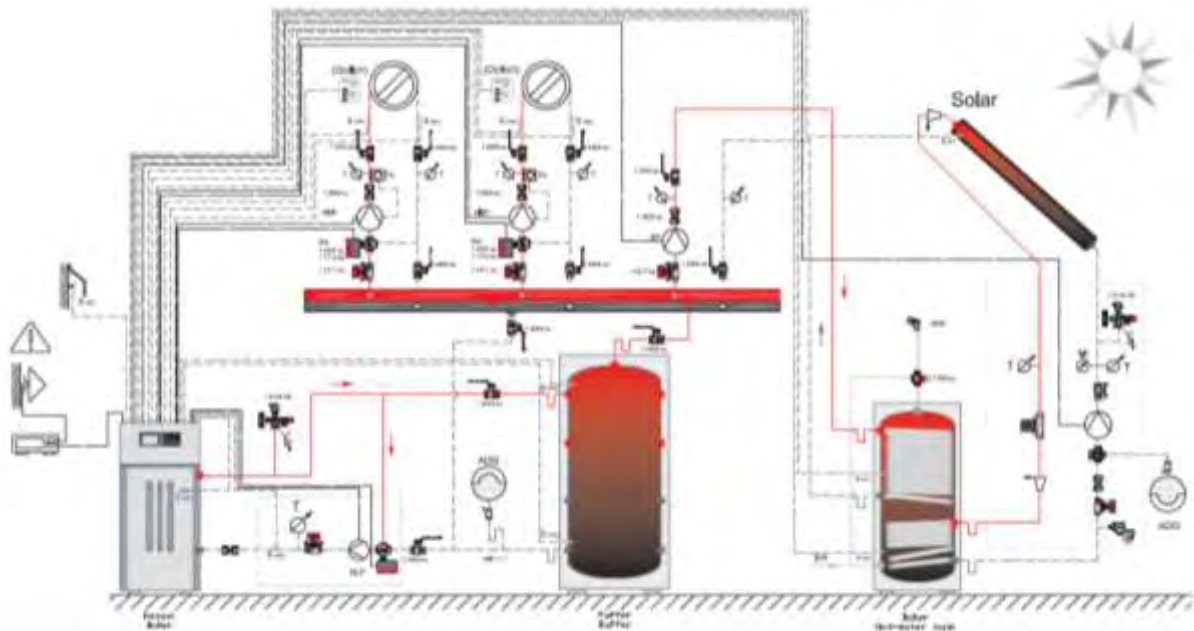
Το μοντέλο βασίζεται στις προδιαγραφές ISO 7730 και υπάρχουν πίνακες για τις τιμές του συντελεστή ένδυσης για συνηθισμένους τύπους ένδυσης και για τον μεταβολικό ρυθμό για συνηθείς εργασίες.

Κατά την επιλογή μίας από τις παραπάνω μεθόδους περιγραφής εξοπλισμού και χαρακτηριστικών λειτουργίας, ο καθορισμός της τιμής μιας μεταβλητής (εκτός αυτών που επιλέγονται από λίστες ή πίνακες που παρέχει το TRNSYS) μπορεί να γίνει είτε δίνοντας μία σταθερή τιμή στη μεταβλητή, είτε ορίζοντας να διαβάζεται η τιμή από

μία είσοδο στο μοντέλο 56, είτε τέλος ορίζοντας ένα χρονοδιάγραμμα για τις τιμές που λαμβάνει η μεταβλητή σε διάφορες χρονικές περιόδους. Τα χρονοδιαγράμματα μπορεί να είναι ημερήσια ή εβδομαδιαία.

Κεφάλαιο 5 Σχεδιασμός Εξεταζόμενου Συστήματος

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η ενεργειακή συμπεριφορά θερμικού συστήματος κτηρίου. Το θερμικό σύστημα αποτελείται από μια ενεργειακή πηγή με γενικά χαρακτηριστικά (που θα μπορούσε να είναι λέβητας βιομάζας ή αντλία θερμότητας), μια δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης θερμότητας, ένα κτήριο με τρεις θερμικές ζώνες από τις οποίες η μία όχι θερμανόμενη, μια δεξαμενή νερού χρήσης και ηλιακούς συλλέκτες για παροχή ενέργειας στο νερό χρήσης. Το εξεταζόμενο υδραυλικό σύστημα φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.



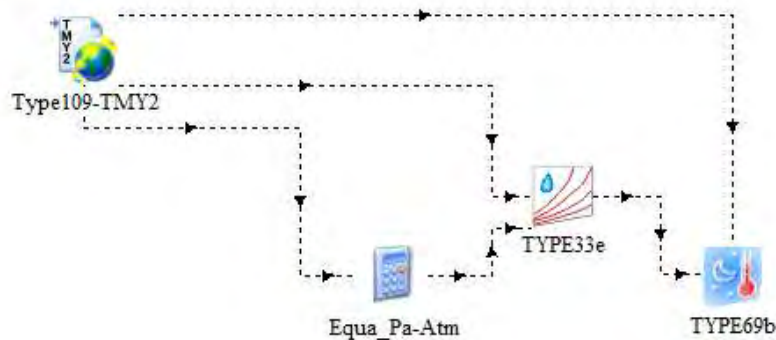
Εικόνα 5-1: Υδραυλικό σχέδιο ενεργειακού συστήματος κτηρίου

Για την σύνθεση του κρίσιμου μέρους αυτού του σχεδίου στο πρόγραμμα Trnsys χρειάστηκε να γίνει η ομαδοποίηση των συστατικών στοιχείων στα ακόλουθα τέσσερα τμήματα.

- Τμήμα μετεωρολογικών παραμέτρων
- Τμήμα κτηρίου
- Τμήμα φόρτισης και θερμικής αποθήκευσης
- Τμήμα φορτίων Χώρου
- Τμήμα φορτίων Ζεστού Νερού Χρήσης

Τα τμήματα αυτά εξετάζονται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους όπου στη συνέχεια γίνεται η σύνδεση τους και οργανώνεται η εξαγωγή των κρίσιμων εξεταζόμενων μεγεθών.

5.1 Τμήμα Μετεωρολογικών Παραμέτρων



Εικόνα 5-2: Τμήμα μετεωρολογικών παραμέτρων

5.1.1 Στοιχείο μετεωρολογικών παραμέτρων (TYPE109-TMY2)

Αυτό το συστατικό στοιχείο έχει κύριο σκοπό την ανάγνωση και εξαγωγή μετεωρολογικών παραμέτρων από αρχείο δεδομένων και την παραγωγή δεδομένων εξόδου ηλιακής ακτινοβολίας και γωνιακής πρόσπτωσης σε πλήθος κεκλιμένων επιφανειών.

Το στοιχείο Type 109 διαβάζει ένα αρχείο δεδομένων στην τυπική μορφή TMY2. Η μορφή TMY2 χρησιμοποιείται από το National Solar Radiation Data Base (USA) αλλά αυτή η μορφή αρχείων επίσης μπορεί να παραχθεί και από άλλα προγράμματα όπως είναι για παράδειγμα το Meteonorm.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα εξάγονται από το αρχείο \GR-Thessaloniki-166220.tm2 που αφορά δεδομένα για τη Θεσσαλονίκη. Επιπλέον των γενικών παραμέτρων εξόδου (θερμοκρασία περιβάλλοντος, σχετική υγρασία, ατμοσφαιρική πίεση, ηλιακή ακτινοβολία σε οριζόντια επιφάνεια κ.α.) παράγονται και αποτελέσματα ακτινοβολίας και γωνίας πρόσπτωσης για έξι επιπλέον επιφάνειες που σχετίζονται με την γεωμετρία του κτηρίου. Συγκεκριμένα οι επιφάνειες αυτές είναι οι ακόλουθες.

- Επιφάνεια 1 : Κατακόρυφη και Νότια → S(slope):90 & A(azimuth):0
- Επιφάνεια 2: Κατακόρυφη και Δυτική → S:90 - A:90
- Επιφάνεια 3: Κατακόρυφη και Βόρεια → S:90 - A:180
- Επιφάνεια 4: Κατακόρυφη και Ανατολική → S:90 - A:270
- Επιφάνεια 5: Κλίσης στέγης $\arctan(2/5)$ και Νότια ≈ 22 μοίρες → S:22 - A:0
- Επιφάνεια 6: Κλίσης στέγης $\arctan(2/5)$ και Νότια ≈ 22 μοίρες → S:22 - A:180

5.1.2 Στοιχείο συνάρτησης μονάδων πίεσης (Equa_Pa-Atm)

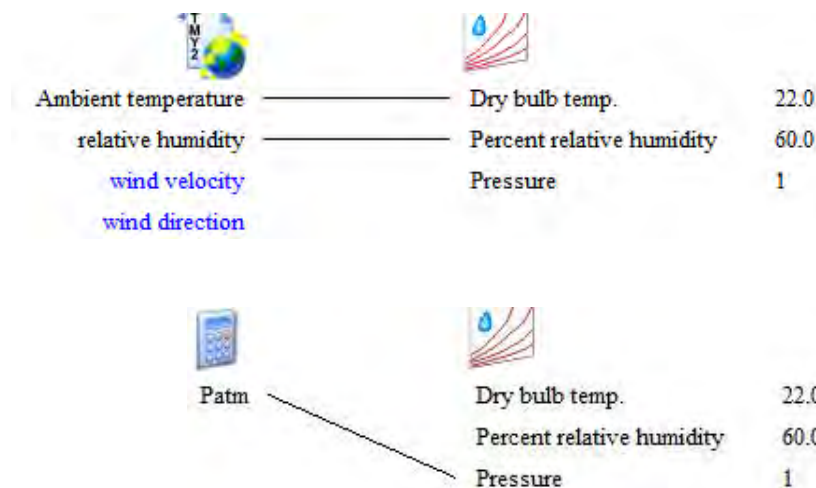
Ο σκοπός του στοιχείου αυτού είναι ο μετασχηματισμός της ατμοσφαιρικής πίεσης που εξάγεται από το στοιχείο TYPE109-TMY2 από μονάδα [pa] σε μονάδα [atm]. Συνεπώς στο στοιχείο αυτό ενσωματώνεται η εξίσωση:

$$P [atm] = \frac{P [pa]}{101325.028711} \quad [3]$$

5.1.3 Στοιχείο ψυχομετρικού χάρτη (TYPE33e)

Σκοπός αυτού του στοιχείου είναι η εξαγωγή ιδιοτήτων του υγρού αέρα όπως για παράδειγμα η θερμοκρασία υγρού βολβού, το σημείο θερμοκρασίας δρόσου, η απόλυτη υγρασία και ενθαλπία. Για την παραγωγή αυτών των αποτελεσμάτων απαιτείται η είσοδος της θερμοκρασίας του αέρα (ξηρού βολβού), η σχετική υγρασία και η ατμοσφαιρική πίεση.

Η ειδική χρήση στην εξεταζόμενη σύνθεση είναι η παραγωγή μόνο του σημείου δρόσου λαμβάνοντας τα δεδομένα από τα δύο προηγούμενα στοιχεία.



Εικόνα 5-3: Σύνδεση εισόδων στο στοιχείο ψυχομετρικού διαγράμματος (Type33e)

5.1.4 Στοιχείο ενεργής θερμοκρασίας ουρανού (TYPE69b)

Αυτό το στοιχείο καθορίζει την Ενεργή Θερμοκρασία Ουρανού (Effective Sky Temperature). Με αυτή την θερμοκρασία είναι δυνατόν να υπολογιστεί η ανταλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος των εξωτερικών επιφανειών ενός κτηρίου με την ατμόσφαιρα. Συνεπώς ο καθορισμός της ενεργούς θερμοκρασίας του ουρανού είναι σημαντικός και βασίζεται στην ιδέα ότι ο ουρανός μπορεί να θεωρείται ότι είναι μια ιδεατή μαύρη επιφάνεια (μέλαν σώμα) που η θερμοκρασία της εξαρτάται από τις περιβαλλοντολογικές συνθήκες όπως η θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η υγρασία, η νεφοκάλυψη και η τοπική πίεση.

Αν τα περιβαλλοντολογικά δεδομένα που υπάρχουν δεν περιλαμβάνουν τον συντελεστή νεφοκάλυψης αυτός μπορεί να καθοριστεί αυτόματα από την ακόλουθη εξίσωση.

$$C_{\text{Cover}} = \left(1.4286 \frac{E_{\text{Dif}}}{E_{\text{Glob,H}}} - 0.3 \right)^{0.5} \quad [4]$$

Όπου E_{Dif} [$\text{kJ} / \text{h.m}^2$] είναι η διάχυτη ροή ακτινοβολίας σε οριζόντια επιφάνεια και $E_{\text{Glob,h}}$ [$\text{kJ} / \text{h.m}^2$] είναι η ολική ροή ακτινοβολίας σε οριζόντια επιφάνεια.

Για την περίοδο της νύχτας, χρησιμοποιείται ο μέσος συντελεστής νεφοκάλυψης του απογεύματος.

Οι ατμοσφαιρική πίεση καθορίζεται σε εξάρτηση με το τοπικό γεωγραφικό ύψος με την σχέση:

$$p_{\text{atm}} = p_0 e^{-\frac{g \rho_0 h}{p_0}} \quad [5]$$

Όπου p_{atm} [atm] η ατμοσφαιρική πίεση, p_0 [atm] η ατμοσφαιρική πίεση στο ύψος h_0 , g η επιτάχυνση της βαρύτητας, ρ_0 η πυκνότητα του αέρα στο ύψος h_0 και h [m] το τοπικό γεωγραφικό ύψος.

Ο συντελεστής εκπομπής καθαρού ουρανού παράγεται από την ακόλουθη εξίσωση που είναι εξαρτώμενη από το σημείο θερμοκρασίας δρόσου, την θερμοκρασία και την υγρασία.

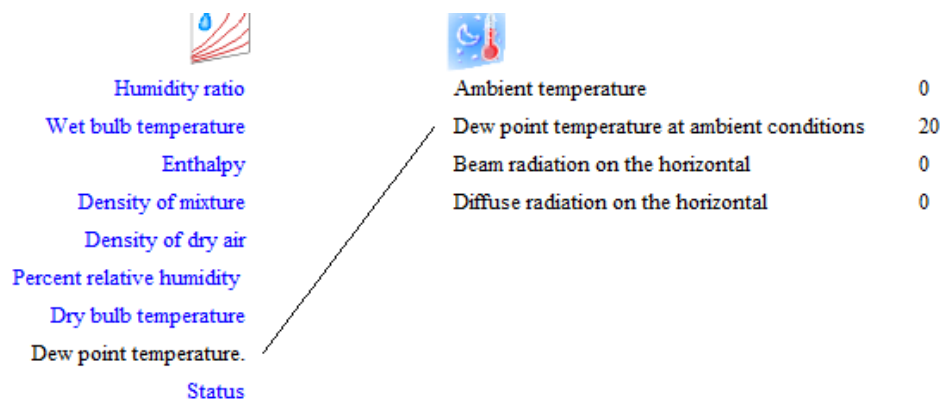
$$\varepsilon_0 = 0.711 + 0.005 T_{sat} + 7.3 \times 10^{-5} T_{sat}^2 + 0.013 \cos \left[2\pi \frac{time}{24} \right] + 12 \times 10^{-5} (p_{atm} - p_o) \quad [6]$$

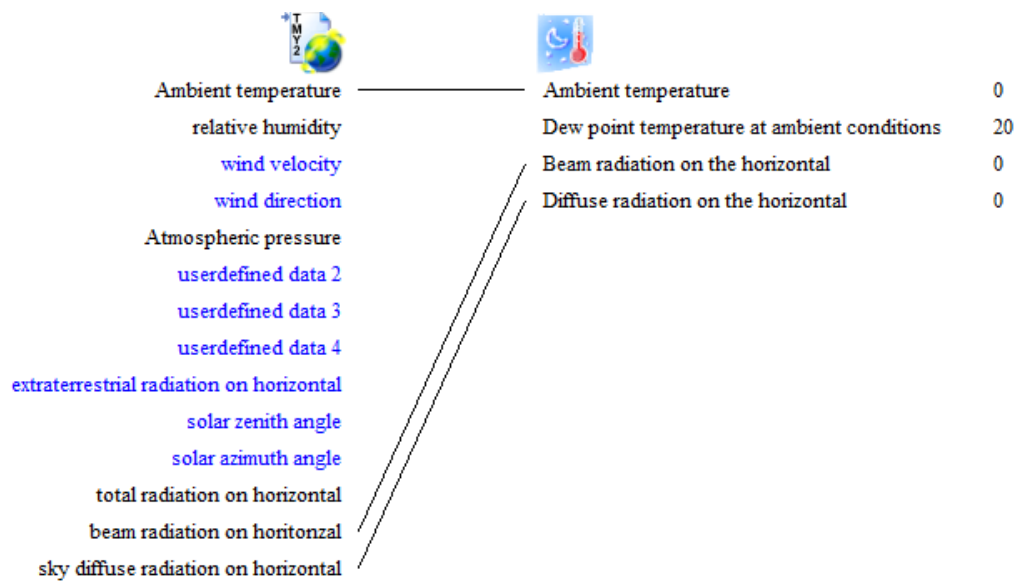
Όπου T_{sat} [C] είναι η θερμοκρασία δρόσου και $time$ [h] είναι ο χρόνος που αντιστοιχεί στην ώρα της ημέρας.

Και τέλος η ενεργή θερμοκρασία ουρανού υπολογίζεται στο στοιχείο από τη σχέση:

$$T_{sky} = T_{amb} (\varepsilon_0 + 0.8 (1 - \varepsilon_0) C_{Cover})^{0.25} \quad [7]$$

Η σύνδεση δεδομένων εισόδου στο στοιχείο Ενεργής Θερμοκρασίας Ουρανού φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.





Εικόνα 5-4: Σύνδεση εισόδων στο στοιχείο ενεργής θερμοκρασίας ουρανού (Type 69b)

5.2 Τμήμα Κτηρίου

Το κτήριο που επιλέχθηκε είναι μια κατοικία τριών επιπέδων. Το υπόγειο, το ισόγειο και την σοφίτα. Το υπόγειο δεν είναι θερμαινόμενο ενώ το ισόγειο και η σοφίτα είναι. Ο κάθε χώρος εισήχθη στο TRNBuild ως μια θερμική ζώνη ώστε να είναι δυνατός ο διακριτός έλεγχος.

Το κτήριο έχει ορθογώνια γεωμετρία, η μια μεγάλη πλευρά του κτηρίου έχει νότιο προσανατολισμό και η οροφή της σοφίτας είναι σκεπή δύο κεκλιμένων επιφανειών που η ακμή τους έχει διεύθυνση ανατολή – δύση και είναι συμμετρικά του κτηρίου. Συνεπώς οι προσανατολισμοί που επιλέχθηκαν στο πρόγραμμα TRNBuild είναι οι τέσσερις προσανατολισμοί των εξωτερικών τοίχων και οι δύο της κεκλιμένης στέγης. Η αναλυτική περιγραφή τους έχει γίνει στην περιγραφή του στοιχείου TYPE109 όπου για την κάθε επιφάνεια παράγονται η γωνία ηλιακής πρόσπτωσης, η ολική προσπίπτουσα ηλιακή

ακτινοβολία και η άμεση προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ώστε να εισαχθούν στο κτηριακό μοντέλο.

Για την κάθε θερμική ζώνη ισχύουν τα ακόλουθα:

- Θερμική ζώνη υπογείου
 - i. Πλάτος δαπέδου 10m
 - ii. Μήκος δαπέδου 15 m
 - iii. Ύψος χώρου 3 m (εντός του εδάφους)
 - iv. Όγκος ζώνης $10\text{m} \times 15\text{m} \times 3\text{m} = 450 \text{ m}^3$
 - v. Απαίτηση για νωπό αέρα (σύμφωνα με ΤΟΤΕΕ/20701-1, Πίνακα 3.27) $0.1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$. Συνεπώς προκύπτει ότι η συχνότητα ανανέωσης του αέρα πρέπει να είναι τουλάχιστον 0.1 h^{-1} .

- Θερμική ζώνη ισογείου
 - i. Πλάτος δαπέδου 10m
 - ii. Μήκος δαπέδου 15 m
 - iii. Ύψος χώρου 3 m
 - iv. Όγκος ζώνης $10\text{m} \times 15\text{m} \times 3\text{m} = 450 \text{ m}^3$
 - v. Απαίτηση για νωπό αέρα (σύμφωνα με ΤΟΤΕΕ/20701-1, Πίνακα 2.3) $0.75 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$. Συνεπώς διαιρώντας με το τυπικό ύψος των 3 μέτρων προκύπτει ότι η συχνότητα ανανέωσης του αέρα πρέπει να είναι τουλάχιστον 0.25 h^{-1}

- Θερμική ζώνη σοφίτας
 - i. Πλάτος δαπέδου 10m
 - ii. Μήκος δαπέδου 15 m
 - iii. Ύψος χώρου 2 m στην ακμή της στέγης και 0 m στις άκρες (Βόρεια και Νότια)

- iv. Όγκος ζώνης (Εμβαδό ανατολικής ή δυτικής πλευράς) x Μήκος κτηρίου. = ($\frac{1}{2}$ x 10m x 2m) x 15m = 10m² x 15 m = 150 m³
- v. Απαίτηση για νωπό αέρα (σύμφωνα με Τ.Ο.ΤΕΕ/20701-1, Πίνακα 2.3) 0.75 m³.h⁻¹.m⁻². Συνεπώς διαιρώντας με το τυπικό ύψος των 3 μέτρων προκύπτει ότι η συχνότητα ανανέωσης του αέρα πρέπει να είναι τουλάχιστον 0.25 h⁻¹

Οι ιδιότητες των υλικών που συνθέτουν τα βασικά δομικά στοιχεία του κτηρίου λήφθηκαν από την Τ.Ο.ΤΕΕ 20701-2 Πίνακα 2 όσο αφορά την θερμική αγωγιμότητα λ, την θερμοχωρητικότητα c_p και την πυκνότητα ρ. Τα υλικά αυτά καταγράφονται στον επόμενο πίνακα:

Πίνακας 1: Ιδιότητες δομικών υλικών

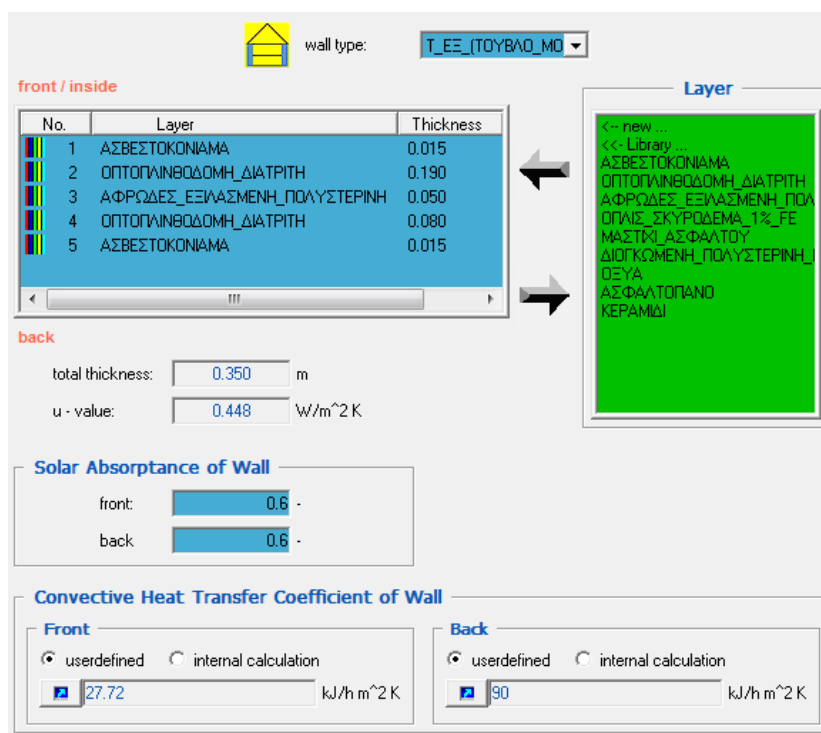
| | λ W.m ⁻¹ .K ⁻¹ (kJ. h ⁻¹ .m ⁻¹ .K ⁻¹) | C _p kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹ | ρ kg.m ⁻³ |
|--|--|--|-------------------------|
| Ασβεστοκονίαμα | 0.870 (3.132) | 1 | 1800 |
| Οπτοπλινθοδομή διάτρητη | 0.450 (1.620) | 1 | 1200 |
| Αφρώδες εξηλασμένη πολυστερίνη σε πλάκες | 0.035 (0.126) | 1.450 | 35 |
| Οπλισμένο σκυρόδεμα | 3.2 (8.28) | 1 | 2300 |
| Μαστίχα ασφάλτου | 0.17 (0.612) | 1.7 | 1050 |
| Διογκωμένη πολυστερίνη σε κόκκους | 0.035 (0.126) | 1.45 | 20 |
| Οξιά | 0.170 (0.612) | 1.6 | 800 |
| Ασφαλτόπανο | 0.230 (0.828) | 1 | 1100 |
| Κεραμίδι | 0.4 (1.44) | 0.850 | 2000 |

Κάθε δομικό στοιχείο για την κατάστρωση του κτηρίου στο πρόγραμμα TRNBuild έχει τα υλικά σε στρώσεις από μέσα (εσωτερικά του χώρου) προς τα έξω. Επιλέγοντας κατάλληλο πάχος για την κάθε στρώση και ενημερώνοντας επιπλέον για τους συντελεστές απορρόφησης των επιφανειών καθώς και τους συντελεστές συναγωγής ολοκληρώνεται το κάθε δομικό στοιχείο που φαίνεται παρακάτω.

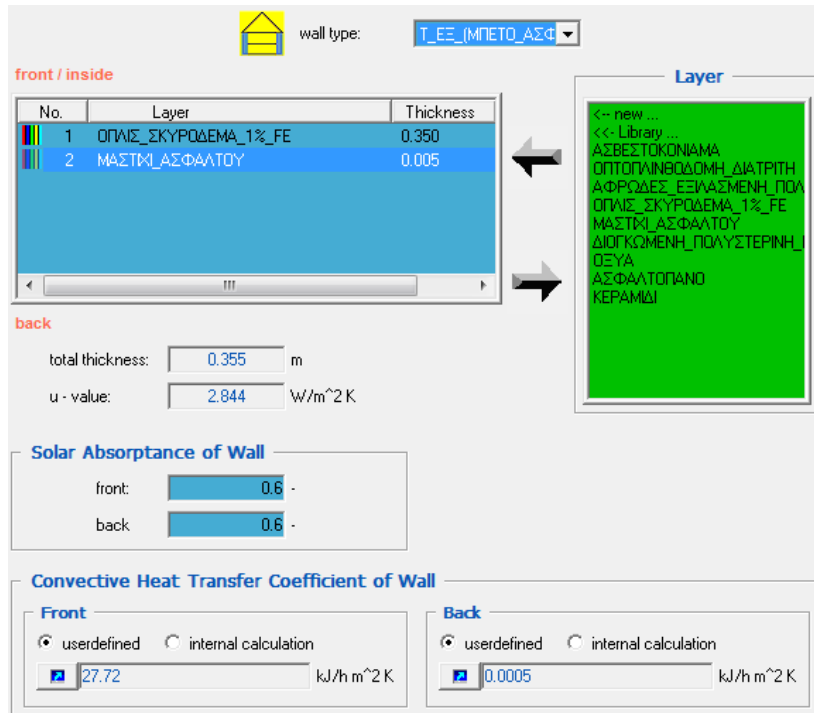
Οι συντελεστές απορρόφησης εκλέγονται από την Τ.Ο.ΤΕΕ 20701-1, Πίνακα 3.14. Θεωρώντας ότι οι επιφάνειες έχουν επίχρισμα μέτριας απόχρωσης ο συντελεστής απορρόφησης είναι ίσος με 0.6 και για την περίπτωση της σκεπής θεωρώντας κόκκινο κεραμίδι πάλι ο συντελεστής είναι ίσος με 0.6.

Οι συντελεστές συναγωγής εκλέγονται από την Τ.Ο.ΤΕΕ 20701-2, Πίνακα 3B.

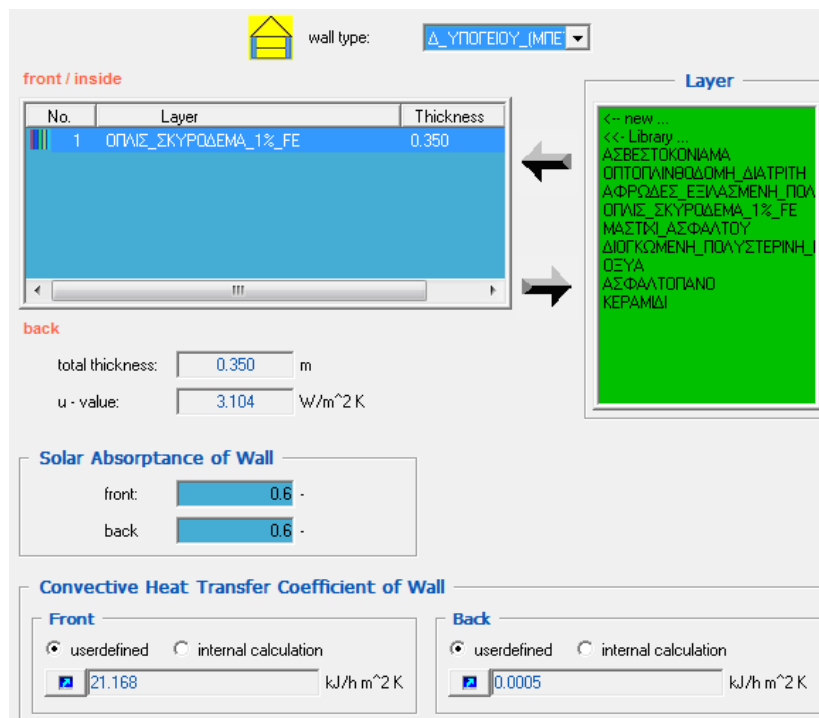
Τα δομικά στοιχεία είναι τα ακόλουθα:



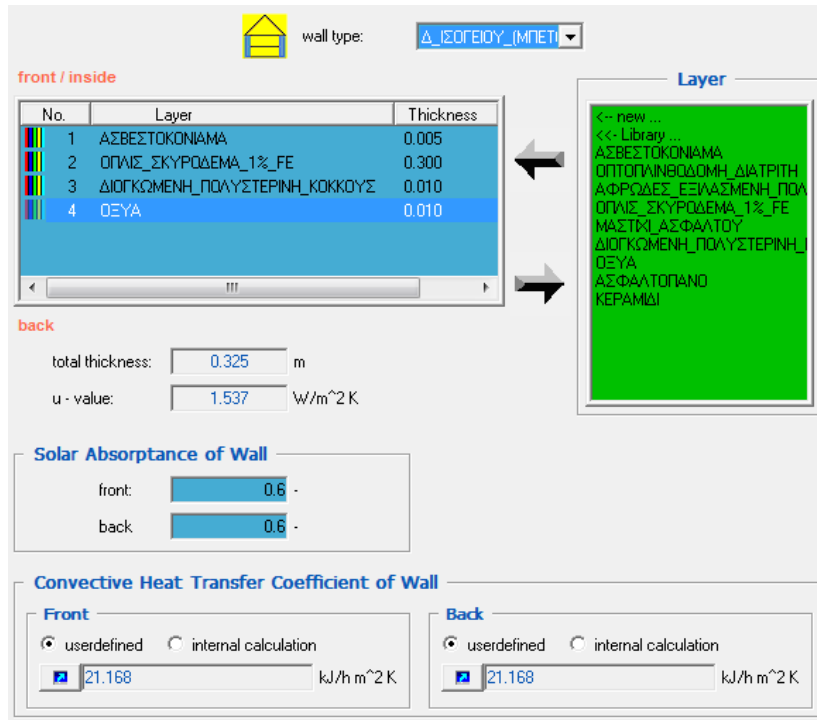
Εικόνα 5-5: Τοίχος εξωτερικός σε ισόγειο και σοφίτα



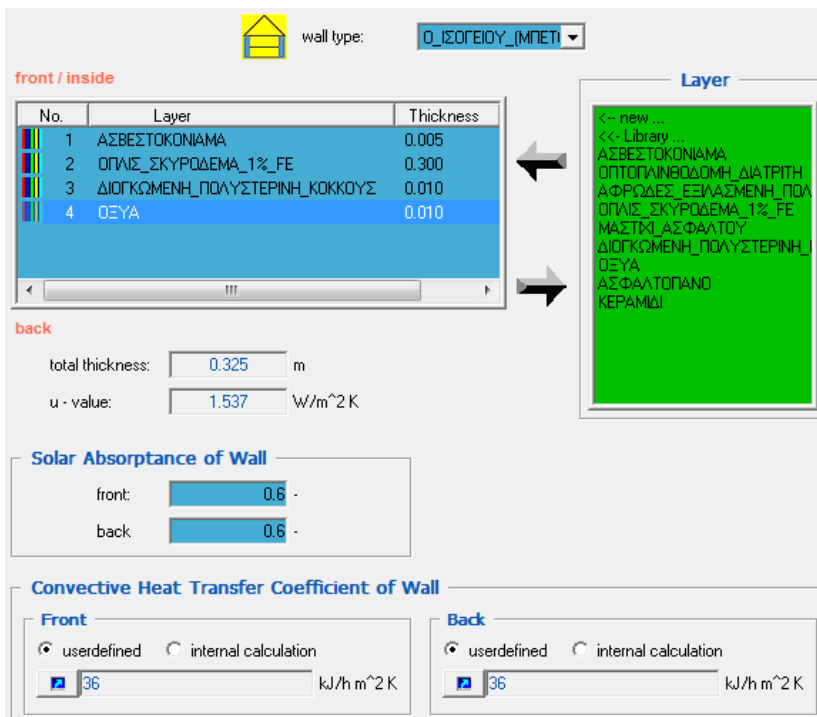
Εικόνα 5-6: Τοίχος εξωτερικός (συνοριακός) υπογείου



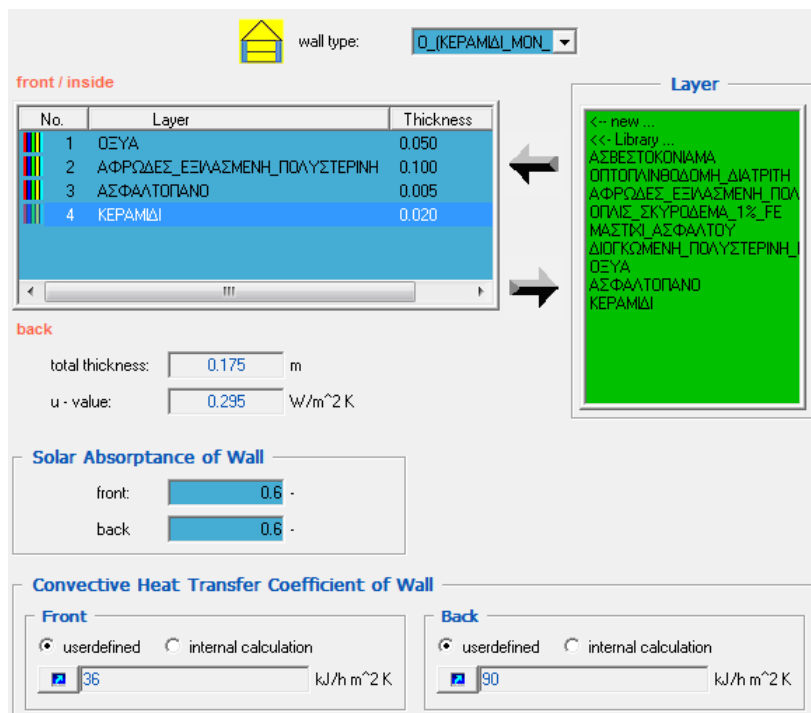
Εικόνα 5-7: Δάπεδο (συνοριακό) υπογείου



Εικόνα 5-8: Δάπεδο ισογείου



Εικόνα 5-9: Οροφή ισογείου



Εικόνα 5-10: Οροφή σοφίτας

Το είδος ανοιγμάτων είναι κοινό είτε πρόκειται για πόρτα είτε για παράθυρο. Από την βιβλιοθήκη έχει επιλεγεί το παράθυρο με πλαίσιο και διπλό τζάμι των 4mm με ενδιάμεση απόσταση 16mm. Τα βασικά χαρακτηριστικά στοιχεία είναι: ID = 1002, $k = 2.83 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}$, $g = 0.755$, 15% κάλυψη πλαισίου, $u_{\text{πλαίσιου}} = 2.27 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}$. Οι συντελεστές συναγωγής επιλέχθηκαν 11 και $64 \text{ kJ.h}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ για εσωτερικά και εξωτερικά αντίστοιχα. Θεωρήθηκε ότι δεν υπάρχει διάταξη σκίασης ούτε εσωτερικά ούτε εξωτερικά του παραθύρου.

Το υπόγειο έχει επιλεγεί να μην έχει ανοίγματα, εκτός από ένα ελάχιστο για το μηχανοστάσιο.

Το ισόγειο έχει επιλεγεί να έχει βόρεια ένα άνοιγμα (πόρτα) επιφάνειας $1\text{m} \times 2\text{m} = 2 \text{ m}^2$ και ένα (παράθυρο) $1\text{m} \times 1.5\text{m} = 1.5 \text{ m}^2$. Νότια έχει δύο ανοίγματα (παράθυρα) των 1.5 m^2 και δύο (πόρτες) των 2 m^2 . Ανατολικά και Δυτικά από ένα άνοιγμα (παράθυρο) επιφάνειας 1.5 m^2 .

Στη σοφίτα έχει επιλεγεί ανατολικά και δυτικά από ένα άνοιγμα (παράθυρο) επιφάνειας 1.5 m^2 και επί της νότιας σκεπής ένα άνοιγμα (παράθυρο) 2 m^2 .

Σύμφωνα με το πλήθος των ανοιγμάτων και ανάλογα με το αν είναι παράθυρο ή πόρτα βρίσκουμε την συνολική διήθηση του αέρα στον εσωτερικό χώρο της κάθε ζώνης.

Από την T.O.TEE 20701 / Πίνακα 3.26 έχουμε ότι η διήθηση αέρα είναι για την περίπτωση πόρτας $9.8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ανά τετραγωνικό μέτρο επιφανείας ενώ για παράθυρα είναι $12.5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ανά τετραγωνικό μέτρο επιφανείας. Η διαφοροποίηση οφείλεται στην πολλαπλότητα φύλλων που έχουν τα παράθυρα άρα και στο αυξημένο τρέχον μήκος χαραμιάδων σε σχέση με τις πόρτες. Για αναλυτικότερο υπολογισμό θα πρέπει να γίνει μέτρηση των χαραμιάδων αλλά αυτό δεν είναι ανάγκη για τους στόχους αυτής της εργασίας.

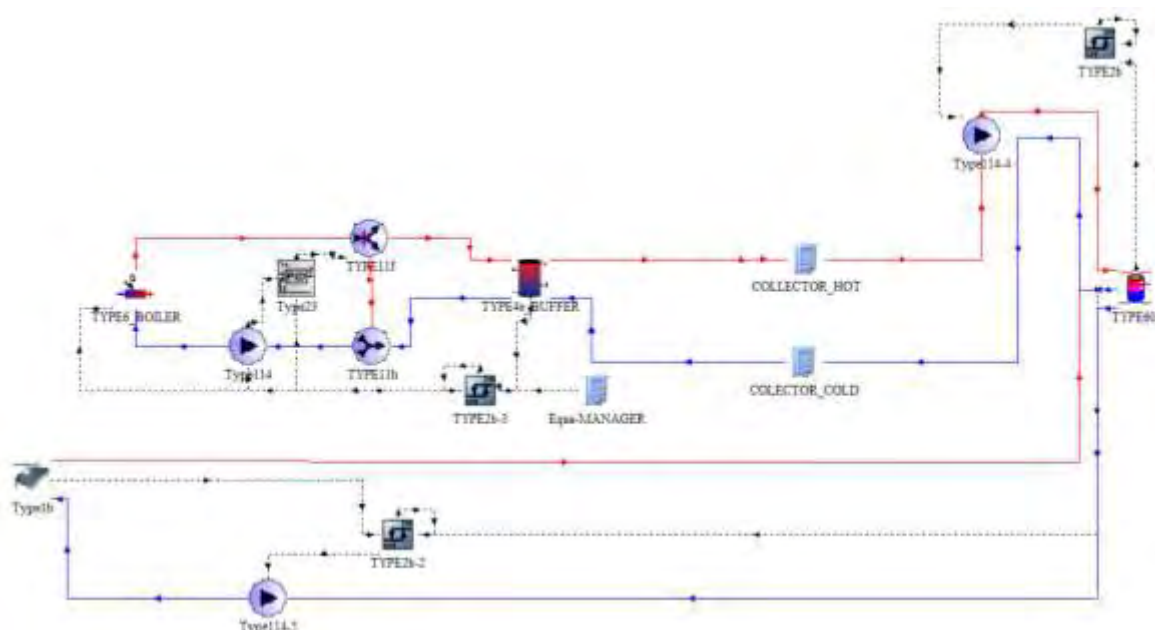
Συνεπώς για το ισόγειο έχουμε 7.5 m^2 παράθυρα και 6 m^2 πόρτες. Άρα η διήθηση αέρα υπολογίζεται σε $152.55 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ και αφού ο συνολικός όγκος του ισογείου είναι 450 m^3 προκύπτει συχνότητα ανανέωσης του αέρα του χώρου 0.339 h^{-1} . Αντίστοιχο συλλογισμό ακολουθούμε και για την σοφίτα όπου υπάρχουν παράθυρα 5 m^2 , η διήθηση είναι $62.5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ και συνεπώς η συχνότητα ανανέωσης 0.416 h^{-1} .

