



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**'Μοντελοποίηση και ενεργειακή διαχείριση ηλεκτρολογικής
εγκατάστασης με το περιβάλλον προσομοίωσης TRNSYS'**

Τσόγκας Κωνσταντίνος

Επιβλέπων Καθηγητής : Καθ. Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος

**Εξεταστική Επιτροπή : Καθ. Καλαϊτζάκης Κωνσταντίνος
Επ.Καθ. Κολοκοτσά Διονυσία
Καθ. Σταυρακάκης Γεώργιος**

Χανιά 2012

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους καθηγητές μου κ. Καλαϊτζάκη Κωνσταντίνο, κ. Σταυρακάκη Γιώργο και ιδιαιτέρως την Επίκουρη Καθηγήτρια κ. Κολοκοτσά Διονυσία για την άψογη συνεργασία που είχαμε καθ'όλη την πειραματική διαδικασία της εργασίας και για την καθοδήγηση που μου παρείχαν για την διεκπεραίωση της συγκεκριμένης διατριβής.

Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στον Μαραγκογιάννη Κωνσταντίνο και στον Παπαντωνίου Σωτήρη για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος	-3-
Εισαγωγή.....	-4-
Κεφάλαιο 1 – Παρουσίαση του πολυζωνικού κτηρίου PEBBLE και σχεδιασμός με το πρόγραμμα Google Sketchup	-6-
1.1 Γενικά	-6-
1.2 Παρουσίαση του κτηρίου	-8-
1.3 Περιγραφή σχεδιαστικού περιβάλλοντος Google Sketchup 8.....	-10-
Κεφάλαιο 2 – Περιγραφή του υπολογιστικού περιβάλλοντος TRNSYS	-15-
2.1 Λειτουργία TRNSYS και διασύνδεση με Sketchup	-15-
2.2 Στούντιο προσομοίωσης TRNSYS	-16-
2.2.1 Γενικά	-16-
2.2.2 Ρύθμιση μοντέλων και συνδέσεις	-17-
2.2.3 Εκτέλεση προσομοίωσης και ανάλυση αποτελεσμάτων	-18-
2.3 Μοντελοποίηση του πολυζωνικού κτηρίου με το TRNBuild	-20-
2.3.1 Γενικά	-20-
2.3.2 Επεξεργασία δεδομένων του κτηρίου PEBBLE	-21-
2.3.3 Κεντρικό παράθυρο του TRNBuild	-29-
2.4 Επεξεργασία του πολυζωνικού κτηρίου με το πρόγραμμα TRNEdit	-32-
Κεφάλαιο 3 – Περιγραφή μοντέλων προσομοίωσης TRNSYS Simulation Studio	-34-
3.1 Γενικά	-34-
3.2 Μοντέλο ψυχομετρικού διαγράμματος (Type 33)	-34-
3.3 Μοντέλο αντιπροσωπευτικής θερμοκρασίας ουρανού (Type 69b).....	-34-
3.4 Μοντέλο ανάγνωσης γενικών δεδομένων (Type 9e)	-35-
3.5 Μοντέλο επεξεργαστή δεδομένων καιρού (Type 15-2)	-36-
3.5.1 Υπολογισμός θερμοκρασίας ουρανού	-37-
3.5.2 Υπολογισμός ανακλαστικότητας εδάφους	-38-
3.6 Μοντέλο πολυζωνικού κτηρίου (Type 56)	-38-
3.6.1 Μοντέλο για τη μεταφορά θερμότητας	-38-
3.6.2 Ροή θερμότητας δια συναγωγής στον κόμβο	-38-
3.6.3 Μεταφορά αέρα σε γειτονικές ζώνες	-39-
3.6.4 Ροή θερμότητας από ακτινοβολία στους τοίχους και παράθυρα.....	-39-
3.6.5 Ροή ενέργειας σε τοίχους και παράθυρα	-40-
3.6.6 Μέθοδος υπολογισμού συνάρτησης μεταφοράς του Mitalas	-42-
3.6.7 Ακτινοβολία μεγάλου μήκους	-44-
3.6.8 Εξωτερικοί τοίχοι	-46-
3.6.9 Τοίχοι παρακείμενοι σε γειτονικές ζώνες, εσωτερικοί τοίχοι και τοίχοι με όμοιες οριακές συνθήκες	-47-
3.6.10 Συνολικά κέρδη μιας ζώνης από τις επιφάνειες	-47-
3.6.11 Διείσδυση αέρα, αερισμός και μεταφορά μάζας μεταξύ γειτονικών ζωνών	-48-
3.6.12 Μεταβαλλόμενη θερμοκρασία ζώνης(Χωρίς θέρμανση/ψύξη).....	-48-
3.6.13 Απλοποιημένο μοντέλο θέρμανσης και ψύξης	-51-

3.6.14 Το χρονικό βήμα προσομοίωσης σε σχέση με το χρονικό βήμα υπολογισμού των τοίχων.....	-53-
3.6.15 Οπτικές και θερμικές ιδιότητες παραθύρων	-54-
3.7 Μοντέλο άμεσων διαγραμμάτων (Type 65b)	-59-
3.8 Μοντέλο Εκτυπωτή (Type 46)	-60-
3.9 Μοντέλο απεικόνισης αποτελεσμάτων Trnsys3d για Sketchup (Type125)	-60-
3.10 Μοντέλο σύνδεσης με MATLAB (Type 155)	-63-
Κεφάλαιο 4 – Εκτέλεση προσομοίωσης και σύγκριση θερμικών αποτελεσμάτων με το πρόγραμμα MATLAB	-64-
4.1 Γενικά	-64-
4.2 Περιγραφή των υπό μελέτη θερμικών ζωνών	-64-
4.2.1 Διαχωρισμός θερμικών ζωνών	-64-
4.2.2 Παράμετροι προσομοίωσης	-64-
4.3 Περιγραφή υπολογισμών προσομοίωσης και εκτέλεση	-68-
4.4 Σύγκριση θερμικών αποτελεσμάτων με το πρόγραμμα MATLAB	-71-
4.4.1 Σύγκριση επιλεγμένου θεωρητικού μοντέλου με το πραγματικό.....	-71-
4.4.2 Εργαλείο MATLAB Curve fitting tool	-74-
Κεφάλαιο 5 – Αποτελέσματα με το πρόγραμμα MATLAB και συμπεράσματα	-78-
5.1 Γενικά	-78-
5.2 Γραφική απεικόνιση με το πρόγραμμα MATLAB	-78-
5.3 Αποτελέσματα υπολογισμών και συμπεράσματα	-83-
5.4 Παρατηρήσεις και γενικά συμπεράσματα	-85-
5.5 Προτάσεις για μελλοντική μελέτη	-86-
Βιβλιογραφία	-87-
Παράρτημα	-88-

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η συγκεκριμένη εργασία αποσκοπεί στην παρουσίαση ερευνητικών αποτελεσμάτων τα οποία αφορούν την ενεργειακή διαχείριση κτηρίου που βρίσκεται στο Πολυτεχνείο Κρήτης, Ακρωτήρι Χανίων. Τα αποτελέσματα προέκυψαν από την προσομοίωση με το υπολογιστικό πρόγραμμα TRNSYS 17 Simulation Studio στο οποίο εισήχθει το μοντέλο του κτηρίου. Το κτήριο σχεδιάστηκε με το πρόγραμμα Google Sketchup 8 και έπειτα, επεξεργάστηκε ως ολοκληρωμένο μοντέλο μέσω του γραφικού περιβάλλοντος διεπαφής κτηρίου TRNSYS 17 TRNBuild.exe, εισάγοντας πληροφορίες για την κάθε θερμική ζώνη ξεχωριστά. Τα αποτελέσματα που αφορούν τις θερμικές απαιτήσεις του μοντέλου αυτού προβάλλονται μέσω του υπολογιστικού περιβάλλοντος MATLAB. Στο συγκεκριμένο περιβάλλον γίνονται και συγκρίσεις των πειραματικών εξόδων θερμοκρασίας των θερμικών ζωνών με τις μετρημένες θερμοκρασίες για κάθε θερμική ζώνη σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο με την χρήση του εργαλείου MATLAB Curve Fitting Tool προκειμένου να αξιολογηθεί η αξιοπιστία του μοντέλου.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφεται η αρχιτεκτονική του κτηρίου που μελετάται στην παρούσα εργασία. Το συγκεκριμένο συγκρότημα γραφείων μοντελοποιήθηκε με τη βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος Google Sketchup 8, προκειμένου να εισαχθεί ως μοντέλο μετέπειτα στο στούντιο προσομοίωσης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφεται το υπολογιστικό πακέτο TRNSYS. Αποτελείται από τρία προγράμματα: το "Simulation Studio", στο οποίο εισήχθη το μοντέλο προσομοίωσης από το πρόγραμμα Sketchup, το "TRNBuild", στο οποίο ρυθμίζονται οι παράμετροι του πολυζωνικού κτηρίου και το "TRNEdit", το οποίο χρησιμοποιείται για τη δημιουργία αυτόνομων προγραμμάτων.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται τα μοντέλα προσομοίωσης του TRNSYS, καθώς και οι μαθηματικοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται για την λειτουργία τους. Γίνεται αναλυτική παρουσίαση των στοιχείων του κάθε μοντέλου και αναφέρεται ο ρόλος του κάθενος προκειμένου να επιτευχθεί η συγκεκριμένη μοντελοποίηση.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται οι παράμετροι, τα χρονοδιαγράμματα και τα συστήματα που τέθηκαν σε λειτουργία προκειμένου να επιτευχθεί η προσομοίωση σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Επίσης, περιγράφεται αναλυτικά η σύνδεση μεταξύ των μοντέλων και γίνεται απεικόνιση των αποτελεσμάτων που αφορούν το κτήριο. Έπειτα, γίνεται σύγκριση των θερμικών αποτελεσμάτων της προσομοίωσης με πραγματικές μετρήσεις που αφορούν συγκεκριμένες αίθουσες του κτηρίου προκειμένου να εξεταστεί η αξιοπιστία του μοντέλου με τη βοήθεια του εργαλείου Curve Fitting της MATLAB.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται απεικόνιση των αποτελεσμάτων προσομοίωσης με το πρόγραμμα MATLAB και αναλύεται το απαιτούμενο φορτίο θέρμανσης για κάθε ζώνη του κτηρίου. Ακολουθούν γενικά συμπεράσματα και παρατηρήσεις που προκύπτουν και γίνονται προτάσεις για μελλοντική μελέτη και έρευνα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενεργειακή κρίση της δεκαετίας του 1970 έθεσε σοβαρά ερωτήματα για την βιωσιμότητα των ενεργειακών πόρων, καθώς οι φυσικοί πόροι υφίστανται εκμετάλλευση με ρυθμούς μεγαλύτερους από αυτούς με τους οποίους ανανεώνονται, με αποτέλεσμα η περιβαλλοντική υποβάθμιση να επιφέρει οικολογική κρίση. Η υιοθέτηση μέτρων για την καλύτερη αξιοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κρίνεται αναγκαία σε πολλούς παραγωγικούς τομείς. Ένας από αυτούς είναι ο κτηριακός τομέας, ο οποίος συνεισφέρει σε ένα ποσοστό 40 % της συνολικής παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας, με αποτέλεσμα να κρίνεται επιτακτική η ανάγκη ανάπτυξης νέων τεχνολογιών εξοικονόμησης και σωστής διαχείρισης ενέργειας. Μακροπρόθεσμος στόχος είναι η ανάπτυξη εργαλείων για την κατασκευή κτηρίων θετικού ενεργειακού ισοζυγίου τα οποία, σε ετήσια βάση, θα μπορούν να παράγουν περισσότερη ενέργεια από όση απαιτείται για τη λειτουργία τους.