Έχοντας υπόψη τις ελάχιστες απαιτήσεις για αερισμό που σημειώθηκαν στην αρχή της παραγράφου (σύμφωνα με T.O.TEE/20701-1, Πίνακα 2.3 & 3.27) προκύπτει ότι η διήθηση αέρα για την περίπτωση της σοφίτας και του ισογείου είναι μεγαλύτερη. Συνεπώς οι τελικές επιλογές διήθησης (σε μονάδα συχνότητας) που καταχωρήθηκαν στο πρόγραμμα TRNBuild επιλέχθηκε να είναι για το υπόγειο 0.1 h^{-1} , για το ισόγειο 0.399 h^{-1} και για τη σοφίτα 0.416 h^{-1} .

Έλεγχος υγρασίας, εσωτερικών θερμικών κερδών από οικιακούς εξοπλισμούς και πλήθος ατόμων, άνεσης και ψύξης δεν γίνεται στο κτηριακό μοντέλο που επιλέχθηκε.

Πραγματοποιείται μόνο ο θερμοκρασιακός έλεγχος. Δηλαδή το κτήριο βρίσκεται σε σύνδεση με εξωτερικό εξοπλισμό παραγωγής θερμικής ενέργειας η οποία εισάγεται στο κτήριο ως θερμικό κέρδος συναγωγής. Για το σκοπό αυτό έχουμε εισάγει πρόσθετα των μετεωρολογικών μεταβλητών εισόδου και τέσσερις νέες άλλες μεταβλητές. Οι δύο από αυτές αφορούν την ενεργοποίηση/απενεργοποίηση της εισαγωγής θερμικής ενέργειας στο κτήριο (μία για την κάθε θερμαινόμενη ζώνη) και οι άλλες δύο αφορούν την θερμοκρασιακή διαφορά, στην κάθε ζώνη, μεταξύ του αέρα στη ζώνη και του θερμικού μέσου που “εισέρχεται” στη ζώνη από το εξωτερικό ενεργειακό σύστημα. Αναλυτικότερα θα γίνει περιγραφή στην παράγραφο σύνδεσης των τμημάτων.

5.3 Τμήμα Φόρτισης και Θερμικής Αποθήκευσης



Εικόνα 5-11: Τμήμα φόρτισης και θερμικής αποθήκευσης

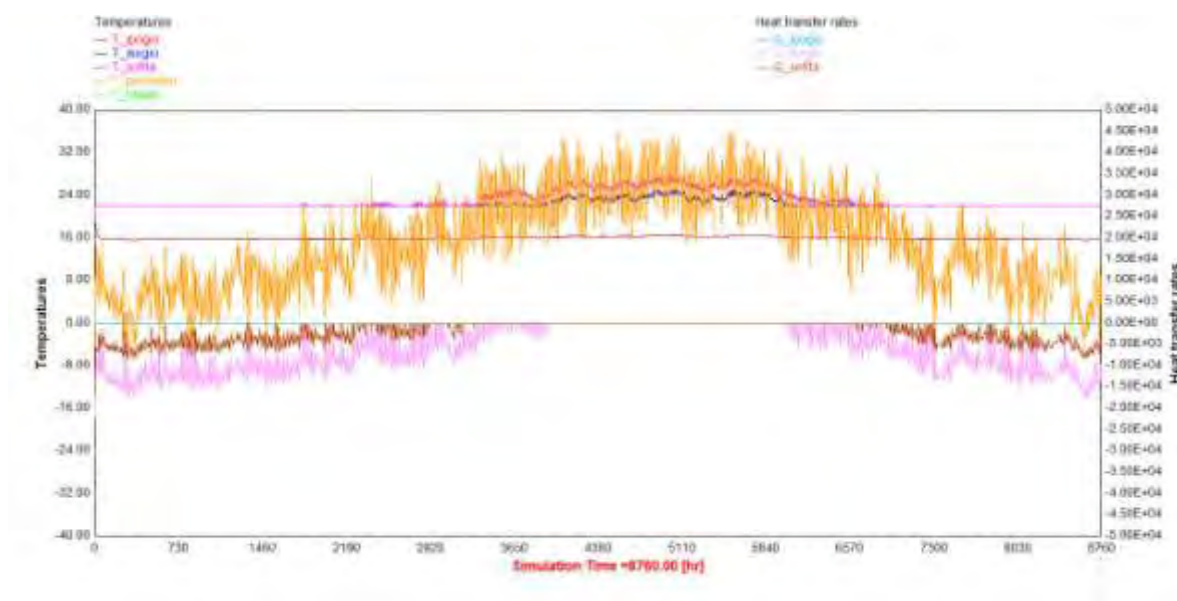
Το τμήμα φόρτισης και θερμικής αποθήκευσης αποτελείται από δύο μέρη. Το πρώτο και κύριο έχει θερμική πηγή ένα θερμαντήρα, για παράδειγμα αντλία θερμότητας ή λέβητα

βιομάζας, που συνδέεται με δεξαμενή προσωρινής αποθήκευσης θερμότητας μέσω κυκλοφορητή, τρίοδη βάνα και δύο ελεγκτές (ένας ελεγκτής αφορά τον έλεγχο του θερμαντήρα και ο άλλος τον έλεγχο της τρίοδης βάνας). Το δεύτερο μέρος έχει θερμική πηγή ηλιακό συλλέκτη που συνδέεται με δεξαμενή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX) μέσω κυκλοφορητή και ελεγκτή. Στη δεξαμενή του ZNX υπάρχουν δύο σπειροειδείς εναλλάκτες (τύπου σερπαντίνας). Ο εναλλάκτης που βρίσκεται στο χαμηλό τμήμα της δεξαμενής χρησιμοποιείται από το θερμικό μέσω του ηλιακού ενώ ο εναλλάκτης στο πάνω τμήμα της δεξαμενής χρησιμοποιείται για την σύνδεση της προσωρινής δεξαμενής φόρτισης (δεξαμενής αδράνειας) με την δεξαμενή του ZNX μέσω κυκλοφορητή και ελεγκτή ώστε σε ενδεχόμενο που τα ηλιακά θερμικά κέρδη είναι μειωμένα και δεν μπορούν να καλύψουν το φορτίο του ZNX να αναλαμβάνει την κάλυψη ο θερμαντήρας μέσω της δεξαμενής αδράνειας. Τα δύο στοιχεία Collector Hot και Cold που μεσολαβούν μεταξύ των δύο δεξαμενών προς το παρόν δεν θα εξεταστούν γιατί έχουν νόημα στην σύνδεση των τμημάτων και συνεπώς θα εξεταστούν σε εκείνη την παράγραφο.

5.3.1 Στοιχείο θερμαντήρα (TYPE6)

Ο σκοπός αυτού του στοιχείου είναι η αύξηση της θερμοκρασίας σε μια παροχή ρευστού κάνοντας χρήση εσωτερικού ή εξωτερικού ελεγκτή όπου σήμα ίσο με την μονάδα απαιτεί ενεργοποίηση του θερμαντήρα και σήμα ίσο με μηδέν την απενεργοποίησή του. Η μέγιστη ισχύ που μπορεί να προσδοθεί στο ρευστό καθορίζεται από το χρήστη και συνεπώς η επίτευξη του ρυθμισμένου θερμοκρασιακού στόχου είναι σε εξάρτηση από αυτή την τιμή. Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας ο θερμαντήρας έχει στόχο την φόρτιση της δεξαμενής αδράνειας.

Για το εξεταζόμενο σύστημα η τιμή μέγιστης ισχύος του θερμαντήρα επιλέχθηκε μετά από προσομοίωση του κτηρίου κάνοντας χρήση του εσωτερικού ιδανικού συστήματος θέρμανσης επιλέγοντας θερμοκρασία 22°C και για τους δύο θερμαινόμενους χώρους. Το αποτέλεσμα από την προσομοίωση φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα.



Διάγραμμα 5-1: Προσομοίωση κτηρίου με ιδανικό σύστημα θέρμανσης.

Ο οριζόντιος άξονας αφορά τον χρόνο [h] εξέλιξης της προσομοίωσης από την πρώτη ώρα του Ιανουαρίου μέχρι την τελευταία ώρα του Δεκεμβρίου. Ο αριστερός κατακόρυφος άξονας αφορά τις θερμοκρασίες [°C] του υπογείου, του ισόγειου, της σοφίτας, του περιβάλλοντος και την θερμοκρασία μηδέν για σαφήνεια στο διάγραμμα. Ο δεξιός κατακόρυφος άξονας αφορά τις θερμικές ροές [kJ/h] του υπογείου, του ισόγειου και της σοφίτας. Οι θερμικές ροές που προσδίδονται στο κτήριο εκφράζονται αρνητικά στο διάγραμμα.

Από την προσομοίωση λοιπόν προκύπτει για τους θερμαινόμενους χώρους ότι η μέγιστη θερμική ροή για το ισόγειο είναι περίπου 17000 kJ/h (ή 4.7 kW) και για τη σοφίτα

8000 kJ/h (ή 2.2 kW). Αθροιστικά προκύπτει 6.9 kW. Πραγματοποιώντας και μια προσαύξηση ασφαλείας της τάξης του 20% προκύπτει θερμική ροή ίση με 8.4kW. Συνεπώς εκλέγεται μέγιστη ισχύ θερμαντήρα (Q_{max}) 10kW.

Άλλοι παράμετροι που εισάγονται στο μοντέλο είναι οι ακόλουθοι:

Η ειδική θερμοχωρητικότητα του θερμικού μέσου που για το ενεργειακό σύστημα που εξετάζεται είναι το νερό με τιμή $4.19 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}$.

Ο συντελεστής θερμικών απωλειών UA με τιμή κατά προσέγγιση $3.6 \text{ kJ.h}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

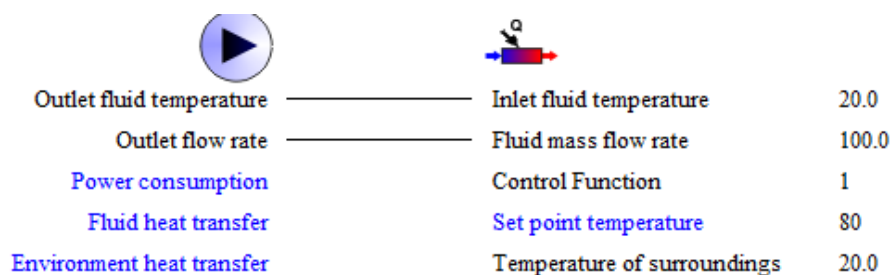
Οι θερμικές απώλειες του θερμαντήρα υπολογίζονται στο μοντέλο μόνο κατά την διάρκεια λειτουργίας του σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

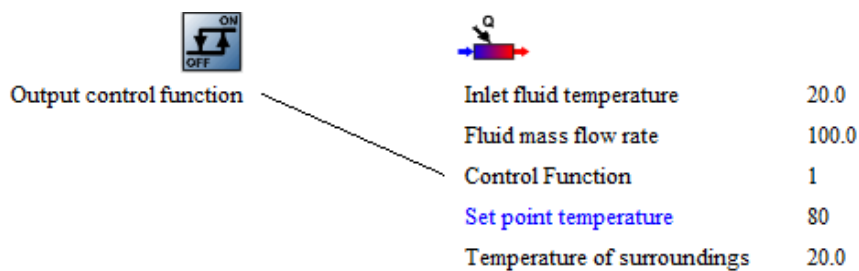
$$Q_{loss} = UA \cdot (T_{\text{θερμαντήρα}} - T_{\text{περιβάλλοντος}}) + (1 - \text{Απόδοση}) \cdot Q_{max} \quad [8]$$

ενώ ο συντελεστής απόδοσης εκλέγεται ίσος με 0.93 όπως είναι για ένα λέβητα βιομάζας υψηλής τεχνολογίας.

Οι μεταβλητές εισόδου στο μοντέλο του θερμαντήρα παρέχονται από τα συνεργαζόμενα στοιχεία που είναι ο κυκλοφορητής Type114, ο διαφορικός θερμοστάτης Type2b-3 και το κτήριο Type56b.

Όσο αφορά τις συνδέσεις των μεταβλητών εισόδου στο εξεταζόμενο τμήμα, είναι οι ακόλουθες:





Εικόνα 5-12: Σύνδεση εισόδων στοιχείου θερμαντήρα (Type6)

Η μεταβλητή εισόδου της επιθυμητής θερμοκρασίας για την λειτουργία του θερμαντήρα δεν συνδέεται με άλλο στοιχείο αλλά αποτελεί προς το παρόν σταθερή παράμετρο και εκλέγεται ίση με 80 °C γι' αυτό και έχει μπλε χρώμα στην παραπάνω εικόνα.

Η μεταβλητή εισόδου της θερμοκρασίας στον χώρο γύρο από τον θερμαντήρα αποτελεί σύνδεση με το τμήμα του κτηρίου και θα εξεταστεί στην αντίστοιχη παράγραφο.

5.3.2 Στοιχείο κυκλοφορητή φόρτισης δεξαμενής αδράνειας (TYPE114)

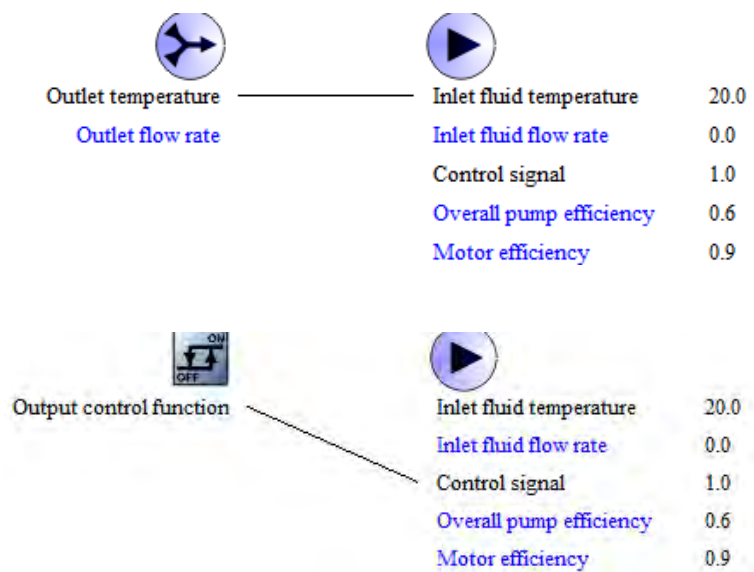
Σκοπός αυτού του στοιχείου είναι η εφαρμογή σταθερής παροχής στη ροή του ρευστού. Πρόκειται δηλαδή για μια αντλία σταθερής ταχύτητας όπου η παροχή ορίζεται από τον χρήστη και η λειτουργία ή όχι της αντλίας εξαρτάται από το σήμα ελέγχου που λαμβάνεται ως μεταβλητή εισόδου. Άλλες ενσωματωμένες δυνατότητες του μοντέλου που αφορούν την απόδοση του κυκλοφορητή δεν εξετάζονται.

Έχοντας υπόψη ότι η ο θερμαντήρας έχει μέγιστη ισχύ 10kW και θεωρώντας κατά προσέγγιση ότι το σύστημα θα πρέπει να μεταφέρει την αναγκαία θερμότητα με μια θερμοκρασιακή διαφορά στο νερό που χρησιμοποιείται ως θερμικό μέσο περίπου 20°C μπορούμε να προχωρήσουμε στους ακόλουθους συλλογισμούς.

$$Q_{max} = (\text{Παροχή}) \times (\text{Θερμοχωρητικότητα μέσου}) \times (\text{Θερμοκρασιακή διαφορά μέσου})$$

$$\text{Συνεπώς: } 10 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = \dot{m} \times 4.19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \times 20\text{K} \rightarrow \dot{m} = 0.119 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \rightarrow \dot{m} = 430 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Όσο αφορά τις συνδέσεις των μεταβλητών εισόδου στο στοιχείο, υπάρχουν δύο. Η πρώτη αφορά τον σταθερό μείκτη στο σύστημα by – pass που έχει ενσωματωθεί στο σχεδιασμό για την προφύλαξη του πιθανού λέβητα από τις χαμηλές θερμοκρασίες που πιθανόν έχει το νερό που εισέρχεται από το δοχείο αδράνειας και η δεύτερη αφορά την λήψη σήματος από τον ίδιο διαφορικό θερμοστάτη που ελέγχει και τον θερμαντήρα.



Εικόνα 5-13: Σύνδεση εισόδων στοιχείου κυκλοφορητή φόρτισης αδράνειας (Type114)

5.3.3 Στοιχείο ελεγκτή by-pass αδράνειας (PID TYPE23)

Ο σκοπός του συγκεκριμένου στοιχείου είναι η ενεργοποίηση ενός αναλογικού – ολοκληρωτικού – παραγωγικού ελεγκτή (Proportional, Integral and Derivative controller ή PID controller). Το μοντέλο του TYPE23 έχει στόχο τον αυτόματο καθορισμό ενός σήματος εξόδου τέτοιο ώστε να διατηρεί μια μεταβλητή σε προκαθορισμένη τιμή. Το σήμα ελέγχου είναι αναλογικό του σφάλματος που ανιχνεύεται στην εξεταζόμενη μεταβλητή ως προς προκαθορισμένη τιμή (τιμή στόχος) αλλά και ως προς την ολοκλήρωση και την παραγωγή

του ανιχνεύσιμου σφάλματος. Η βασική δομή αυτού του αλγόριθμου στηρίζεται στις ακόλουθες ευρέως αποδεκτές σχέσεις:

$$v(t) = K \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) = P + I + D \quad [9]$$

$$u(t) = \text{saturate}(v(t)) \quad [10]$$

Όπου:

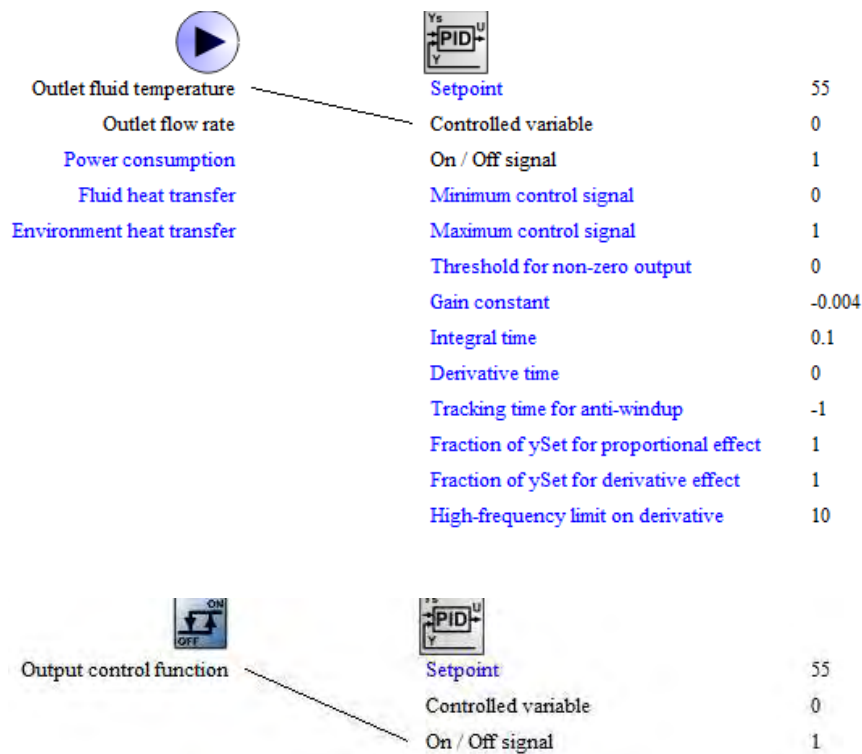
- u μεταβλητή ελέγχου μετά από περιορισμό σε εύρος αποδεκτών τιμών
- v μεταβλητή ελέγχου πριν από περιορισμό σε εύρος αποδεκτών τιμών
- K βασικός συντελεστής προσαύξησης
- e ανιχνεύσιμο σφάλμα της ελεγχόμενης μεταβλητής από το στόχο
- T_i Χρόνος ολοκλήρωσης
- T_d Χρόνος παραγωγίσης

Οι συνδέσεις των μεταβλητών εισόδου στο στοιχείο PID γίνονται από το στοιχείο του κυκλοφορητή όπου λαμβάνεται η μεταβλητή ελέγχου και από τον διαφορικό ελεγκτή όπου λαμβάνεται το σήμα λειτουργίας ή όχι του PID ελεγκτή το οποίο είναι κοινό με αυτό που λαμβάνει ο θερμαντήρας και ο κυκλοφορητής.

Στις μεταβλητές εισόδου έχει επιλεγεί και η εισαγωγή σταθερών τιμών απαραίτητων για την σωστή προσαρμογή του ελεγκτή στις συνθήκες του συστήματος. Η πιο σημαντική είναι η θερμοκρασία 55 °C στην μεταβλητή ελέγχου όπου αποτελεί την θερμοκρασία που θα πρέπει να έχει ο νερό που εξάγεται από τον κυκλοφορητή προς το λέβητα. Με βάση την διάταξη στο σύστημα, όταν θερμοκρασία είναι μικρότερη από 55 βαθμούς τότε ο ελεγκτής

τροποποιεί το σήμα εξόδου του ώστε να επιδράσει σε μια ενεργή τρίοδη βάνα διανομής και να την στρέψει έτσι ώστε να αυξηθεί η ροή ζεστού νερού που παρακάμπτει το δοχείο αδράνειας και επιστρέφει μέσω του by-pass πάλι στο λέβητα.

Οι συνδέσεις αυτές φαίνονται στην ακόλουθη εικόνα.

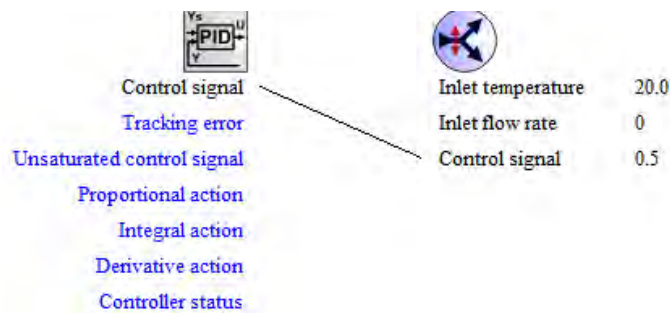
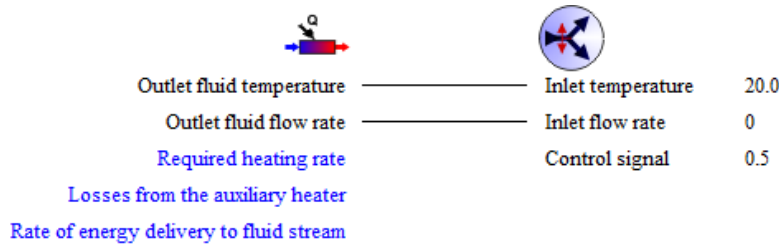


Εικόνα 5-14: Σύνδεση εισόδων στοιχείου ελεγκτή PID αδράνειας (TYPE23)

5.3.4 Στοιχείο ενεργής τρίοδης βάνας διανομής by-pass αδράνειας (TYPE11f)

Σκοπός αυτού του στοιχείου είναι η κατανομή της παροχής του ζεστού νερού από τον θερμαντήρα προς το δοχείο αδράνειας και το by-pass σε κατάλληλη αναλογία. Πρόκειται για μια ενεργή τρίοδη βάνα διανομής η θέση της οποίας ρυθμίζεται από σήμα σε μεταβλητή εισόδου. Η διάταξη που έχει επιλεγεί απαιτεί η αρχική κατάσταση της βάνας να είναι με μηδενικό σήμα εισόδου και τέρμα ανοιχτό το by-pass. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για να

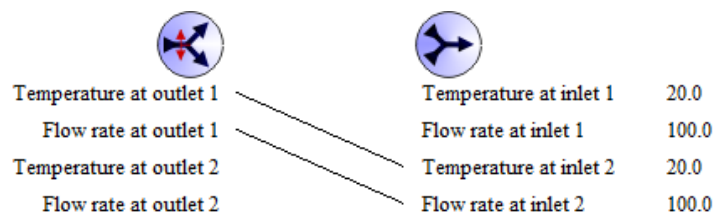
επιτευχθεί ομαλή λειτουργία που να προσομοιάζει την πραγματική συμπεριφορά του συστήματος.

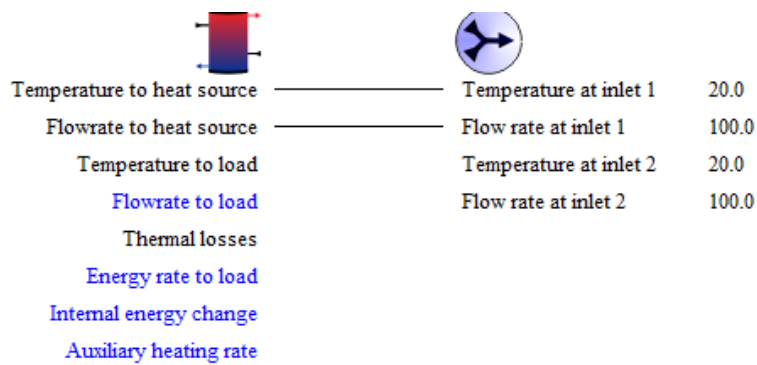


Εικόνα 5-15: Σύνδεση εισόδων τρίοδης βάνας διανομής by-pass αδράνειας (TYPE11f)

5.3.5 Στοιχείο σταθερού μείκτη by-pass αδράνειας (TYPE11h)

Σκοπός αυτού του στοιχείο είναι η συμμετρική ανάμειξη δύο ροών. Δηλαδή από δύο ροές καθορισμένης παροχής και θερμοκρασίας προκύπτει μετά την ανάμειξή τους η ροή εξόδου με την νέα τιμή παροχής και θερμοκρασίας. Η μία είσοδος σε αυτό το παθητικό στοιχείο είναι η ροή που διοχετεύει τη τρίοδη ενεργή βάνα στο by-pass και η δεύτερη ροή είναι αυτή που επιστρέφει από το δοχείο αδράνειας για αναθέρμανση προς τον θερμαντήρα.





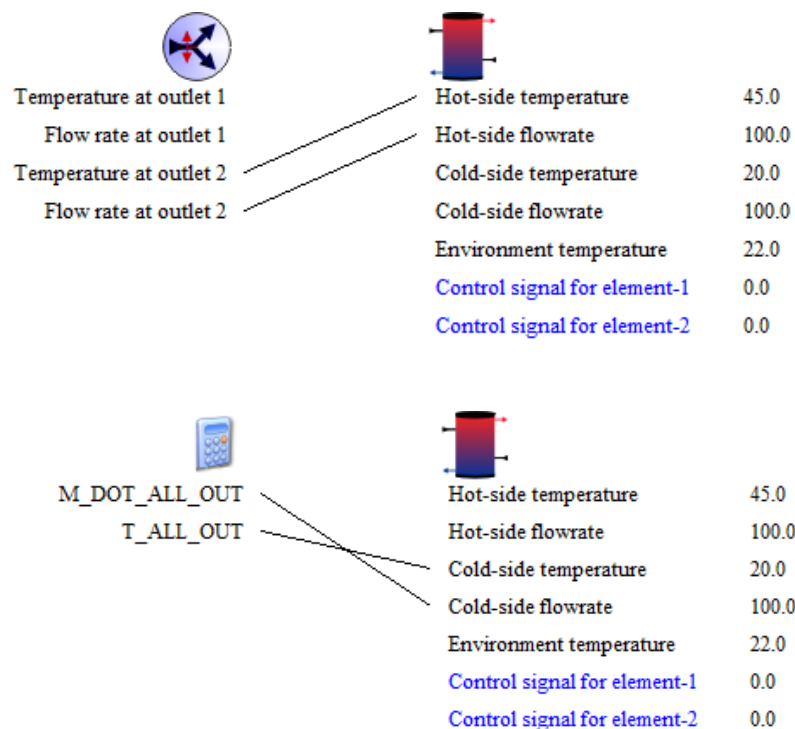
Εικόνα 5-16: Σύνδεση εισόδων στοιχείου σταθερού μείκτη by-pass αδράνειας (TYPE11h)

5.3.6 Στοιχείο προσωρινής δεξαμενής αδράνειας (TYPE4e)

Ο σκοπός αυτού του στοιχείου είναι η εισαγωγή της δεξαμενής προσωρινής αποθήκευσης για την αύξηση της αδράνειας του συστήματος. Η ύπαρξη αυτής της δεξαμενής είναι μεγάλης σημασίας για τους λόγους που έχουν καταγραφεί σε προηγούμενο κεφάλαιο. Το συγκεκριμένο στοιχείο αφορά δεξαμενή με διαστρωμάτωση στο θερμικό μέσο που περιλαμβάνει. Το πλήθος και το πάχος των επιπέδων διαστρωμάτωσης το ορίζει ο χρήστης. Σε αυτό το μοντέλο υπάρχουν δύο εισοδοί και δύο εξοδοί για το θερμικό μέσο. Το ύψος των θέσεων εισόδου είναι επίσης επιλέξιμο (δηλαδή της ροής από την θερμική πηγή στο δοχείο και από το φορτίο στο δοχείο) ενώ το ύψος των ροών εξόδου είναι σταθερό (της ροής προς το φορτίο από την κορυφαία διαστρωμάτωση και της ροής προς το θερμαντήρα από την κατώτερη διαστρωμάτωση). Όσο αφορά τις θερμικές απώλειες της δεξαμενής αυτές υπολογίζονται με την καταχώρηση του συντελεστής θερμικών απωλειών της δεξαμενής ο οποίος θεωρείται ίδιος σε κάθε επίπεδο διαστρωμάτωσης. Ο υπολογισμός του γίνεται με την παραδοχή ότι το μονωτικό μέσο έχει πάχος 0.1m και ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του είναι $0.035 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Συνεπώς ο συντελεστής θερμικών απωλειών (αμελώντας τους όρους συναγωγής) προκύπτει ίσος με $U = 0.035/0.1 = 0.35 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ή $1.26 \text{ kJ}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Σύμφωνα με πειραματικές παρατηρήσεις οι πραγματικές απώλειες είναι σχεδόν διπλάσιες από ότι δίνει ο συντελεστής που προκύπτει από την εξέταση του μονωτικού μανδύα της δεξαμενής και συνεπώς επιλέγεται η τιμή $0.7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ ή $2.52 \text{ kJ}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Στις μεταβλητές παραμέτρους περιλαμβάνεται προφανώς ο όγκος της δεξαμενής αλλά και άλλες παράμετροι που αφορούν θερμικά ενσωματωμένα στοιχεία τα οποία στο εξεταζόμενο σύστημα δεν χρησιμοποιούνται.

Οι συνδέσεις των μεταβλητών εισόδου πραγματοποιούνται από τα στοιχεία της τρίοδης βάνας, του συλλέκτη επιστροφής και του κτηρίου για την εισαγωγή της θερμοκρασίας του υπογείου που θεωρείται ότι είναι εγκατεστημένη η δεξαμενή αδράνειας. Οι συνδέσεις των δύο πρώτων στοιχείων που αφορούν τις παροχές και τις θερμοκρασίες των ροών εισόδου φαίνονται στην επόμενη εικόνα.

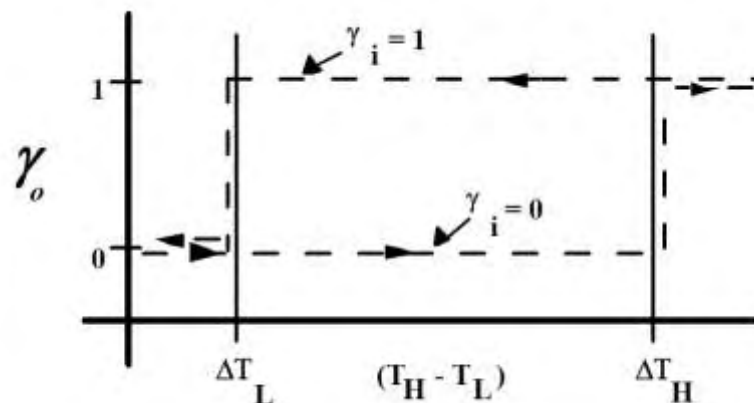


Εικόνα 5-17: Σύνδεση εισόδων στοιχείου δεξαμενής αδράνειας (TYPE4e)

5.3.7 Στοιχείο διαφορικού ελεγκτή δεξαμενής αδράνειας (TYPE2b-3)

Ο διαφορικός ελεγκτής αποτελεί μια συνάρτηση ελέγχου η οποία δίνει αποτέλεσμα 0 ή 1. Η τιμή αυτή του σήματος ελέγχου (γ_o) προκύπτει ως συνάρτηση μιας θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ μιας υψηλής και μιας χαμηλής θερμοκρασίας T_H και T_L , συγκρινόμενη με δύο καθορισμένες από το χρήστη θερμοκρασιακές διαφορές, μια για τη μετάπτωση του σήματος του ελεγκτή από μηδέν σε ένα και μια για τη μετάπτωση από ένα σε μηδέν, ΔT_L και ΔT_H . Επίσης η νέα τιμή της συνάρτησης ελέγχου εξαρτάται από την τιμή της συνάρτησης ελέγχου στο προηγούμενο χρονικό βήμα (γ_i) και εισάγεται στο μοντέλο ως μεταβλητή εισόδου. Ο ελεγκτής συνήθως χρησιμοποιείται με την έξοδο του σήματος ελέγχου που παράγεται συνδεδεμένη στην είσοδο του σήματος ελέγχου. Επιπλέον ο ελεγκτής ενσωματώνει και την παρακολούθηση μιας μεταβλητής όπου όταν αυτή υπερβεί μια ανώτατη τιμή που ορίζει ο χρήστης τίθεται ο ελεγκτής σε θέση 0.

Η βασική παραπάνω συμπεριφορά μπορεί να σχηματιστεί για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του διαφορικού ελεγκτή.



Διάγραμμα 5-2: Τυπικό διάγραμμα διαφορικού ελεγκτή

Αλλά και να περιγραφεί αλγεβρικά με τον ακόλουθο κώδικα:

Αν ο ελεγκτής βρίσκεται σε κατάσταση ON

Αν $\gamma_i = 1$ και $\Delta T_L \leq (T_H - T_L)$, $\gamma_o = 1$

Αν $\gamma_i = 1$ και $\Delta T_L > (T_H - T_L)$, $\gamma_o = 0$

Αν ο ελεγκτής βρίσκεται σε κατάσταση OFF

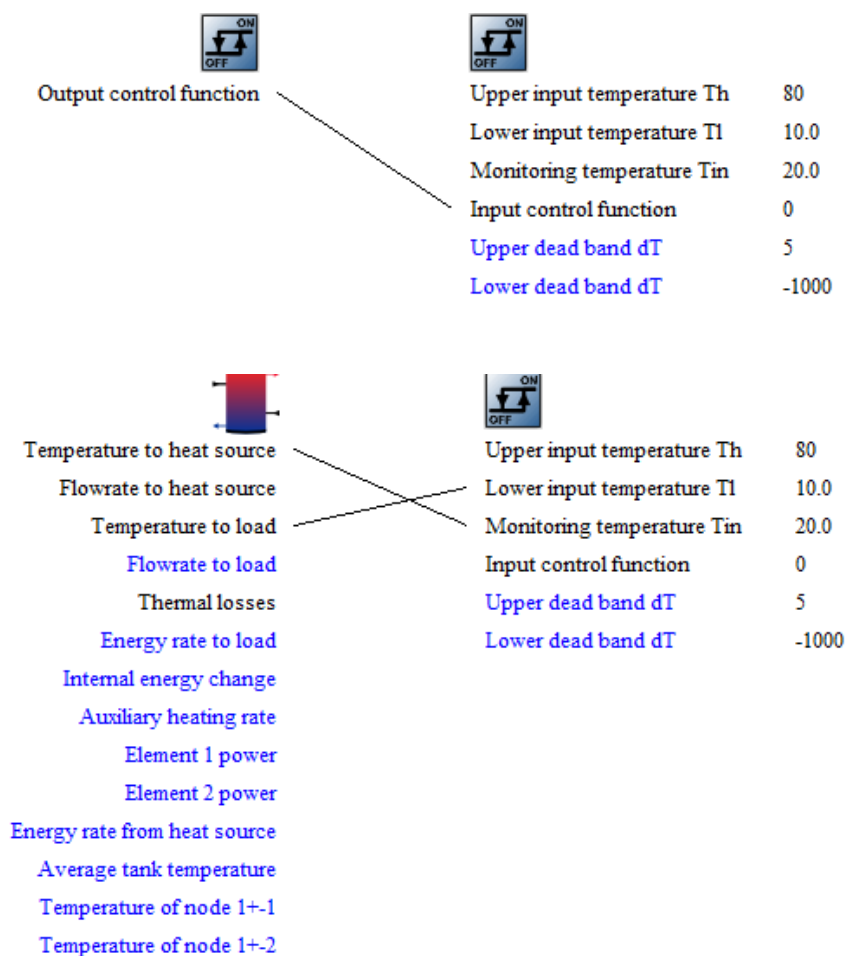
If $\gamma_i = 0$ and $\Delta T_H \leq (T_H - T_L)$, $\gamma_o = 1$

If $\gamma_i = 0$ and $\Delta T_H > (T_H - T_L)$, $\gamma_o = 0$

Για τις ανάγκες του σχεδιαζόμενου συστήματος ο ελεγκτής παρακολουθεί την θερμοκρασία του νερού που εξάγεται από το κατώτερο στρώμα της δεξαμενής για να κατευθυνθεί προς το λέβητα και μόλις η θερμοκρασία του υπερβεί τους 70 βαθμούς θέτει τον ελεγκτή σε κατάσταση OFF και συνεπώς διακόπτεται και η λειτουργία του λέβητα, του κυκλοφορητή και του PID ελεγκτή. Η θερμοκρασία T_H επιλέγεται να είναι ίση με 80 βαθμούς ή να ελέγχεται από το μεταβλητό θερμικό φορτίο του συστήματος. Η θερμοκρασία T_L επιλέγεται να είναι η θερμοκρασία της πάνω διαστρωμάτωσης από την οποία εξέρχεται η ροή για την κάλυψη των θερμικών αναγκών. Συνεπώς καταχωρώντας την καθορισμένη θερμοκρασιακή διαφορά $DT_H = 5$ βαθμούς, επιτυγχάνεται ο στόχος που είναι όταν η θερμοκρασία στο πάνω μέρος της δεξαμενής είναι χαμηλότερη κατά 5 βαθμούς, από τους 80 βαθμούς, ο ελεγκτής περνάει σε κατάσταση ON και ενεργοποιεί λέβητα, κυκλοφορητή και PID ελεγκτή. Η πτώση του ελεγκτή στην κατάσταση OFF επιλέγεται να γίνεται μόνο με τον έλεγχο της υπέρβασης των 70 βαθμών από την θερμοκρασία της κατώτατης διαστρωμάτωσης. Συνεπώς η ρύθμιση της ποσότητας DT_L είναι τέτοια που να μην επηρεάζει την λειτουργία του ελεγκτή. Η επιλογή των 70 °C ως η μέγιστη επιτρεπτή τιμή έχει γίνει με την αποδοχή ότι ο θερμαντήρας δεν μπορεί να εργαστεί ικανοποιητικά σε κατάσταση θερμικής παραγωγής χαμηλότερη από το μισό της μέγιστης δυνατής ισχύς του. Συνεπώς για

επιλογή μέγιστου φορτίου 10kW στον θερμαντήρα, με καθορισμένη παροχή μάζας 430kg/h και θερμοχωρητικότητα θερμικού μέσου $4.19\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ προκύπτει ότι η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας εξόδου από το θερμαντήρα και της θερμοκρασίας εισόδου στον θερμαντήρα δεν πρέπει να είναι λιγότερο από $10\text{ }^\circ\text{C}$. Επομένως εκλέγοντας 80°C την θερμοκρασία που έχει ο θερμαντήρας ως στόχο για το εξερχόμενο ρευστό προκύπτει ότι η θερμοκρασία εισόδου και συνεπώς η θερμοκρασία της κατώτατης διαστρωμάτωσης της δεξαμενής δεν μπορεί να είναι πάνω από 70°C

Οι συνδέσεις των συστατικών στοιχείων με τις μεταβλητές εισόδου του διαφορικού ελεγκτή φαίνονται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 5-18: Σύνδεση εισόδων διαφορικού ελεγκτή δεξαμενής αδράνειας TYPE2b-3

5.3.8 Στοιχείο συνάρτησης θερμοκρασιακού στόχου αδράνειας (Equa-MANAGER)

Σε αυτό το συστατικό στοιχείο ενσωματώνεται η ρύθμιση του θερμοκρασιακού στόχου για την πάνω διαστρωμάτωση στην δεξαμενή αδράνειας που χρησιμοποιείται από τον διαφορικό ελεγκτή μέσω της σύνδεσης με τη μεταβλητή του T_h .

Η θερμοκρασία στόχος για την άνω διαστρωμάτωση δίδεται από τη σχέση:

$$T_{\text{target}} = \max(45, \max(T_{\text{target_isogio}}, T_{\text{target_sofita}})) + DT_{\text{extra}} \quad [11]$$

Όπου $T_{\text{target_isogio}}$ είναι ο θερμοκρασιακός στόχος του νερού προσαγωγής στο θερμικό κύκλωμα του ισογείου, $T_{\text{target_sofita}}$ είναι ο θερμοκρασιακός στόχος του νερού προσαγωγής στο θερμικό κύκλωμα της σοφίτας και DT_{extra} μια προσαύξηση διαχειριζόμενη από το χρήστη προς το παρόν ίση με 10 °C.

Συνεπώς ο Equa-MANAGER δίνει στον διαφορικό ελεγκτή την μέγιστη από τις απαιτούμενες θερμοκρασίες των επιμέρους θερμικών κυκλωμάτων προσαυξημένη κατά την ποσότητα DT_{extra} για να χρησιμοποιηθεί ως η ελάχιστη επιτρεπτή θερμοκρασία στην ανώτατη διαστρωμάτωση της δεξαμενής αδράνειας.

5.3.9 Στοιχεία συναρτήσεων συλλεκτών ροών (Collector hot – Collector cold)

Αυτά τα δύο συστατικά στοιχεία αποτελούν παθητικές θέσεις διανομής και μείξης των θερμικών κυκλωμάτων. Η δομή των περιεχόμενων εξισώσεων στηρίζεται στα ισοζύγια ροών που υπάρχουν στους συλλέκτες, δηλαδή των ροών μάζας και θερμικής ενέργειας.

$$M_{\text{dot}_{all}} = M_{\text{dot}_{ZNX}} + M_{\text{dot}_{\text{ΙΣΟΓΕΙΟΥ}}} + M_{\text{dot}_{\text{ΣΟΦΙΤΑΣ}}} \quad [12]$$

$$M_{\text{dot}_{all}} \cdot T_{\text{all}} = M_{\text{dot}_{ZNX}} \cdot T_{ZNX} + M_{\text{dot}_{\text{ΙΣΟΓΕΙΟΥ}}} \cdot T_{\text{ΙΣΟΓΕΙΟΥ}} + M_{\text{dot}_{\text{ΣΟΦΙΤΑΣ}}} \cdot T_{\text{ΣΟΦΙΤΑΣ}} \quad [13]$$

5.3.10 Στοιχείο κυκλοφορητή ZNX (TYPE114-4)

Ο σκοπός αυτού του στοιχείου είναι η κυκλοφορία του θερμικού μέσου στον πάνω εσωτερικό σπειροειδή εναλλάκτη της δεξαμενής Z.N.X. λαμβάνοντας εντολή ενεργοποίησης από διαφορικό θερμοστάτη. Πρόκειται για το ίδιο είδος συστατικού στοιχείου με αυτό που χρησιμοποιήθηκε για την φόρτιση της δεξαμενής αδράνειας (TYPE114).

Η τιμή σταθερής παροχής νερού που εισάγεται στις παραμέτρους του μοντέλου βασίζεται στους ακόλουθους συλλογισμούς:

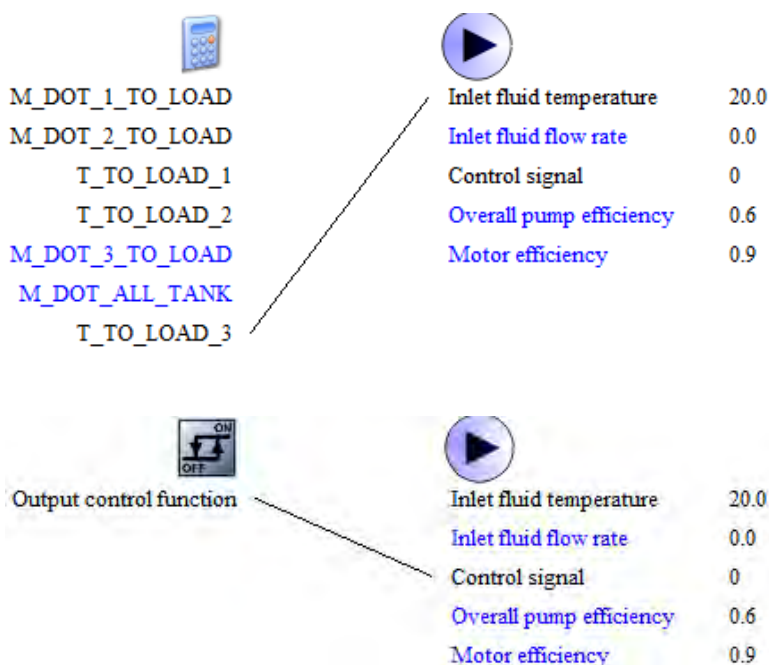
- Χρειάζεται να θερμαίνεται νερό από το δημόσιο δίκτυο με μια μέση θερμοκρασία περίπου 10 °C σε μια θερμοκρασία περίπου 50 °C.
- Το κτήριο αυτό και οι ένοικοί του χρειάζονται μια δεξαμενή ZNX περίπου 300lt.
- Η θέρμανση της δεξαμενής θα πρέπει να γίνεται σε περίπου 30 min

Επομένως ο ρυθμός θερμικής ενέργειας που θα πρέπει να μπορεί να προσδοθεί στη δεξαμενή είναι περίπου 27.9 kW [αφού $300 \text{ kg} / (30 \text{ min} \times 60 \text{ sec/min}) \times 4.19 \text{ kJ/Kg.K} \times (50-10) \text{ }^\circ\text{C} = 27.9 \text{ kJ/s}$]. Η δεξαμενή ZNX που έχει επιλεγεί έχει άνω θερμικό εσωτερικό εναλλάκτη 22.5 kW για παροχή 394.2 lt/h. Επιλέγοντας για τις ανάγκες της προσομοίωσης τέτοια παροχή υπήρχε ταχύτατη θέρμανση του πάνω και μέσου μέρους της δεξαμενής με συνέπεια με το που ενεργοποιούνταν ο κυκλοφορητής να σβήνει πολύ γρήγορα με την εντολή που παίρνει από τον διαφορικό θερμοστάτη (Κατάσταση OFF όταν η θερμοκρασία της δεξαμενής στο μέσο της φθάσει τους 50 βαθμούς)

Έχοντας υπόψη ότι ο άνω εναλλάκτης καλύπτει περίπου το πάνω μισό τμήμα της δεξαμενής Z.N.X. θεωρήθηκε λογικό και η παροχή στον κυκλοφορητή σχεδόν να

υποδιπλασιαστεί. Επιλέχθηκε λοιπόν παροχή 150 kg/h όπου έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα με ομαλή λειτουργία.

Οι παράμετροι εισόδου φαίνονται στην επόμενη εικόνα. Η πρώτη αφορά την θερμοκρασία του θερμικού μέσου που υπάρχει στον συλλέκτη προσαγωγής (που είναι ίδια με τη θερμοκρασία του θερμικού μέσου που εξέρχεται από την δεξαμενή αδράνειας για την κάλυψη του συνολικού φορτίου. Η δεύτερη αφορά το σήμα από τον διαφορικό θερμοστάτη που εποπτεύει την δεξαμενή ZNX.



Εικόνα 5-19: Σύνδεση εισόδων στοιχείου κυκλοφορητή ZNX (TYPE114-4)

5.3.11 Στοιχείο διαφορικού ελεγκτή ZNX (TYPE2b)

Το μοντέλο αυτού του στοιχείου είναι το ίδιο με αυτό του διαφορικού θερμοστάτη που εποπτεύει την δεξαμενή αδράνειας. Ο σκοπός του στην παρούσα θέση είναι η παρακολούθηση θερμοκρασιών στο πάνω και μέσο μέρος της δεξαμενής ZNX. Συγκεκριμένα όταν η θερμοκρασία στο πάνω μέρος της δεξαμενής είναι 5°C λιγότερο από 50°C τότε

παράγεται σήμα μονάδας και ενεργοποιείται ο κυκλοφορητής. Για το κλείσιμο του κυκλοφορητή επιλέχθηκε ο θερμικός έλεγχος στην μέση περίπου της δεξαμενής ZNX, δηλαδή μεταξύ του εναλλάκτη που είναι σε επικοινωνία με τη δεξαμενή αδράνειας και του εναλλάκτη που είναι σε επικοινωνία με τον ηλιακό συλλέκτη). Όταν δηλαδή η θερμοκρασία στη μέση περίπου της δεξαμενής ZNX φθάσει του 50°C παράγεται σήμα 0 και σβήνει ο κυκλοφορητής για το ZNX.

Η σύνδεση των παραμέτρων εισόδου στον διαφορικό ελεγκτή για το ZNX φαίνεται, για πρακτικούς λόγους σε μορφή πίνακα, στην επόμενη εικόνα.

| | | | |
|---|--------------------------|---|----------------------------|
| | TYPE60d | = | TYPE2b |
| | | | All |
| 1 | Tank temperature - top | = | Lower input temperature TI |
| 2 | Temperature of node 1+-1 | = | Monitoring temperature Tin |

Εικόνα 5-20: Σύνδεση εισόδων στοιχείου διαφορικού ελεγκτή ZNX (TYPE2b)

5.3.12 Στοιχείο δεξαμενής ZNX (TYPE60d)

Ο σκοπός του στοιχείου αυτού είναι η αποθήκευση ZNX σε δεξαμενή η οποία να ενσωματώνει εσωτερικούς εναλλάκτες για την συνεργασία της με την δεξαμενή αδράνειας και τον ηλιακό συλλέκτη. Πολλές από τις μεταβλητές παραμέτρους έχουν ληφθεί από τεχνικές προδιαγραφές εμπορικής δεξαμενής καθώς το στοιχείο TYPE60d απαιτεί πληροφορίες όπως πλήθος και ακριβή ύψη εισόδου και εξόδου παροχών, τεχνικά χαρακτηριστικά εσωτερικών εναλλακτών κ.α. Υπάρχουν πολλά κοινά με το απλούστερο στοιχείο που επιλέχθηκε για την περιγραφή της δεξαμενής αδράνειας (TYPE4) όπως είναι η επιλογή από τον χρήστη του πλήθους των επιπέδων διαστρωμάτωσης, του συντελεστή

θερμικών απωλειών κ.α. Όσο αφορά τον συντελεστή θερμικών απωλειών αυτός επιλέχθηκε ίδιος με αυτόν της δεξαμενής αδράνειας.

Ο όγκος της δεξαμενής εκλέχθηκε λαμβάνοντας πληροφορίες από Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. που αφορούν την κατανάλωση ΖΝΧ ανά άτομο. Έτσι θεωρώντας ότι στο συγκεκριμένο κτήριο διαμένουν 4 άτομα ο όγκος του νερού που απαιτείται ημερησίως είναι περίπου 240lt. Επειδή λοιπόν το ΖΝΧ υποστηρίζεται από τον ηλιακό συλλέκτη επιλέχθηκε αρχικά δεξαμενή ονομαστικής τιμής 300lt, με ωφέλιμο όγκο 270lt.

Για την λειτουργία των εναλλακτών απαιτούνται από το μοντέλο και οι θερμοχωρητικότητες των θερμικών μέσων όπου για τον πάνω εναλλάκτη έχουμε νερό και για τον κάτω επιλέχθηκε διάλυμα προπυλενογλυκόλης με περιεκτικότητα 30% κ. ο.

Οι συνδέσεις των μεταβλητών εισόδου γίνονται από τον κυκλοφορητή ΖΝΧ όσο αφορά την θερμοκρασία και την παροχή που εισέρχεται στον άνω θερμικό εναλλάκτη, από τον κυκλοφορητή του ηλιακού όσο αφορά την θερμοκρασία και την παροχή που εισέρχεται στον κάτω εσωτερικό θερμικό εναλλάκτη της δεξαμενής και από την θερμικά ελεγχόμενη τρίοδη βάννα από την οποία διέρχεται το κρύο νερό του δικτύου ύδρευσης πριν εισέλθει στην δεξαμενή ΖΝΧ.

Οι συνδέσεις των μεταβλητών εισόδου φαίνονται στην επόμενη εικόνα.

| | Type114-4 | = | TYPE60d |
|---|--------------------------|---|---|
| | | | All |
| 1 | Outlet flow rate | = | Flow rate for heat exchanger -1 |
| 2 | Outlet fluid temperature | = | Inlet temperature for heat exchanger -1 |

| | | | |
|---|--------------------|---|---|
| | Type1b | = | TYPE60d |
| | All | | |
| 1 | Outlet flowrate | = | Flow rate for heat exchanger -2 |
| 2 | Outlet temperature | = | Inlet temperature for heat exchanger -2 |

| | | | |
|---|-------------------------|---|------------------------|
| | TYPE11b-3 | = | TYPE60d |
| | All | | |
| 1 | Flowrate at outlet 1 | = | Flow rate at inlet 1 |
| 2 | Temperature at outlet 1 | = | Temperature at inlet 1 |

Εικόνα 5-21: Σύνδεση εισόδων στοιχείου δεξαμενής ZNX (TYPE60d)

5.3.13 Στοιχείο ηλιακού συλλέκτη (TYPE1b)

Αυτό το στοιχείο μοντελοποιεί την θερμική απόδοση ενός επίπεδου ηλιακού συλλέκτη. Η επιφάνεια των ηλιακών συλλεκτών μπορεί να εισαχθεί στο μοντέλο είτε με τους ηλιακούς συλλέκτες συνδεδεμένους σε σειρά είτε παράλληλα. Ο χρήστης πρέπει να εισάγει χαρακτηριστικές τιμές του εξεταζόμενου συλλέκτη, δηλαδή παραμέτρους απόδοσης που έχουν προκύψει από ειδικούς ελέγχους σε σχέση με την ποσότητα του λόγου [Θερμοκρασία θερμικού υγρού – Θερμοκρασία περιβάλλοντος] / Ηλιακή ακτινοβολία. Η θερμοκρασία του θερμικού μέσου μπορεί να είναι η θερμοκρασία εισόδου του θερμικού μέσου στον ηλιακό συλλέκτη, η μέση θερμοκρασία του ή η θερμοκρασία εξόδου.

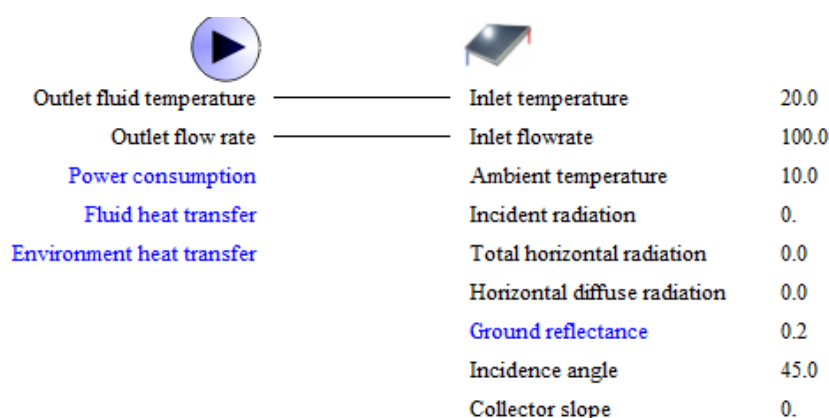
Οι μεταβλητές παραμέτρων που εισήχθησαν στο μοντέλο λήφθηκαν από τεχνικά χαρακτηριστικά ηλιακού συλλέκτη ελεγμένου από το Ελληνικό κέντρο ερευνών Δημόκριτος.

Επιλέχθηκε δηλαδή παροχή στο θερμικό μέσο $0.02 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ για κάθε τετραγωνικό μέτρο συλλεκτικής επιφάνειας και συντελεστές απόδοσης που ενσωματώνονται στην ακόλουθη

χαρακτηριστική εξίσωση: $n = 0.77 - 4.51[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}] \times \Delta T/G[\text{K}\cdot\text{W}^{-1}\cdot\text{m}^2] - 0.001[\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-2}] \times \Delta T^2/G[\text{K}^2\cdot\text{W}^{-1}\cdot\text{m}^2]$.

Λοιπές μεταβλητές παραμέτρων που επιλέχθηκαν είναι η συνολική επιφάνεια των συλλεκτών (αρχικά 3 m²) και η θερμοχωρητικότητα του διαλύματος προπυλενογλυκόλης ίση με 3.915 kJ.kg⁻¹.K.

Οι μεταβλητές εισόδου που φαίνονται στην επόμενη εικόνα αφορούν την θερμοκρασία και την παροχή του θερμικού μέσου που λαμβάνεται από τον κυκλοφορητή του ηλιακού ενώ οι μεταβλητές εισόδου που αφορούν την μετεωρολογικά δεδομένα θα παρουσιαστούν στην παράγραφο σύνδεσης των τμημάτων.



Εικόνα 5-22: Σύνδεση εισόδων στοιχείου ηλιακού συλλέκτη (TYPE1b)

5.3.14 Στοιχείο Κυκλοφορητή Ηλιακού (TYPE114-5)

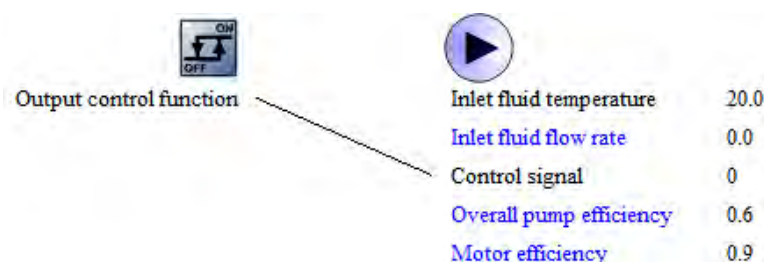
Ο κυκλοφορητής του θερμικού μέσου στον ηλιακό συλλέκτη επιλέχθηκε να είναι το ίδιο συστατικό στοιχείο με τους άλλους δύο κυκλοφορητές, δηλαδή σταθερής παροχής και εξωτερικά ελεγχόμενος από σήμα διαφορικού ελεγκτή.

Οι παράμετροι απόδοσης και θερμικής συμπεριφοράς του κυκλοφορητή δεν λαμβάνονται υπόψη στο εξεταζόμενο ενεργειακό σύστημα.

Η παροχή που επιλέχθηκε είναι σε εξάρτηση με τη ροή που πρέπει να διέρχεται ανά τετραγωνικό παράλληλης σύνδεσης ηλιακού συλλέκτη. Επιλέγοντας δηλαδή 3 τετραγωνικά μέτρα ηλιακό συλλέκτη θα πρέπει η παροχή να είναι $3 \times 0.02 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1} = 0.06 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$. (Εφόσον πρόκειται για παράλληλη σύνδεση ηλιακών συλλεκτών)

Οι συνδέσεις των μεταβλητών εισόδου φαίνονται στην επόμενη εικόνα. Αφορούν την επιστροφή της ροής από τον κάτω εναλλάκτη της δεξαμενής ZNX και το σήμα ελέγχου από τον διαφορικό ελεγκτή.

| | | | |
|---|--|---|-------------------------|
| | TYPE60d | = | Type114-5 |
| | All | | |
| 1 | Temperature of fluid exiting heat exchanger -2 | = | Inlet fluid temperature |



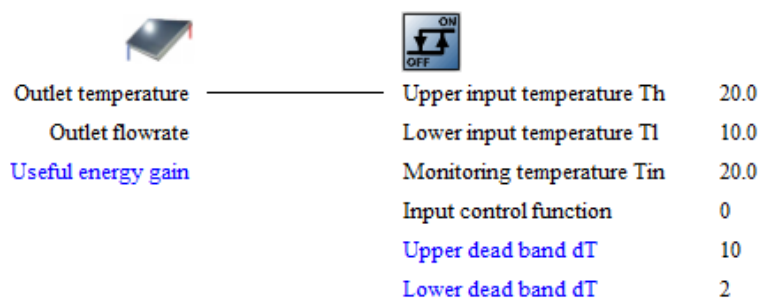
Εικόνα 5-23: Σύνδεση εισόδων στοιχείου ηλιακού κυκλοφορητή (TYPE114-5)

5.3.15 Στοιχείο διαφορικού ελεγκτή ηλιακού (TYPE2b-2)

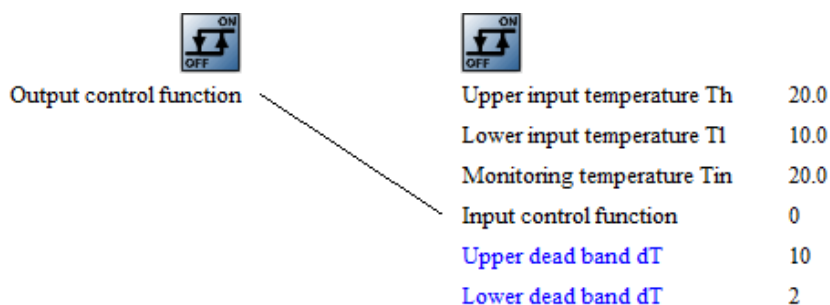
Σκοπός αυτού του στοιχείου είναι ο έλεγχος του κυκλοφορητή του θερμικού μέσου του ηλιακού. Το συστατικό στοιχείο που επιλέχθηκε είναι ο διαφορικός ελεγκτής που έχει χρησιμοποιηθεί ξανά. Η παραμετροποίηση του συστατικού στοιχείου έχει γίνει με τέτοιο τρόπο ώστε το σήμα του ελεγκτή να γίνεται μονάδα για να ενεργοποιήσει τον κυκλοφορητή όταν η θερμοκρασία του θερμικού μέσου στην έξοδο του ηλιακού συλλέκτη είναι $10 \text{ }^\circ\text{C}$ μεγαλύτερη από την θερμοκρασία του νερού στην βάση της δεξαμενής ZNX και να γίνεται

μηδέν όταν αυτή η διαφορά γίνεται μικρότερη από 2 °C. Επιπλέον παρακολουθείται στο μοντέλο και η θερμοκρασία στο πάνω μέρος της δεξαμενής ZNX ώστε αν αυτή υπερβεί τους 100 °C αυτόματα ο ελεγκτής να μεταβαίνει στην κατάσταση μηδέν.

Οι συνδέσεις των μεταβλητών εισόδου γίνονται με τον ηλιακό συλλέκτη για την λήψη της υψηλής θερμοκρασίας του θερμικού μέσου, με την δεξαμενή ZNX για την λήψη των θερμοκρασιών στην βάση και στο ύψος του πάνω μέρους του ηλιακού εναλλάκτη της δεξαμενής και με τον ίδιο τον διαφορικό ελεγκτή για τη λήψη της κατάστασης του ελεγκτή στο προηγούμενο βήμα της προσομοίωσης.

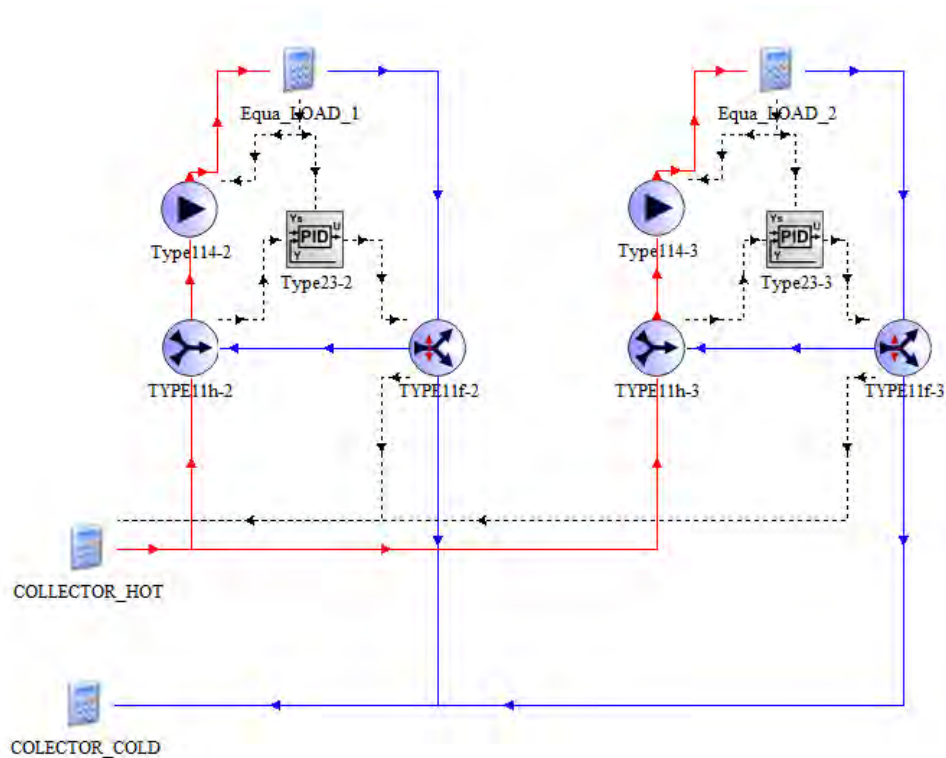


| | TYPE60d | = | TYPE2b-2 |
|---|---------------------------|---|----------------------------|
| | All | | |
| 1 | Tank temperature - bottom | = | Lower input temperature Tl |
| 2 | Temperature of node 1+-2 | = | Monitoring temperature Tin |



Εικόνα 5-24: Σύνδεση εισόδων στοιχείου ηλιακού διαφορικού ελεγκτή (TYPE2b-2)

5.4 Τμήμα Φορτίων Χώρου



Εικόνα 5-25: Τμήμα θερμικών φορτίων χώρου

Σε αυτό το τμήμα εξετάζονται τα στοιχεία που συνθέτουν την λειτουργία την θερμικής διανομής στις δύο θερμικές ζώνες του κτηρίου, το ισόγειο και τη σοφίτα. Και οι δύο ζώνες έχουν την ίδια συστατική δομή. Διαφορές υπάρχουν στην εισαγωγή κάποιων μεταβλητών παραμέτρων όπως, η παροχή του θερμικού μέσου που ορίζεται από τον αντίστοιχο για κάθε κύκλωμα κυκλοφορητή και η επιθυμητή θερμοκρασία χώρου. Η επιθυμητή θερμοκρασία χώρου ή αλλιώς θερμοκρασιακός στόχος ζώνης ορίζεται για το ισόγειο 20 °C και για τη σοφίτα 22 °C. Η κυριότερη διαφορά στις δύο αυτές ζώνες κυκλωμάτων είναι η επικοινωνία που έχουν με το συστατικό στοιχείο του κτηρίου, δηλαδή το πρώτο κύκλωμα αλληλεπιδρά με την θερμική ζώνη και κατ' επέκταση με την θερμοκρασία του ισογείου και το δεύτερο

κύκλωμα αλληλεπιδρά με την θερμική ζώνη της σοφίτας και συνεπώς με την θερμοκρασία της.

Σε κάθε ένα από τα δύο κυκλώματα έχει ενσωματωθεί by-pass ώστε στο φορτίο να υπάρχει σταθερή παροχή οριζόμενη από τον κυκλοφορητή αλλά θερμοκρασιακά ελεγχόμενη από ενεργή τρίοδη βάνα διανομής. Η τρίοδη βάνα οδηγείται από PID ελεγκτή και συνεργάζεται με σταθερό μείκτη για τον σχηματισμό του by-pass ώστε όταν χρειάζεται ποσότητα νερού από το κύκλωμα του φορτίου χώρου να παρακάμπτει μερικώς ή πλήρως μέσω του by-pass την δεξαμενή αδράνειας ώστε να επιστρέφει στη θερμική ζώνη στην επιθυμητή θερμοκρασία.

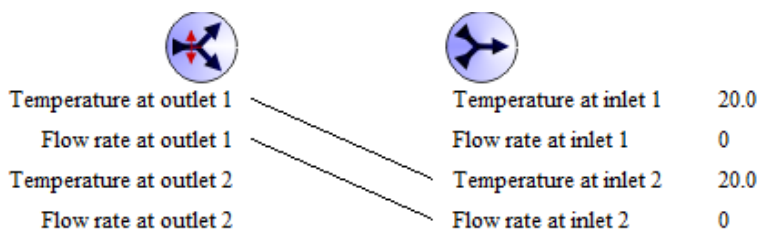
5.4.1 Στοιχεία σταθερού μείκτη για τα θερμικά κυκλώματα χώρων (TYPE11h-2&3)

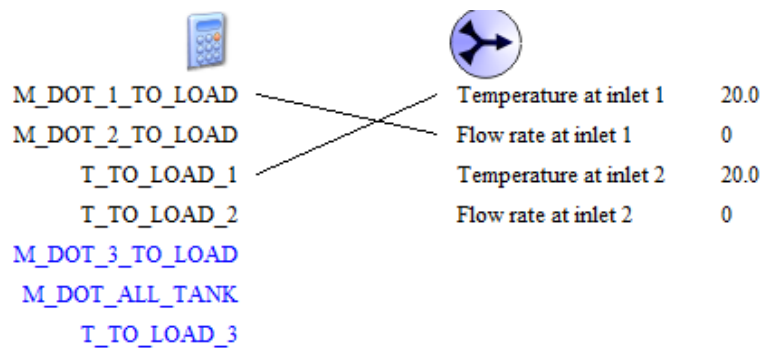
Τα στοιχεία του σταθερού μείκτη έχουν χρησιμοποιηθεί και στο by-pass στην φόρτιση της δεξαμενής αδράνειας.

Οι συνδέσεις των μεταβλητών εισόδου τους είναι με την συνεργαζόμενη ενεργή τρίοδη βάνα και τον συλλέκτη προσαγωγής, δηλαδή τον συλλέκτη που διανέμει το ζεστό νερό από το δοχείο αδράνειας προς τα δύο θερμικά κυκλώματα και το ζεστό νερό χρήσης.

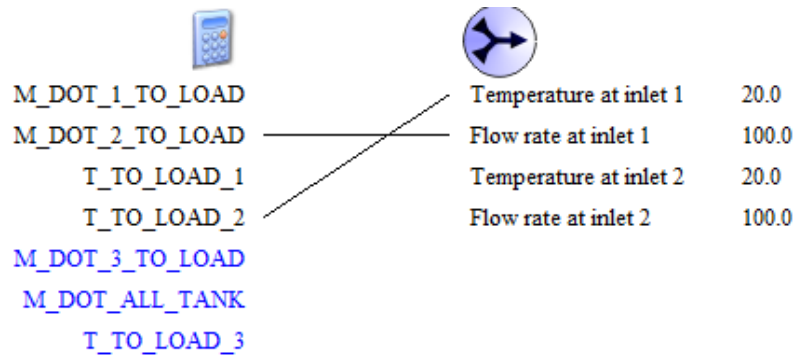
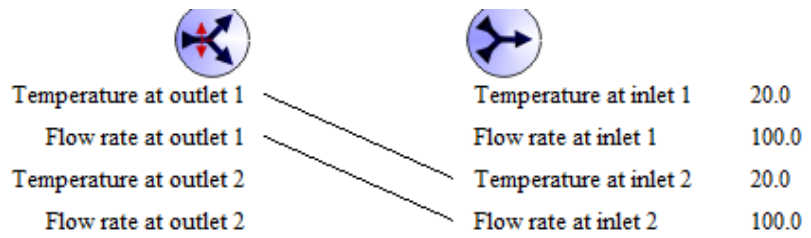
Στην επόμενη εικόνα φαίνονται οι συνδέσεις των μεταβλητών εισόδου για τον κάθε μείκτη.

Κύκλωμα ισογείου





Κύκλωμα σοφίτας



Εικόνα 5-26: Σύνδεση εισόδων βάνας μείξης θερμικών κυκλωμάτων (TYPE11h-2&3)

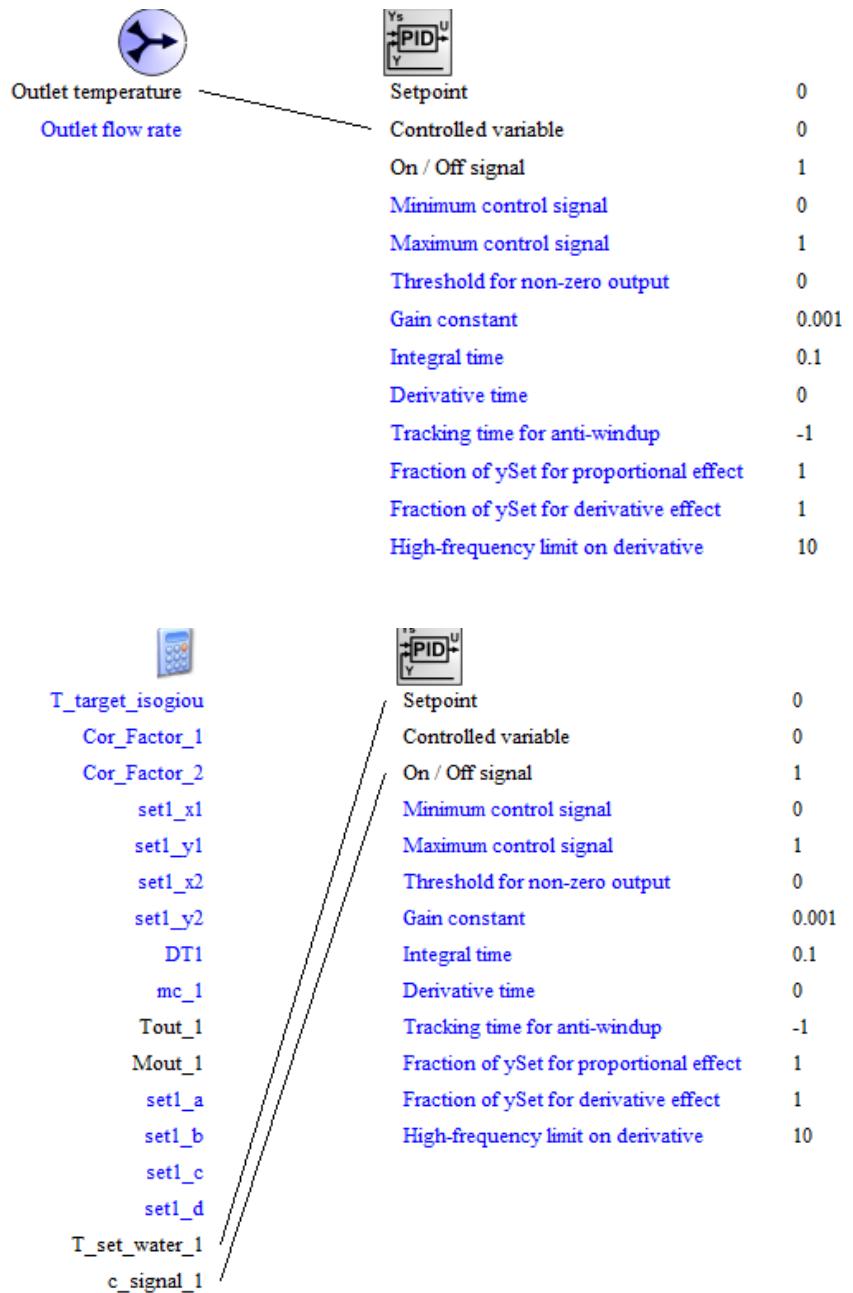
5.4.2 Συστατικά στοιχεία ελεγκτή PID για τα θερμικά κυκλώματα (TYPE23-2&3)

Ο σκοπός αυτού του στοιχείου έχει σκοπό την παρακολούθηση της θερμοκρασίας του νερού προσαγωγής ώστε παράγοντας το κατάλληλο σήμα να επιδρά στη ρύθμιση της θέσης της ενεργής τρίοδης βάνας και να ρυθμίζει την θερμοκρασία που προκύπτει στην προσαγωγή με το by-pass. Ο θερμοκρασιακός στόχος για το νερό προσαγωγής σε κάθε κύκλωμα ζώνης προκύπτει από τα αντίστοιχα στοιχεία εσωτερικής συνάρτησης Equa_LOAD_1 και

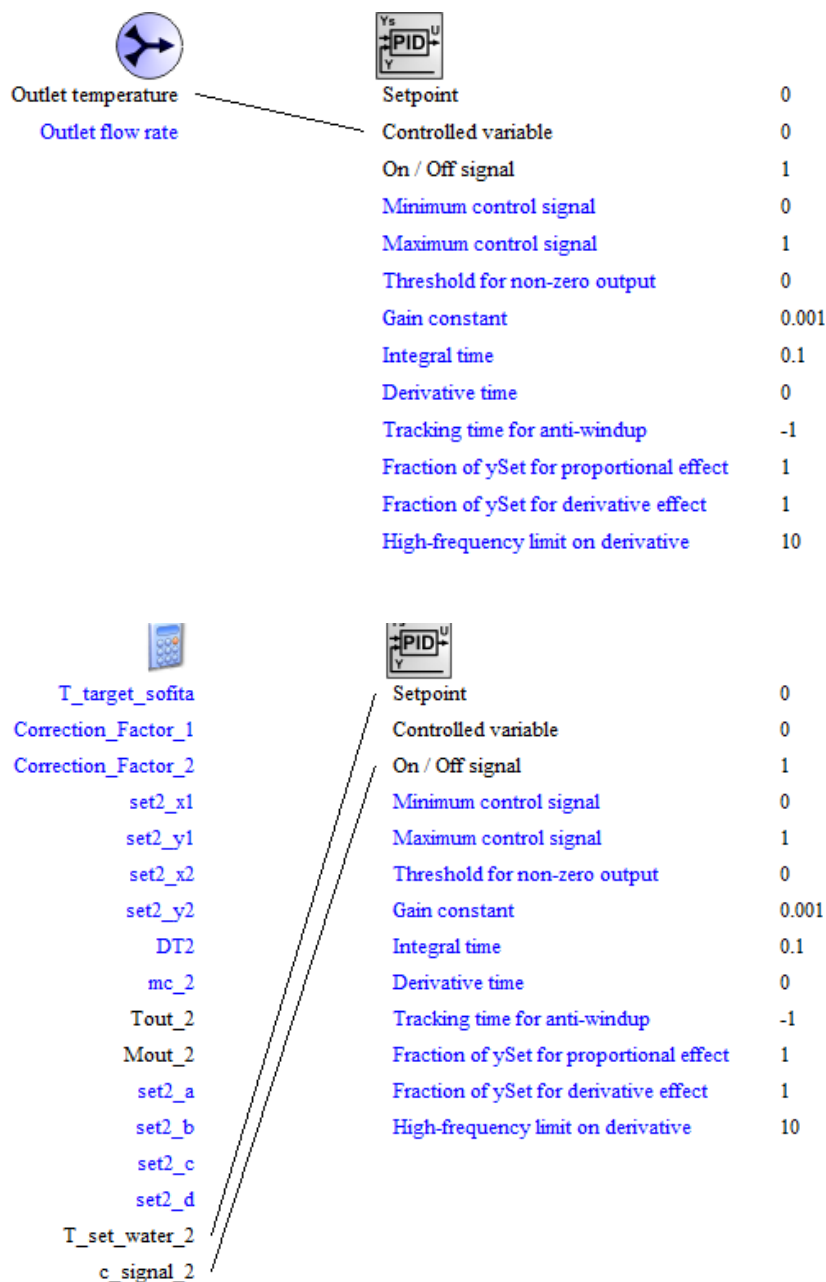
Equa_LOAD_2 το περιεχόμενο των οποίων θα παρουσιαστεί αναλυτικά στην σχετική παράγραφο περιγραφής αυτών των στοιχείων.

Οι συνδέσεις των μεταβλητών εισαγωγής γίνεται λοιπόν από τα στοιχεία της σταθερής βάνας μείξης και της εσωτερικής συνάρτησης. Αυτές οι συνδέσεις φαίνονται στην επόμενη εικόνα για το κάθε κύκλωμα ζώνης.