Για την επίτευξη του συγκεκριμένου στόχου, αναπτύχθηκε ο βιοκλιματικός σχεδιασμός κτηρίων ο οποίος αφορά τον σχεδιασμό τους με βάση το κλίμα, προκειμένου να εξασφαλίζονται συνθήκες θερμικής και τοπικής άνεσης, αξιοποιώντας την ηλιακή αλλά και άλλες πηγές ενέργειας, καθώς και τα φυσικά φαινόμενα του κλίματος. Η συνύπαρξη και η συνδυασμένη λειτουργία των παθητικών και των ενεργητικών συστημάτων αποφέρουν θερμικά και οπτικά οφέλη καθ'όλη τη διάρκεια του έτους, αυξάνοντας ελαφρά το κόστος κατασκευής του κτηρίου το οποίο όμως αποσβένεται από την περιορισμένη χρήση μονάδων θέρμανσης και κλιματιστικών μονάδων.

Γενικά, η θερμοκρασία του εσωτερικού περιβάλλοντος ενός κτηρίου επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την εξωτερική θερμοκρασία, όμως μπορεί και να διαφοροποιηθεί αρκετά λόγω των εσωτερικών πηγών ενέργειας. Για παράδειγμα, τα υπολογιστικά συστήματα αλλά και η παρουσία των ανθρώπων στο εσωτερικό του κτηρίου αυξάνουν τη θερμοκρασία, ενώ η παρουσία κλιματιστικών μονάδων αυξάνει ή μειώνει τη θερμοκρασία ανάλογα με τον καθορισμό που λαμβάνουν. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, κατανοούμε την ανάγκη εξασφάλισης ολικής άνεσης και ποιοτικού περιβάλλοντος για τις οποιεσδήποτε δραστηριότητες που λαμβάνουν μέρος στο εσωτερικό του κτηρίου με το μικρότερο δυνατό κόστος κατανάλωσης ενέργειας.

Είναι κοινώς αποδεκτό πως οι άνθρωποι περνούν όλο και περισσότερο χρόνο της καθημερινότητάς τους στο εσωτερικό περιβάλλον των κτηρίων, με αποτέλεσμα να εκλαμβάνεται πιο σοβαρά το θέμα της θερμικής άνεσής τους, είτε για λόγους υγείας είτε για λόγους δημιουργίας ευχάριστου περιβάλλοντος. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να επεκταθούν οι έρευνες για νέες τεχνολογίες που μελετούν τα συστήματα θέρμανσης - ψύξης - αερισμού και που αναλύουν τη θερμική συμπεριφορά των κτηρίων.

Προκειμένου να επιτευχθεί αυτό, μελετήθηκε σε βάθος η θερμική μετάδοση στο κτήριο με τη βοήθεια μοντέλων προσομοίωσης και ανάλυσης των μεθόδων διάδοσης της θερμότητας. Η ακτινοβολία στην εξωτερική επιφάνεια του κτηρίου, η ακτινοβολία διαμέσου των υαλοπινάκων, η συναγωγή και ακτινοβολία στην εσωτερική επιφάνεια, ο προσανατολισμός και η θέση του κτηρίου καθώς και οι κλιματικές συνθήκες που επικρατούν είναι ορισμένες από τις μεταβλητές οι οποίες λαμβάνονται υπόψη ώστε να αναπτυχθούν οι κατάλληλοι αλγόριθμοι που θα προσομοιώσουν και θα αναλύσουν τη δυναμική συμπεριφορά των κτηρίων. Το θερμικό μοντέλο του κτηρίου μπορεί εν συνεχεία να επεκταθεί ώστε να αναλυθεί η θερμική συμπεριφορά των ζωνών του, σε κάθε μια από τις οποίες εφαρμόζονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των επιφανειών τους αλλά και οι επιδράσεις των εξωτερικών καιρικών χαρακτηριστικών ξεχωριστά.

Στην παρούσα διατριβή γίνεται αναλυτική μελέτη της θερμικής άνεσης ενός κτηρίου στο Πολυτεχνείο Χανίων στο οποίο στεγάζει τα γραφεία της η Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών του ιδρύματος. Η Διεύθυνση συντάσσει το τμήμα του προϋπολογισμού δημοσίων επενδύσεων που αφορά τα τεχνικά έργα, δημοπρατεί και παρακολουθεί τις εργασίες, φροντίζει για επιμετρήσεις και τον έλεγχο της ποιότητας και, τέλος, είναι υπεύθυνη για τη συντήρηση όλων των εργασιών και των πανεπιστημιακών εγκαταστάσεων.

Το συγκρότημα αυτών των κτηρίων προσομοιώθηκε με το εργαλείο TRNSYS Simulation Studio, από το οποίο εξήχθησαν τα συνολικά απαιτούμενα φορτία θέρμανσης καθώς και οι επιμέρους τιμές τους για την κάθε μια θερμική ζώνη ξεχωριστά,όσον αφορά μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, ενώ τα αποτελέσματα του στούντιο προσομοίωσης παρουσιάζονται στον χρήστη μέσω του προγράμματος MATLAB.

Κεφάλαιο 1 – Περιγραφή του πολυζωνικού κτηρίου PEBBLE και σχεδιασμός με το πρόγραμμα Google Sketchup

1.1 Γενικά

Στην παρούσα εργασία μελετάται ένα κτήριο γραφείων που χρησιμοποιείται από την Τεχνική Υπηρεσία του Πολυτεχνείου Κρήτης και εντοπίζεται στην Πολυτεχνειούπολη, Ακρωτήρι Χανίων. Το γεωγραφικό μήκος του κτηρίου είναι $24^{\circ}04'13.01$, το γεωγραφικό του πλάτος $35^{\circ}31'36.58$, απέχει 2 km από την θάλασσα προς βορρά και βρίσκεται 156 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Πρόκειται για ένα κτήριο δύο ορόφων με υπόγειο, με συνολική επιφάνεια 458 m^2 και προσανατολισμό Βόρειο – Βόρειο-Δυτικό.

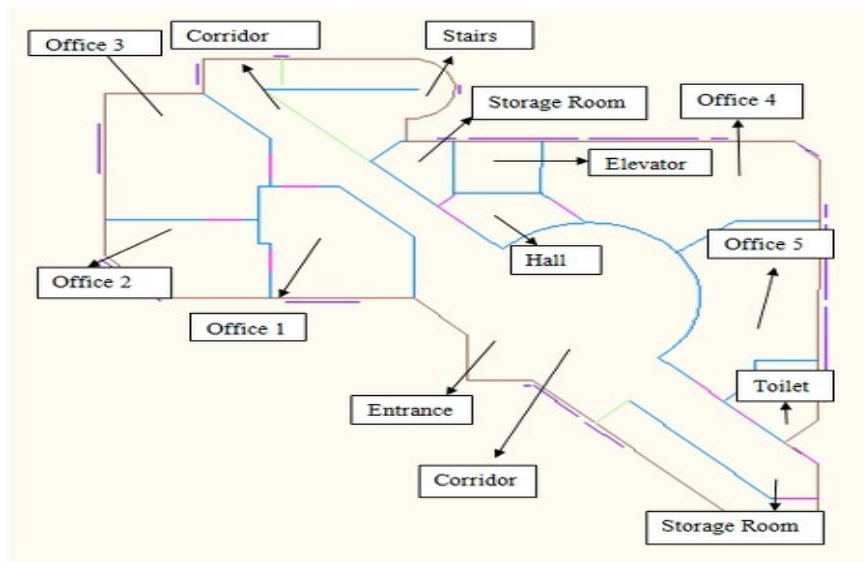


Εικόνα 1.1 : Αεροφωτογραφία του κτηρίου στην Πολυτεχνειούπολη, Ακρωτήρι Χανίων

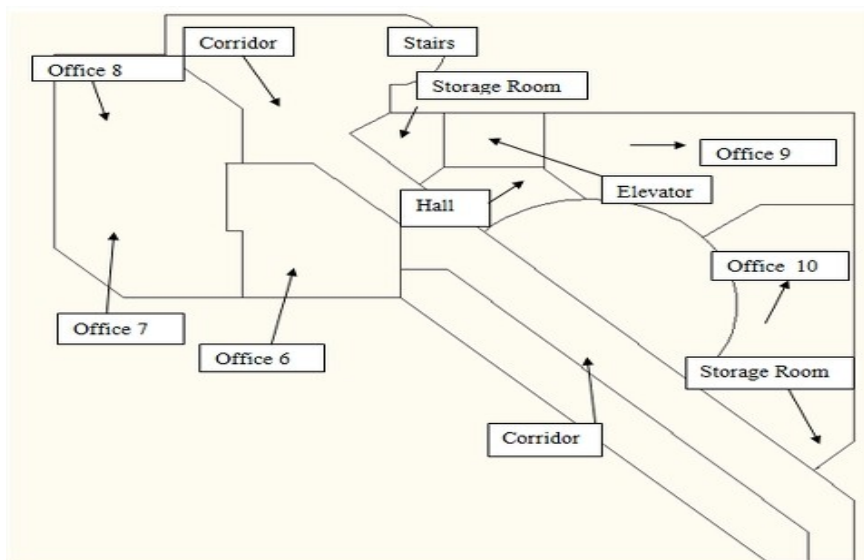
Το κτήριο έχει σχήμα τριγωνικό και αποτελείται από τους εξής χώρους :

- 10 γραφεία (5 γραφεία σε κάθε όροφο)
- 4 αποθηκευτικούς χώρους
- 2 χώρους συνάντησης
- 2 διαδρόμους (1 διάδρομο σε κάθε όροφο)
- 1 ανελκυστήρα και 1 εσωτερική σκάλα
- 1 τουαλέτα .

Το υπόγειο χρησιμοποιείται ουσιαστικά και αυτό για αποθηκευτικούς λόγους. Όσον αφορά την αρχιτεκτονική των δύο ορόφων, οι κεντρικοί διάδρομοι εκτείνονται κατα μήκος του κτηρίου και διαχωρίζουν τα γραφεία εκατέρωθεν, ενώ στο κέντρο των διαδρόμων αυτών εντοπίζονται οι ανοιχτοί χώροι συνάντησης οι οποίοι είναι σε ημικυκλικό σχήμα.



Εικόνα 1.2 : Κάτοψη Ισογείου



Εικόνα 1.3 : Κάτοψη Ορόφου



Εικόνα 1.4 : Κύρια είσοδος κτηρίου



Εικόνα 1.5 : Νοτιο-δυτική πλευρά κτηρίου



Εικόνα 1.6 : Νοτιο-ανατολική πλευρά κτηρίου

1.2 Παρουσίαση του κτηρίου

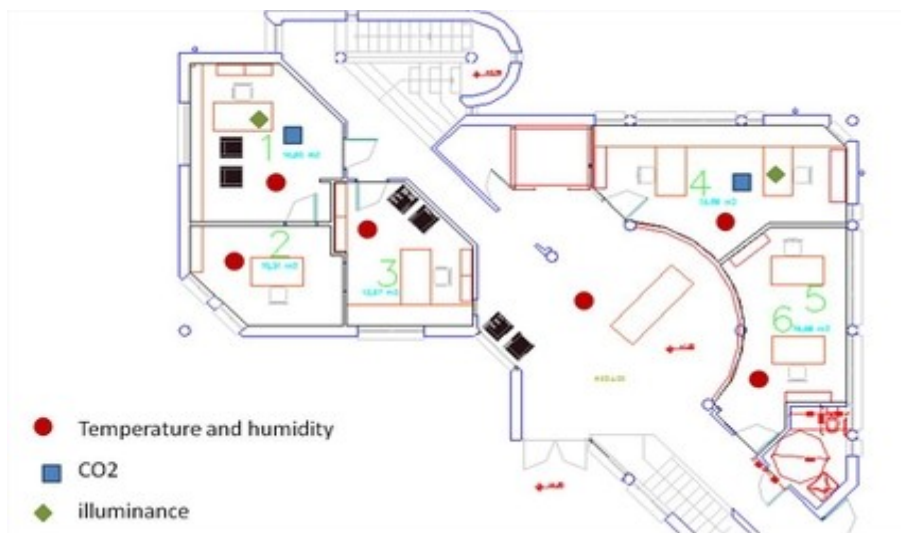
Το συγκεκριμένο κτήριο συμπεριλαμβάνεται στο ευρωπαϊκό ερευνητικό πρόγραμμα PEBBLE (Positive Energy Buildings through Better controL dEcisions), ένα πρόγραμμα το οποίο χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση και συντονίζεται από το Πολυτεχνείο Κρήτης στα πλαίσια του 7ου Προγράμματος Πλαισίου στην περιοχή των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Επικοινωνιών για εξοικονόμηση ενέργειας. Το πρόγραμμα PEBBLE στοχεύει στην ανάπτυξη τεχνολογίας που υποστηρίζει την κατασκευή ΚΘΕΙ (Κτήρια Θετικού Ενεργειακού Ισοζυγίου). Απώτερος σκοπός είναι η δημιουργία συστημάτων διαχείρισης ενέργειας τα οποία αποφασίζουν για τη βέλτιστη λειτουργία του κτηρίου από πλευράς ενεργειακών απαιτήσεων, συνυπολογίζοντας και τη διαθεσιμότητα ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας οι οποίες είναι ήδη εγκατεστημένες. Σε γενικές γραμμές, ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτό βασίζεται σε τρία απλά βήματα :

- Εγκατάσταση υπολογιστικών μοντέλων υψηλής ακρίβειας (περιγραφή ενεργειακών απαιτήσεων και εκτίμηση διαθέσιμου ενεργειακού αποθέματος),
- Εγκατάσταση ασύρματων αισθητήρων και ενεργοποιητών (καταγραφή κατάστασης κτηρίου και εκτέλεση εντολών ελέγχου) , και
- Ανάπτυξη μεθοδολογίας ελέγχου (λήψη βέλτιστων αποφάσεων για τη λειτουργία των συστημάτων του κτηρίου).