Κύκλωμα ισογείου



Κύκλωμα σοφίτας



Εικόνα 5-27: Σύνδεση εισόδων ελεγκτή PID θερμικών κυκλωμάτων (TYPE23-2&3)

5.4.3 Στοιχεία τρίοδης βάνας διανομής για τα θερμικά κυκλώματα (TYPE11f-2&3)

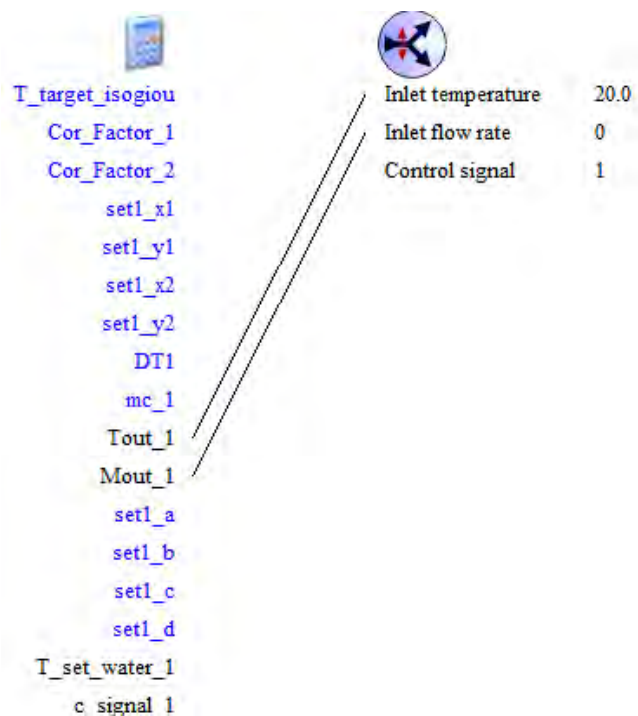
Το είδος αυτό του συστατικού έχει περιγραφεί και στο τμήμα της θερμικής φόρτισης του δοχείου αδράνειας από τον θερμαντήρα. Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στην ενσωμάτωση της τρίοδης αυτής βάνας στα θερμικά κυκλώματα ώστε όταν ξεκινά η λειτουργία του ελεγκτή

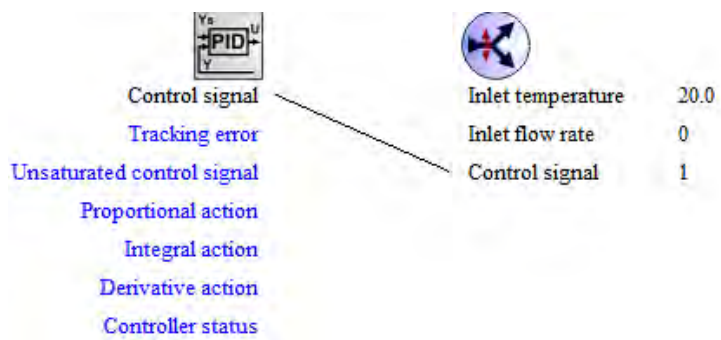
PID, δηλαδή όταν αρχικά το σήμα ελέγχου είναι μηδέν, η τρίοδη βάνα διανομής να είναι σε αρχική θέση τέτοια ώστε να γίνεται 100% by-pass και συνεπώς να μην υπάρχει ο κίνδυνος να σταλεί νερό προσαγωγής μεγάλης θερμοκρασίας κατά την έναρξη λειτουργίας την θερμικής ζώνης.

Οι μεταβλητές εισόδου είναι από το συστατικό στοιχείο της εσωτερικής συνάρτησης του φορτίου (LOAD_1 και LOAD_2) όπου λαμβάνεται η θερμοκρασία του νερού και η παροχή που επιστρέφει από τον θερμικό εναλλάκτη του κτηρίου και από τον ελεγκτή PID που λαμβάνεται το σήμα οδήγησης της τρίοδης βάνας διανομής.

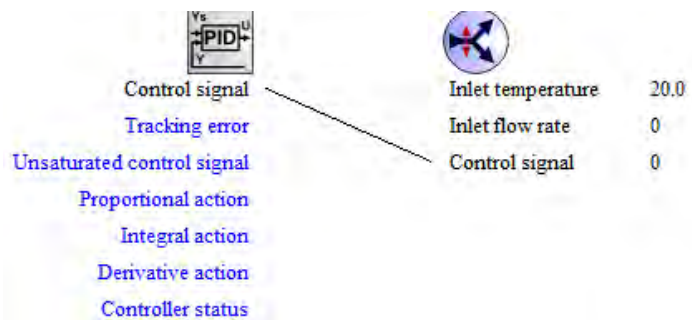
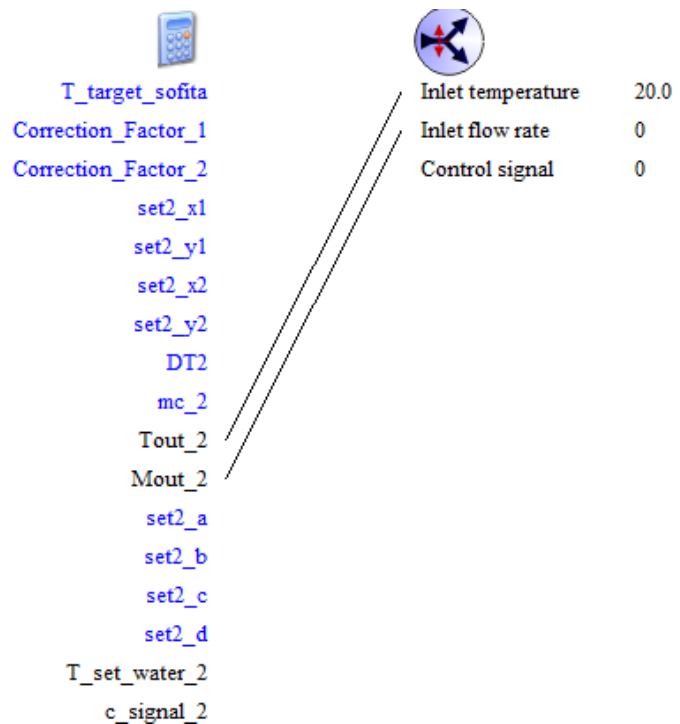
Στην επόμενη εικόνα φαίνονται οι σχετικές συνδέσεις εισαγωγής.

Κύκλωμα ισογείου





Κύκλωμα σοφίτας



Εικόνα 5-28: Σύνδεση εισόδων τρίοδης βάνας θερμικών κυκλωμάτων (TYPE11f-2&3)

5.4.4 Στοιχεία Συνάρτησης Φορτίων (Equa_LOAD1&2)

Ο σκοπός αυτών των στοιχείων είναι αφενός ο υπολογισμός της θερμοκρασίας που πρέπει να έχει το νερό προσαγωγής στο θερμικό κύκλωμα ισογείου και σοφίτας ώστε να είναι δυνατή η ομαλή κάλυψη των θερμικών φορτίων και αφετέρου ο υπολογισμός της θερμοκρασίας του νερού που επιστρέφει από το κτήριο μετά την πρόσδοση θερμότητας σε αυτό.

Ο υπολογισμός της επιθυμητής θερμοκρασίας προσαγωγής προκύπτει σύμφωνα με την ακόλουθη λογική σειρά σκέψεων και περιορισμών:

- Η θερμοκρασία προσαγωγής είναι σχεδόν γραμμική συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος.
- Οι συντελεστές της γραμμικής σχέσης (κλίση και μετατόπιση) επιλέγονται από το χρήστη με την εισαγωγή δύο χαρακτηριστικών ζευγών τιμών.
- Η γραμμική σχέση δεν γνωρίζει τις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν στις θερμικές ζώνες συνεπώς απαιτείται και ενσωμάτωση (εξάρτηση) της θερμοκρασίας χώρου για τον υπολογισμό (διόρθωση) της θερμοκρασίας προσαγωγής. Για αυτό χρησιμοποιείται ένας πρώτος όρος διόρθωσης.
- Ο πρώτος όρος διόρθωσης είναι ανάλογος της θερμοκρασιακής διαφοράς επιθυμητής θερμοκρασίας χώρου από την πραγματική πολλαπλασιασμένος με ακέραιο συντελεστή εκλεγμένο από το χρήστη. Η επιλογή της τιμής του συντελεστή είναι κρίσιμη για την ταχύτητα και την ακρίβεια με την οποία επιτυγχάνεται η βέλτιστη θερμοκρασία προσαγωγής.

- Για να μην γίνεται από το χρήστη επέμβαση στην γραμμική σχέση μέσω των δύο χαρακτηριστικών τιμών υπάρχει ένας δεύτερος όρος διόρθωσης όπου προκαλεί παράλληλη μετατόπιση της γραμμικής σχέσης.
- Ο δεύτερος αυτός όρος διόρθωσης αποτελείται από το γινόμενο αέριου συντελεστή που εισάγεται από το χρήστη με την σταθερή θερμοκρασιακή τιμή 2. Η τιμή 2 επιλέχθηκε ως βάση ελάχιστης θερμοκρασιακής διόρθωσης.
- Η θερμοκρασία προσαγωγής στα πραγματικά συστήματα θέρμανσης έχει νόημα όταν είναι μεγαλύτερη ή ίση από περίπου 25 °C. Επειδή στο εξεταζόμενο σύστημα δεν λαμβάνουμε υπόψη θερμικές απώλειες δικτύου ούτε ενεργειακές καταναλώσεις κυκλοφορητών επιλέγεται κατώτατη επιθυμητή θερμοκρασία προσαγωγής ίση με την επιθυμητή θερμοκρασία χώρου. Δηλαδή όταν από το μοντέλο της αντιστάθμισης παράγεται στόχος για την θερμοκρασία προσαγωγής μικρότερος από την επιθυμητή θερμοκρασία του χώρου τότε αυτό αναιρείται και υιοθετείται τιμή ίση με την επιθυμητή θερμοκρασία του χώρου.
- Αντίστοιχα υπάρχει και άνω περιορισμός ώστε για κάθε προκύπτουσα τιμή μεγαλύτερη από 80 °C αυτή αναιρείται και υιοθετείται η τιμή των 80 °C.

Ο υπολογισμός της θερμοκρασίας επιστροφής του νερού από το κτήριο προκύπτει σύμφωνα με την ακόλουθη λογική σειρά και περιορισμούς:

- Το νερό επιστροφής έχει την θερμική ενέργεια του νερού προσαγωγής μείον την θερμική ενέργεια που δόθηκε στην θερμική ζώνη του κτηρίου.
- Η θερμική ενέργεια που δόθηκε στη θερμική ζώνη του κτηρίου είναι ποσότητα που εξαρτάται από την θερμοκρασιακή διαφορά της μέσης θερμοκρασίας νερού (προσαγωγής – επιστροφής) στον εναλλάκτη του κτηρίου από την

θερμοκρασίας ζώνης επί ένα συντελεστή θερμικής μεταφοράς. Ο συντελεστής μεταφοράς έχει μονάδες $\text{kJ}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ και η επιλογή του προκύπτει έχοντας υπόψη την μέγιστη θερμική ροή για την κάθε θερμική ζώνη. Αυτή η μέγιστη θερμική ροή έχει βρεθεί με την προσομοίωση που εκτελέστηκε έχοντας το κτήριο θερμαινόμενο με το εσωτερικό σύστημα θέρμανσης του TRNBuild. Για την περίπτωση του ισόγειου έχει προκύψει μέγιστη απαίτηση θερμικής ροής 4.66kW και για τη σοφίτα 2.16kW . Συνεπώς μετά από μια προσαύξηση περίπου 30% το σύστημα θέρμανσης θα πρέπει να μπορεί να αποδώσει περίπου 6kW (ή $21600\text{kJ}\cdot\text{h}^{-1}$) στο ισόγειο και 2.88kW (ή $10110\text{kJ}\cdot\text{h}^{-1}$) στο ισόγειο. Θεωρώντας μια μέση θερμοκρασία στον εναλλάκτη του κτηρίου $(80-60)^\circ\text{C} / 2 = 70^\circ\text{C}$ και για τη θερμική ζώνη 20°C προκύπτει θερμοκρασιακή διαφορά $(70 - 20)^\circ\text{C} = 50^\circ\text{C}$. Άρα διαιρώντας τις αναγκαίες θερμοροές με την θερμοκρασιακή διαφορά προκύπτει συντελεστής θερμικής συναλλαγής για το ισόγειο ίσος με $k_{\text{ισόγειο}}=432 \text{kJ}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ και για τη σοφίτα $k_{\text{σοφίτα}}=202 \text{kJ}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$.

- Ο υπολογισμός της παροχής προσαγωγής προκύπτει με τον προσεγγιστικό ακόλουθο συλλογισμό. Έστω ότι το νερό προσαγωγής μετά την διέλευση από τη θερμική ζώνη του κτηρίου έχει πτώση στη θερμοκρασία του περίπου $(80-60)^\circ\text{C} = 20^\circ\text{C}$. Τότε γνωρίζοντας την θερμοχωρητικότητα του νερού που είναι $4.19 \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ προκύπτει από τη σχέση $[\text{Θερμοροή}] = [\text{Θερμοχωρητικότητα}] \times [\text{Παροχή}] \times [\text{Θερμοκρασιακή διαφορά}]$ ότι η προσεγγιστική παροχή είναι για το ισόγειο $\dot{m}_{\text{ισόγειο}} = 201 \text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ και για τη σοφίτα $\dot{m}_{\text{σοφίτα}} = 94 \text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$.
- Επομένως η θερμοκρασία επιστροφής μπορεί να δοθεί από τη σχέση:

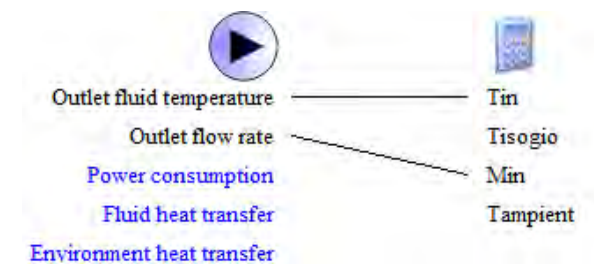
$$\dot{m} \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] \times c \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \right] \times (T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) [\text{K}] = k \left[\frac{\text{kJ}}{\text{h}\cdot\text{K}} \right] \times (T_{\text{mean}} - T_{\text{ζώνης}}) [\text{K}] \rightarrow$$

$$T_{out} = \left[1 - \frac{k}{m \times c + k/2} \right] * T_{in} + \frac{k}{m \times c + k/2} * T_{ζώνης}$$

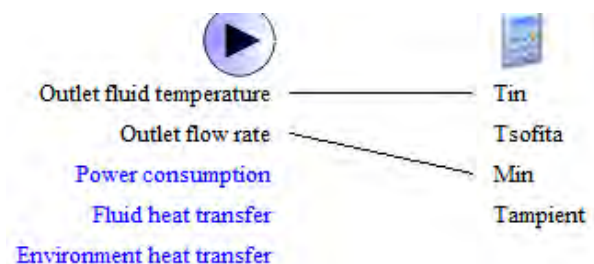
Πρόσθετα στις δύο παραπάνω τιμές υπολογίζεται και το σήμα ελέγχου ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης του θερμικού κυκλώματος. Συγκεκριμένα παράγεται σήμα ελέγχου μηδέν όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη από 30 °C ή/και όταν το σύστημα είναι στη θερινή περίοδο.

Οι συνδέσεις των μεταβλητών εισόδου εντός του τμήματος θερμικών κυκλωμάτων φαίνεται στην επόμενη εικόνα:

Κύκλωμα ισογείου



Κύκλωμα σοφίτας



Εικόνα 5-29: Σύνδεση εισόδων στοιχείων συναρτήσεων φορτίων χώρων

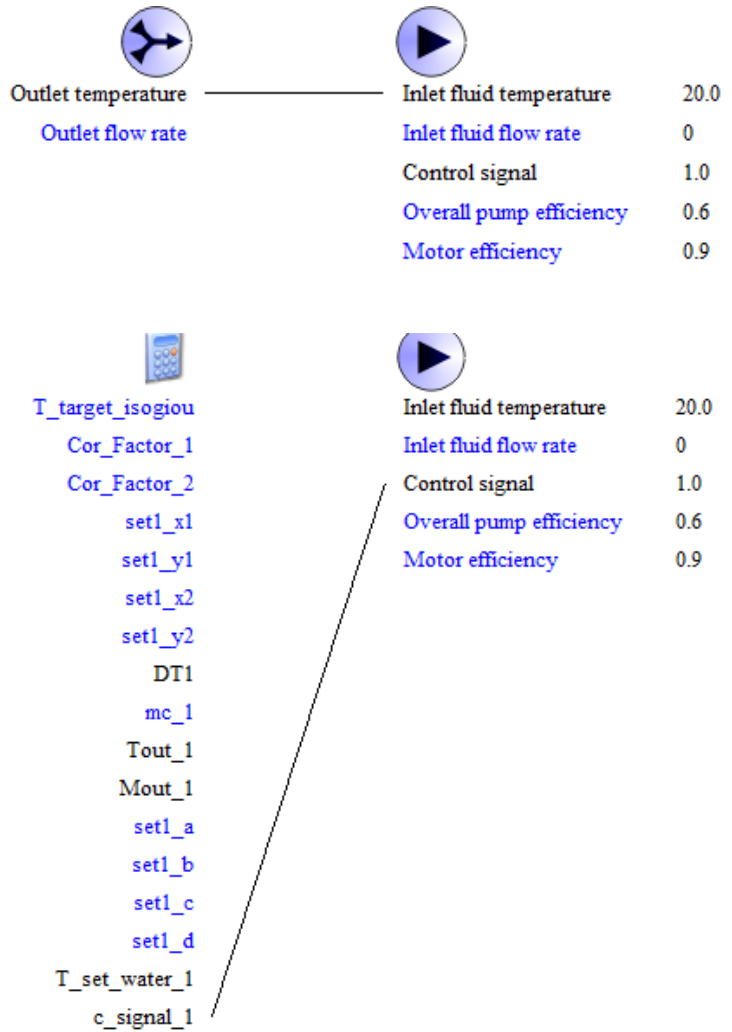
5.4.5 Στοιχεία κυκλοφορητών θερμικών κυκλωμάτων (TYPE114-2&3)

Ο σκοπός αυτών των στοιχείων είναι η σταθερή παροχή στην κάθε θερμική ζώνη. Τα στοιχεία αυτά είναι ίδια με τα υπόλοιπα στοιχεία κυκλοφορητών που έχουν περιγραφεί και η

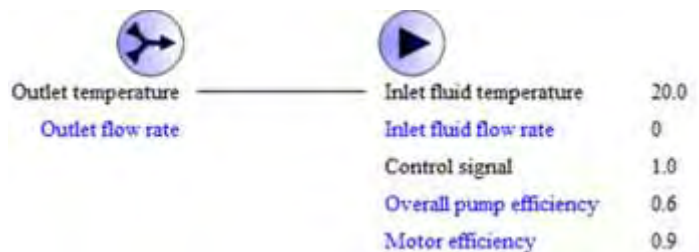
επιλογή της παραμέτρου παροχής βασίζεται στον συλλογισμό που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Η θερμικής συμπεριφορά των κυκλοφορητών δεν εξετάζεται.

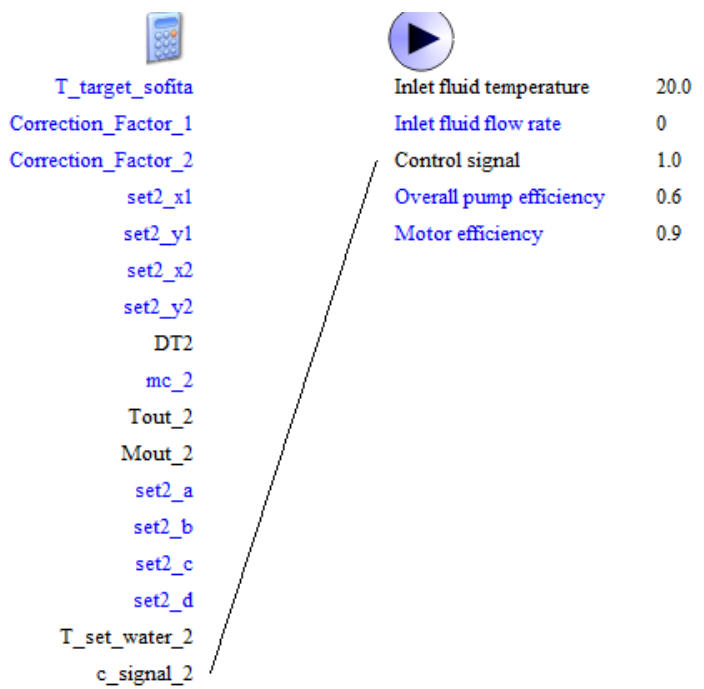
Οι συνδέσεις των μεταβλητών εισόδου φαίνονται στην επόμενη εικόνα.

Κύκλωμα ισογείου



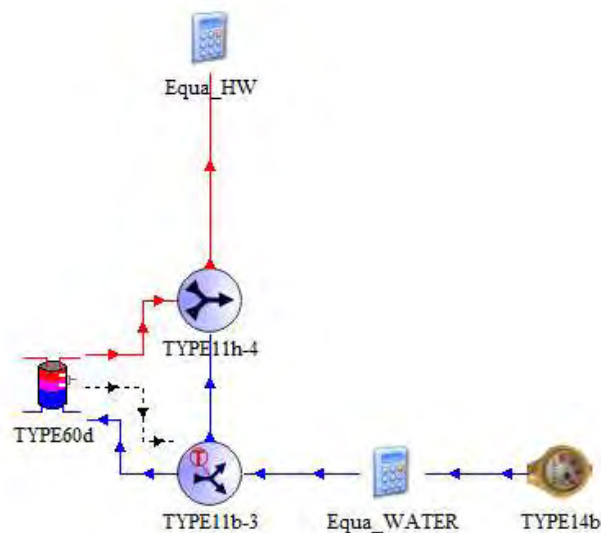
Κύκλωμα σοφίτας





Εικόνα 5-30: Σύνδεση εισόδων κυκλοφορητών θερμικών κυκλωμάτων (TYPE114-2&3)

5.5 Τμήμα Φορτίων Ζεστού Νερού Χρήσης



Εικόνα 5-31: Τμήμα φορτίων Ζεστού Νερού Χρήσης

Εξαιτίας της διακύμανσης της θερμοκρασίας στη δεξαμενή ZNX ενσωματώθηκε στο σχεδιασμό και μια ενεργή θερμική τρίοδη βάνα διανομής σε σκοπό μέσω διάταξης by-pass να οδηγείται προς χρήση μόνο νερό θερμοκρασίας 45 °C. Η τρίοδη βάνα συνεργάζεται με σταθερή βάνα μείξεως και εποπτεύοντας την θερμοκρασία στο νερό που εξέρχεται από τη δεξαμενή ρυθμίζει τη θέση της ώστε μέσω του by-pass να γίνεται μείξη με το κρύο νερό του δικτύου και να προσαρμόζεται η τελική θερμοκρασία του χρησιμοποιούμενου νερού.

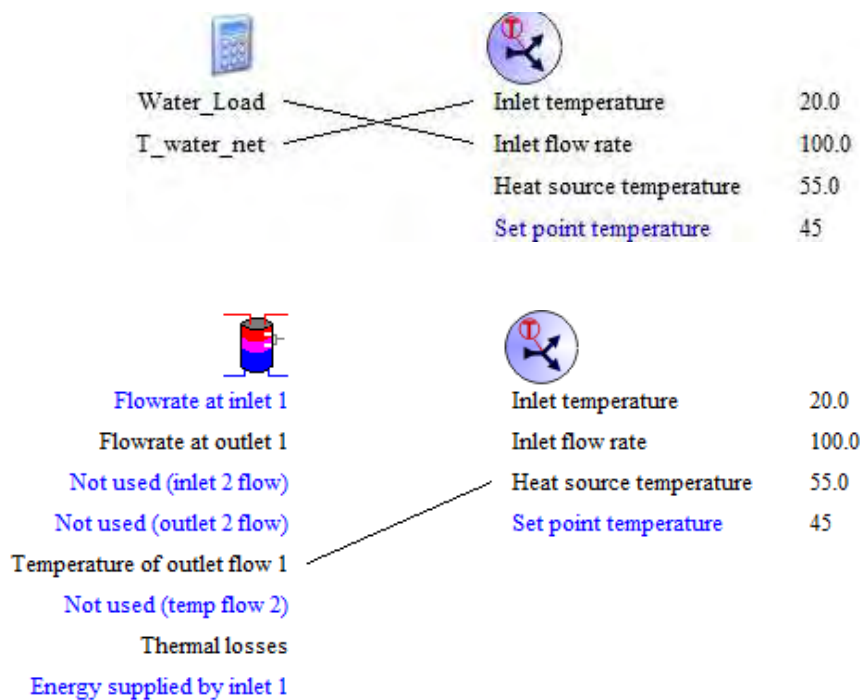
Το ZNX που λαμβάνεται από τη δεξαμενή είναι συναρτησιακά ελεγχόμενο από προφίλ που μπορεί να προσαρμοστεί στις ιδιαίτερες συνήθειες του χρήστη.

5.5.1 Στοιχείο θερμικά ελεγχόμενης τρίοδης βάνας διανομής (TYPE11b-3)

Το συστατικό αυτό στοιχείο αποτελεί μια τρίοδη ενεργή βάνα διανομής. Η ρύθμισή της γίνεται με την εποπτεία της θερμοκρασίας στο πάνω μέρος της δεξαμενής ZNX. Αναλυτικότερα όταν η θερμική αυτή βάνα παρατηρεί ότι η θερμοκρασία στο πάνω μέρος της δεξαμενής είναι περισσότερο από μια επιλεγμένη θερμοκρασία έστω 45 °C τότε επιτρέπει μέσω του by-pass την διαρροή κρύου νερού δικτύου απευθείας στην έξοδο του νερού από τη δεξαμενή ώστε να τροποποιηθεί στο επιθυμητό επίπεδο η θερμοκρασία που θα οδηγηθεί τελικά στον χρήστη. Επιπλέον σε περίπτωση που η θερμοκρασία εισαγωγής είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία στο άνω μέρος της δεξαμενής τότε όλη η ροή εισάγεται στη δεξαμενή.

Οι συνδέσεις των μεταβλητών εισόδου γίνονται από την δεξαμενή ZNX και από την συνάρτηση φορτίου ZNX.

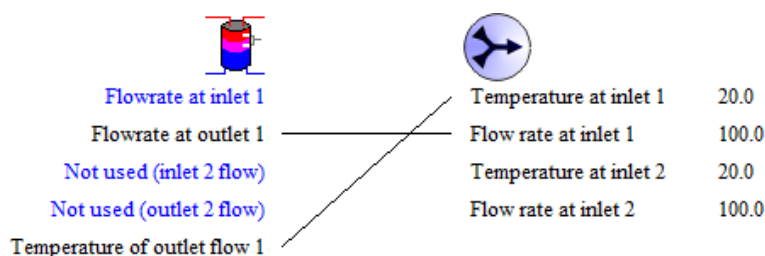
Στην επόμενη εικόνα φαίνονται οι συνδέσεις.

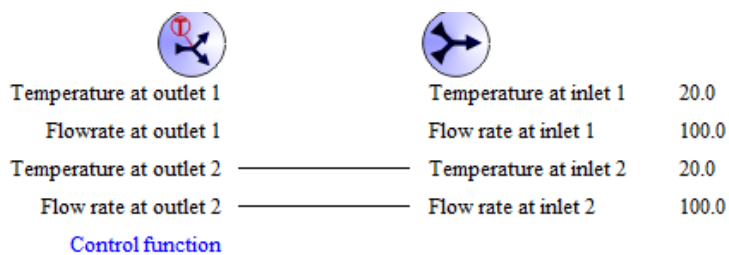


Εικόνα 5-32: Σύνδεση εισόδων θερμικής βάνας διανομής ZNX (TYPE11b-3)

5.5.2 Στοιχείο σταθερού μείκτη ZNX (TYPE11h-4)

Ο σκοπός αυτού του στοιχείου είναι η συνεργασία με το στοιχείο της θερμικής τρίοδης βάνας διανομής για τον σχηματισμό του αναγκαίου by-pass. Πρόκειται δηλαδή για μια βάνα σταθερής ανάμειξης όπου οι μεταβλητές εισόδου είναι από τη δεξαμενή και την θερμική τρίοδη βάνας όπως φαίνεται στη επόμενη εικόνα.





Εικόνα 5-33: Σύνδεση εισόδων σταθερού μείκτη ZNX (TYPE11h-4)

5.5.3 Στοιχείο συνάρτησης φορτίου ZNX (Equa_WATER)

Σκοπός αυτού του στοιχείου είναι η ενσωμάτωση δύο συναρτήσεων. Η πρώτη αφορά την θερμοκρασία του νερού του δικτύου και η δεύτερη την ποσοτικοποίηση του προφίλ κατανάλωσης.

Η θερμοκρασία του νερού δικτύου παράχθηκε από δεδομένα TOTEE 20701 κάνοντας χρήση μιας προσεγγιστικής δευτέρου βαθμού εξίσωσης.

Όσο αφορά την ποσοτικοποίηση της κατανάλωσης αυτό γίνεται έχοντας υπόψη ότι η παράμετρος εισόδου είναι μια μεταβλητή περιοδικότητας 24h που η ολοκλήρωσή της ισούται με τη μονάδα. Συνεπώς πολλαπλασιάζοντας με μια τιμή της τάξης του 250 lt (θεωρώντας 4 άτομα x 60 με 70 lt) προκύπτει το ολικό ημερήσιο φορτίο.

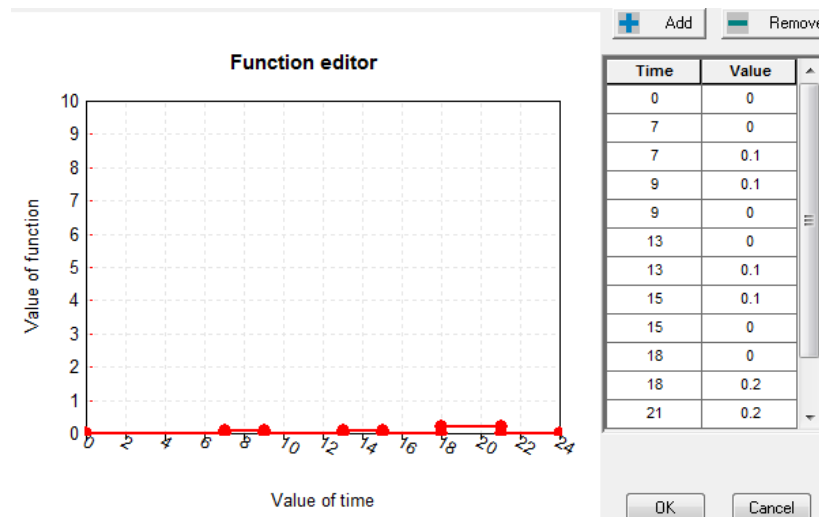
Οι συνδέσεις των μεταβλητών εισόδου φαίνονται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 5-34: Σύνδεση εισόδων συνάρτησης φορτίου ZNX (Equa_WATER)

5.5.4 Συστατικό στοιχείο χρονικού προφίλ κατανάλωσης ZNX (TYPE14b)

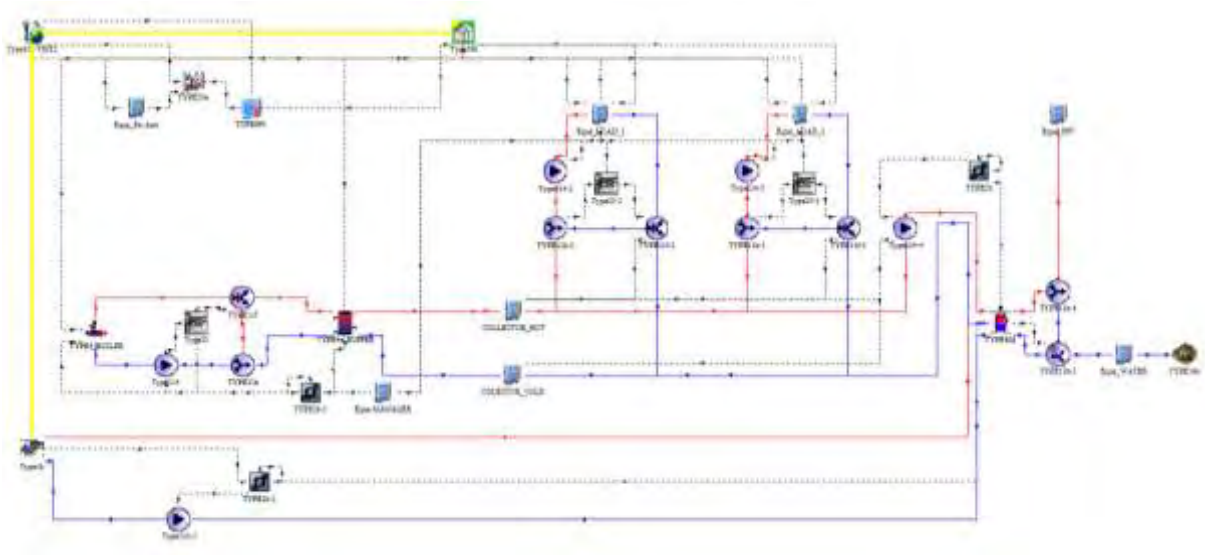
Στόχος του συγκεκριμένου συστατικού στοιχείου είναι η κατασκευή χρονικά εξαρτώμενης περιοδικής συνάρτησης τέτοιας που να περιγράφει τις περιοδικές ανάγκες ZNX από το χρήστη.



Εικόνα 5-35: Περιοδική συνάρτηση λήψης ZNX

Στην παραπάνω συνάρτηση περιγράφεται ότι από τις 7 μέχρι τις 9 το πρωί λαμβάνεται το 20% της συνολικής ημερήσιας ποσότητας ZNX. Από τις 13 μέχρι τις 15 λαμβάνεται ένα ακόμα 20% και από τις 18 μέχρι 21 το υπόλοιπο 60%.

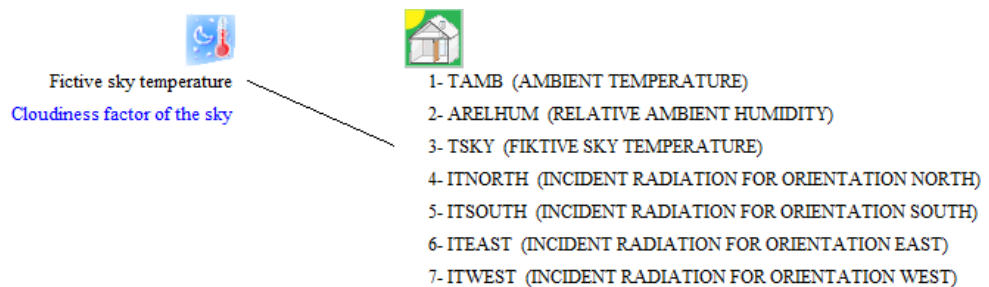
5.6 Σύνδεση Τμημάτων



5.6.1 Σύνδεση τμημάτων μετεωρολογικών παραμέτρων – κτηρίου

Οι συνδέσεις που πραγματοποιούνται από το τμήμα των μετεωρολογικών παραμέτρων προς το τμήμα του κτηρίου είναι οι ακόλουθες:

- Η ενημέρωση του κτηρίου για την επικρατούσα ενεργή θερμοκρασία του ουρανού για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας με ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος.



Εικόνα 5-36: Σύνδεση ενεργής θερμοκρασίας του ουρανού στο κτήριο

- Με κίτρινο χρώμα στην επιφάνεια σύνθεσης των στοιχείων του TRNSYS παρουσιάζεται η σύνδεση του κτηρίου από το τμήμα των μετεωρολογικών παραμέτρων. Σε αυτή τη σύνδεση εισάγονται στο κτήριο όλες οι αναγκαίες πληροφορίες που αφορούν την ηλιακή ακτινοβολία (άμεση και ολική) σε κάθε επιφάνεια, την γωνία πρόσπτωσης σε κάθε επιφάνεια, την θερμοκρασία ατμόσφαιρας και την υγρασία ατμόσφαιρας.

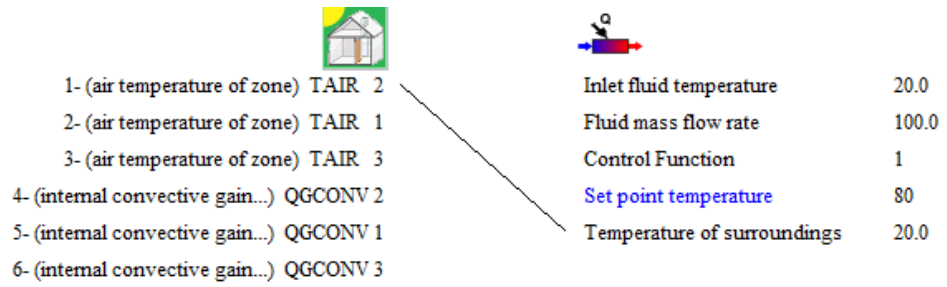
| | Type109-TMY2 | = | Type56b |
|----|--|---|---|
| | | | All |
| 1 | Ambient temperature | = | 1- TAMB (AMBIENT TEMPERATURE) |
| 2 | relative humidity | = | 2- ARELHUM (RELATIVE AMBIENT HUMIDITY) |
| 3 | total radiation on tilted surface-3 | = | 4- ITNORTH (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION NORTH) |
| 4 | total radiation on tilted surface-1 | = | 5- ITSOUTH (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION SOUTH) |
| 5 | total radiation on tilted surface-4 | = | 6- ITEAST (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION EAST) |
| 6 | total radiation on tilted surface-2 | = | 7- ITWEST (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION WEST) |
| 7 | total radiation on horizontal | = | 8- ITHORIZONT (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION HORIZONTAL) |
| 8 | total radiation on tilted surface-6 | = | 9- ITN_SLOPE (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION N_SLOPE) |
| 9 | total radiation on tilted surface-5 | = | 10- ITS_SLOPE (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION S_SLOPE) |
| 10 | beam radiation on tilted surface-3 | = | 11- IBNORTH (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION NORTH) |
| 11 | beam radiation on tilted surface-1 | = | 12- IBSOUTH (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION SOUTH) |
| 12 | beam radiation on tilted surface-4 | = | 13- IBEAST (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION EAST) |
| 13 | beam radiation on tilted surface-2 | = | 14- IBWEST (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION WEST) |
| 14 | beam radiation on horizontal | = | 15- IBHORIZONT (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION HORIZONTAL) |
| 15 | beam radiation on tilted surface-6 | = | 16- IBN_SLOPE (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION N_SLOPE) |
| 16 | beam radiation on tilted surface-5 | = | 17- IBS_SLOPE (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION S_SLOPE) |
| 17 | angle of incidence for tilted surface -3 | = | 18- AINORTH (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION NORTH) |
| 18 | angle of incidence for tilted surface -1 | = | 19- AISOUTH (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION SOUTH) |
| 19 | angle of incidence for tilted surface -4 | = | 20- AIEAST (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION EAST) |
| 20 | angle of incidence for tilted surface -2 | = | 21- AIWEST (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION WEST) |
| 21 | angle of incidence on horizontal surface | = | 22- AIHORIZONT (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION HORIZONTAL) |
| 22 | angle of incidence for tilted surface -6 | = | 23- AIN_SLOPE (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION N_SLOPE) |
| 23 | angle of incidence for tilted surface -5 | = | 24- AIS_SLOPE (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION S_SLOPE) |

Εικόνα 5-37: Σύνδεση μετεωρολογικών παραμέτρων με κτήριο.

5.6.2 Σύνδεση τμημάτων φόρτισης και θερμικής αποθήκευσης – κτηρίου

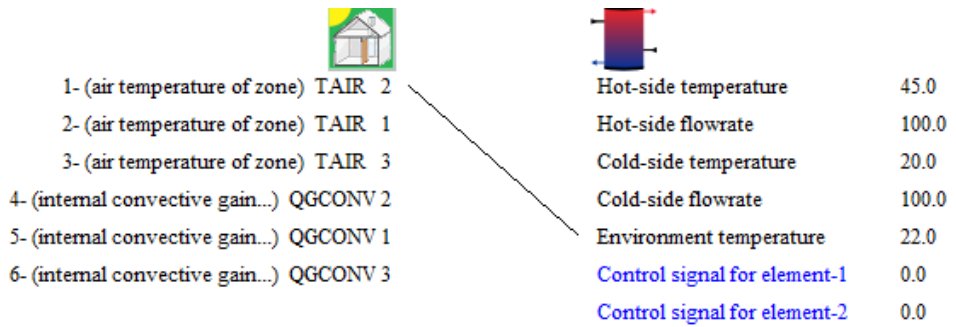
Οι συνδέσεις των τμημάτων φόρτισης και θερμικής αποθήκευσης με το κτήριο είναι οι επόμενες:

- Η ενημέρωση του θερμαντήρα για τις επικρατούσες θερμοκρασιακές συνθήκες στον περιβάλλον του χώρο ώστε να υπολογιστούν οι θερμικές του απώλειες.



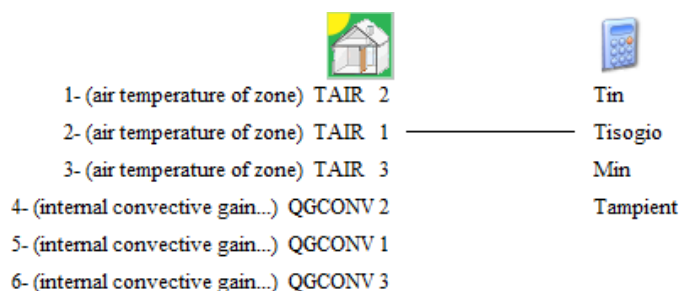
Εικόνα 5-38: Σύνδεση θερμοκρασίας υπογείου στον θερμαντήρα

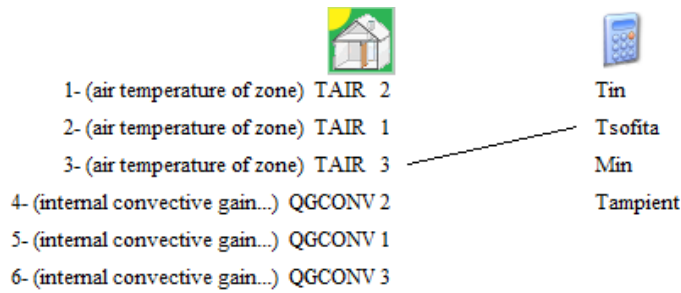
- Η ενημέρωση του στοιχείου της δεξαμενής αδράνειας με την θερμοκρασία του υπογείου ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός των θερμικών απωλειών.



Εικόνα 5-39: Σύνδεση θερμοκρασίας υπογείου με δεξαμενή αδράνειας.

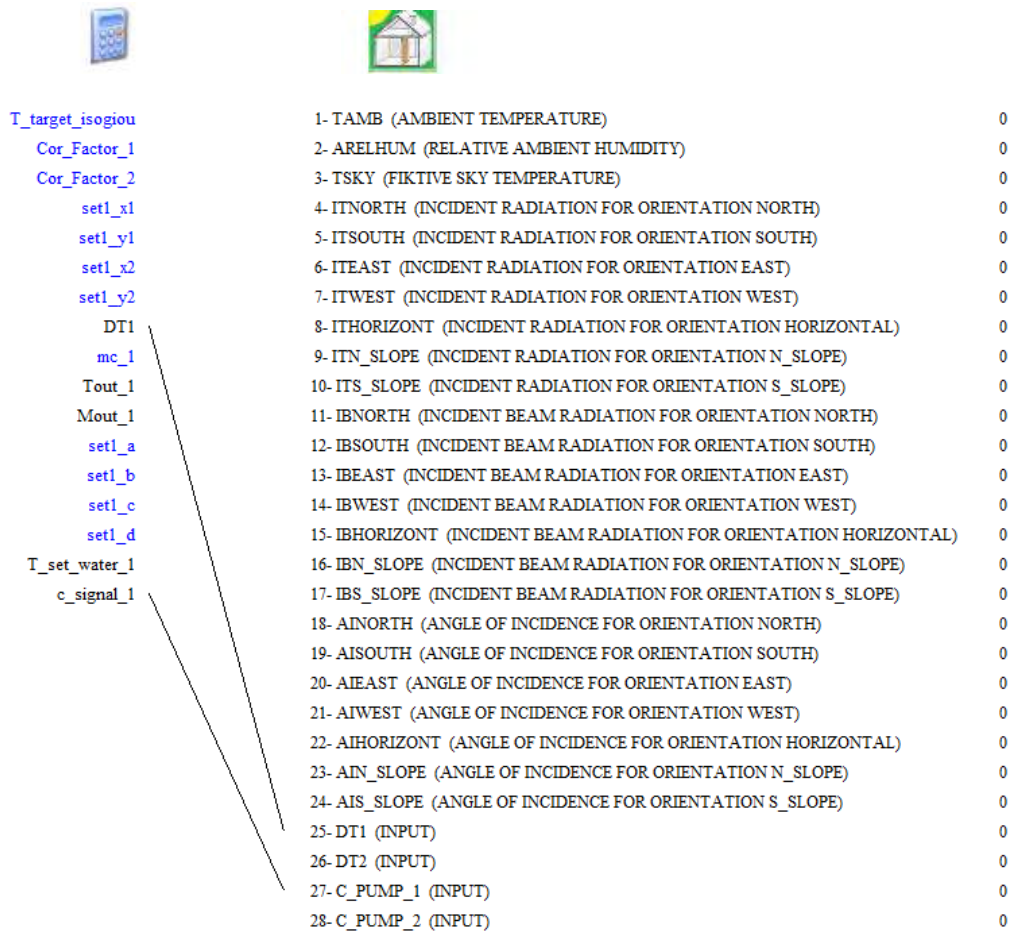
- Η ενημέρωση των δύο στοιχείων των συναρτήσεων φορτίων χώρου με την θερμοκρασία που επικρατεί στις θερμαινόμενες θερμικές ζώνες του κτηρίου.





Εικόνα 5-40: Σύνδεση θερμοκρασιών ζωνών με τις συναρτήσεις φορτίων χώρου.

- Η ενημέρωση των διαφορών της θερμοκρασίας του νερού προσαγωγής από την θερμοκρασία χώρου για την κάθε θερμική ζώνη καθώς και η εισαγωγή του σήματος ελέγχου των αντλιών ώστε να είναι ελεγχόμενη η θερμική μεταφορά ενέργειας από το θερμικό κύκλωμα στην κάθε ζώνη, πραγματοποιείται με τη σύνδεση των στοιχείων των συναρτήσεων φορτίων χώρου με το κτήριο.





| | | |
|---------------------|---|---|
| T_target_sofita | 1- TAMB (AMBIENT TEMPERATURE) | 0 |
| Correction_Factor_1 | 2- ARELHUM (RELATIVE AMBIENT HUMIDITY) | 0 |
| Correction_Factor_2 | 3- TSKY (FIKTIVE SKY TEMPERATURE) | 0 |
| set2_x1 | 4- ITNORTH (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION NORTH) | 0 |
| set2_y1 | 5- ITSOUTH (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION SOUTH) | 0 |
| set2_x2 | 6- ITEAST (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION EAST) | 0 |
| set2_y2 | 7- ITWEST (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION WEST) | 0 |
| DT2 | 8- ITHORIZONT (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION HORIZONTAL) | 0 |
| mc_2 | 9- ITN_SLOPE (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION N_SLOPE) | 0 |
| Tout_2 | 10- ITS_SLOPE (INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION S_SLOPE) | 0 |
| Mout_2 | 11- IBNORTH (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION NORTH) | 0 |
| set2_a | 12- IBSOUTH (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION SOUTH) | 0 |
| set2_b | 13- IBEAST (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION EAST) | 0 |
| set2_c | 14- IBWEST (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION WEST) | 0 |
| set2_d | 15- IBHORIZONT (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION HORIZONTAL) | 0 |
| T_set_water_2 | 16- IBN_SLOPE (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION N_SLOPE) | 0 |
| c_signal_2 | 17- IBS_SLOPE (INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION S_SLOPE) | 0 |
| | 18- AINORTH (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION NORTH) | 0 |
| | 19- AISOUTH (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION SOUTH) | 0 |
| | 20- AIEAST (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION EAST) | 0 |
| | 21- AIWEST (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION WEST) | 0 |
| | 22- AIHORIZONT (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION HORIZONTAL) | 0 |
| | 23- AIN_SLOPE (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION N_SLOPE) | 0 |
| | 24- AIS_SLOPE (ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION S_SLOPE) | 0 |
| | 25- DT1 (INPUT) | 0 |
| | 26- DT2 (INPUT) | 0 |
| | 27- C_PUMP_1 (INPUT) | 0 |
| | 28- C_PUMP_2 (INPUT) | 0 |

Εικόνα 5-41:Σύνδεση συναρτήσεων φορτίων χώρου με κτήριο

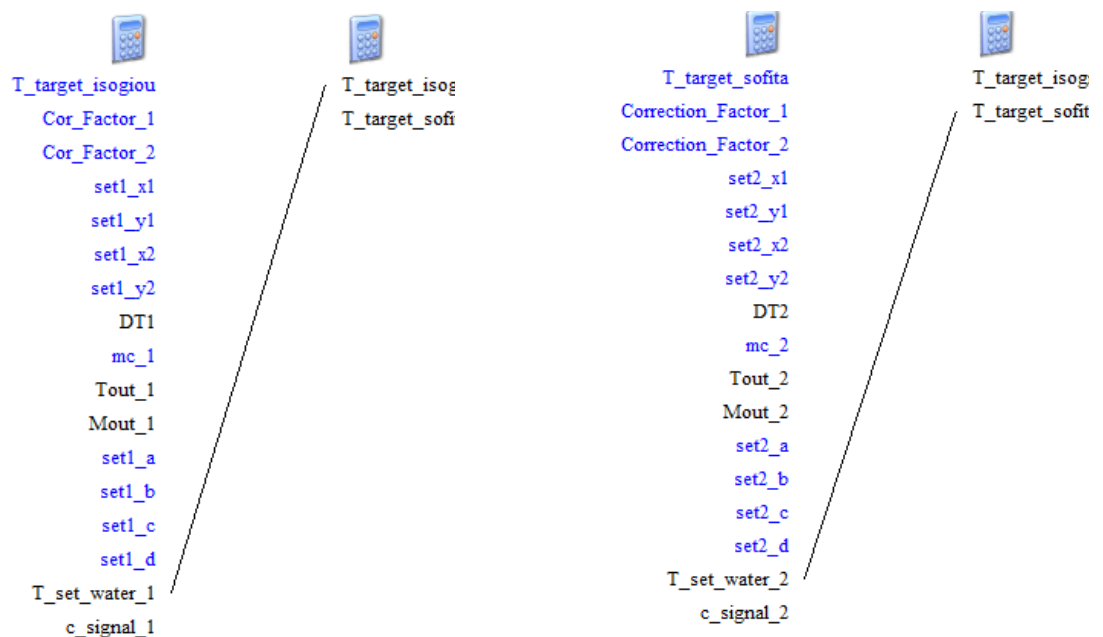
Εντός του κτηρίου το μεταφερόμενο θερμικό φορτίο που εισάγεται στην κάθε θερμική ζώνη από το αντίστοιχο θερμικό της κύκλωμα υπολογίζεται από το γινόμενο του συντελεστή θερμικής μεταφοράς με την θερμοκρασιακή διαφορά νερού προσαγωγής – αέρα χώρου. Επειδή όμως η εξεταζόμενη θερμοκρασιακή διαφορά μπορεί να είναι θετική ακόμα και σε περιόδους που η θέρμανση είναι περιττή εισάγεται μια πρόσθετη συνθήκη που ενσωματώνεται σε σήμα ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης του συστήματος διανομής. Δηλαδή όταν η θερμοκρασία ατμόσφαιρας είναι μεγαλύτερη από 30 βαθμούς ή όταν είναι καλοκαιρινή περίοδος (από 3624 έως 5832 h) το σήμα γίνεται μηδέν και συνεπώς

διακόπτεται η λειτουργία του κυκλοφορητή του αντίστοιχου θερμικού κυκλώματος καθώς και η θερμική μεταφορά στην αντίστοιχη ζώνη μέσω του θερμικού κέρδους.

5.6.3 Σύνδεση τμημάτων φόρτισης και θερμικής αποθήκευσης – φορτίων χώρου

- Με τις συνδέσεις μεταξύ των συναρτήσεων φορτίων χώρου και του στοιχείου της συνάρτησης Equa-MANAGER πραγματοποιείται η μεταφορά των θερμοκρασιακών πληροφοριών ώστε στο στοιχείο MANAGER να είναι δυνατός ο καθορισμός της ελάχιστης αναγκαίας θερμοκρασίας που πρέπει να έχει η πάνω διαστρωμάτωση της δεξαμενής αδράνειας.

Οι συνδέσεις φαίνονται στην ακόλουθη εικόνα.



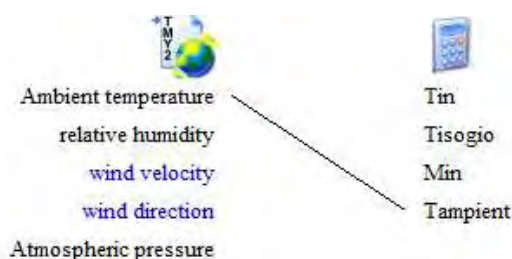
Εισαγωγή αναγκαίας θερμοκρασίας
νερού προσαγωγής ισογείου

Εισαγωγή αναγκαίας θερμοκρασίας νερού
προσαγωγής σοφίτας

Εικόνα 5-42: Σύνδεση φορτίων χώρου με θερμοκρασιακή διαχείριση δεξαμενής.

5.6.4 Σύνδεση τμημάτων μετεωρολογικών παραμέτρων – Φορτίων χώρου

Η ενημέρωση των δύο συναρτήσεων θερμικού φορτίου για την επικρατούσα θερμοκρασία περιβάλλοντος ώστε να είναι δυνατόν ο υπολογισμός, μέσα από την βασική ιδέα την αντιστάθμισης και της γραμμικής εξάρτησης, η αναγκαία θερμοκρασία στο νερό προσαγωγής στην κάθε θερμική ζώνη.



Εικόνα 5-43: Σύνδεση θερμοκρασίας ατμόσφαιρας με συναρτήσεις φορτίων χώρου.

5.6.5 Σύνδεση τμημάτων μετεωρολογικών παραμέτρων – φόρτισης και αποθήκευσης.

Η ενημέρωση του ηλιακού συλλέκτη με πληροφορίες που αφορούν την ηλιακή ακτινοβολία περιλαμβάνεται στην κατηγορία αυτή και φαίνεται στην επόμενη εικόνα.

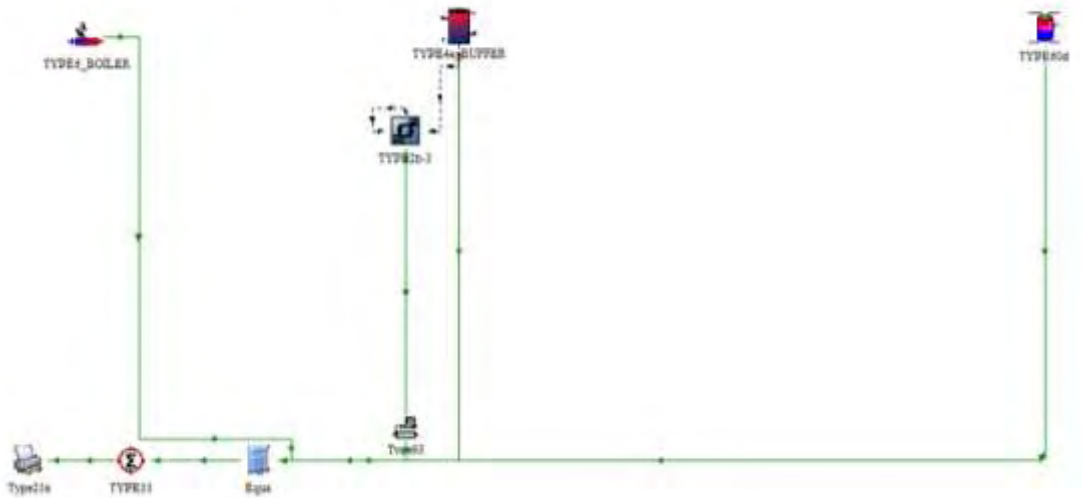
| | Type109-TMY2 | = | Type1b |
|---|--|---|------------------------------|
| | | | All |
| 1 | Ambient temperature | = | Ambient temperature |
| 2 | total radiation on tilted surface-5 | = | Incident radiation |
| 3 | total radiation on horizontal | = | Total horizontal radiation |
| 4 | sky diffuse radiation on horizontal | = | Horizontal diffuse radiation |
| 5 | angle of incidence for tilted surface -5 | = | Incidence angle |
| 6 | slope of tilted surface-5 | = | Collector slope |

Εικόνα 5-44: Σύνδεση μετεωρολογικών παραμέτρων με ηλιακό συλλέκτη.

5.7 Κρίσιμα Εξεταζόμενα Μεγέθη

Στην τελευταία αυτή ενότητα του κεφαλαίου παρουσιάζεται μια μικρή ομάδα απαραίτητων συστατικών στοιχείων για τον υπολογισμό και την παρακολούθηση κρίσιμων εξεταζόμενων μεγεθών. Τα μεγέθη αυτά αφορούν την καταμέτρηση του πλήθους ενεργοποιήσεων του θερμαντήρα, των θερμικών απωλειών στις δύο δεξαμενές αποθήκευσης και των απωλειών του θερμαντήρα κατά την διάρκεια λειτουργίας του. Οι υπολογισμοί για λόγους καλύτερης διαχείρισης έχουν μηνιαία περιοδικότητα και εκτελούνται για ένα πλήρες έτος.

Για τον υπολογισμό του πλήθους ενεργοποιήσεων του θερμαντήρα απαιτήθηκε η χρήση του στοιχείου TYPE93 το οποίο έχει τη δυνατότητα να συνδέεται με μια μεταβλητή εισόδου, που στην περίπτωσή μας είναι το σήμα ενεργοποίησης του θερμαντήρα από τον διαφορικό ελεγκτή της δεξαμενής αδράνειας, και να αποθηκεύει προσωρινά τις τιμές που εμφανίζει αυτή η μεταβλητή σε προγενέστερους χρόνους. Με την βοήθεια λοιπόν αυτού του στοιχείου αλλά και με την χρήση ενός στοιχείου συνάρτησης, το οποίο συγκρίνει τις διαφοροποιήσεις που εμφανίζονται στο σήμα του διαφορικού ελεγκτή της δεξαμενής αδράνειας, είναι δυνατή η παραγωγή μοναδιαίων τιμών με τον κάθε εντοπισμό έναρξης λειτουργίας του θερμαντήρα. Η άθροιση του πλήθους των ενεργοποιήσεων του θερμαντήρα πραγματοποιείται στη συνέχεια με το στοιχείο TYPE55. Το στοιχείο TYPE55 αναλαμβάνει ταυτόχρονα και την άθροιση των θερμικών απωλειών των δεξαμενών του συστήματος και του θερμαντήρα όταν είναι σε λειτουργία. Στο τέλος οι προκύπτουσες μετρήσεις αποθηκεύονται σε αρχείο με την βοήθεια του στοιχείου εκτυπωτή TYPE25. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται γραφικά η δομή που χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή των κρίσιμων αυτών μεγεθών.



Εικόνα 5-45: Παραγωγή κρίσιμων εξεταζόμενων μεγεθών.

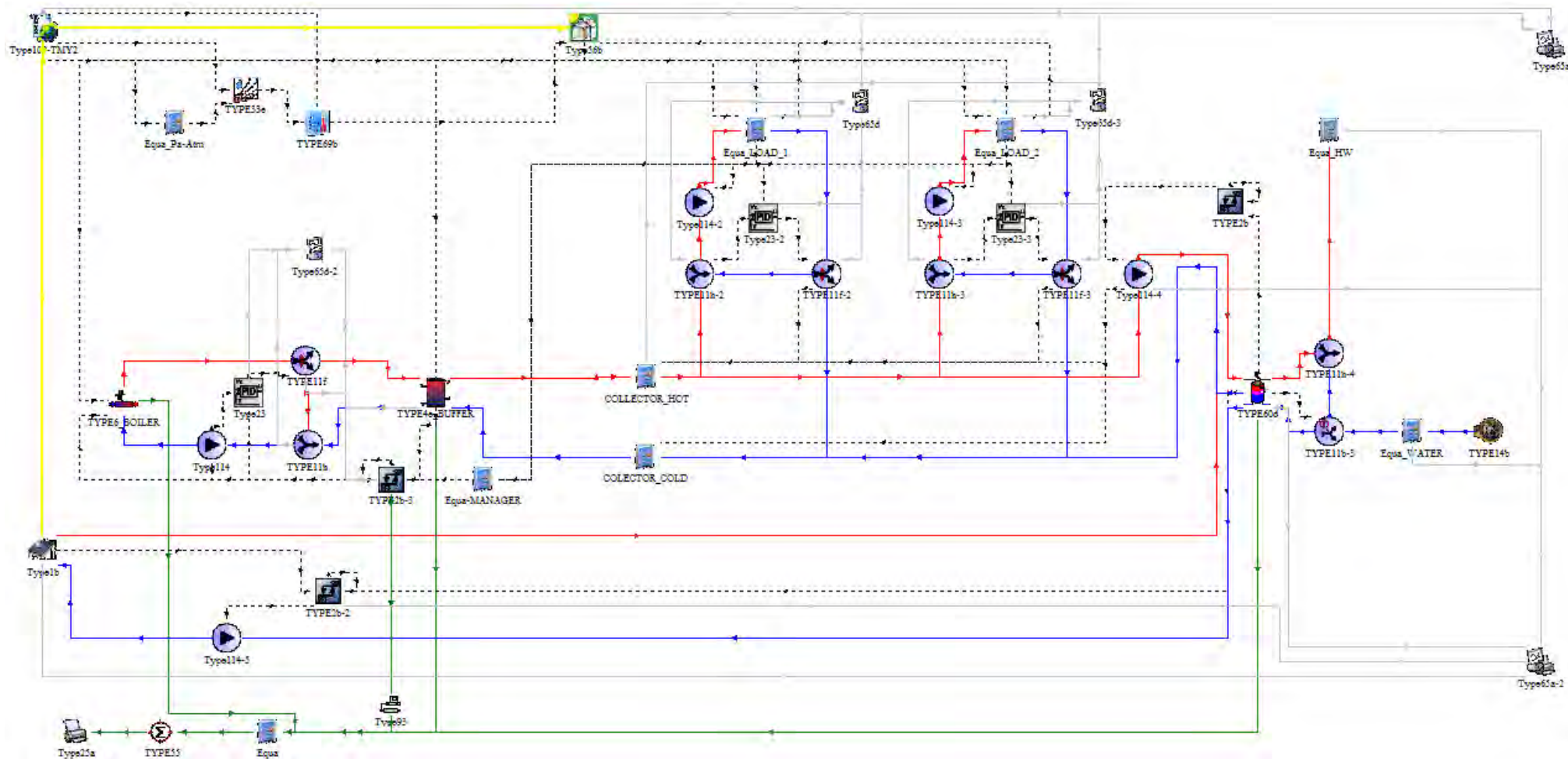
Η επιλογή των κρίσιμων μεγεθών βασίζεται στην σημασία της θερμικής δεξαμενής και ιδιαιτέρως της δεξαμενής θερμικής αδράνειας όπως αυτή αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3.

Η μείωση του πλήθους ενεργοποιήσεων του θερμαντήρα οδηγεί σε πλήθος ωφελειών όπως για παράδειγμα, τη σημαντική μείωση φθοράς του θερμαντήρα, τη μείωση της διαταραχής της δεξαμενής αδράνειας λόγω των όχι συχνών φορτίσεων της με συνέπεια την επίτευξη καλύτερης διαστρωμάτωσης, την μείωση των θερμικών απωλειών από την αλλαγή καταστάσεων του θερμαντήρα, αλλά και την πολύ σημαντική μείωση των καταλοίπων καύσης για την περίπτωση των συστημάτων βιομάζας. Είναι προφανές ότι η επιλογή χρήσης μεγάλων δεξαμενών μειώνει το πλήθος ενεργοποιήσεων του θερμαντήρα όμως αυξάνει ταυτόχρονα τις θερμικές απώλειες. Συνεπώς η ανάγκη εξέτασης αυτών των μεγεθών είναι χρήσιμη και διερευνάται στο επόμενο κεφάλαιο.

5.8 Συνολική Δομή Εξεταζόμενης Σύνθεσης

Για την παρακολούθηση της συνολικής λειτουργίας του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον στοιχεία άμεσων εκτυπωτών (TYPE65). Δηλαδή στοιχεία που μπορούν να συνδέονται σε μεταβλητές εξόδου των συστατικών στοιχείων της σύνθεσης έργου και να προβάλλουν άμεσα γραφική αναπαράσταση της χρονικής τους εξέλιξης. Κάθε τέτοιος εκτυπωτής έχει δυνατότητα να μπορεί να παράγει και τα αποτελέσματα σε μορφή μόνιμου αρχείου. Στο εξεταζόμενο σύστημα χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις άμεσοι εκτυπωτές ένας για το κάθε by-pass, δηλαδή ένας στη φόρτιση της δεξαμενής αδράνειας, ένας στη δεξαμενή ZNX και ένας για το κάθε κύκλωμα θέρμανσης χώρου.

Στην επόμενη εικόνα παραθέτουμε την συνολική δομή της εξεταζόμενης σύνθεσης.



Εικόνα 5-46: Συνολική δομή εξεταζόμενης σύνθεσης

Κεφάλαιο 6 Εξέταση Ευαισθησίας Συστήματος

Η πληροφοριακή σύνδεση του εξεταζόμενου συστήματος με τις γενικές μεταβλητές που μπορεί να χειρίζεται ο χρήστης περιγράφεται από την ακόλουθη εικόνα.

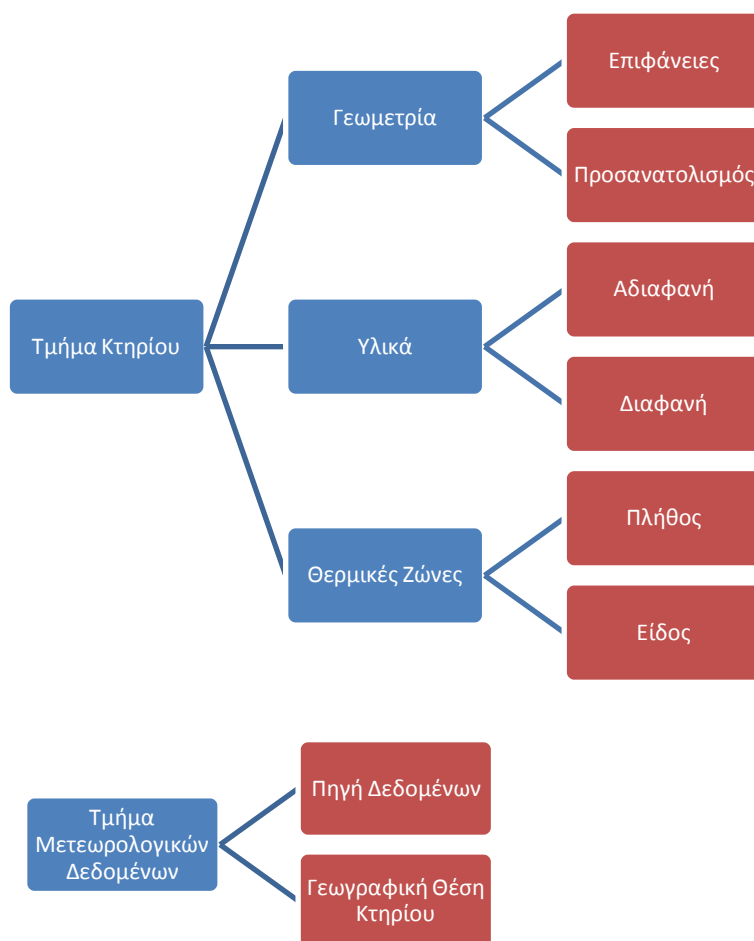


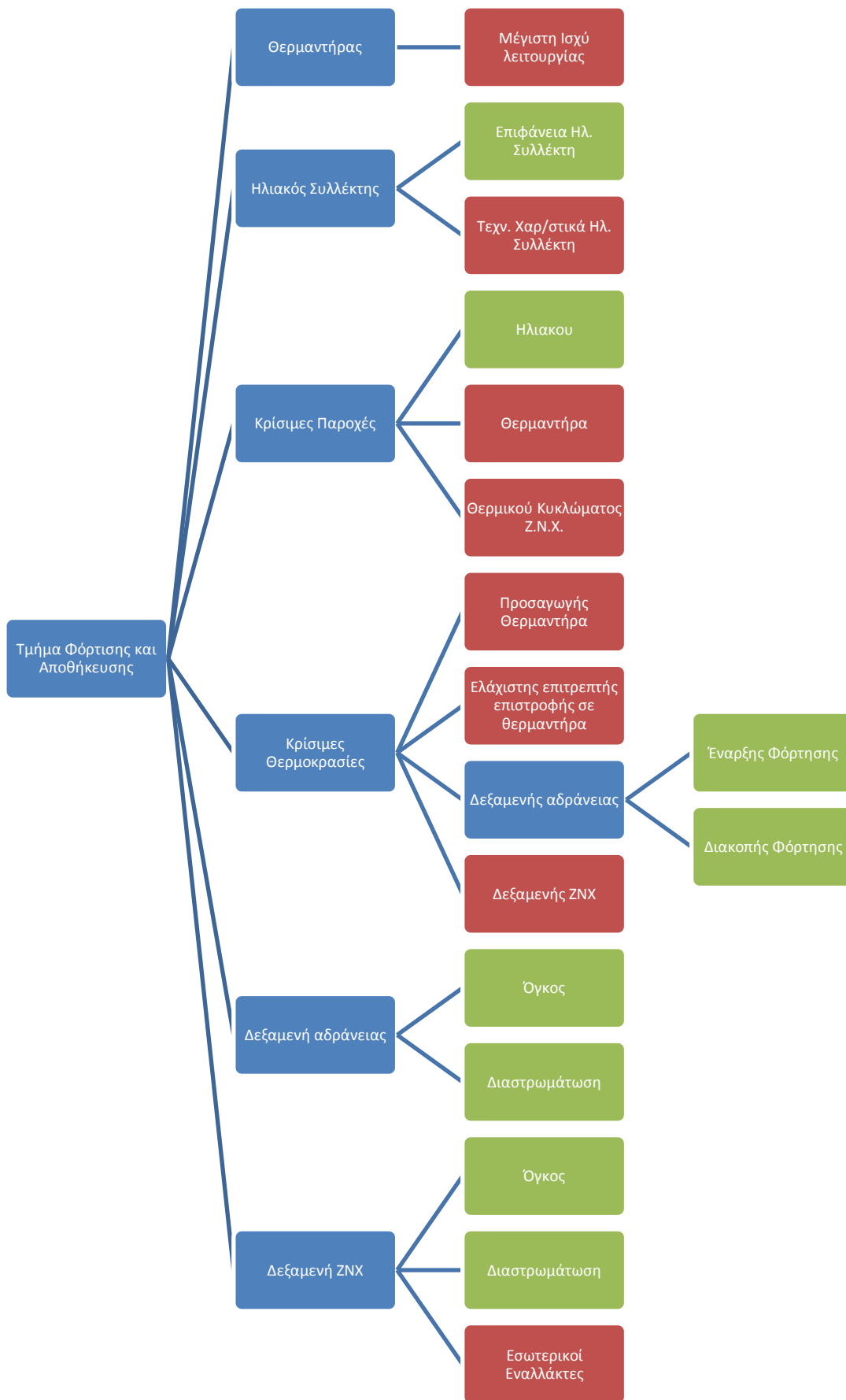
Εικόνα 6-1: Πληροφοριακή σύνδεση εξεταζόμενου συστήματος

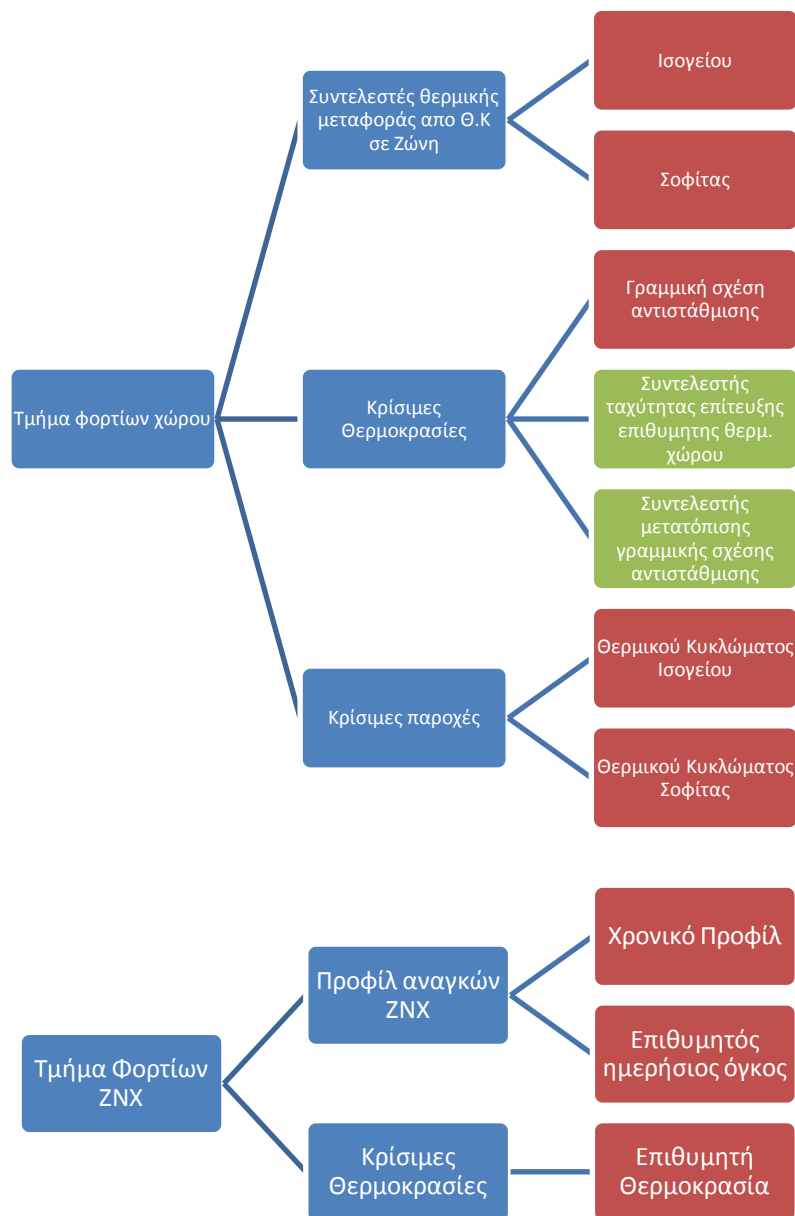
Σε αυτή την εικόνα, στον κέντρο κύκλο υπάρχει η σταθερή συνδετική δομή του συστήματος όπως έχει περιγραφεί στο προηγούμενο κεφάλαιο και οι κύκλοι στην περιφέρεια αποτελούν το σύνολο των γενικών μεταβλητών που υπάρχουν σε κάθε τμήμα. Ο καθορισμός αυτών των μεταβλητών απαιτείται για την παραγωγή των κρίσιμων εξεταζόμενων μεγεθών.

Από το σύνολο των παραπάνω γενικών μεταβλητών γίνεται ένας διαχωρισμός μεταξύ των μεταβλητών που επιλέγεται να είναι σταθερές και αυτών που επιλέγεται να τροποποιούνται ώστε να εξεταστεί η επίδρασή τους στα κρίσιμα εξεταζόμενα μεγέθη. Με κόκκινο χρώμα σημειώνονται οι σταθερές μεταβλητές ενώ με πράσινο οι τροποποιούμενες.

Στα παρακάτω δένδρα φαίνεται αυτός ο διαχωρισμός.







Εικόνα 6-2: Δένδρο σταθερών και τροποποιούμενων μεταβλητών.

6.1 Λειτουργία Συστήματος αναφοράς

Πριν προχωρήσουμε στην εξέταση της ευαισθησίας του συστήματος είναι χρήσιμο να γίνει μια αναφορά στην σταθερότητα και την ομαλή του λειτουργία ώστε να αποτυπωθεί η ρεαλιστική του συμπεριφορά. Οι τιμές αναφοράς που επιλέγονται για τις τροποποιούμενες μεταβλητές είναι οι ακόλουθες:

| | | |
|---------------------------------------|--|--|
| Επιφάνεια και Παροχή Ηλιακού Συλλεκτη | Θερμοκρασία Έναρξης Φόρτισης Δεξαμενής Αδράνειας (Άνω Θερμοκρασία) | Θερμοκρασία Διακοπής Φόρτισης Δεξαμενής Αδράνειας (Κάτω Θερμοκρασία) |
| • 3 m ² - 0.06 kg/s | • Προσάυξηση 10 °C στην απαιτούμενη απο τα φορτία | • 70 °C |
| Όγκος Δεξαμενής Αδράνειας | Διαστρωμάτωση Δεξαμενής Αδράνειας | Όγκος Δεξαμενής ΖΝΧ |
| • 1000 lt | • 4 στρώσεις | • 270lt |
| Διαστρωμάτωση Δεξαμενής ΖΝΧ | Συντελεστής ταχύτητας επίτευξης επιθυμητής θερμ. χώρου | Συντελεστής μετατόπισης γραμμικής σχέσης αντιστάθμισης |
| • 4 στρώσεις | • 5 | • 0 |

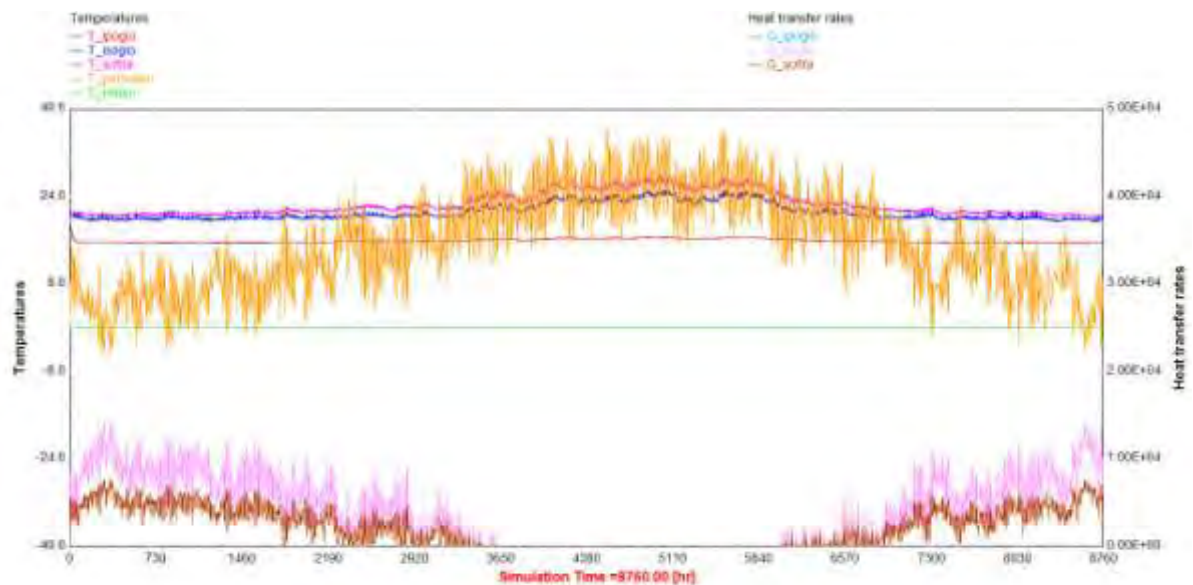
Εικόνα 6-3: Τιμές αναφοράς τροποποιούμενων μεταβλητών

Οι τιμές για τις σταθερές μεταβλητές έχουν ήδη παρουσιαστεί στο προηγούμενο κεφάλαιο με μόνη διαφοροποίηση τις επιθυμητές θερμοκρασίες ισόγειου και σοφίτας, δηλαδή επιλέχθηκε 20 °C για το ισόγειο και 22 °C για τη σοφίτα για λόγους σαφέστερης διάκρισης και παρακολούθησης.

Πραγματοποιώντας λοιπόν μια εκτέλεση προσομοίωσης προκύπτουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά διαγράμματα με την βοήθεια των άμεσων εκτυπωτών.

⇒ Το διάγραμμα κτηριακής συμπεριφοράς

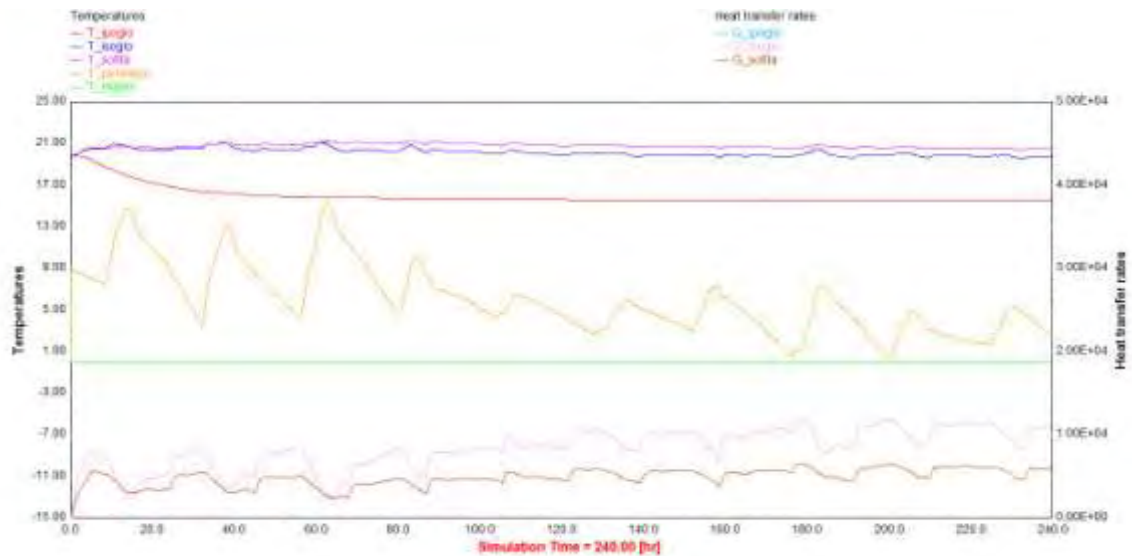
Σε αυτό φαίνεται η εξέλιξη των θερμοκρασιών υπογείου, ισόγειου, σοφίτας και περιβάλλοντος καθώς και των θερμικών ροών από το θερμικό σύστημα προς το ισόγειο και τη σοφίτα.