Αναλυτικότερα, τα ακριβή υπολογιστικά μοντέλα προσομοίωσης ενσωματώνουν ενεργητικά και παθητικά συστήματα παραγωγής ενέργειας, τα οποία είναι βασισμένα είτε σε χρονοσειρές δεδομένων καιρικών συνθηκών, είτε σε μοντέλα πρόβλεψης καιρικών συνθηκών. Έτσι, μπορούν και προβλέπουν τις ενεργειακές απαιτήσεις του κτηρίου, τη θερμική απόκριση του κτηρίου καθώς και τη θερμική άνεση των ενοίκων. Μετέπειτα, οι ασύρματοι αισθητήρες, οι ενεργοποιητές και οι διεπαφές χρηστών χρησιμοποιούνται ούτως ώστε να υπάρχει ορθή και πιο άνετη ανταλλαγή πληροφορίας από το φυσικό επίπεδο στο επίπεδο προσομοίωσης. Μάλιστα, οι ένοικοι κατέχουν διπλό ρόλο στο συγκεκριμένο έργο, αυτόν του αισθητήρα και αυτόν του ενεργοποιητή ταυτοχρόνως. Ο πρώτος προαναφερθείς ρόλος αναφέρεται στην διεπαφή των χρηστών καθώς διαμορφώνουν το σύστημα με τις προτιμήσεις τους περί θερμικής άνεσης, ενώ ο δεύτερος ρόλος αναφέρεται στην λήψη σωστών αποφάσεων και ενεργειών, η οποία φυσικά

ενισχύεται από την πληροφόρηση τους για τις συνέπειες των ενεργειών τους. Με αυτόν τον τρόπο, αναπτύσσονται αξιόπιστα συστήματα ελέγχου τα οποία συνδιάζουν τις διαθέσιμες πληροφορίες με τα θερμικά μοντέλα προσομοίωσης ώστε να ληφθούν οι καταλληλότερες αποφάσεις για τη λειτουργία των υποσυστημάτων.

Παρακάτω φαίνονται τα σημεία στα οποία οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές είναι εγκατεστημένοι στο εν προκειμένω κτήριο και διακρίνεται ο διαχωρισμός τους ανα είδος, σύμφωνα με τα χρώματά τους.



Εικόνα 1.7 : Κάτοψη ισογείου με αισθητήρες

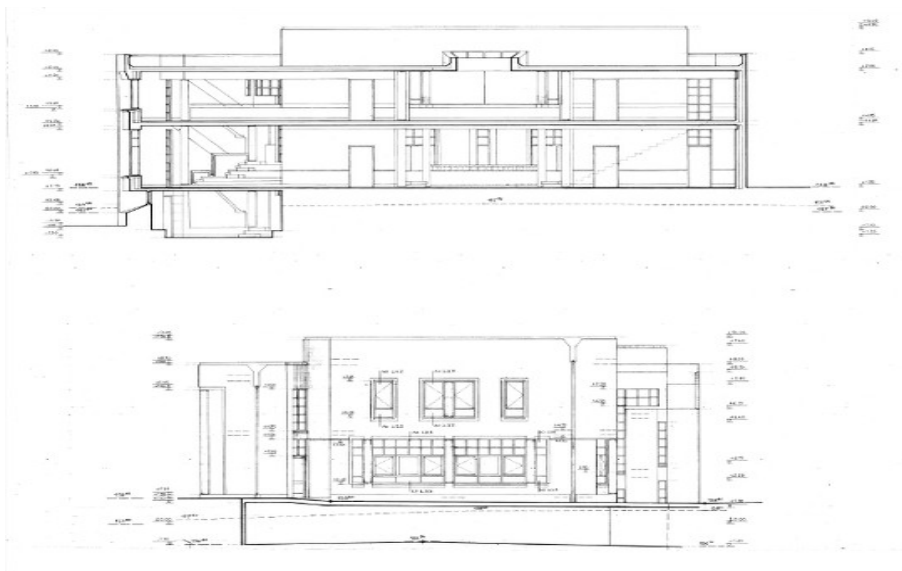


Εικόνα 1.8 : Κάτοψη ορόφου με αισθητήρες

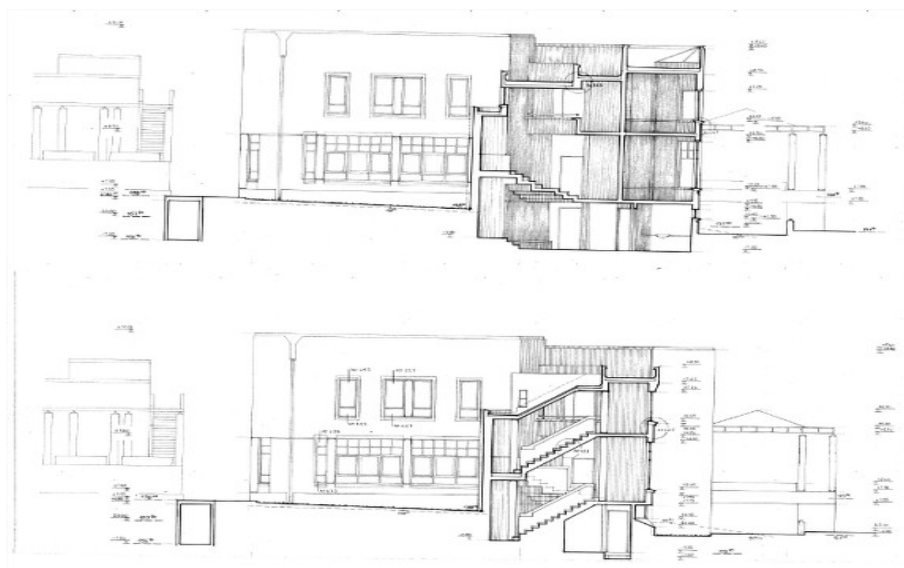
Με την χρήση των προαναφερθέντων αισθητήρων, ανακτήσαμε πληροφορίες σχετικά με την θερμοκρασία και την υγρασία για ορισμένες αίθουσες του κτηρίου κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 16/12/2010 έως 11/01/2011. Συγκεκριμένα, οι αίθουσες αυτές χρησιμοποιούνται ως γραφεία και αντιστοιχούν σε θερμικές ζώνες που ορίζουμε παρακάτω. Στη συνέχεια, οι θερμοκρασίες αέρα που μετρήθηκαν θα συγκριθούν με τις θερμοκρασίες αέρα του μοντέλου που προκύπτει από το στούντιο προσομοίωσης προκειμένου να διαπιστώσουμε την σύγκλιση των τιμών και την αξιοπιστία του μοντέλου.

1.3 Περιγραφή σχεδιαστικού περιβάλλοντος Google Sketchup 8

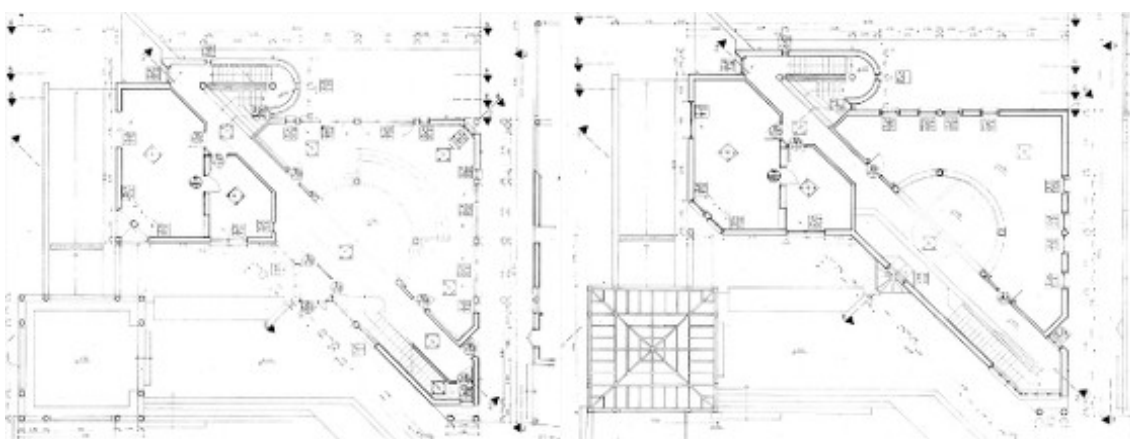
Το Sketchup είναι ένα σχεδιαστικό πρόγραμμα 3D modeling που χρησιμοποιείται για ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών. Ως εργαλείο μοντελοποίησης, το Google Sketchup δεν περιλαμβάνει λεπτομερείς πληροφορίες κτηρίων, όπως οι τύποι επιφάνειας ή κατασκευή χώρων δωματίου. Μια συγκεκριμένη λειτουργία του, όμως, είναι η προσθήκη ενός plug-in το οποίο περιέχει 3D γεωμετρικές πληροφορίες για τις επιφάνειες του μοντέλου του κτηρίου, γεγονός το οποίο διευκολύνει τους λεπτομερείς υπολογισμούς ακτινοβολίας και ροής της ενέργειας. Το εν λόγω plug-in ονομάζεται 'Trnsys3d plug-in for Google Sketchup' και παράγει έναν τύπο αρχείου .idf το οποίο χρησιμοποιείται εν συνεχεία από το περιβάλλον προσομοίωσης TRNSYS. Το TRNSYS είναι ένα ολοκληρωμένο υπολογιστικό πρόγραμμα προσομοίωσης θερμικών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων των κτιρίων με πολλαπλές θερμικές ζώνες, η λειτουργία του οποίου περιγράφεται στη συνέχεια. Έτσι, προκειμένου να γίνει η επεξεργασία των εν λόγω θερμικών ζωνών του κτηρίου PEBBLE, αρχικά έγινε ο σχεδιασμός του μοντέλου, παίρνοντας υπόψη τα αρχιτεκτονικά σχέδια του κτηρίου.