Διάγραμμα 6-1: Κτηριακής συμπεριφοράς

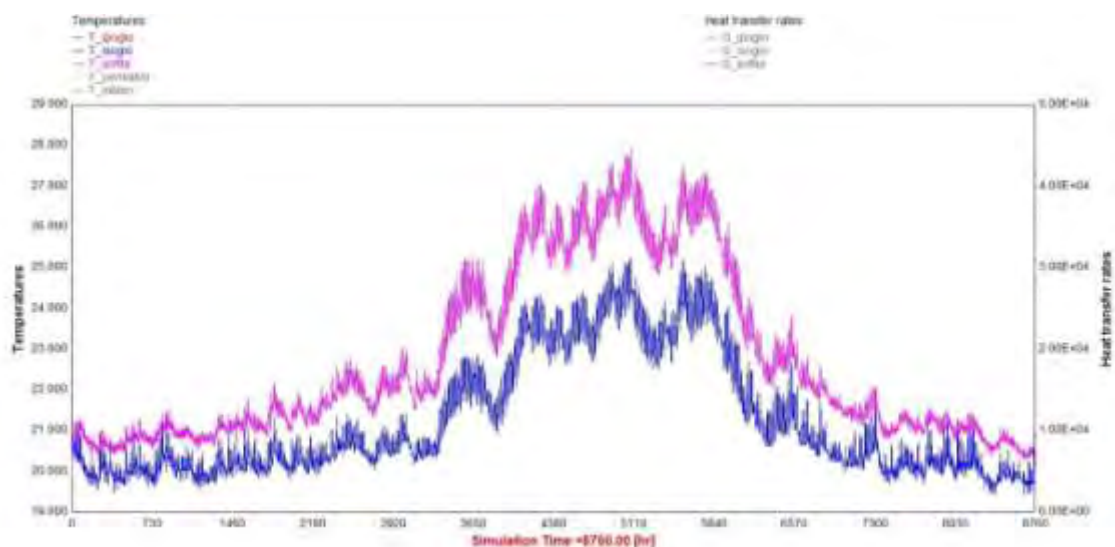
Στο παραπάνω διάγραμμα ο οριζόντιος άξονας δίνει την εξέλιξη του χρόνου [h] από την πρώτη ώρα του Ιανουαρίου μέχρι την τελευταία ώρα του Δεκεμβρίου, ο αριστερός κατακόρυφος άξονας έχει τις θερμοκρασίες [°C] και ο δεξιός τις θερμικές ροές [kJ/h]. Όσο αφορά τις θερμοκρασίες, με **πορτοκαλί** χρώμα είναι η θερμοκρασία εξωτερικού περιβάλλοντος, με **κόκκινο** του υπογείου, με **μπλε** του ισογείου, με **μοβ** η θερμοκρασία της σοφίτας και με **πράσινο** η θερμοκρασία με τιμή μηδέν. Η θερμοκρασία του υπογείου ξεκινώντας από αρχική τιμή 20 °C ισορροπεί σε λιγότερο από 2 εικοσιτετράωρα σε χαμηλή τιμή περίπου ίση με 16 °C για την χειμερινή περίοδο ενώ οι θερμαινόμενοι χώροι το ισογείου και της σοφίτας διατηρούν την θερμοκρασία τους σε επιθυμητά επίπεδα. Όσο αφορά τις θερμικές ροές, με **ροζ** είναι η θερμική ροή από το σύστημα θέρμανσης προς το ισόγειο και με **καφέ** είναι η θερμική ροή προς τη σοφίτα.

Εστιάζοντας στις πρώτες 10 ημέρες λειτουργίας φαίνεται το ακόλουθο διάγραμμα όπου είναι προφανής η ισορρόπηση των θερμοκρασιών στα αναμενόμενα σχεδόν επίπεδα.



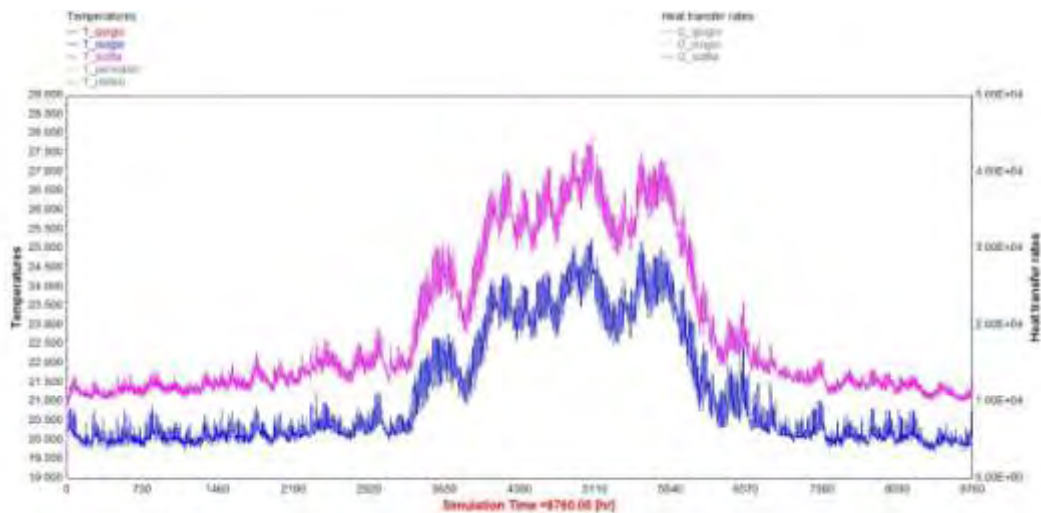
Διάγραμμα 6-2: Κτηριακή συμπεριφορά τις πρώτες 10 ημέρες

Εστιάζοντας στην θερμοκρασιακή διακύμανση των θερμικών ζωνών προκύπτει το επόμενο διάγραμμα στο οποίο φαίνεται ότι η μέση διαφορά της θερμοκρασίας του ισογείου από τη θερμοκρασία της σοφίτας είναι περίπου 1 °C για την χειμερινή περίοδο εξαιτίας της έλλειψης μόνωσης μεταξύ των θερμικών ζωνών αλλά και της όχι καλής προσαρμογής της σχέσης αντιστάθμισης.



Διάγραμμα 6-3: Κτηριακή συμπεριφορά με Cor.Factor_1 = 5 στις Θ. Ζώνες

Μια βελτίωση μπορεί να γίνει τροποποιώντας τις παραμέτρους αντιστάθμισης. Επεμβαίνοντας μόνο στον συντελεστή ταχύτητας επίτευξης θερμοκρασιακού στόχου μπορούμε να προκαλέσουμε με τον απλούστερο τρόπο μια πρώτη άμεση διόρθωση. Θέτοντας λοιπόν τον συντελεστή από 5 που είναι, σε 15, προκύπτει η ακόλουθη βελτιωμένη συμπεριφορά που φαίνεται στο επόμενο διάγραμμα.

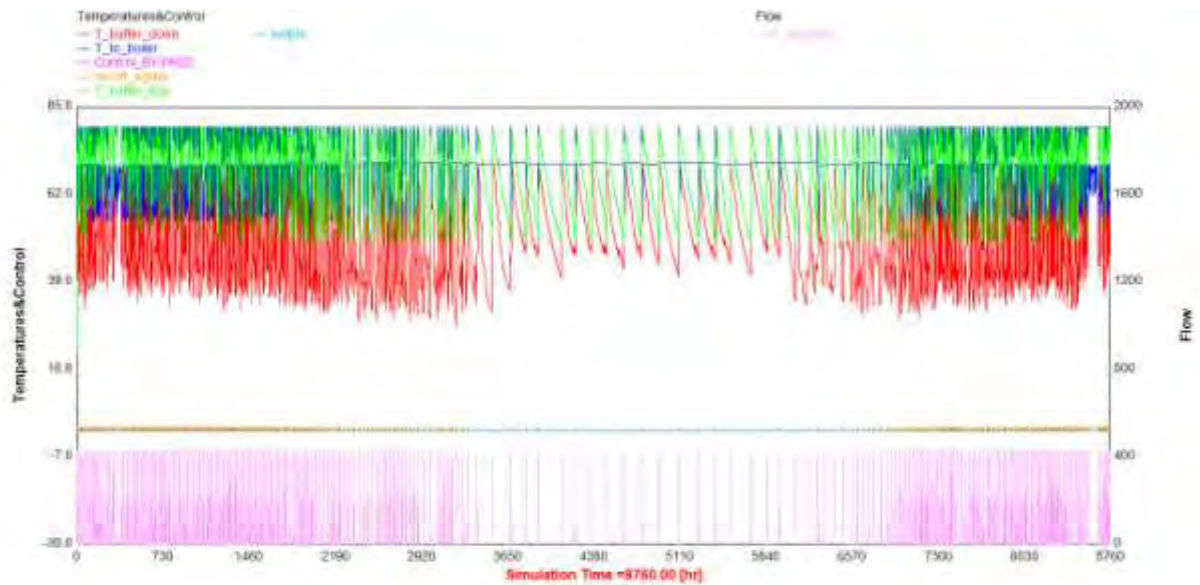


Διάγραμμα 6-4: Κτηριακή συμπεριφορά με Cor.Factor_1 = 15 στις Θ. Ζώνες

⇒ Το διάγραμμα φόρτισης της δεξαμενής αδράνειας.

Σε αυτό φαίνονται οι θερμοκρασίες, στο πάνω μέρος της δεξαμενής, στο κάτω μέρος της δεξαμενής και στην είσοδο του θερμοαντήρα μετά την ανάμιξη με το by-pass. Επίσης φαίνονται το σήμα ελέγχου του διαφορικού θερμοστάτη, το σήμα ελέγχου του PID που οδηγεί την τρίοδη και τέλος η παροχή στο by-pass.

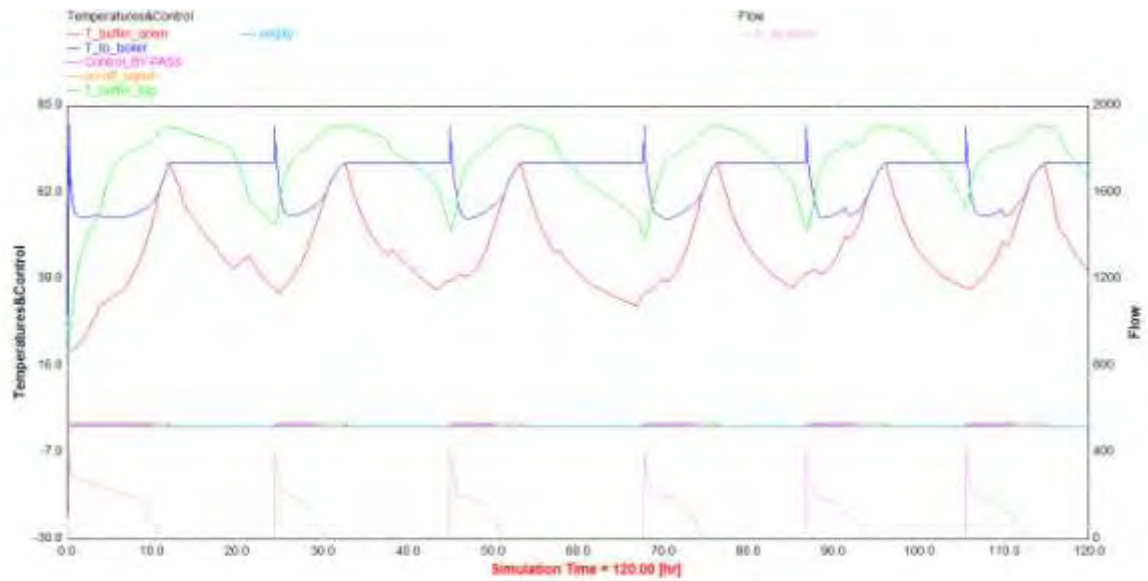
Ο οριζόντιος άξονας περιέχει την χρονική εξέλιξη [h]. Ο αριστερός κατακόρυφος περιέχει θερμοκρασία [°C] και σήμα ελέγχου [-]. Ο δεξιός κατακόρυφος περιέχει παροχή μάζας [kg/h].



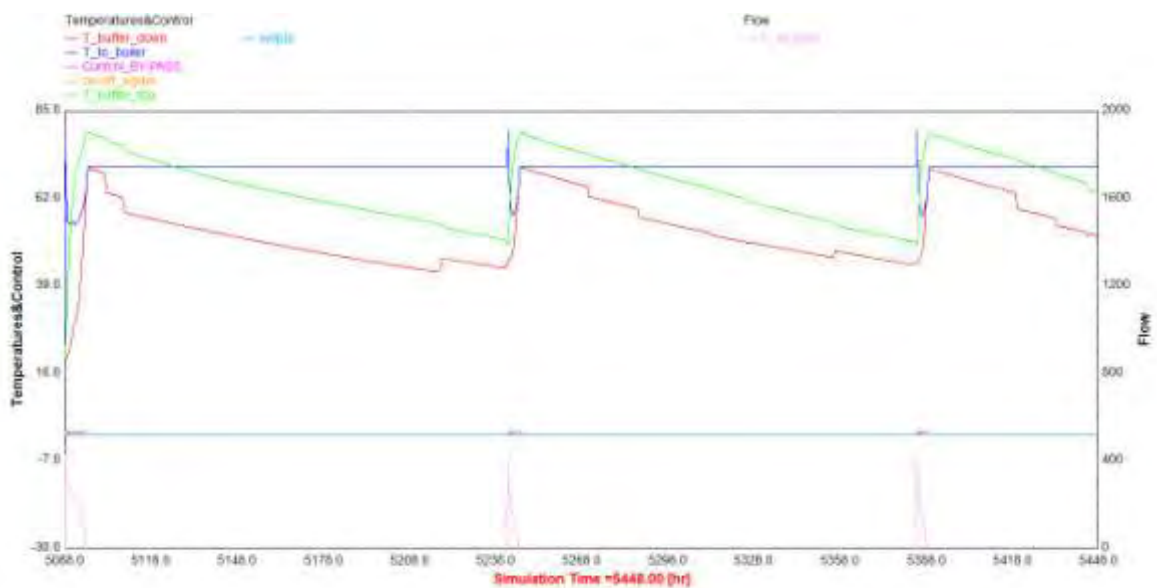
Διάγραμμα 6-5: Φόρτισης δεξαμενής αδράνειας

Όσο αφορά τις θερμοκρασίες, με **κόκκινο** χρώμα είναι η θερμοκρασία στην κατώτατη διαστρωμάτωση της δεξαμενής από την οποία εξέρχεται νερό για να οδηγηθεί σε αναθέρμανση από το θερμαντήρα, με **μπλε** χρώμα είναι η θερμοκρασία που τελικά εισέρχεται στον θερμαντήρα μετά την μεσολάβηση του by-pass και με **πράσινο** χρώμα είναι η θερμοκρασία της ανώτατης διαστρωμάτωσης της δεξαμενής. Όσο αφορά τα σήματα με **μοβ** είναι το σήμα οδήγησης της ενεργής τρίοδης βάνας διανομής του by-pass και με **πορτοκαλί** είναι το σήμα του διαφορικού που ενεργοποιεί τον PID ελεγκτή, τον θερμαντήρα και τον κυκλοφορητή. Τέλος, με **ροζ** χρώμα είναι η παροχή μάζας που διέρχεται από το by-pass.

Για σαφέστερη ανάγνωση του διαγράμματος πραγματοποιείται εστίαση στις πέντε πρώτες ημέρες του έτους και στις 15 πρώτες ημέρες του Αυγούστου που φαίνονται στα ακόλουθα διαγράμματα.



Διάγραμμα 6-6: Φόρτιση δεξαμενής αδράνειας τις πρώτες 5 ημέρες του έτους.



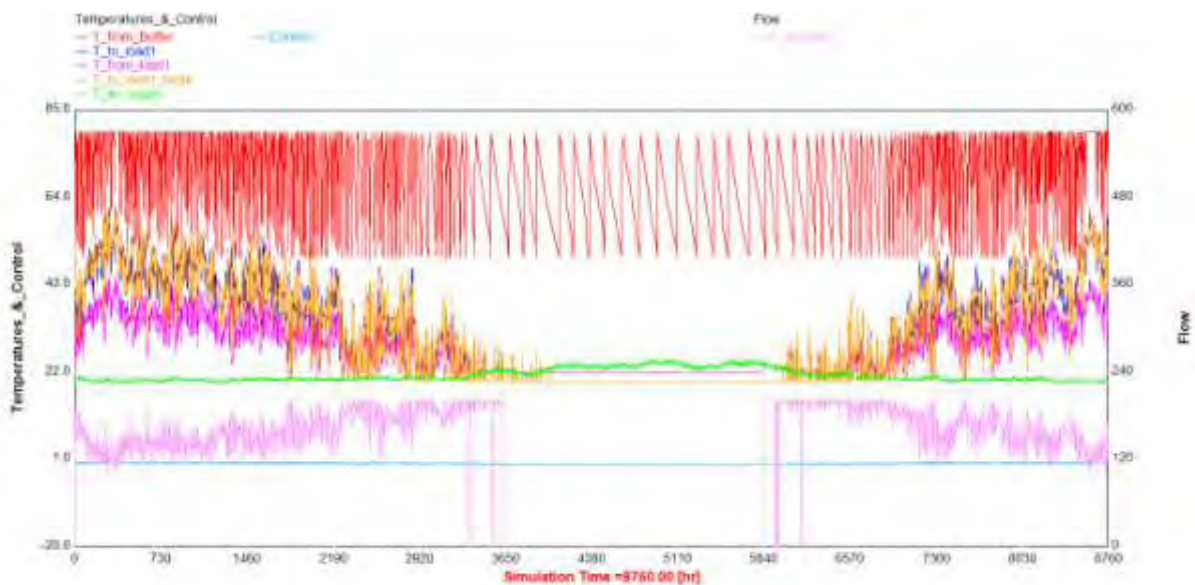
Διάγραμμα 6-7: Φόρτιση δεξαμενής αδράνειας τις πρώτες 15 ημέρες του Αυγούστου.

⇒ Το διάγραμμα θερμικού κυκλώματος ισογείου

Σε αυτό το διάγραμμα φαίνονται οι θερμοκρασίες, της ανώτατης διαστρωμάτωσης της δεξαμενής αδράνειας, της επιθυμητής προσαγωγής στη ζώνη του ισογείου, της πραγματικής

προσαγωγής στη ζώνη του ισογείου και του αέρα του ισογείου. Φαίνεται επίσης το σήμα ελέγχου του PID που οδηγεί την τρίοδη βάννας διανομής και τέλος η παροχή μάζας στο by-pass του θερμικού κυκλώματος.

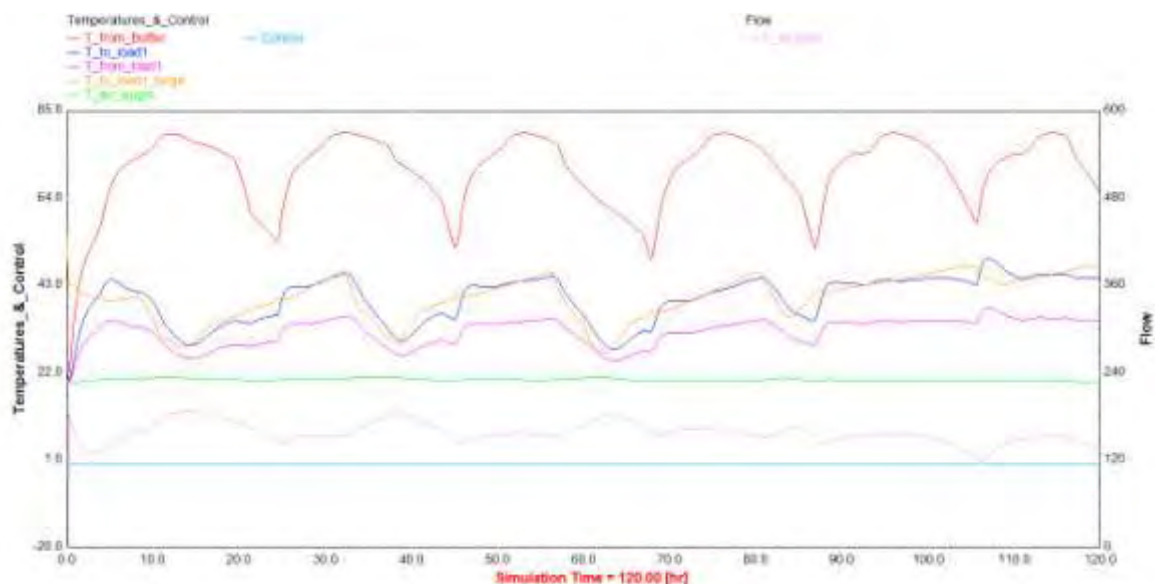
Ο αριστερός κατακόρυφος περιέχει θερμοκρασία [$^{\circ}\text{C}$] και σήμα ελέγχου [-]. Ο δεξιός κατακόρυφος περιέχει παροχή μάζας [kg/h]. Όσο αφορά τις θερμοκρασίες, με **κόκκινο** χρώμα είναι της ανώτατης διαστρωμάτωσης της δεξαμενής αδράνειας, με **πορτοκαλί** της επιθυμητή προσαγωγής στο θερμικό κύκλωμα του ισογείου, με **μπλε** της πραγματική προσαγωγής, με **μωβ** της επιστροφή από τη θερμική ζώνη του ισογείου και με **πράσινο** του αέρα της θερμικής ζώνης. Όσο αφορά το σήμα αυτό φαίνεται με **γαλάζιο**. Τέλος, η παροχή μάζας στο by-pass φαίνεται με **ροζ**.



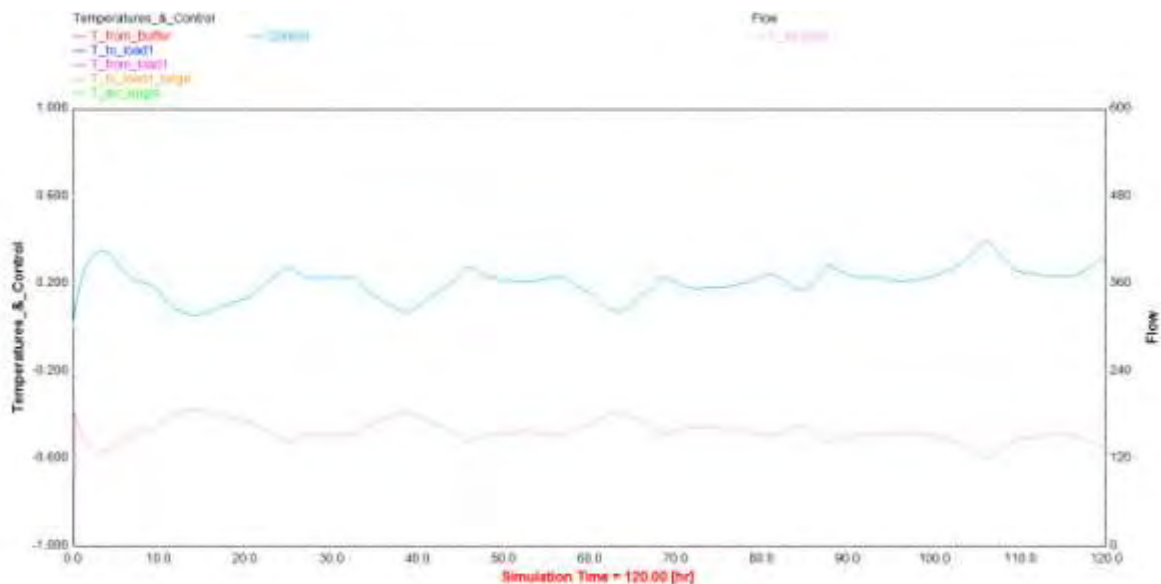
Διάγραμμα 6-8: Θερμικού κυκλώματος ισογείου

Για σαφέστερη ανάγνωση του διαγράμματος πραγματοποιείται εστίαση στις πέντε πρώτες ημέρες του έτους και στις 15 πρώτες ημέρες του Αυγούστου που φαίνονται στα

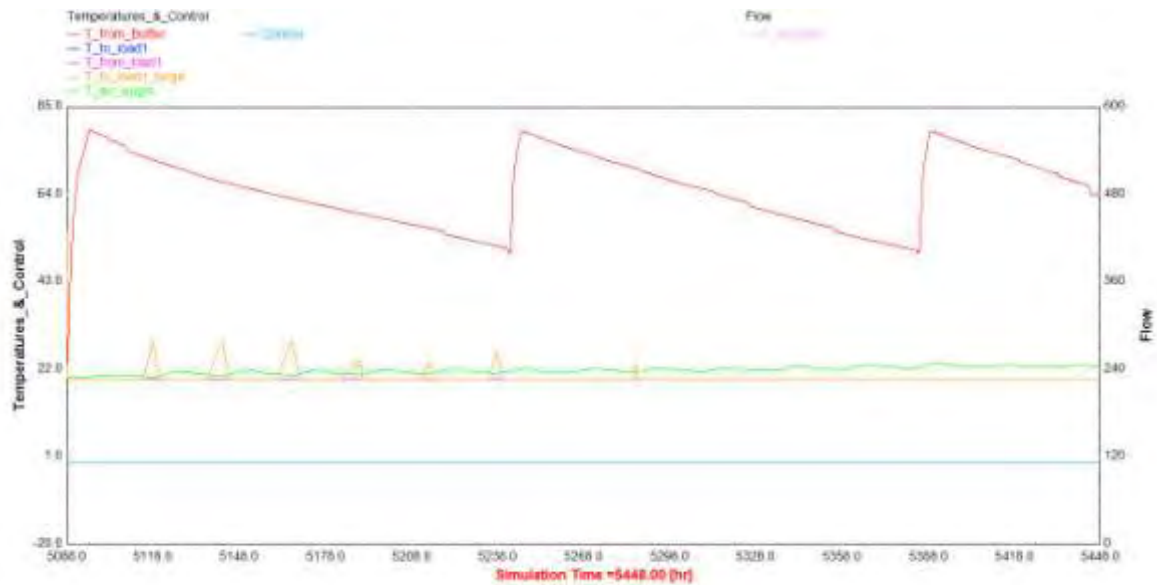
ακόλουθα διαγράμματα ενώ περιλαμβάνεται και ένα διάγραμμα θερμικού κυκλώματος ισογείου για τις 5 πρώτες ημέρες του έτους με έμφαση κλίμακας στο σήμα και την παροχή



Διάγραμμα 6-9: Θερμικού κυκλώματος ισογείου για τις 5 πρώτες ημέρες του έτους



Διάγραμμα 6-10: Θερμικού κυκλώματος ισογείου με έμφαση στο σήμα και την παροχή.



Διάγραμμα 6-11: Θερμικού κυκλώματος ισογείου τις 15 πρώτες ημέρες του Αυγούστου.

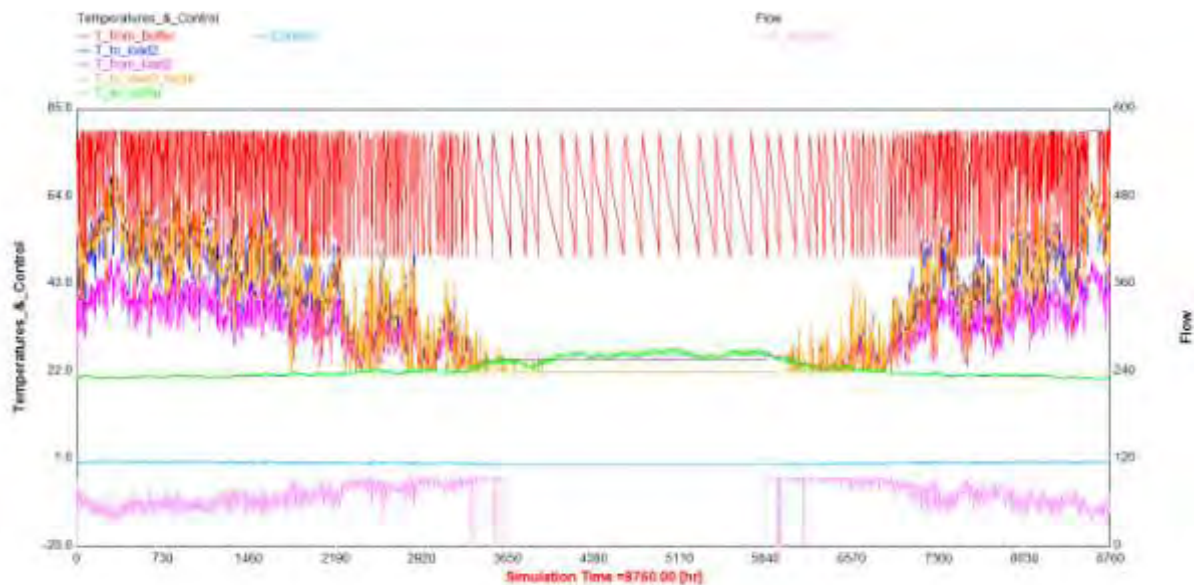
Στο τελευταίο διάγραμμα παρατηρείται ότι το σήμα ελέγχου οδήγησης της τρίοδης είναι μόνιμα μηδέν, δηλαδή η θέση της τρίοδης είναι τέτοια που το by-pass είναι 100% ανοιχτό. Επίσης η παροχή από τον κυκλοφορητή είναι μηδέν και συνεπώς δεν υπάρχει καμία θερμική μετάδοση.

⇒ Το διάγραμμα θερμικού κυκλώματος σοφίτας

Σε αυτό το διάγραμμα φαίνονται οι θερμοκρασίες, της ανώτατης διαστρωμάτωσης της δεξαμενής αδράνειας, της επιθυμητής προσαγωγής στη ζώνη της σοφίτας, της πραγματικής προσαγωγής στη ζώνη της σοφίτας και του αέρα της σοφίτας. Φαίνεται επίσης το σήμα ελέγχου του PID που οδηγεί την τρίοδη βάννας διανομής και τέλος η παροχή μάζας στο by-pass του θερμικού κυκλώματος.

Ο αριστερός κατακόρυφος άξονας περιέχει θερμοκρασία [°C] και σήμα ελέγχου [-].

Ο δεξιός κατακόρυφος άξονας περιέχει παροχή μάζας [kg/h].

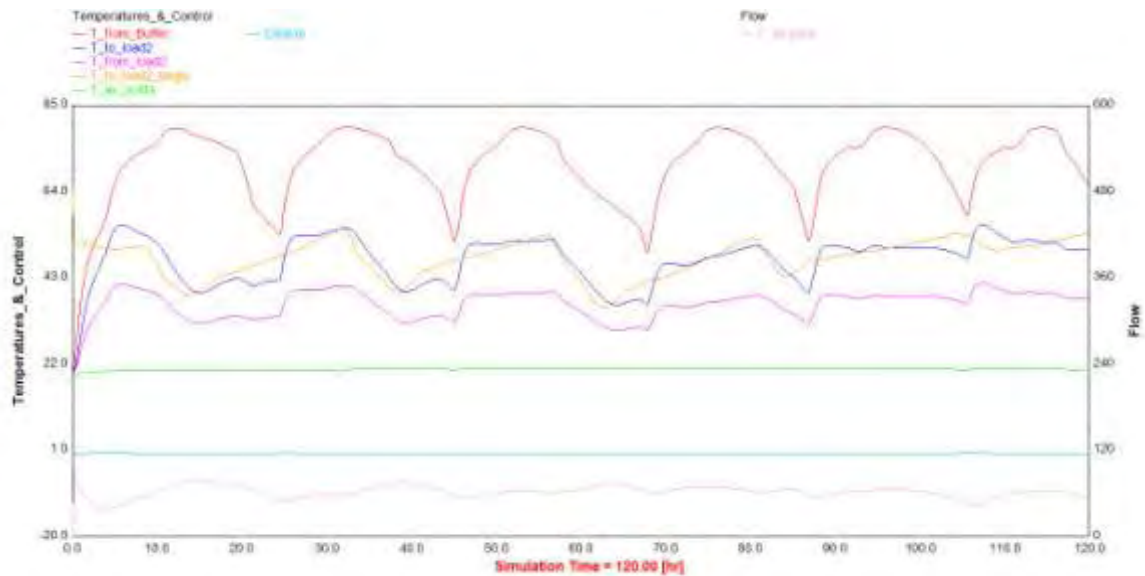


Διάγραμμα 6-12: Θερμικού κυκλώματος σοφίτας

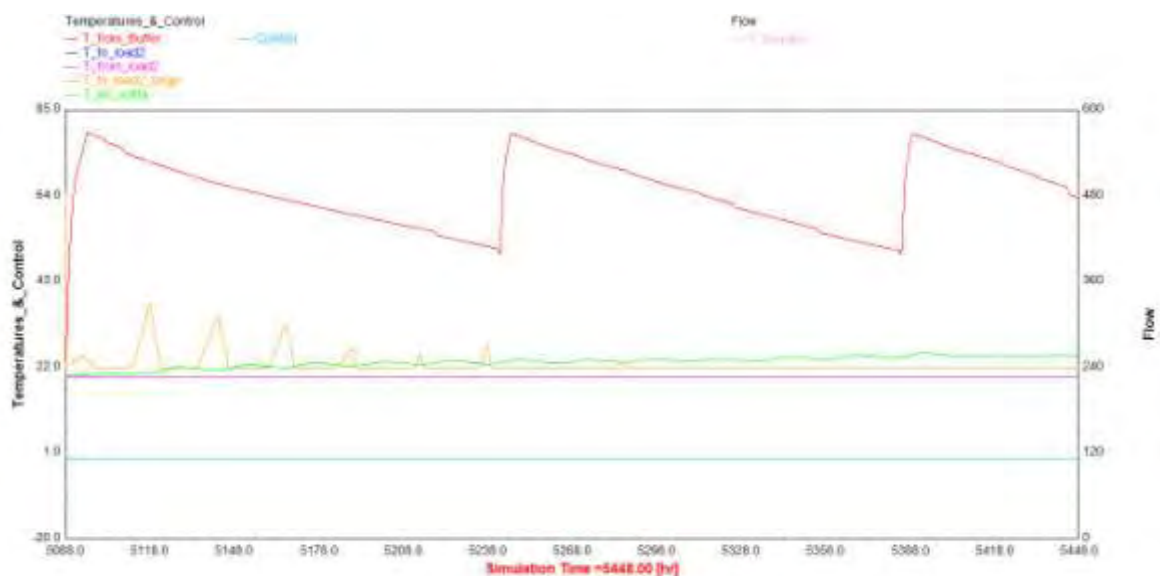
Όσο αφορά τις θερμοκρασίες, με **κόκκινο** χρώμα είναι της ανώτατης διαστρωμάτωσης της δεξαμενής αδράνειας, με **πορτοκαλί** της επιθυμητή προσαγωγής στο θερμικό κύκλωμα της σοφίτας, με **μπλε** της πραγματική προσαγωγής, με **μοβ** της επιστροφή από τη θερμική ζώνη της σοφίτας και με **πράσινο** του αέρα της θερμικής ζώνης. Όσο αφορά το σήμα αυτό φαίνεται με **γαλάζιο**. Τέλος, η παροχή μάζας στο by-pass φαίνεται με **ροζ**.

Για σαφήνεια πραγματοποιείται εστίαση στις 5 πρώτες ημέρες του έτους και στις 15 πρώτες ημέρες του Αυγούστου με τα ακόλουθα δύο διαγράμματα.

Και στην περίπτωση του θερμικού κυκλώματος της σοφίτας υπάρχει διακύμανση του σήματος ελέγχου της τρίοδης βάνας από τον ελεγκτή PID. Αυτή η χρονική εξέλιξη του σήματος ελέγχου έχει συμμετρική συμπεριφορά με την παροχή στο by-pass όπως φάνηκε από το σχετικό διάγραμμα για την περίπτωση του θερμικού κυκλώματος ισογείου. Αντίστοιχα για την καλοκαιρινή περίοδο το σήμα είναι μηδέν, δηλαδή το by-pass είναι 100% ανοιχτό και ο κυκλοφορητής κλειστός.



Διάγραμμα 6-13: Θερμικού κυκλώματος σοφίτας για τις 5 πρώτες ημέρες του έτους

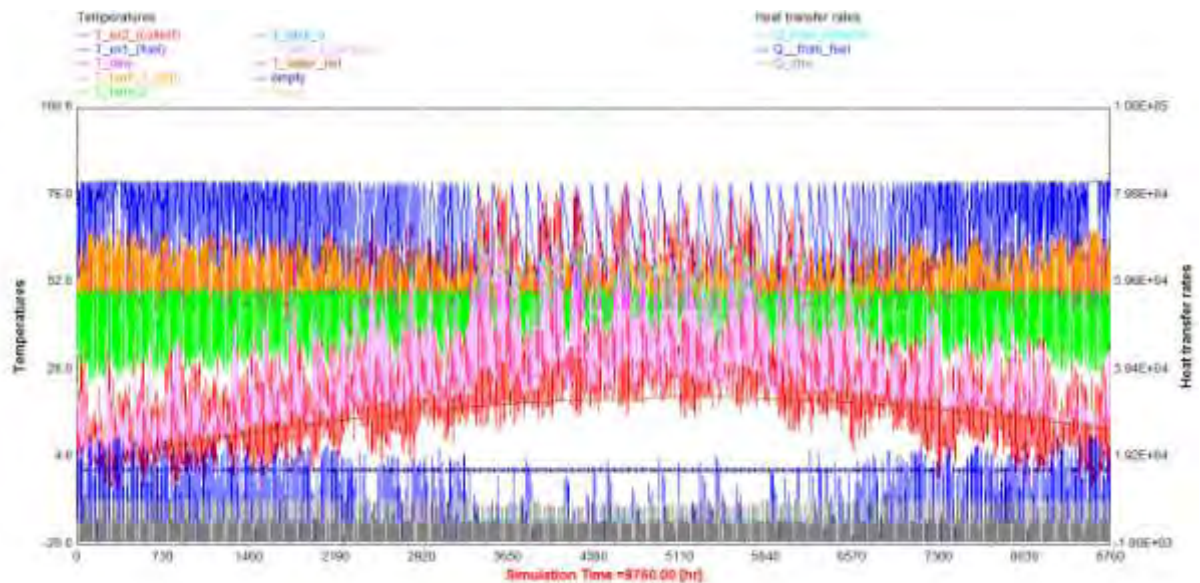


Διάγραμμα 6-14: Θερμικού κυκλώματος σοφίτας τις 15 πρώτες ημέρες του Αυγούστου.

⇒ Το διάγραμμα θερμικού κυκλώματος ZNX.

Σε αυτό το διάγραμμα φαίνονται οι θερμοκρασίες, του θερμικού μέσου που εισέρχεται στον κάτω εναλλάκτη (δηλαδή του θερμικού μέσου που έρχεται από τον ηλιακό), του

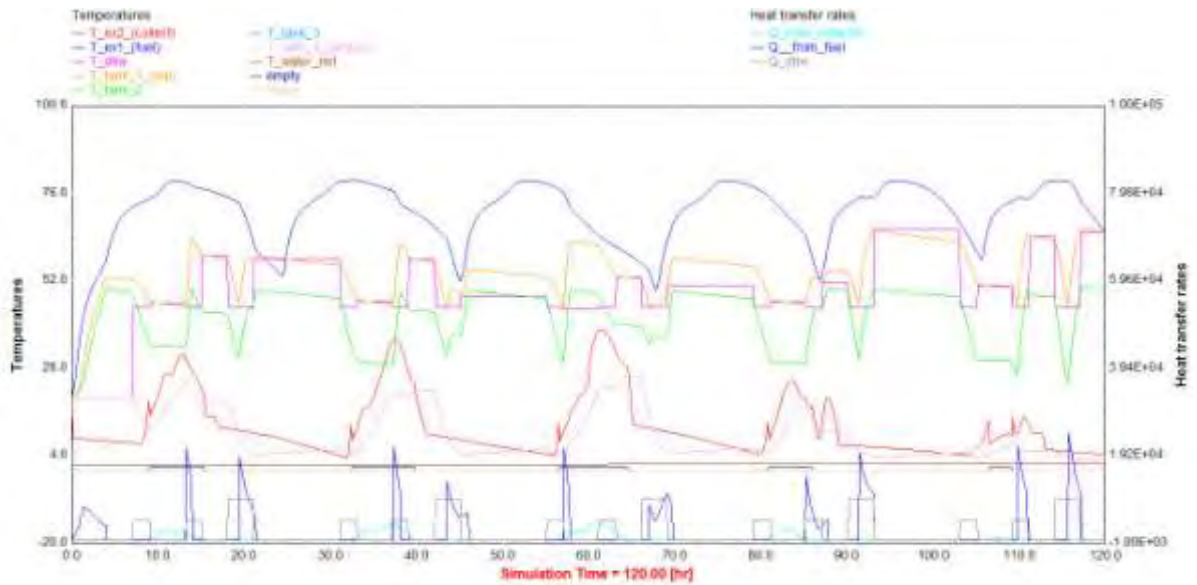
θερμικού μέσου που εισέρχεται στον πάνω εναλλάκτη (δηλαδή του νερού που έρχεται από τη δεξαμενή αδράνειας), της ανώτατης διαστρωμάτωσης της δεξαμενής ZNX, της κατώτατης διαστρωμάτωσης της δεξαμενής του ZNX, του νερού του δικτύου. Επίσης φαίνονται οι θερμικές ροές από τον ηλιακό, την δεξαμενή αδράνειας αλλά η συνολική θερμική ροή που λαμβάνει του ZNX.



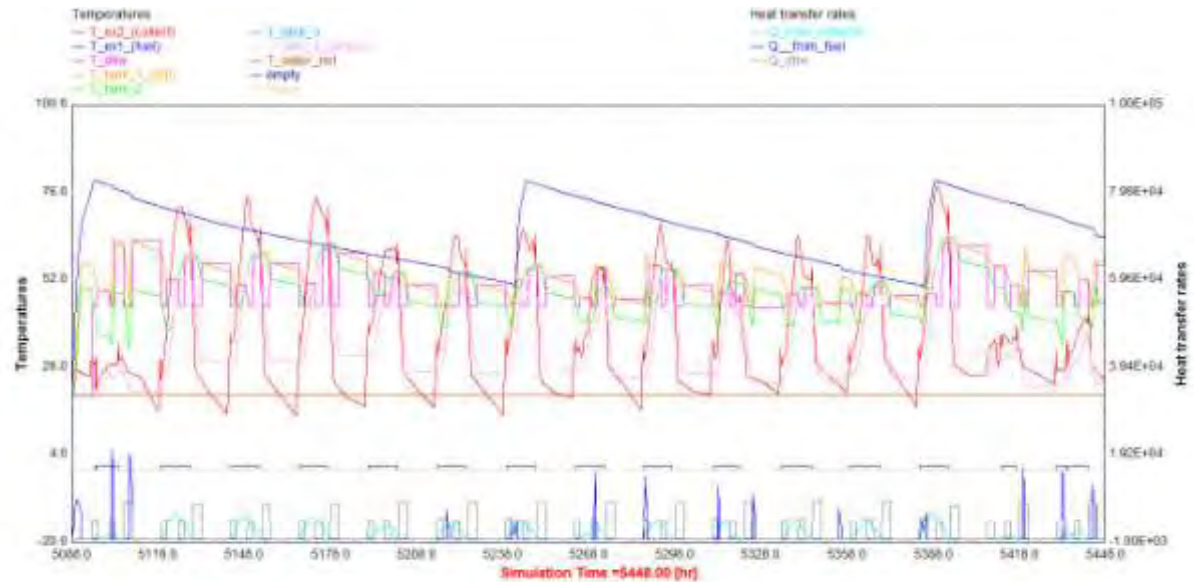
Διάγραμμα 6-15: Θερμικού κυκλώματος ZNX

Ο αριστερός κατακόρυφος άξονας περιέχει θερμοκρασία [$^{\circ}\text{C}$]. Ο δεξιός κατακόρυφος άξονας περιέχει θερμική ροή [kJ/h]. Όσο αφορά τις θερμοκρασίες, με **κόκκινο** χρώμα είναι η θερμοκρασία του θερμικού μέσου που εισέρχεται στον κάτω εναλλάκτη, με **μπλε** χρώμα το νερό που εισέρχεται στον πάνω εναλλάκτη από την δεξαμενή αδράνειας, με **πορτοκαλί** η θερμοκρασία της ανώτατης διαστρωμάτωσης της δεξαμενής και με **ροζ** η θερμοκρασία της κατώτατης διαστρωμάτωσης της δεξαμενής. Όσο αφορά τις θερμικές ροές, με **γαλάζιο** είναι η θερμική ροή από τον ηλιακό, με **μπλε ανοιχτό** από την δεξαμενή αδράνειας και τέλος με **γκρι** είναι το θερμικό περιεχόμενο της ροής του ZNX που λαμβάνεται από τη δεξαμενή του ZNX.

Για σαφέστερη ανάγνωση του διαγράμματος πραγματοποιείται εστίαση στις 5 πρώτες ημέρες του έτους και στις 15 πρώτες ημέρες του Αυγούστου που φαίνονται στα ακόλουθα δύο διαγράμματα.



Διάγραμμα 6-16: Θερμικού κυκλώματος ZNX για τις 5 πρώτες ημέρες του έτους.



Διάγραμμα 6-17: Θερμικού κυκλώματος ZNX για τις 15 πρώτες ημέρες του Αυγούστου.

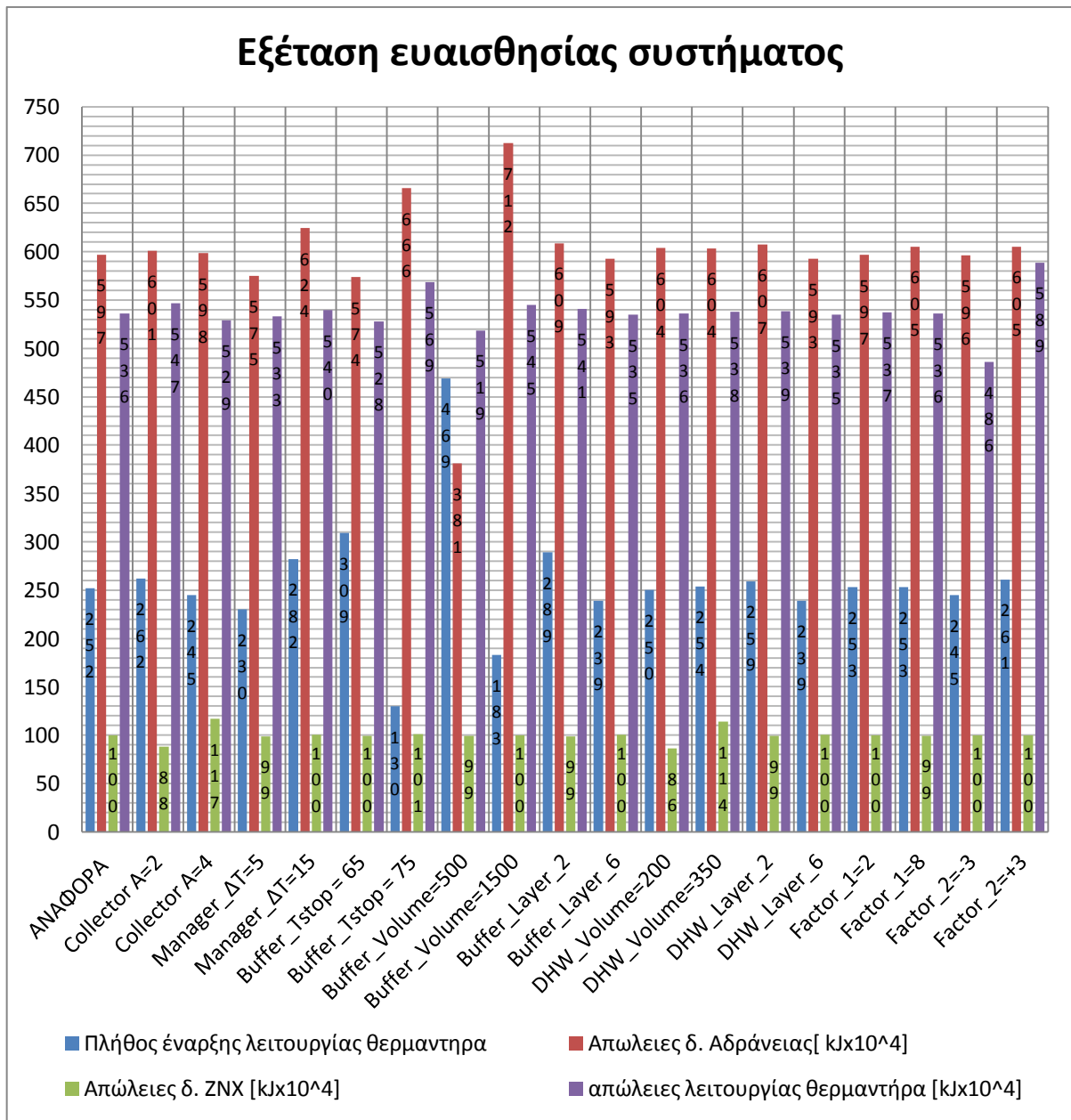
6.2 Τροποποιούμενες Μεταβλητές

Για την κάθε τροποποιούμενη μεταβλητή επιλέγεται μια ομάδα τιμών που χρησιμοποιείται για την εξέταση της ευαισθησίας του συστήματος και ειδικότερα των επιλεγμένων κρίσιμων εξεταζόμενων μεγεθών. Αυτές οι τιμές δίδονται με τον ακόλουθο πίνακα όπου με παχιά γράμματα είναι οι τιμές αναφοράς.

| | | |
|---|---|--|
| Επιφάνεια και Παροχή Ηλιακού Συλλεκτή <ul style="list-style-type: none">• 2 m² - 0.04 kg/s• 3 m² - 0.06 kg/s• 4 m² - 0.08 kg/s | Θερμοκρασία Έναρξης Φόρτισης Δεξαμενής Αδράνειας (Άνω Θερμοκρασία) <ul style="list-style-type: none">• Προσάυξηση 5°C• Προσάυξηση 10 °C• Προσάυξηση 15 °C | Θερμοκρασία Διακοπής Φόρτισης Δεξαμενής Αδράνειας (Κάτω Θερμοκρασία) <ul style="list-style-type: none">• 65 °C• 70 °C• 75 °C |
| Όγκος Δεξαμενής Αδράνειας <ul style="list-style-type: none">• 500 lt• 1000 lt• 1500 lt | Διαστρωμάτωση Δεξαμενής Αδράνειας <ul style="list-style-type: none">• 2 στρώσεις• 4 στρώσεις• 6 στρώσεις | Όγκος Δεξαμενής ΖΝΧ <ul style="list-style-type: none">• 200lt• 270lt• 350 lt |
| Διαστρωμάτωση Δεξαμενής ΖΝΧ <ul style="list-style-type: none">• 2 στρώσεις• 4 στρώσεις• 6 στρώσεις | Συντελεστής ταχύτητας επίτευξης επιθυμητής θερμ. χώρου <ul style="list-style-type: none">• 2• 5• 8 | Συντελεστής μετατόπισης γραμμικής σχέσης αντιστάθμισης <ul style="list-style-type: none">• -3• 0• +3 |

Εικόνα 6-4: Τροποποιούμενες μεταβλητές

Εκτελώντας μια προσομοίωση για το κάθε σενάριο προκύπτει το επόμενο διάγραμμα στο οποίο φαίνεται με σαφή τρόπο η επίδραση της κάθε τροποποιούμενης μεταβλητής σε κρίσιμα εξεταζόμενα μεγέθη του συστήματος.



Διάγραμμα 6-18: Εξέταση ευαισθησίας συστήματος

Εξετάζοντας το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε τα ακόλουθα για την κάθε τροποποιούμενη μεταβλητή:

Η αύξηση του μεγέθους της ηλιακής συλλεκτικής επιφάνειας δεν μειώνει σημαντικά όπως αναμένονταν το πλήθος έναρξής λειτουργίας του θερμαντήρα ενώ αυξάνει αρκετά τις θερμικές απώλειες της δεξαμενής ΖΝΧ. Αυτό συμβαίνει κυρίως λόγω του επιλεγμένου

σταθερού προφίλ κατανάλωσης ZNX το οποίο απαιτεί μέγιστη θερμική ροή τις ώρες 7 με 9 μμ.

Η απαίτηση για ελάχιστη θερμοκρασία στην ανώτατη διαστρωμάτωση στη δεξαμενή αδράνειας που ελέγχεται από τον διαχειριστή έχει επίδραση στο πλήθος έναρξης λειτουργίας αλλά και στις θερμικές απώλειες της δεξαμενής αδράνειας. Από την συμπεριφορά που παρατηρείται προκύπτει ότι η μείωση της ελάχιστης αποδεκτής θερμοκρασία στην άνω διαστρωμάτωση πρέπει να αποτελεί στόχο για τον σχεδιασμό. Η όποια προσαύξηση της, με την χρήση της μεταβλητής DT_extra στον διαχειριστή, πρέπει να έχει μόνο σκοπό την πιθανή κάλυψη φορτίων αιχμής ώστε να επιτρέπεται η μικρότερη διαστασιολόγηση του θερμαντήρα. Πρέπει να επισημανθεί ότι στο ενδεχόμενο οι συντελεστές μετάδοσης θερμότητας στους θερμαινόμενους χώρους να είναι μικρότεροι θα υπάρχει ανάγκη για υψηλότερη θερμοκρασία προσαγωγής και συνεπώς η ελάχιστη απαιτούμενη θερμοκρασία στην άνω διαστρωμάτωση θα απαιτούνταν από τον διαχειριστή να είναι μεγαλύτερη, δηλαδή ότι συμβαίνει με την εξωτερική επέμβαση μας στην αύξηση της μεταβλητής προσαύξησης DT_extra. Επομένως η σημασία της γνώσης των αναγκαίων θερμοκρασιών προσαγωγής στα θερμικά κυκλώματα ώστε να ρυθμίζεται η ελάχιστη απαιτούμενη θερμοκρασία της άνω διαστρωμάτωσης της δεξαμενής είναι μεγάλη για την μείωση των θερμικών απωλειών αφού στην αντίθετη περίπτωση η άνω διαστρωμάτωση θα πρέπει να έχει συνεχώς ρυθμισμένη υψηλή θερμοκρασιακή τιμή για να καλύπτεται κάθε θερμική απαίτηση.

Η μέγιστη θερμοκρασιακή απαίτηση στην κατώτατη διαστρωμάτωση της δεξαμενής αδράνειας επιδρά καθοριστικά στο πλήθος έναρξης λειτουργίας και στις θερμικές απώλειες της δεξαμενής αδράνειας. Επίσης επηρεάζει τις θερμικές απώλειες από την λειτουργία του θερμαντήρα. Αυτό συμβαίνει για μεγάλες τιμές θερμοκρασίας διακοπής φόρτισης αφού η

απαίτηση για λειτουργία σε μερικό φορτίο επιδρά αρνητικά εξαιτίας της παρατεταμένης και μειωμένης απόδοσης λειτουργίας σε μερικό φορτίο.

Ο όγκος της δεξαμενής αδράνειας επιδρά και αυτός καθοριστικά στο πλήθος έναρξης λειτουργίας και στις θερμικές απώλειες της δεξαμενής αδράνειας. Σημαντική παρατήρηση αποτελεί το γεγονός ότι η αύξηση της μέγιστης αποδεκτής θερμοκρασίας στην κάτω διαστρωμάτωση κατά 5 βαθμούς οδηγεί σε σημαντικότερη μείωση στο πλήθος ενάρξεων λειτουργίας και ταυτόχρονα με λιγότερες θερμικές απώλειες στη δεξαμενή αδράνειας σε σχέση με τις συνέπειες από την τροποποίηση του μεγέθους της δεξαμενής αδράνειας από 1000 σε 1500 lt.

Η μείωση των θερμοκρασιακών στρωμάτων στην δεξαμενή αδράνειας αυξάνει αρκετά το πλήθος έναρξης λειτουργίας και λίγο τις θερμικές απώλειες της δεξαμενής αδράνειας ενώ η αύξηση των θερμοκρασιακών στρωμάτων μειώνει λίγο το πλήθος έναρξης λειτουργίας και λίγο επίσης τις θερμικές απώλειες της δεξαμενής αδράνειας. Συνεπώς το πλήθος των ενάρξεων λειτουργίας είναι αρκετά επηρεαζόμενο από το βαθμό διαστρωμάτωσης της δεξαμενής αδράνειας.

Η τροποποίηση του όγκου της δεξαμενής του ZNX οδήγησε σε επίδραση μόνο στις θερμικές απώλειες της δεξαμενής ZNX και καθόλου στο πλήθος ενάρξεων λειτουργίας. Προφανώς, ο βασικός λόγος είναι και σε αυτή την περίπτωση το επιλεγμένο προφίλ θέρμανσης το οποίο θεωρείται ότι δεν αλλάζει εύκολα από το χρήστη ενώ μια πρόσθετη αιτία είναι και ο μεγάλος λόγος όγκου δεξαμενής αδράνειας προς όγκο δεξαμενής ZNX.

Η αύξηση των θερμοκρασιακών στρωμάτων στην δεξαμενή ZNX επιδρά θετικά στην καλύτερη συμπεριφορά της δεξαμενής αδράνειας. Δηλαδή μειώνει το πλήθος έναρξης

λειτουργίας και τις θερμικές απώλειες της δεξαμενής αδράνειας. Επίσης βελτιώνει καθοριστικά τις θερμικές απώλειες της δεξαμενής ZNX.

Από τις δύο παραμέτρους αντιστάθμισης παρατηρήθηκε τροποποίηση των κρίσιμων μεγεθών μόνο από την παράμετρο μετατόπισης. Αυτό οφείλεται στην άμεση τροποποίηση της θερμοκρασίας προσαγωγής που προκαλεί. Ενώ εκ πρώτης όψεων είναι αρνητική η επίδραση της αύξησης της παραμέτρου Scale Factor 2 πρέπει να σημειωθεί ότι οδήγησε σε πολύ καλύτερη στόχευση της επιθυμητής θερμοκρασίας χώρου.

6.3 Συμπεράσματα

Λαμβάνοντας υπόψη τις σημειώσεις της προηγούμενης παραγράφου καταλήγουμε στο ασφαλές συμπέρασμα ότι όσο αφορά τις τροποποιούμενες μεταβλητές που επιλέχθηκαν η ισχυρότερη επίδραση στα κρίσιμα εξεταζόμενα μεγέθη προέρχεται από την μεταβολή της μέγιστης αποδεκτής θερμοκρασίας της κατώτατης διαστρωμάτωσης στη δεξαμενή αδράνειας και από τον όγκο της δεξαμενής αδράνειας. Συνεπώς η βελτιστοποίηση του εξεταζόμενου συστήματος στο πλαίσιο αυτής της εργασίας γίνεται εξετάζοντας τις δύο αυτές μεταβλητές.

Κεφάλαιο 7 Βελτιστοποίηση Σχεδιασμού

Με την εξέταση ευαισθησίας στο προηγούμενο κεφάλαιο διαπιστώθηκε η ισχυρή επίδραση του όγκου της δεξαμενής αδράνειας και της μέγιστης επιτρεπτής θερμοκρασίας στην κατώτατη διαστρωμάτωση της δεξαμενής στις θερμικές απώλειες του συστήματος.

Ενσωματώνοντας όλες τις υπόλοιπες τροποποιούμενες μεταβλητές στην ομάδα των σταθερών μεταβλητών, επιλέχθηκε μια μικρή βελτίωση στην συμπεριφορά του συστήματος. Δηλαδή μια μεταβολή της κατάστασης αναφοράς που δίδεται από τον ακόλουθο πίνακα.

| | | |
|---------------------------------------|--|--|
| Επιφάνεια και Παροχή Ηλιακού Συλλεκτή | Θερμοκρασία Έναρξης Φόρτισης Δεξαμενής Αδράνειας (Άνω Θερμοκρασία) | |
| • 3 m ² - 0.06 kg/s | • Προσάυξηση 5 °C | |
| Διαστρωμάτωση Δεξαμενής Αδράνειας | Όγκος Δεξαμενής ΖΝΧ | |
| • 6 στρώσεις | • 270lt | |
| Διαστρωμάτωση Δεξαμενής ΖΝΧ | Συντελεστής ταχύτητας επίτευξης επιθυμητής θερμ. χώρου | Συντελεστής μετατόπισης γραμμικής σχέσης αντιστάθμισης |
| • 4 στρώσεις | • 8 | • +3 |

Εικόνα 7-1: Κατάσταση αναφοράς για τη βελτιστοποίηση.

Η μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία της κατώτατης διαστρωμάτωσης της δεξαμενής αδράνειας αποτελεί εκείνη την θερμοκρασία που όταν επιτυγχάνεται διακόπτεται η

διαδικασία της θερμικής φόρτισης. Συνεπώς είναι ισχυρά συνδεδεμένη με τον βαθμό απόδοσης ή διαφορετικά με τον βαθμό αξιοποίησης μιας δεξαμενής αποθήκευσης. Όταν είναι αυξημένη αυτή η θερμοκρασία τότε η δεξαμενή αποθήκευσης κατά την ολοκλήρωση μιας θερμικής φόρτισης καταλήγει να έχει μεγαλύτερο θερμικό περιεχόμενο. Υπάρχουν δύο συνέπειες όταν είναι αυξημένη αυτή η θερμοκρασία. Η πρώτη είναι η αύξηση των θερμικών απωλειών της δεξαμενής αδράνειας. Η δεύτερη είναι η μείωση του πλήθους ενάρξεων λειτουργίας του θερμαντήρα και επομένως μείωση των μεταβολών της ενεργειακής κατάστασης του άρα και των επαγόμενων θερμικών απωλειών από αυτές τις μεταβάσεις.

Η επιλογή αυτή η θερμοκρασία να έχει μεγάλη τιμή είναι ισχυρά εξαρτώμενη από το εύρος λειτουργίας ενός θερμαντήρα. Όταν δηλαδή ένας θερμαντήρας δεν μπορεί να εργαστεί ή έχει πολύ χαμηλή απόδοση σε φορτίο μικρότερο από κάποιο ποσοστό της ονομαστικής του τιμής τότε δεν υπάρχει ωφέλεια να απαιτηθεί ρύθμιση θερμοκρασίας στην κατώτατη διαστρωμάτωση που να οδηγεί τον θερμαντήρα σε τέτοιο μερικό φορτίο.

Το μέγεθος της δεξαμενής αδράνειας επιδρά και αυτό στο θερμικό περιεχόμενο της δεξαμενής όχι από την πλευρά της θερμοκρασίας αλλά από την πλευρά του περιεχόμενου θερμικού όγκου. Συνεπώς και σε αυτή την περίπτωση προκύπτουν τα αντίστοιχα αποτελέσματα, δηλαδή τροποποίηση των θερμικών απωλειών της δεξαμενής εξαιτίας διαφοροποιημένης επιφάνειας θερμικής συναλλαγής με το περιβάλλον και τροποποίηση του πλήθους φορτίσεων με συνέπεια τις όποιες απώλειες λόγω των μεταβολών κατάστασης του θερμαντήρα.

Συνεπώς οι δύο αυτές μεταβλητές όταν αυξάνονται οδηγούν σε δύο σημαντικές μεταβολές. Σε αύξηση των θερμικών απωλειών στη δεξαμενή αδράνειας και ταυτόχρονα σε μείωση των θερμικών απωλειών από τον περιορισμό των μεταβατικών καταστάσεων στον θερμαντήρα.

Έχοντας υπόψη ότι κατά την τροποποίηση αυτών των μεταβλητών επηρεάζεται και η χρονική διάρκεια των φορτίσεων, συνεπώς και οι θερμικές απώλειες από την κατάσταση ομαλής λειτουργίας του θερμαντήρα, είναι φανερή η καθοριστική επίδραση αυτών των μεταβλητών στο μεγαλύτερο μέρος της λειτουργίας του εξεταζόμενου συστήματος.

Με βάση όλα τα παραπάνω, ο στόχος της παρούσας βελτιστοποίησης είναι η επιλογή του κατάλληλου μεγέθους δεξαμενής αδράνειας ώστε να επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών του συστήματος για κάθε σενάριο εύρους λειτουργίας θερμαντήρα.

7.1 Συνάρτηση βελτιστοποίησης

Η ενοποίηση των κρίσιμων εξεταζόμενων μεγεθών επιτυγχάνεται με την κατάστρωση της συνάρτησης βελτιστοποίησης. Αυτή δεν είναι άλλη από το άθροισμα των βασικών θερμικών απωλειών που εντοπίζονται:

- Στην δεξαμενή αδράνειας
- Στην δεξαμενή ZNX
- Στον θερμαντήρα όταν λειτουργεί ομαλά.
- Στον θερμαντήρα όταν έχει μεταβατική λειτουργία.

Τα τρία πρώτα άμεσα υπολογίσιμα από την διαδικασία της προσομοίωσης ενώ το τελευταίο απαιτεί κάποιες παραδοχές που αναλύονται με τις ακόλουθες σκέψεις

Κάθε συσκευή έτσι και ο θερμαντήρας όταν αρχίζει την λειτουργία του έχει πολύ χαμηλότερη απόδοση σε σχέση με την απόδοση λειτουργίας του σε ομαλή κατάσταση. Δηλαδή κάθε συσκευή σε ένα σύστημα έχει μια αδράνεια συμπεριφοράς/κατάστασης η οποία ανάλογα με τα συνεργαζόμενα μέρη του συστήματος αυτή η αδράνεια μπορεί να είναι σκόπιμο να υπολογίζεται ή όχι. Ένας λέβητας για παράδειγμα αποτελεί σε ένα σύνηθες

σύστημα θέρμανσης σημαντικό μέρος και συνεπώς η αδράνεια του έχει αρκετό βάρος στην συμπεριφορά του συστήματος. Ο προσδιορισμός την μείωσης της απόδοσης μιας συσκευής θεωρητικά δεν είναι εύκολη υπόθεση. Για ένα λέβητα, η μεγαλύτερη συνεισφορά στην συνολική του αδράνεια οφείλεται στη θερμοχωρητικότητα του και συνεπώς για απλότητα μπορούμε να περιοριστούμε σε αυτή. Από την σύνθεση της μάζας του μπορεί να υπολογιστεί προσεγγιστικά το θερμικό του περιεχόμενο. Από τεχνικές προδιαγραφές λεβήτων βιομάζας μπορούμε να εξάγουμε μια αναλογία μάζας λέβητα προς μάζα περιεχόμενου νερού από 4.7 έως 2.9 για λέβητες από 10 έως 60 kW αντίστοιχα. Θεωρώντας ότι η μάζα του λέβητα οφείλεται σχεδόν εξ' ολοκλήρου στο μεταλλικό του σώμα που συχνά είναι χάλυβας επιλέγεται ειδική θερμοχωρητικότητα $0.49 \text{ kJ.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ και συνεπώς υπολογίζεται το θερμικό του περιεχόμενο. Αυτό είναι ίσο με το άθροισμα της θερμότητας που οφείλεται στο νερό και της θερμότητας που οφείλεται στο μεταλλικό σώμα του λέβητα. Συνεπώς για ένα λέβητα 10 kW όπως απαιτεί το εξεταζόμενο μας σύστημα, με 55lt περιεχόμενο νερό και θερμοκρασία 80°C (άρα θερμοκρασιακή διαφορά με περιβάλλον $80^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C} = 60\text{K}$), το θερμικό περιεχόμενο θα είναι ίσο με $60\text{K} \times \{55 [\text{kg}] \times 4.19 [\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}] + 4.7 \times 55 [\text{kg}] \times 0.49 [\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}]\} = 60\text{K} \times (230 + 127) [\text{kJ.K}^{-1}] = 21420 \text{ kJ}$. Επιλέγοντας για αυτό το συνολικό ενεργειακό περιεχόμενο, το οποίο απαιτείται για το στάδιο της έναρξης λειτουργίας, μια πτώση απόδοσης λέβητα από σχεδόν 94% για την ομαλή λειτουργία σε περίπου 60% προκύπτει μια ενεργειακή απώλεια ίση περίπου με $(0.94-0.6) \times 21420 \text{ kJ} = 7283\text{kJ}$ σε κάθε έναρξη λειτουργίας.

Όταν διακόπτεται η λειτουργία τότε όλο το θερμικό περιεχόμενο του λέβητα δεν μεταφέρεται στο σύστημα και επίσης το όποιο περιεχόμενο βιομάζας υπάρχει στον θάλαμο καύσης δεν αξιοποιείται αλλά σβήνει και αποβάλλεται. Συνεπώς κατά το τέλος λειτουργίας ενός λέβητα υπάρχουν δύο ενεργειακές απώλειες. Πρώτον, όλο το θερμικό περιεχόμενο που

είναι αποθηκευμένο στην μάζα του λέβητα (νερό και χάλυβα) και δεύτερον το ενεργειακό περιεχόμενο του εναπομείναντος καυσίμου στο χώρο καύσης. Για το δεύτερο θα χρειαστεί η παραδοχή ότι σε ένα πολύ μικρό λέβητα βιομάζας το εναπομένον καύσιμο είναι περίπου 100gr. Συνεπώς λαμβάνοντας 4.9 kWh για κάθε κιλό καυσίμου ή διαφορετικά 17640 kJ για κάθε κιλό προκύπτει ότι η απώλεια για τα 100gr θα είναι $0.1 \times 17640 \text{ kJ} = 1764 \text{ kJ}$. Επομένως η συνολική απώλεια για το τέλος λειτουργίας του λέβητα θα είναι $21420 + 1764 = 23184 \text{ kJ}$.

Προκύπτει λοιπόν προσεγγιστικά ότι για κάθε κύκλο λειτουργίας (έναρξη και διακοπή) ενός λέβητα βιομάζας ονομαστικής ισχύος περίπου 10 kW οι θερμικές απώλειες είναι περίπου 30MJ (7MJ κατά την έναρξη και 23MJ κατά την διακοπή). Συνεπώς με αυτή την τιμή μπορούμε να περάσουμε από το χώρο του πλήθους ενάρξεων λειτουργίας στο χώρο των θερμικών απωλειών.

7.2 Αποτελέσματα

Οι όγκοι δεξαμενών αδράνειας που εξετάζονται έχουν και το αντίστοιχο ύψος το οποίο ενσωματώνεται στο μοντέλο για την παραγωγή των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων. Δηλαδή για κάθε τροποποίηση όγκου γίνεται τροποποίηση και του ύψους της δεξαμενής ώστε να είναι ακριβέστερο το μοντέλο όσο αφορά την διαστρωμάτωση.

Πίνακας 2: Εμπορικά χαρακτηριστικά δεξαμενών αδράνειας

| | | | | | | | | |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Όγκος δεξαμενής [lt] | 200 | 500 | 800 | 1000 | 1250 | 1500 | 2000 | 3000 |
| Ύψος [mm] | 1400 | 1725 | 1785 | 2135 | 2090 | 2235 | 2465 | 2845 |

Οι μέγιστες θερμοκρασίες κατώτατης διαστρωμάτωσης που εξετάζονται βασίζονται στην υπόθεση της τροποποίησης του εύρους λειτουργίας του θερμαντήρα. Για παράδειγμα ένας μικρός λέβητας βιομάζας υψηλής τεχνολογίας για την περίπτωση καύσης ξύλων το μέγιστο εύρος λειτουργίας μπορεί να είναι από 100% έως 50% για μερικό φορτίο ενώ για την περίπτωση καύσης pellet υπάρχει σοβαρή αύξηση εύρους που φθάνει από 100% έως 25% για μερικό φορτίο. Επομένως μπορεί να παραχθεί σχετικός πίνακας σύνδεσης εύρους λειτουργίας και μέγιστης θερμοκρασίας κατώτατης διαστρωμάτωσης (ή αλλιώς θερμοκρασίας διακοπής φόρτισης)

Πίνακας 3: Σύνδεση εύρους λειτουργίας θερμαντήρα με κατώτατη διαστρωμάτωση

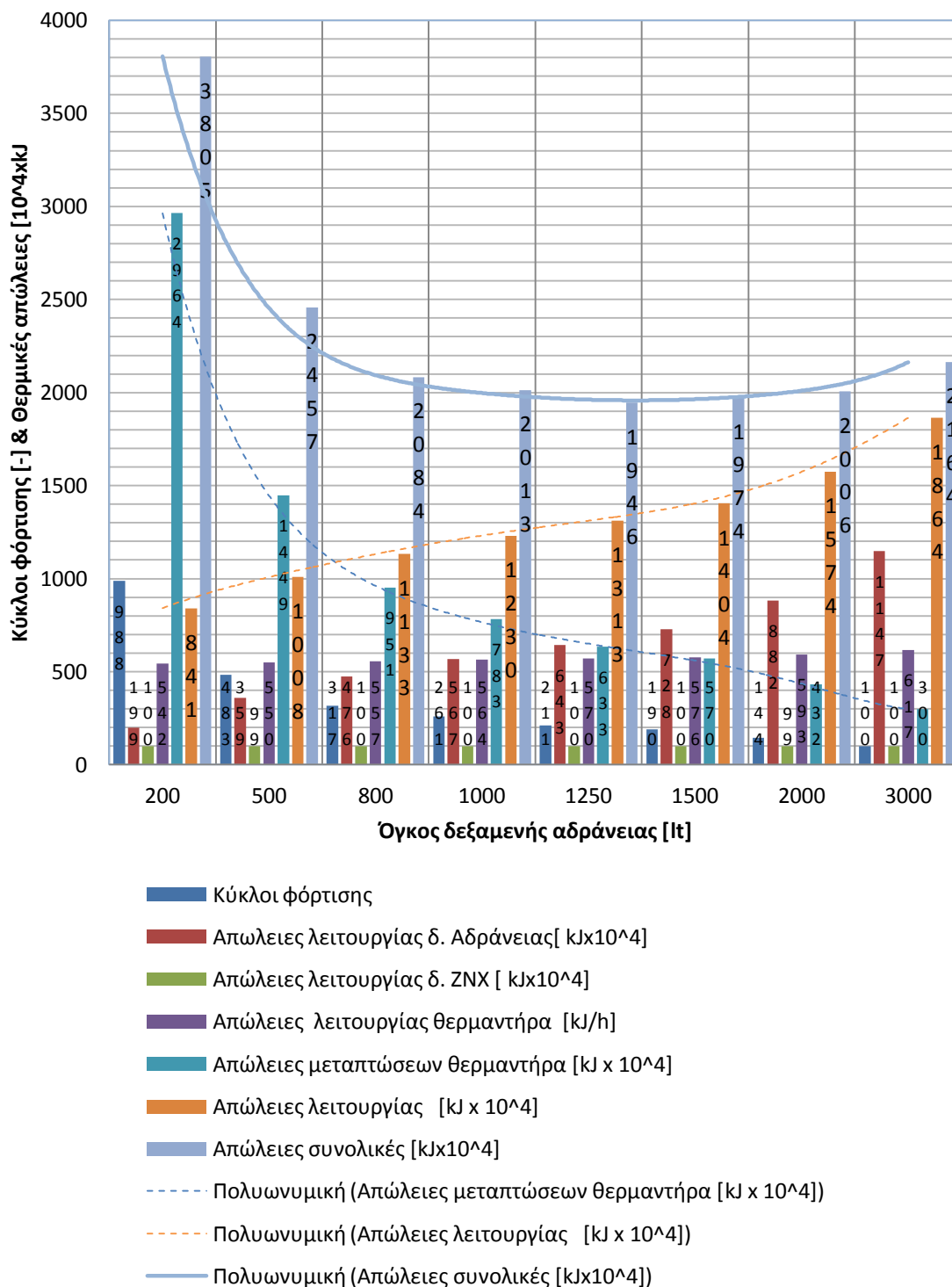
| | Σενάρια | | | | |
|---|---------|------|------|------|------|
| | A | B | Γ | Δ | E |
| Ελάχιστο μερικό φορτίο λειτουργίας θερμαντήρα (100% είναι το μέγιστο φορτίο) | 60% | 50% | 40% | 30% | 20% |
| Μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά στον θερμαντήρα των 10kW με σταθερή επιλεγμένη παροχή 430kg/h | 12°C | 10°C | 8°C | 6°C | 4°C |
| Μέγιστη θερμοκρασία κατώτατης διαστρωμάτωσης = $80^{\circ}\text{C} - T_{\text{max, κάτω διαστρωμάτωσης}}$ (Θερμοκρασιακός στόχος θερμαντήρα 80°C) | 68°C | 70°C | 72°C | 74°C | 76°C |

Τα επόμενα διαγράμματα που παράχθηκαν παρουσιάζουν για κάθε σενάριο (Μέγιστης Θερμοκρασίας Κατώτατης Διαστρωμάτωσης) την επίδραση του Μεγέθους της Δεξαμενής Αδράνειας στα ετήσια αποτελέσματα προσομοίωσης του πλήθους των κύκλων φόρτισης, των θερμικών απωλειών από την δεξαμενή αδράνειας, των θερμικών απωλειών από την δεξαμενή ZNX και των θερμικών απωλειών από την ομαλή λειτουργία του θερμαντήρα. Επίσης στα διαγράμματα ενσωματώνονται και τα παραγόμενα μεγέθη που είναι οι απώλειες από το σύνολο των μεταπτώσεων του θερμαντήρα κατά την έναρξη λειτουργίας και την διακοπή που

προκύπτει για κάθε ένα κύκλο φόρτισης καθώς και του αθροίσματος των απωλειών από τις δύο δεξαμενές αποθήκευσης και της ομαλής λειτουργίας του θερμαντήρα. Καθώς αυξάνεται το μέγεθος της δεξαμενής αδράνειας μειώνονται οι κύκλοι φόρτισης και συνεπώς και οι απώλειες μεταπτώσεων θερμαντήρα ενώ αυξάνεται οι θερμικές απώλειες λειτουργίας (δηλαδή δεξαμενών και ομαλής λειτουργίας θερμαντήρα). Αυτές οι συμπεριφορές αποτυπώνονται στο διάγραμμα και με γραμμές τάσεις. Τέλος στα διαγράμματα υπάρχει και το σύνολο των απωλειών όπου η ελαχιστοποίησή τους δίνει την περιοχή βέλτιστης επιλογή μεγέθους δεξαμενής αδράνειας.