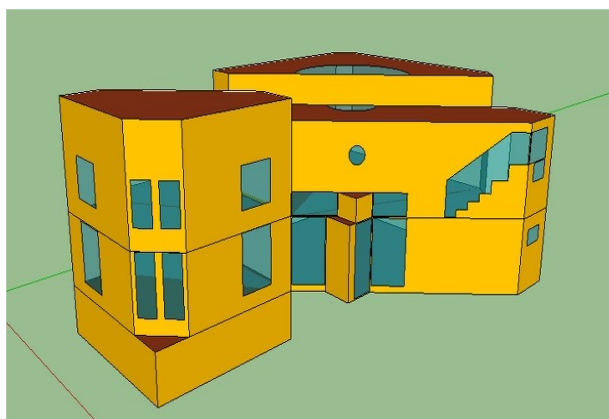
Εικόνα 1.9 : Τομή αρχιτεκτονικού σχεδίου



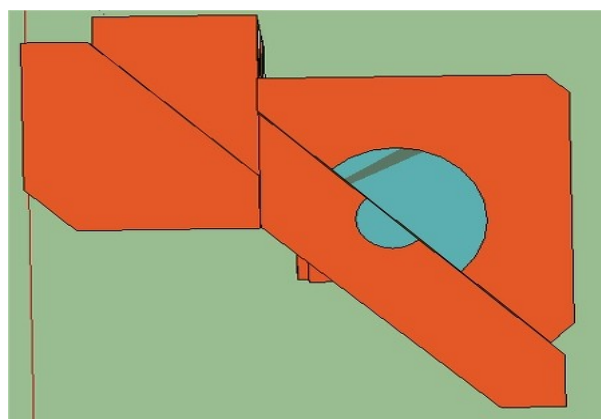
Εικόνα 1.10 : Όψη αρχιτεκτονικού σχεδίου



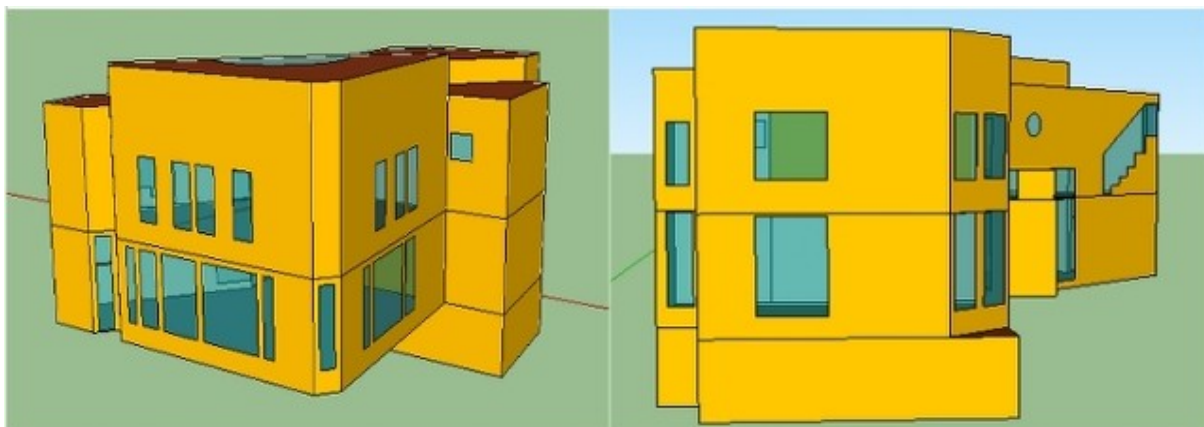
Εικόνα 1.11 : Κάτοψη αρχιτεκτονικού σχεδίου ισογείου και ορόφου



Εικόνα 1.12 : Πρόσωση κτηρίου Sketchup



Εικόνα 1.13 : Κάτοψη κτηρίου Sketchup



Εικόνα 1.14 : Περιμετρικές λήψεις κτηρίου Sketchup

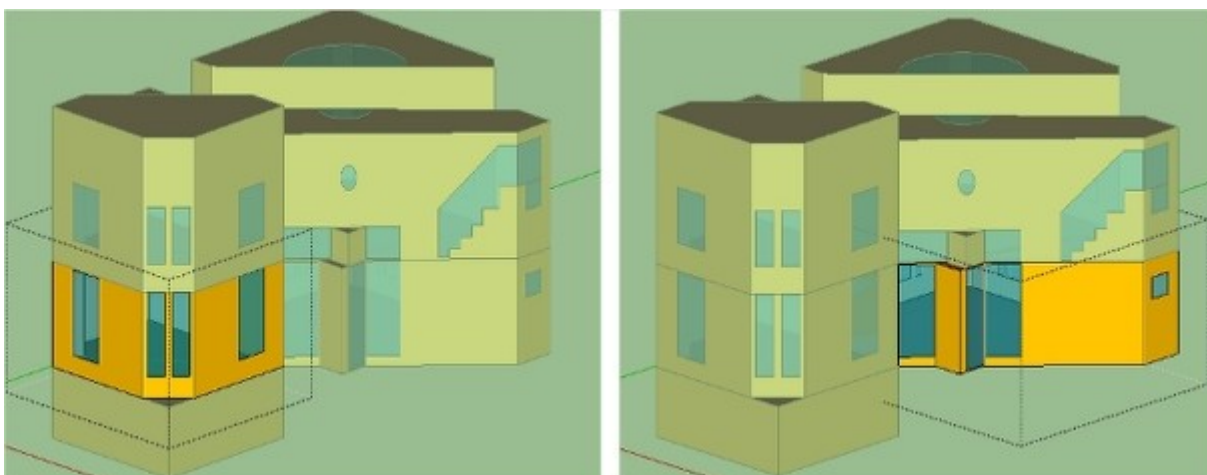
Για λόγους μελέτης, το κτήριο χωρίστηκε σε πέντε θερμικές ζώνες αναλόγως με την δομή του, δύο από τις οποίες αντιστοιχούν σε κάθε όροφο και μία για το υπόγειο. Χρησιμοποιώντας το Outliner Window από τις επιλογές του μοντέλου, προβάλλουμε τις ζώνες ξεχωριστά :



Εικόνα 1.15 : Outliner Window



Εικόνα 1.16 : Ζώνες Ορόφου

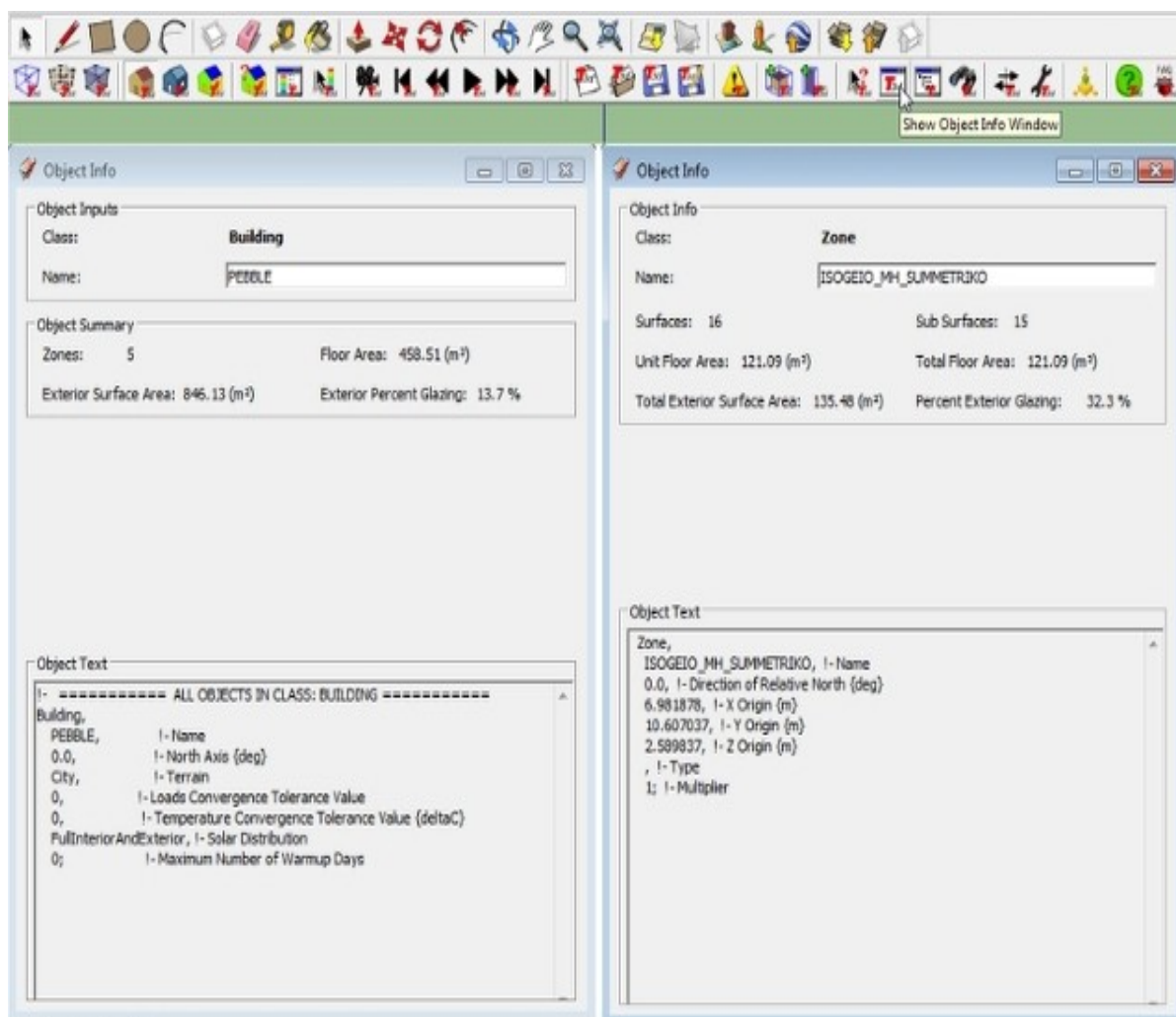


Εικόνα 1.17 : Ζώνες Ισογείου



Εικόνα 1.18 : Ζώνη Υπογείου

Το Trnsys3d παρέχει επίσης τη δυνατότητα τροποποίησης των πληροφοριών του μελετώμενου αντικειμένου. Χρησιμοποιώντας το εργαλείο Object Info δίνεται η δυνατότητα προεπισκόπησης των επιλεγμένων ζωνών. Η επόμενη εικόνα μας δείχνει τις περιπτώσεις στις οποίες δεν είναι επιλεγμένη κάποια ζώνη, καθώς και η περίπτωση προβολής λεπτομερειών για μία από αυτές. Με το συγκεκριμένο εργαλείο ανακτούμε πληροφορίες για τον αριθμό των θερμικών ζωνών του κτηρίου, για την συνολική επιφάνεια δαπέδου (m^2) , για την έκταση των εξωτερικών επιφανειών (m^2) καθώς και για το ποσοστό της εξωτερικής επιφάνειας που καλύπτεται με τζάμια.



Εικόνα 1.19 : Object Info κτηρίου και ζώνης αντίστοιχα

Κεφάλαιο 2 – Περιγραφή του υπολογιστικού περιβάλλοντος TRNSYS

2.1 Λειτουργία TRNSYS και διασύνδεση με Sketchup

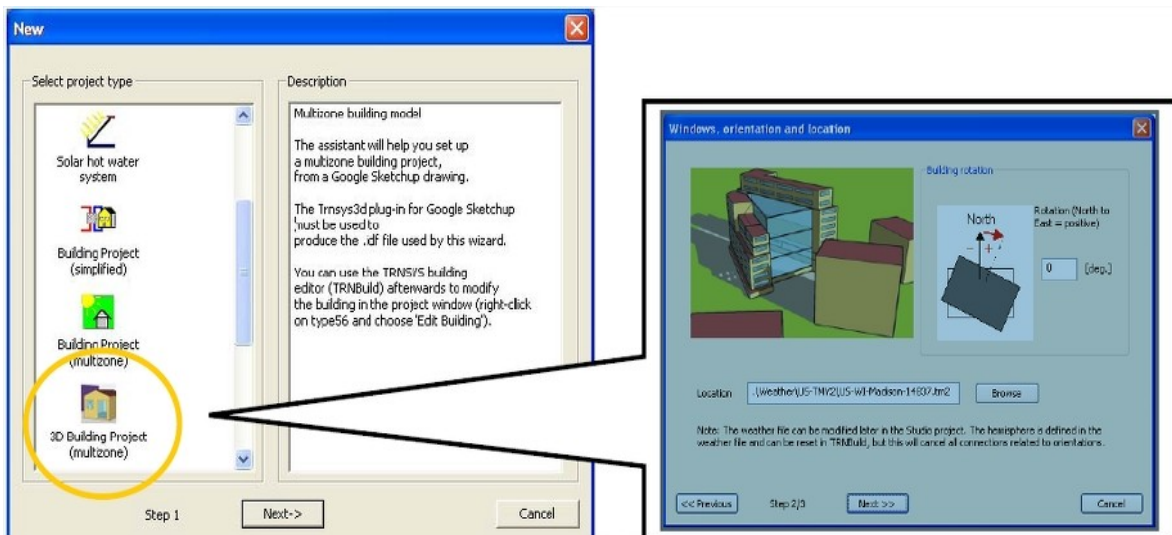
Το TRNSYS αποτελεί ένα πλήρες και επεκτάσιμο υπολογιστικό περιβάλλον για την προσομοίωση μεταβαλλόμενων συστημάτων στο χρόνο, συμπεριλαμβανομένων των πολυζωνικών κτηρίων. Χρησιμοποιείται από μηχανικούς και ερευνητές σε όλον τον κόσμο προκειμένου να αξιολογηθούν καινούρια ενεργειακά συστήματα, από απλά συστήματα θέρμανσης νερού μέχρι και τον σχεδιασμό και την προσομοίωση κτηρίων και του εξοπλισμού τους.

Ένα από τα σημαντικά χαρακτηριστικά του TRNSYS είναι ότι ο πηγαίος κώδικας, καθώς και ο κώδικας των διαφόρων μοντέλων που περιλαμβάνει το TRNSYS, δίνονται στον χρήστη ο οποίος έχει τη δυνατότητα να τα τροποποιήσει ώστε να εξυπηρετεί καλύτερα τις ανάγκες του. Επιπρόσθετα, παρέχεται η δυνατότητα εισαγωγής νέων μοντέλων που μπορεί να κατασκευάσει είτε ο ίδιος ο χρήστης είτε άλλοι προγραμματιστές χρησιμοποιώντας κοινές γλώσσες προγραμματισμού (π.χ. C, C++, FORTRAN, PASCAL κ.α). Αυτό επιτυγχάνεται χάρη στην αρχιτεκτονική του προγράμματος η οποία βασίζεται στα αρχεία DLL. Ακόμη, το TRNSYS μπορεί να συνδεθεί εύκολα και με πολλές άλλες εφαρμογές ούτως ώστε να διευκολύνεται η επεξεργασία πριν, μετά και κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης (π.χ. Matlab, Microsoft Excel κ.α). Σε γενικές γραμμές, συμπεριλαμβάνει πολλές εφαρμογές, μερικές από τις οποίες είναι :

- Ηλιακά συστήματα (θερμικά και φωτοβολταϊκά),
- Συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας,
- Συμπαράγωγή, κυψέλες καυσίμου
- Οτιδήποτε απαιτεί δυναμική προσομοίωση.

Το TRNSYS αποτελείται από ένα σύνολο προγραμμάτων : Το στούντιο προσομοίωσης (TRNSYS Simulation Studio), τη μηχανή προσομοίωσης (TRNDll.dll) και το εκτελέσιμο αρχείο του (TRNExe.exe), το γραφικό περιβάλλον διεπαφής του κτηρίου (TRNBuild.exe), καθώς και τον επεξεργαστή με τον οποίο μπορούν να δημιουργηθούν αυτόνομα προγράμματα γνωστά ως TRNSED εφαρμογές (TRNEdit.exe).

Για την πρώτη φορά που ο χρήστης θα ξεκινήσει ένα πρόγραμμα, το TRNSYS προσφέρει την δυνατότητα να δημιουργήσει μια νέα προσομοίωση με την εισαγωγή του .idf αρχείου μέσω του οδηγού 3D κτηρίων. Όταν ο χρήστης εκκινήσει το στούντιο προσομοίωσης και δημιουργήσει ένα νέο πρόγραμμα, επιλέγει τα δεδομένα καιρού για την συγκεκριμένη περιοχή επιλέγοντας το κατάλληλο .tm2 αρχείο, ενώ έχει και τη δυνατότητα να περιστρέψει ολόκληρο το κτήριο καθορίζοντας μια γωνία περιστροφής.

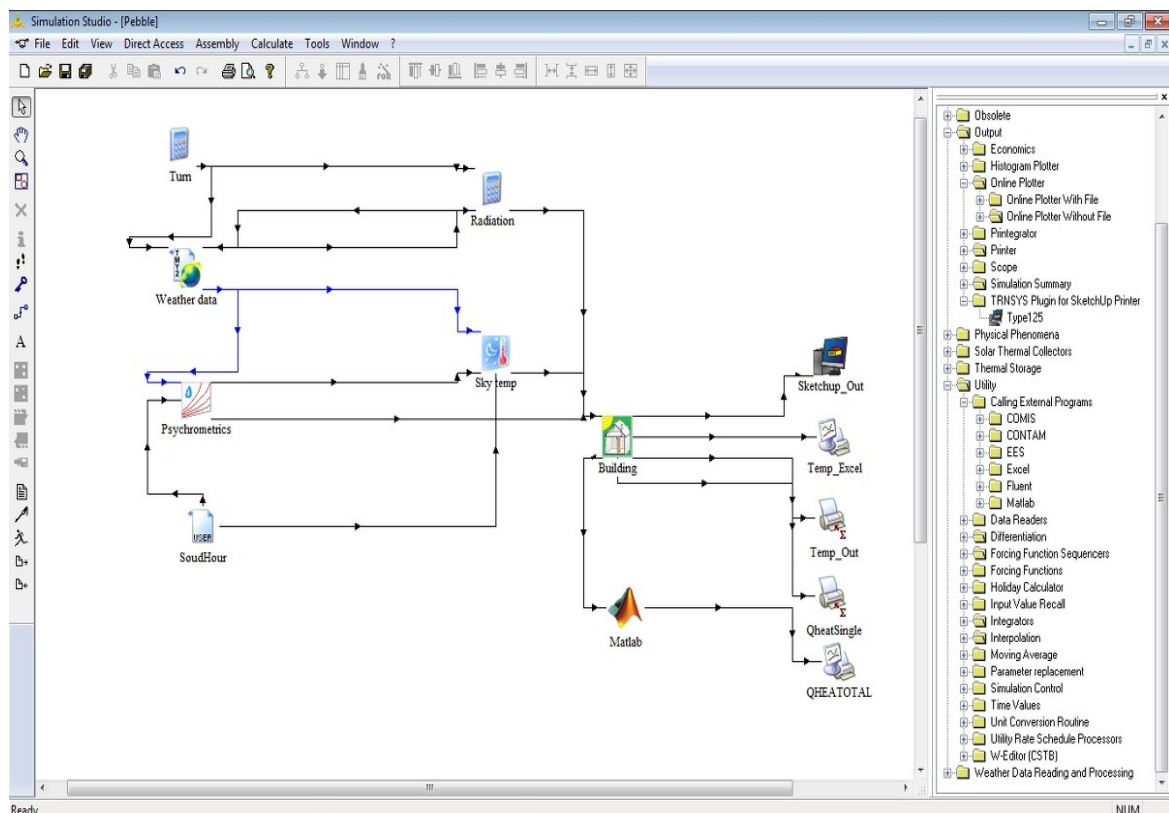


Εικόνα 2.1 : Δημιουργία νέας εργασίας 3D κτηρίου

2.2 Στούντιο προσομοίωσης TRNSYS

2.2.1 Γενικά

Το στούντιο προσομοίωσης του TRNSYS είναι το κεντρικό του γραφικό περιβάλλον. Σε αυτό δημιουργούνται τα προγράμματα της προσομοίωσης, σέρνοντας με το ποντίκι τα εκάστοτε μοντέλα στο παράθυρο εργασίας, συνδέοντάς τα μαζί και θέτοντας τις μεταβλητές της προσομοίωσης. Όταν ο χρήστης σύρει κάποιο μοντέλο στην επιφάνεια εργασίας, αυτό αναπαρίσταται με το δικό του μοναδικό εικονίδιο.



Εικόνα 2.2 : Το στούντιο προσομοίωσης TRNSYS

Οι πληροφορίες του αρχείου με τα δεδομένα του προγράμματος προσομοίωσης σώζονται στο λεγόμενο Trnsys Project File (.tpf). Μόλις ο χρήστης τρέχει την προσομοίωση, το στούντιο δημιουργεί επίσης ένα αρχείο εισόδου, το οποίο είναι ένα αρχείο κειμένου και περιέχει όλες τις πληροφορίες της προσομοίωσης χωρίς γραφική απεικόνιση.

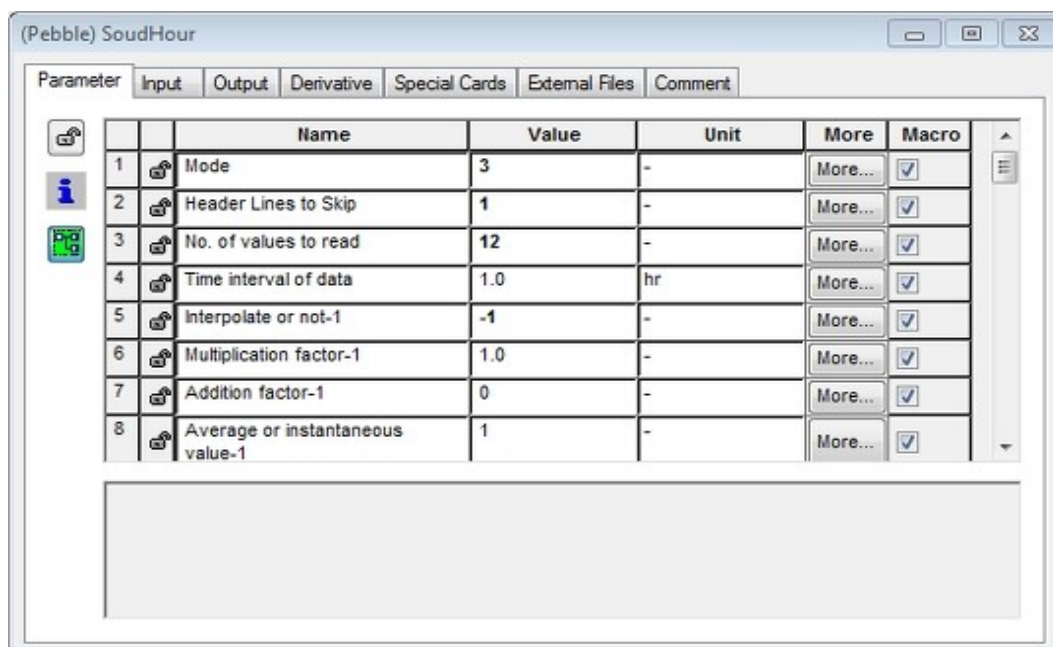
Το στούντιο προσομοίωσης περιλαμβάνει επίσης έναν διαχειριστή εξόδων του προγράμματος, με τον οποίο ο χρήστης καθορίζει ποιες μεταβλητές ενσωματώνονται, ποιες εκτυπώνονται και ποιες θα χρησιμοποιηθούν σε διαγράμματα. Ακόμη, συγκαταλέγει έναν διαχειριστή σφαλμάτων, ο οποίος επιτρέπει την λεπτομερή μελέτη των γεγονότων κατά την διάρκεια της προσομοίωσης.

Τέλος, ο χρήστης μπορεί να πραγματοποιήσει πολλές επιπρόσθετες διεργασίες, όπως να δημιουργήσει νέα υπολογιστικά μοντέλα προκειμένου να τα εισάγει στο TRNSYS με την επιλογή 'Fortran Wizard', αλλά και να προβάλλει ή/και επεξεργαστεί τις παραμέτρους, τις εισόδους και τις εξόδους ενός ήδη υπάρχοντος μοντέλου.