ΣΕΝΑΡΙΟ Α

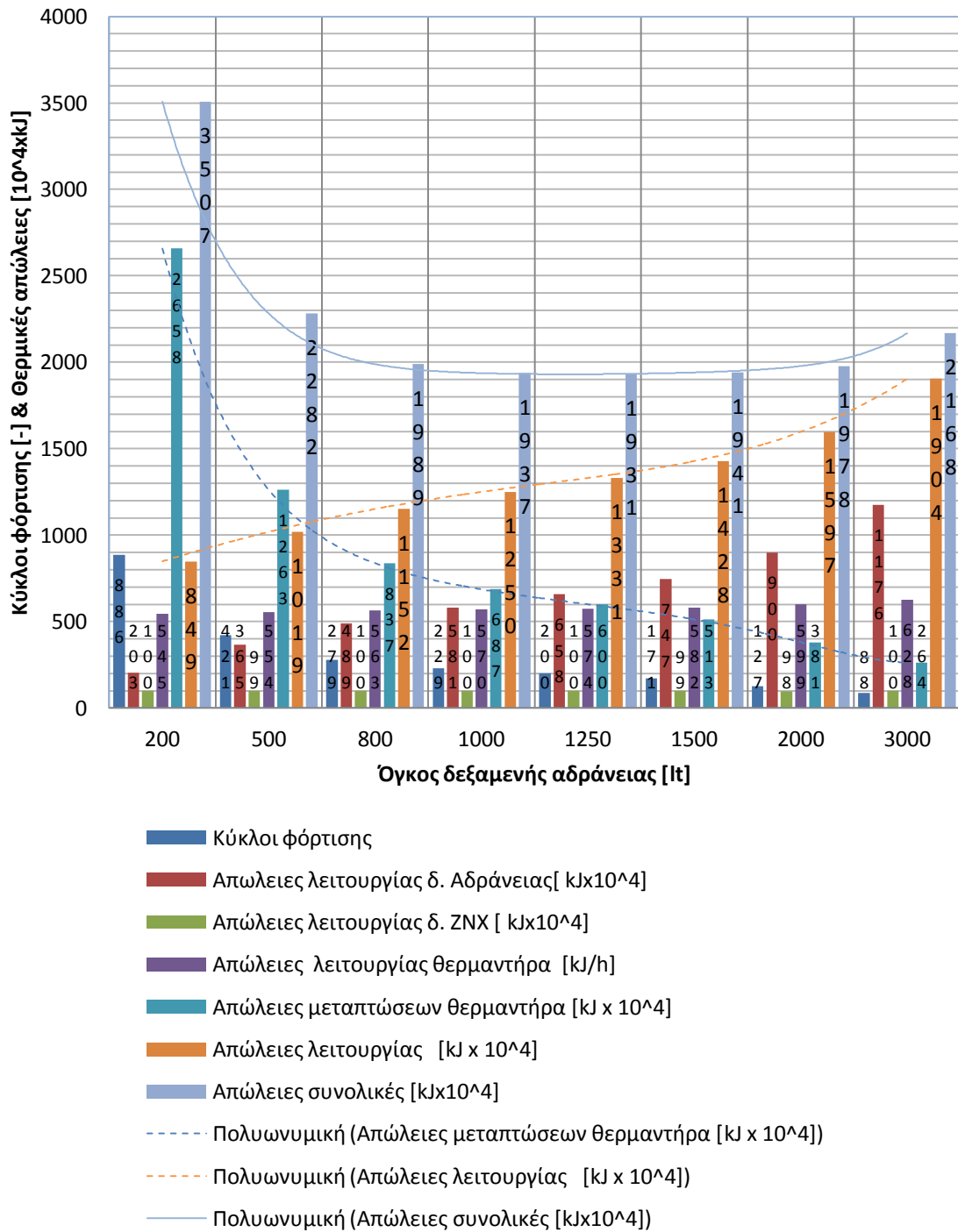
Βελτιστοποίηση μεγέθους δεξαμενής αδράνειας για $T_{\text{κατω, max}} = 68^{\circ}\text{C}$



Διάγραμμα 7-1: Σενάριο Α - Βελτιστοποίηση για $T_{\text{κάτω, max}} = 68^{\circ}$

ΣΕΝΑΡΙΟ Β

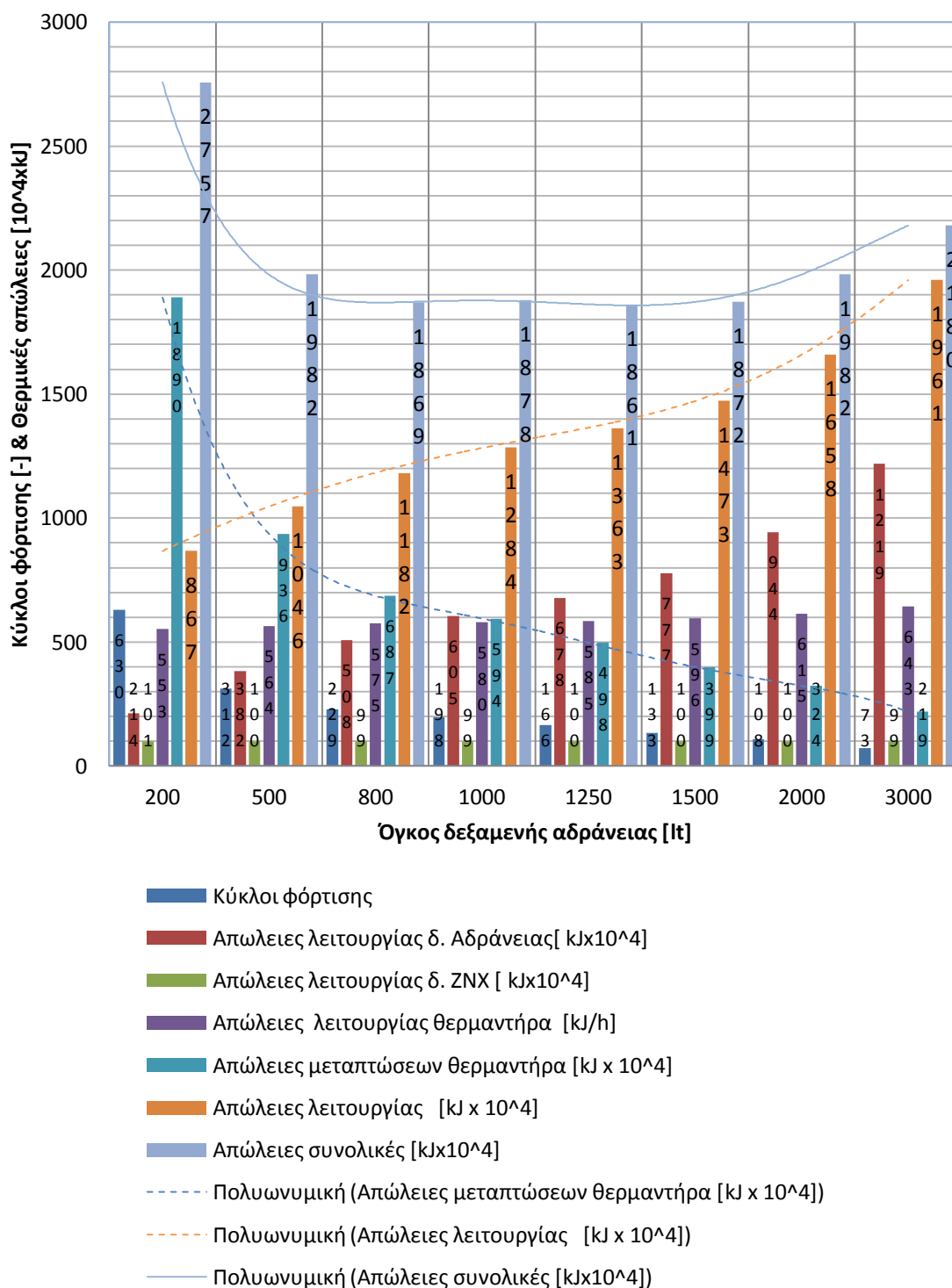
Βελτιστοποίηση μεγέθους δεξαμενής αδράνειας για $T_{\text{κατω, max}}=70^{\circ}\text{C}$



Διάγραμμα 7-2: Σενάριο Β - Βελτιστοποίηση για $T_{\text{κάτω, max}} = 70^{\circ}$

ΣΕΝΑΡΙΟ Γ

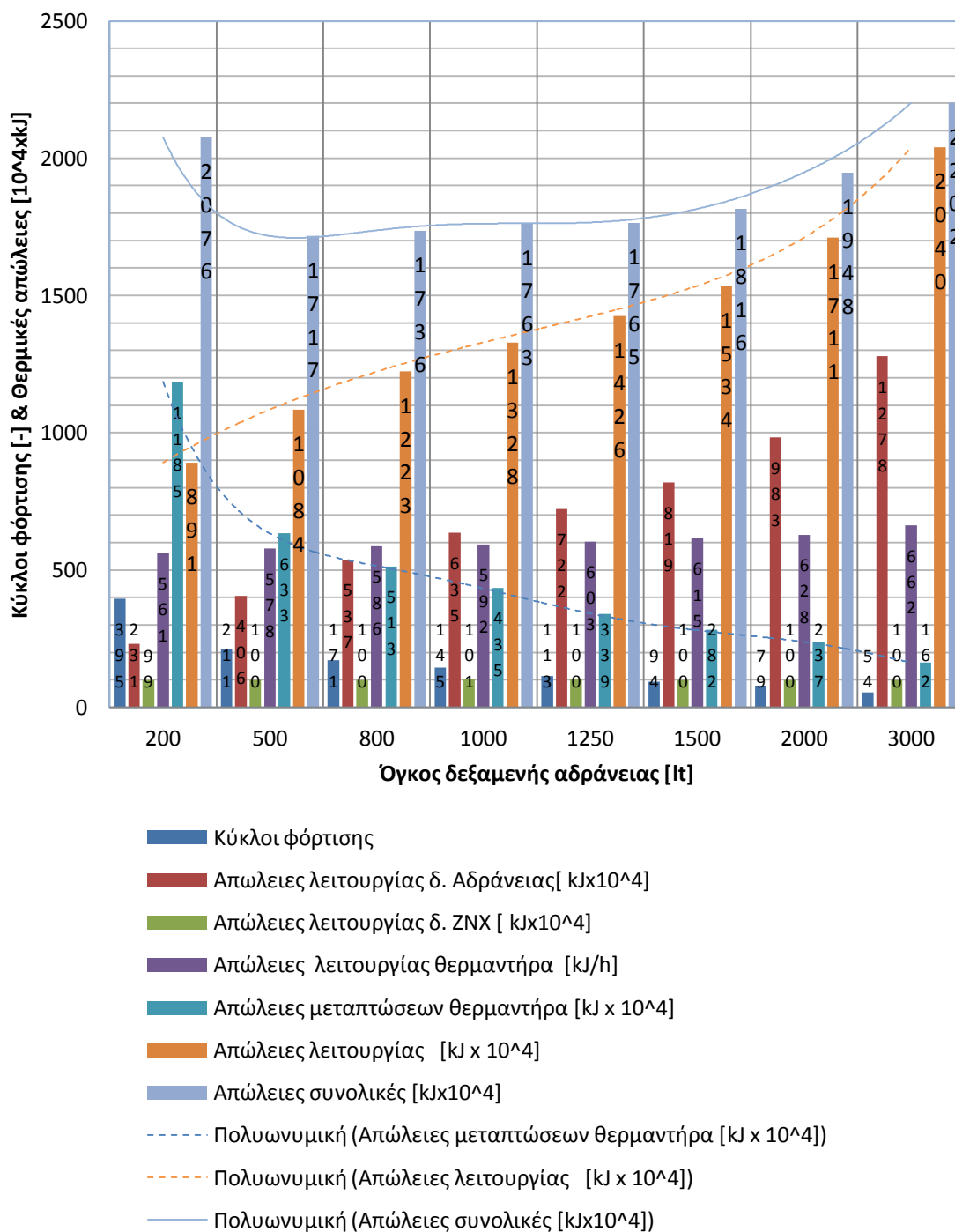
Βελτιστοποίηση μεγέθους δεξαμενής αδράνειας για $T_{\text{κατω, max}} = 72^{\circ}\text{C}$



Διάγραμμα 7-3: Σενάριο Γ – Βελτιστοποίηση για $T_{\text{κάτω, max}} = 72^{\circ}\text{C}$

ΣΕΝΑΡΙΟ Δ

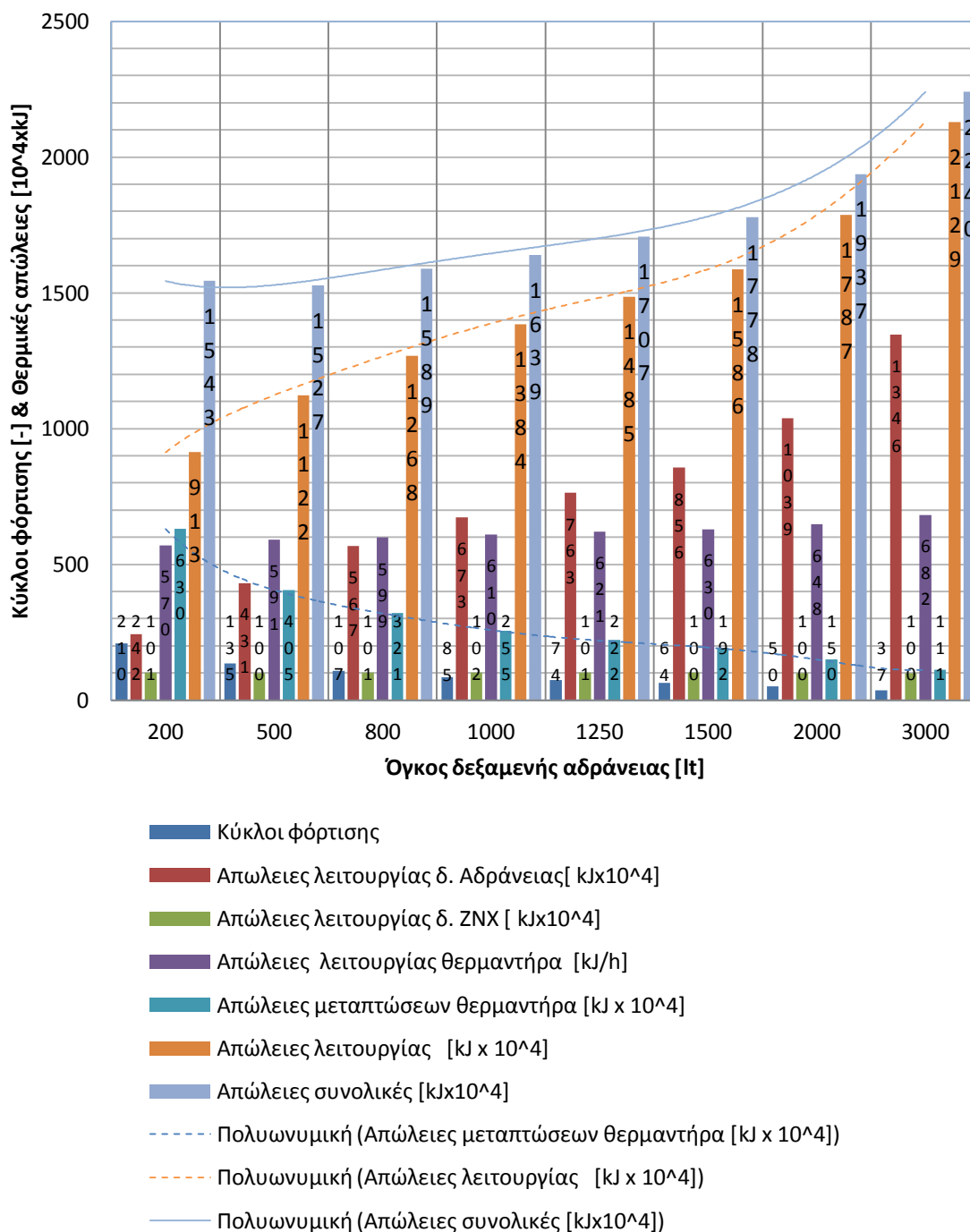
Βελτιστοποίηση μεγέθους δεξαμενής αδράνειας για $T_{\text{κατώ, max}}=74^{\circ}\text{C}$



Διάγραμμα 7-4: Σενάριο Δ - Βελτιστοποίηση για $T_{\text{κάτω, max}} = 74^{\circ}\text{C}$

ΣΕΝΑΡΙΟ Ε

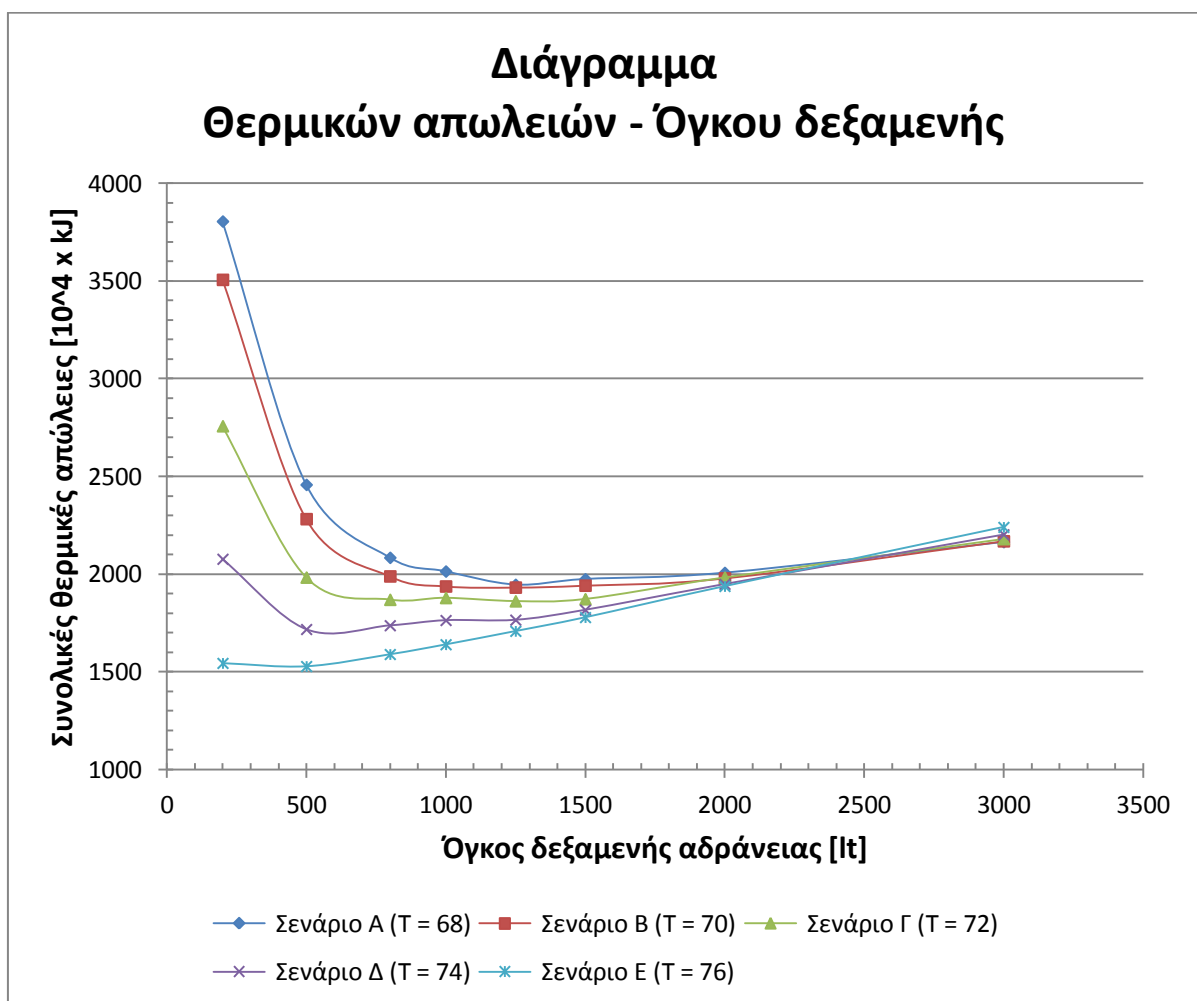
Βελτιστοποίηση μεγέθους δεξαμενής αδράνειας για $T_{\text{κατω, max}}=76^{\circ}\text{C}$



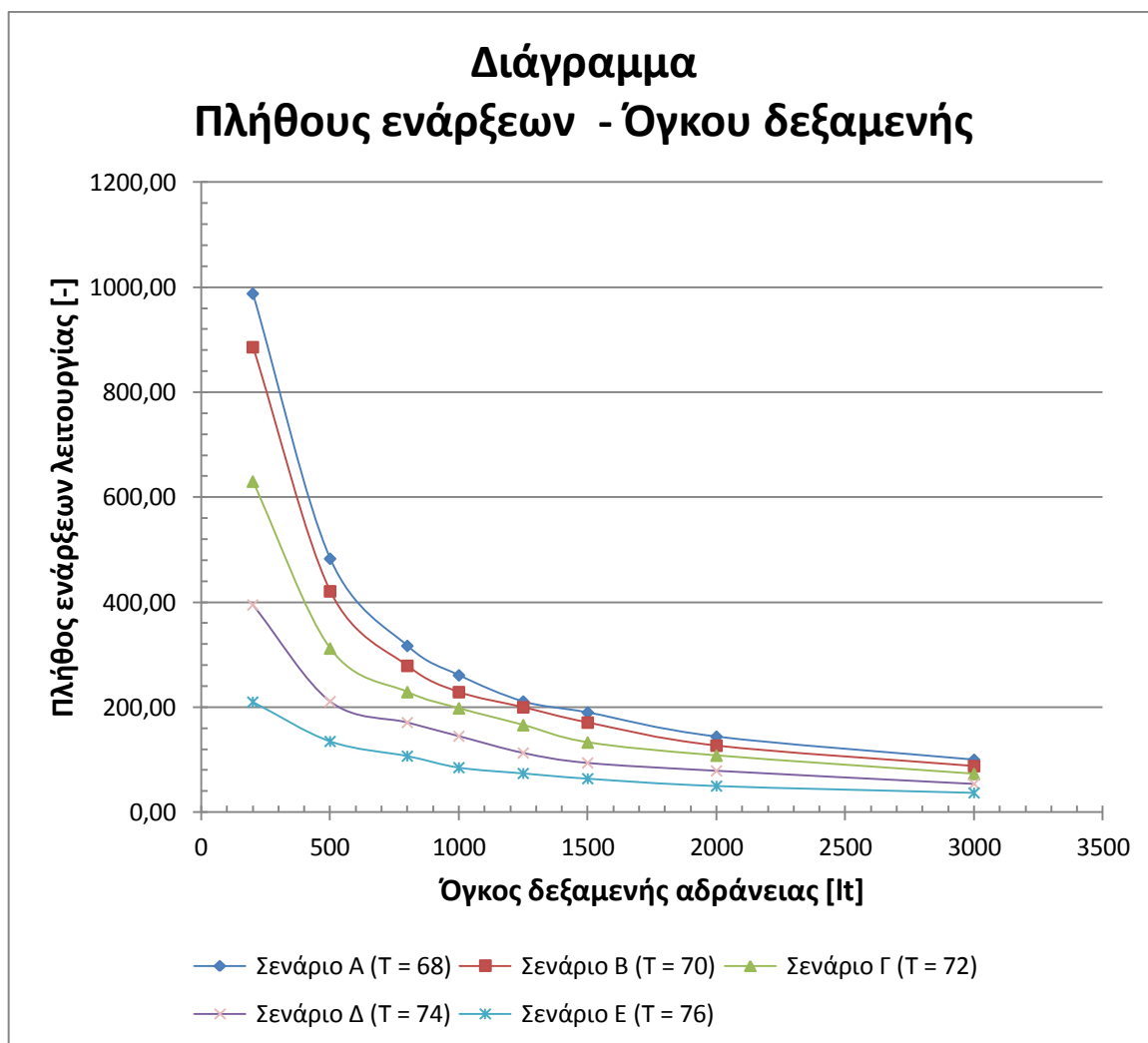
Διάγραμμα 7-5: Σενάριο Ε – Βελτιστοποίηση για $T_{\text{κάτω, max}} = 76^{\circ}\text{C}$

Λόγο της προσεγγιστικής γραφικής απεικόνισης στα προηγούμενα διαγράμματα και για να είναι δυνατή η σύγκριση των σεναρίων παράγονται τα ακόλουθα δύο διαγράμματα.

Το πρώτο αφορά την εξάρτηση των συνολικών απωλειών από το μέγεθος της δεξαμενής για κάθε σενάριο, με τη σωστή πλέον κλίμακα στον οριζόντιο άξονα και όλες όλα τα σενάρια στο ίδιο χώρο γραφικό χώρο ώστε να είναι δυνατή η αναλυτική σύγκριση.



Διάγραμμα 7-6: Ελαχιστοποίηση συνολικών απωλειών ανά σενάριο.



Διάγραμμα 7-7: Πλήθος κύκλων φορτίσεων ανά σενάριο

7.3 Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης όπως έχει αναφερθεί είναι προσαρμοσμένα σε λέβητα βιομάζας αφού για την σύνδεση του πλήθους των ενάρξεων λειτουργίας με τις θερμικές απώλειες υιοθετήθηκαν χαρακτηριστικά αδράνειας και συμπεριφοράς λέβητα βιομάζας και όχι αντλίας θερμότητας. Το γεγονός αυτό όμως δεν αναιρεί την ασφαλή εξαγωγή συμπερασμάτων και για την περίπτωση των αντλιών θερμότητας όπου εκεί η μόνη διαφορά είναι ότι οι επαγόμενες θερμικές απώλειες από την διακοπή της λειτουργίας τους

είναι μικρότερες και εξαρτώμενες από το είδος της αντλίας. Συνεπώς για την περίπτωση των αντλιών θερμότητας προτείνονται μικρότερες δεξαμενές αδράνειας σε σχέση με αυτές που θα επιλέγονταν για ένα λέβητα βιομάζας ίδιας ισχύος.

Για την ειδική περίπτωση του εξεταζόμενου συστήματος όταν ο θερμαντήρας των 10kW είναι ικανός για αποδοτική λειτουργία σε μερικό φορτίο έως 60% όπως θα μπορούσε να έχει ένας λέβητας ξύλου προκύπτει βέλτιστο δοχείο περίπου 1250 lt ενώ όταν ο θερμαντήρας είναι ικανός για αποδοτική λειτουργία σε μερικό φορτίο 20 - 30% όπως θα μπορούσε να έχει ένας λέβητας πέλλετ προκύπτει βέλτιστο δοχείο περίπου 500lt. Η σχεδόν διπλάσια μετατόπιση της βέλτιστης επιλογής του μεγέθους της δεξαμενής αδράνειας σε εξάρτηση με την ικανότητα του θερμαντήρα να εργάζεται αποδοτικά σε μερικό φορτίο είναι ένα σημαντικό συμπέρασμα των παραγόμενων αποτελεσμάτων.

Η επιλογή μεγέθους δεξαμενής αδράνειας σε ένα σύστημα θα μπορούσε να τροποποιηθεί σε σχέση με τα παραγόμενα αποτελέσματα από την βελτιστοποίηση που περιγράφηκε. Αιτία θα μπορούσε να είναι για παράδειγμα η απαίτηση μείωσης της συχνότητας καθαρισμού ενός λέβητα βιομάζας με μετατόπιση προς μεγαλύτερες δεξαμενές αδράνειας ώστε να μειωθεί το πλήθος των κατάλοιπων καύσης μέσω της μείωσης του πλήθους των διεργασιών σβησίματος. Επίσης θα μπορούσε να γίνει και μια λογιστική εκτίμηση ώστε το όφελος από την αγορά μιας μικρότερης ή μεγαλύτερης δεξαμενής αδράνειας, σε σχέση με την ενεργειακά βέλτιστη, να δικαιολογεί την επιλογή. Άλλες περιπτώσεις απόκλισης θα μπορούσε να είναι η κάλυψη σημαντικών φορτίων αιχμής με την αύξηση της δεξαμενής αδράνειας.

Η επιλογή ενός θερμαντήρα με μεγάλο εύρος λειτουργίας οδηγεί εκτός από την ανάγκη σχεδιασμού για μικρότερο μέγεθος δεξαμενής αδράνειας και σε πολύ σημαντικές μειώσεις θερμικών απωλειών. Οι μειώσεις αυτές για την περίπτωση του εξεταζόμενου

συστήματος με θερμαντήρα εύρους από 100% έως 20% (Σενάριο E) σε σχέση με την περίπτωση επιλογής θερμαντήρα εύρους από 100% έως 60% (Σενάριο A) φθάνουν περίπου το 20%.

Από το συγκεντρωτικό διάγραμμα των θερμικών απωλειών φαίνεται ότι στο σενάριο A ($T = 68^{\circ}\text{C}$) το εύρος επιλογών μεγέθους δεξαμενής αδράνειας, δηλαδή επιλογών που δεν αυξάνουν ιδιαίτερα τις συνολικές θερμικές απώλειες, είναι μεγάλο. Αυτό το εύρος επιλογών διαρκώς μειώνεται καθώς παρατηρούνται τα σενάρια διαδοχικά μέχρι το τελευταίο σενάριο E ($T = 76^{\circ}\text{C}$) όπου η βέλτιστη επιλογή είναι αρκετά περιορισμένη.

Όλα τα σενάρια τέμνονται σε μια θέση που αντιστοιχεί για το εξεταζόμενο σύστημα σε δεξαμενή αδράνειας περίπου 2500lt. Δηλαδή για κάθε σενάριο όταν η δεξαμενή αδράνειας είναι περίπου 2500lt προκύπτουν ίδιες θερμικές απώλειες ή διαφορετικά μπορούμε να πούμε ότι η συνάρτηση των θερμικών απωλειών εμφανίζει ένα τοπικό ακρότατο ως προς την θερμοκρασία της κατώτατης διαστρωμάτωσης. Για τιμές δεξαμενής μεγαλύτερες από αυτό το μέγεθος οι απώλειες αυξάνονται με ταυτόχρονη αντιστροφή των σεναρίων όσο αφορά τις προκύπτουσες θερμικές απώλειες. Αυτό το κρίσιμο μέγεθος οφείλεται στην δυσκολία του θερμαντήρα να ολοκληρώσει τον κύκλο της φόρτισης λόγω των αυξημένων θερμικών απωλειών στην δεξαμενή αδράνειας. Ενώ η μεγιστοποίηση της φόρτισης στην μικρότερη δεξαμενή είναι ωφέλεια γιατί οι απώλειες λόγω μεγέθους είναι σχετικά μικρές, στην περίπτωση μεγαλύτερων δεξαμενών από την κρίσιμη η απαίτηση για μεγιστοποίηση της φόρτισής είναι μειονέκτημα και οδηγεί σε αύξηση των θερμικών απωλειών που δεν μπορεί να διαχειριστεί αποτελεσματικά ο θερμαντήρας.

Κεφάλαιο 8 Σύνοψη Μεταπτυχιακής Εργασίας

Σε αυτή την εργασία παρουσιάστηκαν αποτελέσματα μελετών που αφορούν την ρύπανση του περιβάλλοντος και την κρισιμότητα της κατάστασης όσο αφορά την εκτροπή του κλίματος στον πλανήτη μας. Στο πλαίσιο της διεθνούς προσπάθειας για περιορισμό των συνεπειών αυτής της εκτροπής, η συνεισφορά του κτηριακού τομέα μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης είναι σημαντική.

Η βελτίωση της ενεργειακή απόδοσης των υφιστάμενων κτηρίων με χρήση σύγχρονων συστημάτων θέρμανσης και ψύξης αποτελεί μια από τις βασικές προϋποθέσεις ώστε ο στόχος για το 2050 που είναι η μέση θερμοκρασία της γης να αυξηθεί μόνο 2 °C να είναι εφικτός.

Επιπλέον παρουσιάζεται η ιδέα του κτηρίου σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης καθώς και των σύγχρονων συστημάτων που μπορούν με την ενσωμάτωσή τους στα κτήρια να οδηγήσουν αυτή την ιδέα σε εφαρμογή.

Το μεγαλύτερο μέρος της ενεργειακής κατανάλωσης ενός κτηρίου αφορά την θέρμανση και την ψύξη. Με την εργασία αυτή εστιάζοντας στην θέρμανση γίνεται μια προσπάθεια ανάλυσης ενός σύγχρονου συστήματος χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης ώστε να εξαχθούν αποτελέσματα λειτουργικής συμπεριφοράς και να εντοπιστούν εκείνοι οι κρίσιμοι παράμετροι που η τροποποίησή τους τη βελτιώνει.

Ενσωματώνοντας στο σύστημα αυτό ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές προκύπτει σημαντική χρονική εξάρτηση της κατάστασής του και συνεπώς η ανάλυσή του πρέπει να είναι δυναμική. Έχοντας επιπλέον και στόχο την υψηλή παραμετροποίηση του εξεταζόμενου συστήματος ώστε να εντοπιστούν όλες εκείνες οι κρίσιμες μεταβλητές που η τροποποίησή τους επιτρέπει την βελτίωση της συνολικής ενεργειακής απόδοσής του συστήματος καθιστούν το TRNSYS μια καλή επιλογή.

Σημαντικό μέρος αυτής της εργασίας αφιερώνεται στην δομή και χρήση του TRNSYS αλλά και στην περιγραφή του εξεταζόμενου συστήματος είτε αυτό αφορά τα συστατικά του στοιχεία είτε τις μεταξύ τους συνδέσεις.

Σταδιακά συντίθεται ένα σύστημα που αποτελείται από κτήριο κατοικίας που εκτίθεται στο περιβάλλον της Θεσσαλονίκης και αλληλεπιδρά με το σύστημα θέρμανσης του. Το κτήριο επιλέγεται να είναι τριών θερμικών ζωνών, οι δύο από τις οποίες είναι θερμαινόμενες. Το δε σύστημα θέρμανσης αποτελείται από θερμαντήρα που μπορεί να είναι μια αντλία θερμότητας ή ένας λέβητας βιομάζας, από τη δεξαμενή αδράνειας, το σύστημα φόρτισης της δεξαμενής αδράνειας, το δοχείο ZNX που θερμαίνεται κατά προτεραιότητα από ηλιακό συλλέκτη ή την δεξαμενή αδράνειας όταν δεν υπάρχει ηλιακή κάλυψη και τέλος θερμικά κυκλώματα φορτίων χώρου με αυτόματη θερμοκρασιακή ρύθμιση σε εξάρτηση με την θερμοκρασία περιβάλλοντος και την επιθυμητή θερμοκρασία χώρων του κτηρίου.

Στο πλαίσιο εξέτασης της ευαισθησίας του συστήματος επιλέχθηκαν κρίσιμα εξεταζόμενα μεγέθη. Αυτά είναι, το πλήθος ενάρξεων λειτουργίας του θερμαντήρα, οι θερμικές απώλειες της δεξαμενής αδράνειας και του ZNX καθώς και οι θερμικές απώλειες από την ομαλή λειτουργία του θερμαντήρα. Επιλέγοντας μια ομάδα σταθερών μεταβλητών και προχωρώντας σε εκτελέσεις προσομοίωσης τροποποιώντας κάθε φορά μεταβλητές συστήματος από μια δεύτερη ομάδα, την ομάδα των τροποποιούμενων μεταβλητών,

προέκυψαν συμπεράσματα που φανερώνουν την ισχυρή επίδραση κάποιων από τις τροποποιούμενες μεταβλητές στα κρίσιμα εξεταζόμενα μεγέθη.

Ενδιαφέρον συμπέρασμα αποτέλεσε η αδυναμία βελτίωσης της ενεργειακής συμπεριφοράς με την αύξηση των ηλιακών συλλεκτών αφού δεν το επέτρεψε το επιλεγμένο σταθερό ημερήσιο προφίλ κατανάλωσης ZNX.

Επίσης παρατηρήθηκε η μεγάλη σημασία που υπάρχει στην ελάχιστη επιτρεπτή θερμοκρασία της ανώτατης διαστρωμάτωσης της δεξαμενής αδράνειας αφού η επιλογή της να είναι συνεχώς σε υψηλά θερμοκρασιακά επίπεδα αυξάνει τις θερμικές απώλειες και δεν επιτρέπει την αποδοτική αποφόρτιση της δεξαμενής αδράνειας. Αντίθετα όταν στο σύστημα υπάρχει ανεπτυγμένος θερμοκρασιακός έλεγχος και η θερμοκρασία της ανώτατης διαστρωμάτωσης επιτρέπεται να μειωθεί μέχρι μια ελάχιστη τιμή που καθορίζεται από τις θερμικές απαιτήσεις των φορτίων χώρου και νερού χρήσης, η αποφόρτιση είναι αποδοτικότερη και το πλήθος των ενάρξεων λειτουργίας και των θερμικών απωλειών μειώνονται.

Η πιο σημαντική επίδραση στα κρίσιμα εξεταζόμενα μεγέθη φάνηκε να υπάρχει είτε από την τροποποίηση του μεγέθους της δεξαμενής αδράνειας είτε από την τροποποίηση της μέγιστης θερμοκρασίας στην κατώτατη διαστρωμάτωση της δεξαμενής αδράνειας η οποία είναι υπεύθυνη για την ολοκλήρωση της φόρτισης της δεξαμενής και το κλείσιμο συνεπώς του θερμαντήρα.

Στο πλαίσιο τέλος της προσπάθειας για βελτιστοποίηση του μεγέθους της δεξαμενής αδράνειας και της μέγιστης επιτρεπτής θερμοκρασίας στην κατώτατη διαστρωμάτωση παρατηρήθηκε ότι η δυνατότητα η μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία της κατώτατης

διαστρωμάτωση να έχει μεγάλη τιμή είναι ισχυρά εξαρτώμενη από το εύρος λειτουργίας ενός θερμαντήρα.

Στην προσπάθεια να ενσωματωθούν λοιπόν όλα τα κρίσιμα εξεταζόμενα μεγέθη σε μια τελική συνάρτηση βελτιστοποίησης επιλέγεται αυτή να είναι το σύνολο των θερμικών απωλειών που προκύπτουν από την δεξαμενή αδράνειας, την δεξαμενή ZNX, την λειτουργία του θερμαντήρα και των μεταβατικών καταστάσεων του θερμαντήρα.

Ο στόχος της παρούσας βελτιστοποίησης είναι συνεπώς η επιλογή του κατάλληλου μεγέθους δεξαμενής αδράνειας ώστε να επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση των θερμικών απωλειών του συστήματος για κάθε σενάριο εύρους λειτουργίας θερμαντήρα, δηλαδή μέγιστης επιτρεπτής θερμοκρασίας κατώτατης διαστρωμάτωσης στη δεξαμενή αδράνειας.

Η εκτίμηση των θερμικών απωλειών των μεταβατικών καταστάσεων του θερμαντήρα περιλαμβάνει τις θερμικές απώλειες εξαιτίας μειωμένης απόδοσης κατά την έναρξη λειτουργίας του και τις απώλειες κατά την διακοπή της λειτουργίας που αφορούν κυρίως την απώλεια του θερμικού του περιεχομένου.

Για τον προσδιορισμό αυτών των ποσοτήτων θεωρήθηκε ότι ο θερμαντήρας είναι λέβητας βιομάζας και μετά από προσεγγιστικούς υπολογισμούς εκτιμήθηκε το σύνολο των θερμικών απωλειών που αντιστοιχεί σε κάθε έναρξη και διακοπή χρήσης του λέβητα.

Από τα αποτελέσματα της βελτιστοποίησης βρέθηκε ότι η επιλογή ενός θερμαντήρα με μεγάλο εύρος λειτουργίας οδηγεί εκτός από την ανάγκη σχεδιασμού για μικρότερο μέγεθος δεξαμενής αδράνειας και σε πολύ σημαντικές μειώσεις θερμικών απωλειών.

Ειδικότερα για την περίπτωση του εξεταζόμενου συστήματος βρέθηκε ότι θερμαντήρας με εύρος λειτουργίας μέχρι το 20% του μέγιστου φορτίου οδηγεί σε βέλτιστο

μέγεθος δεξαμενής αδράνειας 500lt ενώ θερμαντήρας με εύρος λειτουργίας μέχρι το 60% του μέγιστου φορτίου σε βέλτιστο μέγεθος δεξαμενής αδράνειας 1250lt

Τέλος στην περιοχή ελαχιστοποίησης των θερμικών απωλειών παρατηρήθηκε ότι μικρότερες απώλειες εμφανίζονται όταν το εύρος λειτουργίας του θερμαντήρα είναι μεγάλο, δηλαδή όταν η μέγιστη επιτρεπτή θερμοκρασία στην κατώτατη διαστρωμάτωση είναι μεγάλη. Αυτό όμως δεν ισχύει για μεγέθη δεξαμενών αδράνειας μεγαλύτερα από μια κρίσιμη τιμή όπου σε αυτή την περιοχή η ικανότητα του θερμαντήρα για λειτουργία σε μεγάλο εύρος λειτουργίας συμβάλει αρνητικά αφού αυξάνονται οι θερμικές απώλειες σημαντικά στην δεξαμενή αδράνειας. Αυτή η αντιστροφή θα μπορούσε να αποτελέσει και αντικείμενο περαιτέρω εργασίας ώστε να διερευνηθεί η ακριβής αιτία αυτής της συμπεριφοράς.

Βιβλιογραφία

- [1] Herzog, T., “World Greenhouse Gas Emissions in 2005”, WRI Working Paper, World Resources Institute, 2009.
- [2] Baumert, K., Herzog, T. and Pershing, J., “Navigating the Numbers: Greenhouse Gas Data and International Climate. Policy”, World Resources Institute, 2005.
- [3] “Renewables for Heating and Cooling”, International Energy Agency (IEA), 2007.
- [4] “Technology Roadmap [Energy-efficient Buildings: Heating and Cooling Equipment]”, International Energy Agency (IEA), 2011.
- [5] “Tracking Clean Energy Progress 2013”, International Energy Agency (IEA), 2013.
- [6] Voss, K., Santori, I., Lollini, R. “Nearly – zero, Net zero and Plus Energy Buildings”, REHVA Journal, December 2012, 23-27, 2012.
- [7] Voss, K., Musall, E., Lichtmeb, M., “From low energy building to net zero energy building: Status and perspectives”, Journal of green buildings, 6 (1), 46-57, 2011.
- [8] “Reflex Buffer tank for hot water and cold water storage”, Reflex Winkelmann GmbH, 2009.
- [9] Weiss, W., “Solar heating systems for houses. A design Handbook for Solar Combisystems”. James & James Ltd., Solar Heating and Cooling Executive Committee of International Energy Agency (IEA), 2003.

- [10] Haller, M. Y., “Methods to determine stratification efficiency of thermal energy storage processes – Review and theoretical comparison”, *Solar Energy*, 83, 1847–1860, 2009.
- [11] Haller, M. Y., “A method to determine stratification efficiency of thermal energy storage processes independently from storage heat losses”, *Solar Energy*, 84, 997–1007, 2010.
- [12] Haller, M., Streicher, W., Andersen, E., Furbo, S., “Comparative analysis of thermal energy storage stratification efficiency – A new method combines advantages of previous approaches”, In *Proceedings of IEA - Effstock 2009 - Thermal Energy Storage for Energy Efficiency and Sustainability*, 2009.
- [13] Rosen, M. A., Tang, R., Dincer, I., “Effect of stratification on energy and exergy capacities in thermal storage systems” *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY RESEARCH*, 28, 177–193, 2004.
- [14] “Operating instructions: pelletstar 10-60 – biocontrol”, HERZ Armaturen Ges.m.b.H., V3.8, 2010.
- [15] “Assembly instructions and Electrical documentation: pelletstar 10-60 – biocontrol” HERZ Armaturen Ges.m.b.H., V3.0, 2011.
- [16] “Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων”, Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-1, Έκδοση Β, 2012.
- [17] “Θερμοφυσικές ιδιότητες” Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-2, Έκδοση Α, 2010.
- [18] “Κλιματικά δεδομένα Ελληνικών περιοχών” Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος, Τ.Ο.Τ.Ε.Ε. 20701-3, Έκδοση Β, 2012.

- [19] Αριστοτέλης Αηδόνης, Βασιλική Δρόσου, Μιχάλης Καράγιωργας", Θερμικά Ηλιακά Συστήματα «combi» για συνδυασμό θέρμανσης χώρων και ζεστού νερού χρήσης: δυνατότητες και προοπτικές στην Ελληνική αγορά", Εθνικό Συνέδριο RENES «Η Εφαρμογή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας», Αθήνα, Φεβρουάριος 2005
- [20] http://www.engineeringtoolbox.com/propylene-glycol-d_363.html (10/06/2013)
- [21] http://www.solenergi.dk/task26/pdf/heat_losses_from_storage_tanks_by_jm_suter.pdf (20/06/2013)
- [22] “Using the Simulation Studio”, Transient System Simulation Program, 2004
- [23] “Mathematical Reference”, Transient System Simulation Program, 2004
- [24] “Multizone Building Modeling with Type 56 and TRNBuild” Transient System Simulation Program, 2004