2.2.2 Ρύθμιση μοντέλων και συνδέσεις

Η ρύθμιση ενός μοντέλου γίνεται πατώντας διπλό κλικ στο αντίστοιχο εικονίδιο του, αφότου το επιλέξουμε και το εισάγουμε στο περιβάλλον εργασίας. Με αυτόν τον τρόπο, ανοίγει ένα παράθυρο με τις καρτέλες του μοντέλου οι οποίες είναι :

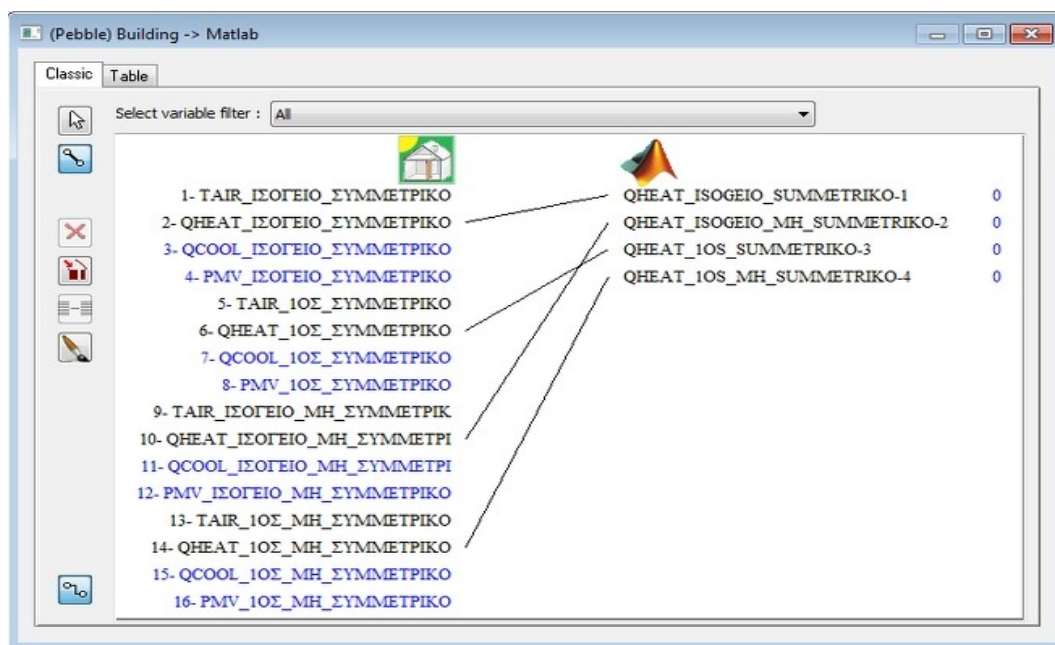
- Παράμετροι
- Είσοδοι
- Έξοδοι
- Παράγωγοι
- Ειδικές Κάρτες
- Εξωτερικά αρχεία
- Σχόλια



Εικόνα 2.3 : Ενδεικτικό παράθυρο ενός μοντέλου

Οι καρτέλες παραμέτρων, εισόδων και εξόδων αποτελούνται από το όνομα που δύναται να υποστεί επεξεργασία, από την τιμή τους, από την μονάδα μέτρησής τους και από τις πληροφορίες για την συγκεκριμένη παράμετρο. Οι εισοδοί και εξοδοί τροποποιούνται ανάλογα με το μοντέλο που χρησιμοποιούμε και τί αποτελέσματα επιθυμούμε, π.χ. σε περίπτωση διασύνδεσης δύο μοντέλων οι αρχικές τιμές εισόδου του πρώτου παραβλέπονται. Οι παράγωγοι συναντώνται σε εξαιρετικές περιπτώσεις και είναι στην ουσία μεταβλητές χωρητικότητας του μοντέλου, πχ. κόμβοι που αντιπροσωπεύουν μια δεδομένη ποσότητα ύδατος σε μια δεξαμενή αποθήκευσης. Έπειτα, η καρτέλα των ειδικών καρτών αναφέρεται στην προσαρμογή της ονομασίας και της ποσότητας των εξόδων προσομοίωσης και, τέλος, η καρτέλα των εξωτερικών αρχείων επιτρέπει το κάλεσμα εξωτερικών αρχείων στο περιβάλλον προσομοίωσης.

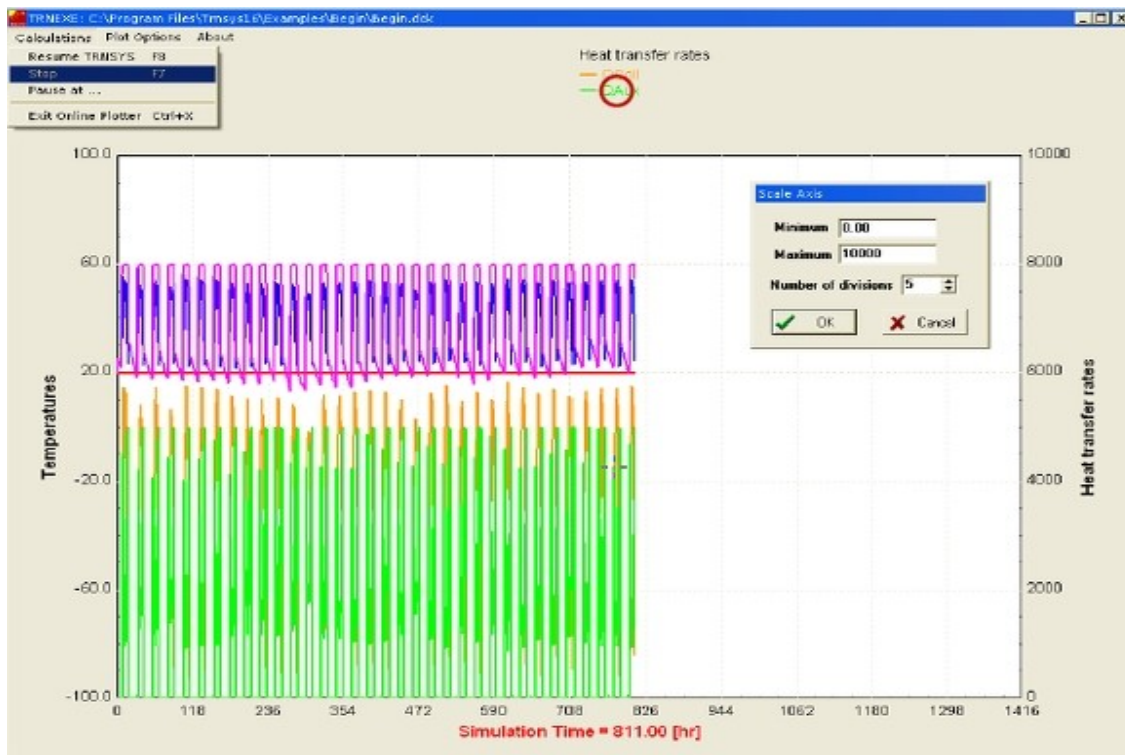
Προκειμένου να συνδέσουμε 2 μοντέλα στο γραφικό περιβάλλον προσομοίωσης κάνουμε κλικ στο εικονίδιο σύνδεσης στα αριστερά του παραθύρου εργασίας. Σε περίπτωση που κάνουμε διπλό κλικ στην διασύνδεση μεταξύ των 2 μοντέλων, εμφανίζεται ένα καινούριο παράθυρο εργασίας το οποίο παραθέτει όλες τις συνδέσεις εισόδων-εξόδων μέσα σε αυτόν τον σύνδεσμο. Οι συνδέσεις αυτές επιτρέπουν τον ορισμό των εξόδων του ενός μοντέλου ως εισόδους στο επόμενο μοντέλο.



Εικόνα 2.4 : Παράδειγμα συνδέσεων δύο μοντέλων

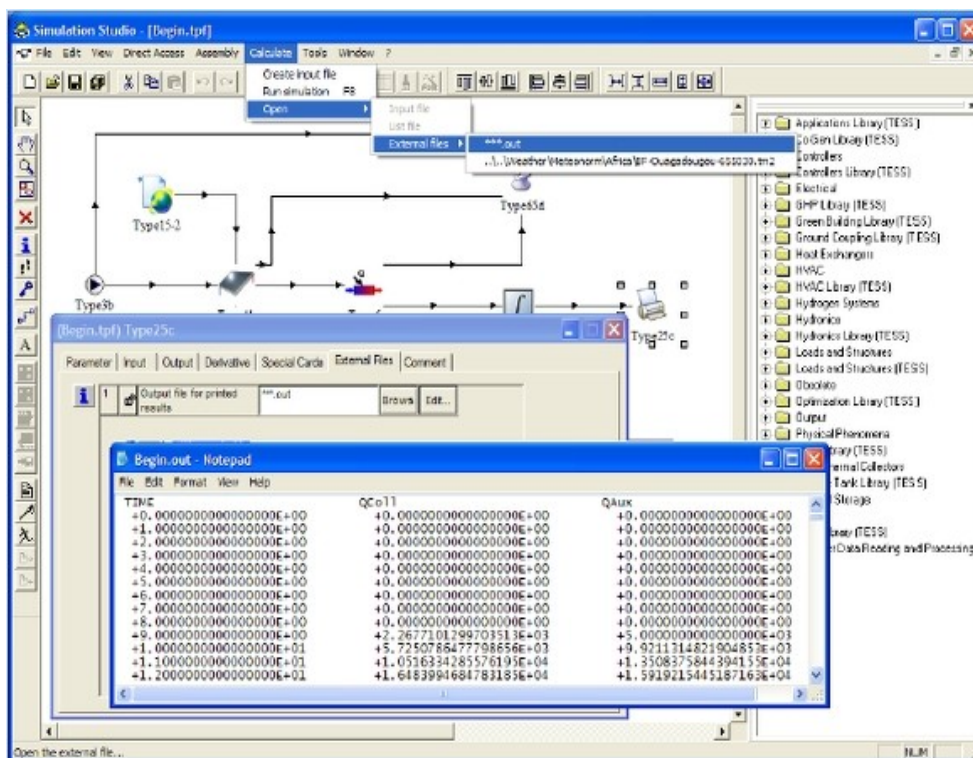
2.2.3 Εκτέλεση προσομοίωσης και ανάλυση αποτελεσμάτων

Η προσομοίωση ξεκινάει κάνοντας κλικ στην συντόμευση "Calculate/Run" στα αριστερά του παραθύρου εργασίας. Σε περίπτωση που έχουμε τουλάχιστον ένα μοντέλο ταυτόχρονης δημιουργίας διαγραμμάτων (Online Plotter), εμφανίζεται στον χρήστη ένα διάγραμμα κατά τους υπολογισμούς της προσομοίωσης. Το μοντέλο αυτό προσφέρει αρκετά χαρακτηριστικά τα οποία χρησιμεύουν στην ανάλυση των αποτελεσμάτων είτε κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης είτε μετά την περάτωσή της. Σε ορισμένες από αυτές τις δυνατότητες συγκαταλέγονται η παύση, το σταμάτημα και η επανέναρξη της προσομοίωσης, η εναλλαγή χρωμάτων φόντου, η μεγέθυνση ενός μέρους του διαγράμματος καθώς και η προσαρμογή των αξόνων. Οι αλλαγές αυτές είναι προσωρινές και σε περίπτωση που θέλουμε να είναι μόνιμες ο χρήστης πρέπει να αλλάξει τις παραμέτρους από την καρτέλα του μοντέλου ταυτόχρονης δημιουργίας διαγραμμάτων.



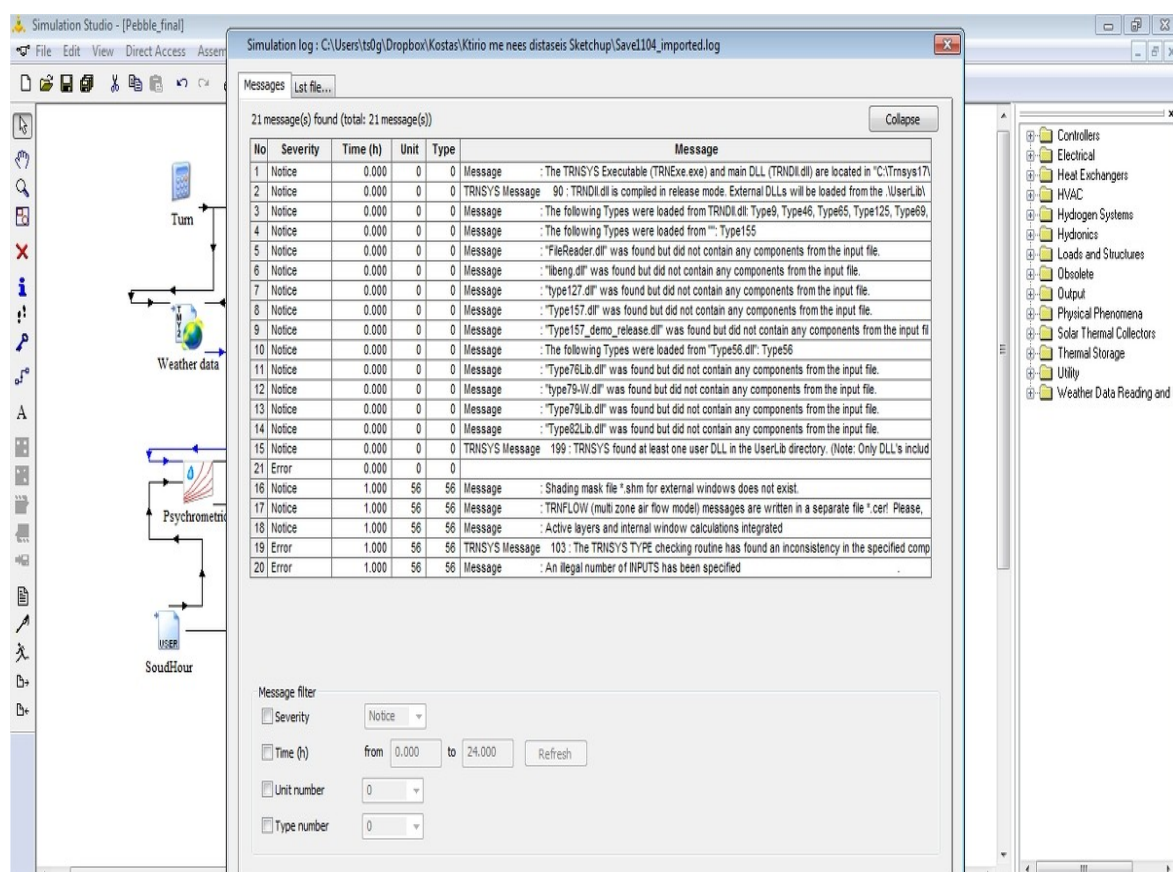
Εικόνα 2.5 : Παράδειγμα διαγράμματος προσομοίωσης

Εάν τώρα ο χρήστης έχει προσθέσει τουλάχιστον ένα μοντέλο εκτυπωτή στην προσομοίωση, οι έξοδοι τυπώνονται σε ένα αρχείο εξόδου το οποίο προβάλλεται κάνοντας κλικ στο 'Calculate/ Open / External Files' στο πάνω μέρος του παραθύρου εργασίας.



Εικόνα 2.6 : Εκτύπωση σε αρχείο εξόδου

Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης, δημιουργείται ένα αρχείο καταγραφής γεγονότων καθώς και ένα αρχείο .lst στο οποίο εμφανίζονται όλα τα σφάλματα και οι προειδοποιήσεις καθώς και σχετικά στατιστικά στοιχεία. Το στούντιο προσομοίωσης παρέχει πρόσβαση στο αρχείο αυτό μέσω του διαχειριστή σφαλμάτων, το παράθυρο του οποίου εμφανίζεται στα αριστερά του παραθύρου εργασίας ή κάνοντας κλικ στο 'Calculate / Open / List File'. Σε περίπτωση που ο χρήστης συναντήσει κάποιο αναπτυξιακό λάθος, η προσομοίωση τελειώνει με ένα μήνυμα λάθους 'TRNSYS ERRORS' και, πατώντας OK, ο χρήστης επιστρέφει στον διαχειριστή σφαλμάτων προκειμένου να αναλύσει τις προειδοποιήσεις, τα σφάλματα και τα μηνύματα λάθους τα οποία παρήχθησαν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.



Εικόνα 2.7 : Μήνυμα λάθους κατά την προσομοίωση

2.3 Μοντελοποίηση του πολυζωνικού κτηρίου με το TRNBuild

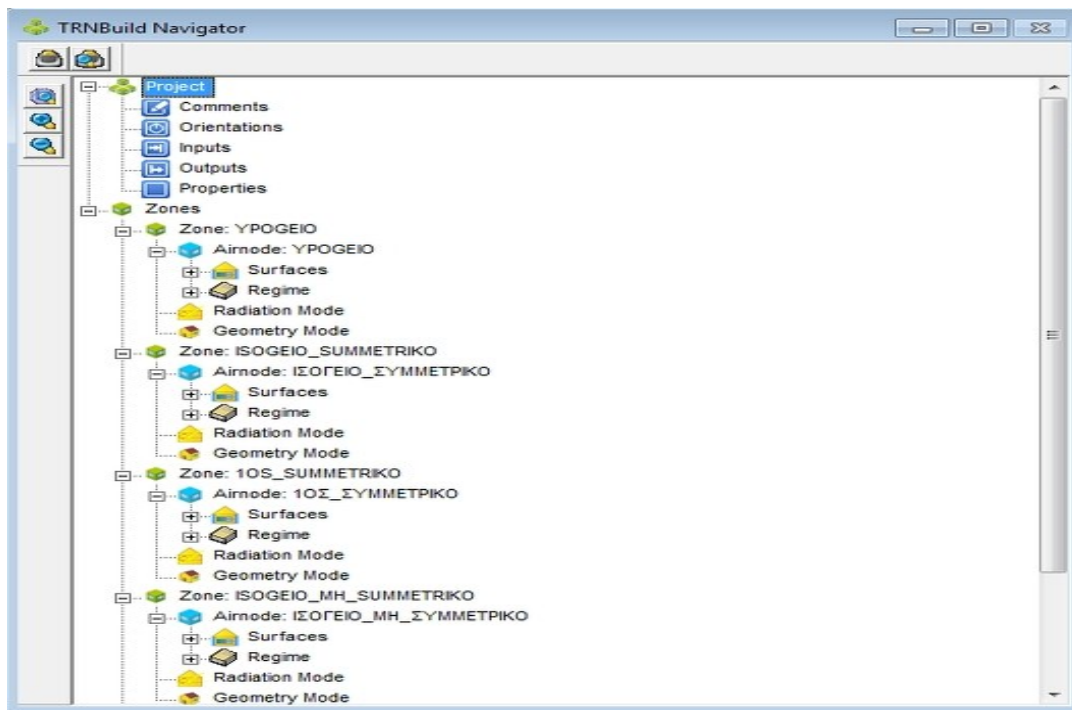
2.3.1 Γενικά

Το TRNbuild είναι το γραφικό περιβάλλον εισαγωγής δεδομένων ενός πολυζωνικού κτηρίου. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να καθορίσει τα κατασκευαστικά στοιχεία του κτηρίου μέσω αυτού, όπως και ό,τι άλλο χρειάζεται για τον λεπτομερή καθορισμό της θερμικής του συμπεριφοράς, π.χ.τα προγράμματα ψύξης και θέρμανσης, τις ιδιότητες των παραθύρων, τους τύπους των επιφανειών κτλ. Η πρόσβαση στο TRNBuild γίνεται μέσω του Type 56 μοντέλου που παράγεται κατά την προσομοίωση ενός πολυζωνικού κτηρίου.

2.3.2 Επεξεργασία δεδομένων του κτηρίου PEBBLE

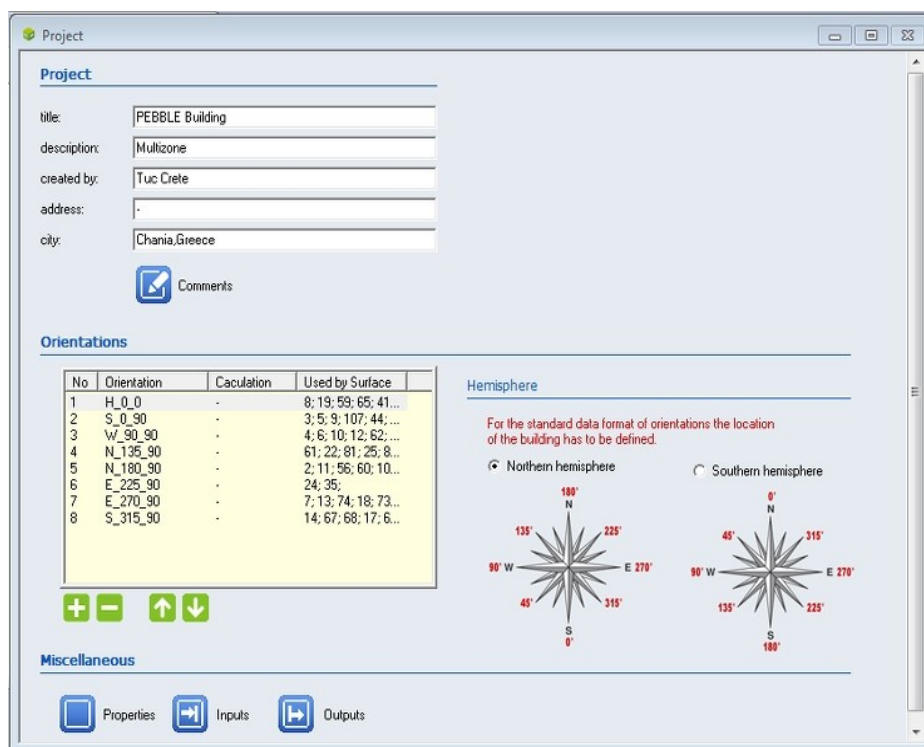
Λόγω της πολυπλοκότητας των παραμέτρων του πολυζωνικού κτηρίου, το μοντέλο του κτηρίου που δημιουργεί ο χρήστης έχει το δικό του χαρακτηριστικό αρχείο περιγραφής με επέκταση .bui, καθότι χρειάζεται πολλά περισσότερα στοιχεία σε σύγκριση με τα υπόλοιπα μοντέλα του TRNSYS. Προκειμένου ο χρήστης να εκκινήσει το TRNBuild και να ανοίξει το αρχείο περιγραφής του κτηρίου, κάνει δεξί κλικ στο εικονίδιο του κτηρίου και επιλέγει 'Edit Building'.

Κατά την εκκίνηση του TRNBuild ο χρήστης βλέπει την καρτέλα που αναφέρεται στον πλοηγό TRNBuild (TRNBuild Navigator), όπου και καθορίζονται οι γενικές παράμετροι της εργασίας καθώς και οι θερμικές ζώνες του κτηρίου.

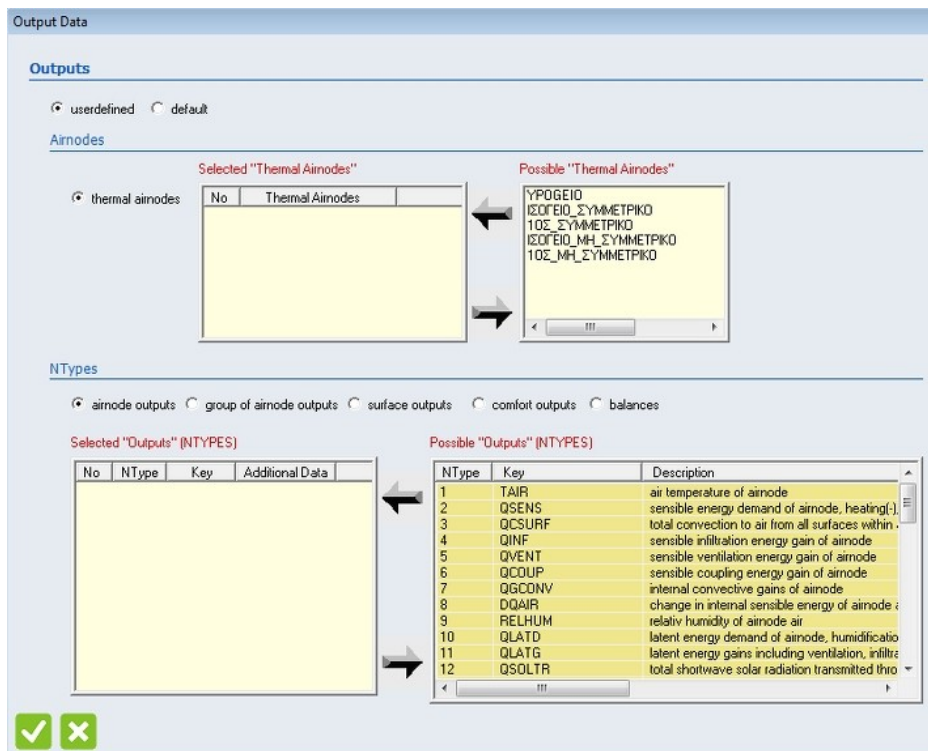


Εικόνα 2.8 : TRNBuild Navigator

- Στην επιλογή 'Project' ορίζονται :
- Προσανατολισμοί για τα παράθυρα και τους τοίχους. Σε αυτόν τον πίνακα επιλέγονται και ορίζονται όλοι οι πιθανοί προσανατολισμοί των εξωτερικών τοίχων και παραθύρων με μοναδικά ονόματα για την συγκεκριμένη εργασία.
 - Ιδιότητες του κτηρίου. Σε αυτήν την καρτέλα περιλαμβάνονται τιμές σταθερών όπως αυτή του Stephan Boltzmann, η πυκνότητα του αέρα και οι τιμές συντελεστών για τον υπολογισμό της μεταφοράς θερμότητας. Οι συντελεστές είναι της μορφής $\alpha_{conv} = \text{const}(T_{surf} - T_{air})^{exp}$ και εδώ καθορίζονται οι συντελεστές const και exp για την καλύτερη προσαρμογή στα διάφορα θεωρητικά μοντέλα.
 - Είσοδοι και έξοδοι του κτηρίου. Στις δύο αυτές καρτέλες ορίζονται οι επιπλέον εισοδοι σε περίπτωση που ο χρήστης χρειάζεται την τιμή μιας μεταβλητής από ένα άλλο μοντέλο της προσομοίωσης, καθώς και οι έξοδοι του πολυζωνικού κτηρίου που αφορούν το σύνολο των ζωνών ή κάθε μια ξεχωριστά, το σύνολο των επιφανειών ή κάθε μια ξεχωριστά και τέλος τα ενεργειακά ισοζύγια των επιφανειών ή των ζωνών.

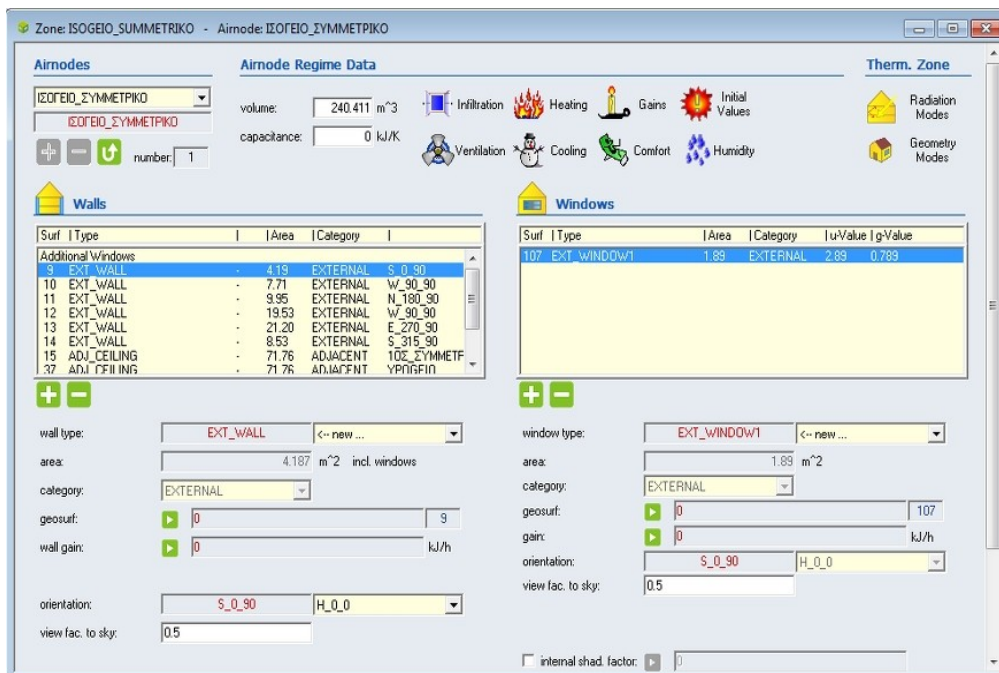


Εικόνα 2.9 : Διεπαφή καρτέλας Project TRNBuild



Εικόνα 2.10 : Διεπαφή καρτέλας εξόδων TRNBuild

- Στην επιλογή 'Zones' επιλέγονται οι θερμικές ζώνες. Σε αυτό το παράθυρο καθορίζονται τιμές για τα ακόλουθα δεδομένα :
 - Τα δεδομένα των τοίχων. Στο αριστερό μέρος του παραθύρου δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει πληροφορίες για τους τοίχους, λόγω χάρη να καθορίσει τον τύπο του τοίχου (εξωτερικός ή παρακείμενος σε άλλη ζώνη τοίχος), τις διαστάσεις, τον προσανατολισμό και τα υλικά του. Ακόμη, ορίζονται ο συντελεστής κατανομής της εισερχόμενης ακτινοβολίας (geosurf), τα επιπρόσθετα φορτία του τοίχου και ο συντελεστής θέασης του τοίχου από τον ουρανό. Οι διαστάσεις των τοίχων καθώς και ο προσανατολισμός τους εισήχθησαν αυτόματα κατά την εισαγωγή του Trnsys3d κτηρίου στο στούντιο προσομοίωσης.
 - Τα δεδομένα των παραθύρων. Στο δεξί μέρος του παραθύρου δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να εισάγει πληροφορίες για τα παράθυρα, λόγω χάρη να καθορίσει το είδος του παραθύρου, τις διαστάσεις, τον προσανατολισμό και τον μηχανισμό σκίασής του. Ακόμη, ορίζονται ο συντελεστής θέασης του παραθύρου από τον ουρανό και τα επιπρόσθετα φορτία. Οι διαστάσεις των παραθύρων καθώς και ο προσανατολισμός τους εισήχθησαν αυτόματα κατά την εισαγωγή του Trnsys3d κτηρίου στο στούντιο προσομοίωσης.



Εικόνα 2.11 : Παράθυρο επεξεργασίας θερμικής ζώνης

Στο επάνω μέρος του παραθύρου ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να επεξεργαστεί τις εξής μεταβλητές (αναφέρονται όπως παρουσιάζονται στην εικόνα) :

- Διείσδυση του αέρα στη ζώνη. Σε αυτήν την καρτέλα ο χρήστης επιλέγει εάν θα συνυπολογιστεί το φορτίο από τη διείσδυση του αέρα στη συγκεκριμένη ζώνη. Η επιλογή αυτή πραγματοποιείται στην καρτέλα 'Infiltration', στην οποία καθορίζουμε είτε καινούρια είτε προϋπάρχουσα μέθοδο, και στην οποία ρυθμίζουμε τον ρυθμό των εναλλαγών του αέρα σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία του περιβάλλοντος.



Εικόνα 2.12 : Παράθυρο καθορισμού διείσδυσης αέρα της ζώνης

- Αερισμός της ζώνης. Στην καρτέλα αυτή ο χρήστης καθορίζει την εισροή αέρα από οποιαδήποτε πηγή στη ζώνη. Η επιλογή αυτή είναι προαιρετική και πραγματοποιείται στην καρτέλα 'Ventilation', στην οποία καθορίζουμε είτε καινούρια είτε προϋπάρχουσα μέθοδο. Για τον αερισμό της ζώνης ο χρήστης

εισάγει τον ρυθμό εναλλαγής αέρα καθώς και την θερμοκρασία και την σχετική υγρασία του εισερχόμενου αέρα.

New Ventilation Type

"Ventilation Type" Manager

new ventilation type: VENT001

AirFlow

☒ air change rate ☐ mass flow rate

0 1/h

Temperature of Air Flow

☐ outside ☒ other

20 °C

Humidity of Air Flow

☒ relative humidity ☐ absolute humidity

☐ outside ☒ other

30 %

✓ ✗

Εικόνα 2.13 : Παραθύρο καθορισμού αερισμού της ζώνης

- Θέρμανση της ζώνης. Η ενεργειακή απαίτηση μιας ζώνης σε θέρμανση καθορίζεται από την μέθοδο που θα επιλέξει ο χρήστης. Στην περίπτωση που ο εξοπλισμός θέρμανσης μοντελοποιείται εξωτερικά του μοντέλου 56, τότε δεν χρησιμοποιείται η συγκεκριμένη λειτουργία, παρά μόνο ορίζονται ως είσοδοι στο μοντέλο 56 η θερμοκρασία, η υγρασία και οι εναλλαγές του αέρα. Εναλλακτικά, μπορούν να οριστούν ως κέρδη ζώνης η θερμότητα δια συναγωγής και ακτινοβολίας που παρέχεται από τον εξοπλισμό και, με την μέθοδο θέρμανσης, υπολογίζεται η απαιτούμενη ενέργεια. Η επιλογή της μεθόδου θέρμανσης επιλέγεται στο άνω μέρος του παραθύρου στην καρτέλα "Heating", στην οποία ο χρήστης επιλέγει είτε νέα είτε υπάρχουσα μέθοδο θέρμανσης. Στο κομμάτι αυτό ορίζεται η θερμοκρασία του δωματίου κάτω από την οποία λειτουργεί η ζώνη, την μέγιστη ισχύ που παράγεται για θέρμανση και το ποσοστό αυτής της ισχύος που δίνεται με ακτινοβολία, καθώς και η υγραποίηση του αέρα στη ζώνη αφού οριστεί η επιθυμητή σχετική υγρασία. Όπως προβλέπεται, η θέρμανση του χώρου δεν λειτουργεί επ' αόριστον προκειμένου η προσομοίωση να είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα, γεγονός που καθιστά τον ορισμό ενός προγράμματος λειτουργίας απαραίτητο. Αυτό ορίζεται θέτοντας χρονοδιαγράμματα θερμοκρασιών στις θερμικές ζώνες και θα αναλυθεί παρακάτω.

New Heating Type

"Heating Type" Manager

new heating type:

Room Temperature Control

set temperature: °C

Heating Power

☒ unlimited
☐ limited

radiative part: % / 100

Humidification

☐ off
☒ on
☒ relative humidity ☐ absolute humidity

%

Εικόνα 2.14 : Παράθυρο καθορισμού θέρμανσης της ζώνης

- Ψύξη της ζώνης. Σε αντιστοιχία με την μέθοδο θέρμανσης, η επιλογή της μεθόδου ψύξης βρίσκεται στο άνω μέρος του παραθύρου, στην καρτέλα "Cooling" και αφορά την ιδανική λειτουργία του εξοπλισμού. Στο παράθυρο ορίζεται και πάλι είτε παλιά είτε νέα μέθοδος ψύξης, και καθορίζεται η θερμοκρασία της ζώνης πάνω από την οποία λειτουργεί ο εξοπλισμός για την ψύξη του χώρου, η μέγιστη παρεχόμενη ισχύς για ψύξη καθώς και η επιλογή εφύγρανσης του αέρα, που στην περίπτωση που ο χρήστης την επιλέξει, ορίζει και την επιθυμητή σχετική υγρασία του χώρου. Επίσης, καθορίζεται χρονοδιάγραμμα λειτουργίας με όμοιο τρόπο όπως και στην μέθοδο θέρμανσης.

Cooling Type Manager

"Cooling Type" Manager

cooling type:

Room Temperature Control

set temperature: °C

Cooling Power

☒ unlimited
☐ limited

Dehumidification

☐ off
☒ on
☒ relative humidity ☐ absolute humidity

%

Εικόνα 2.15 : Παράθυρο καθορισμού ψύξης της ζώνης

- Τα εσωτερικά φορτία της ζώνης. Σε αυτήν την καρτέλα ο χρήστης καθορίζει τα φορτία ανθρώπων, υπολογιστών, φωτισμού αλλά και κάθε άλλο φορτίο το οποίο αυτός επιθυμεί. Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθόδου γίνεται στο άνω μέρος του παραθύρου στην καρτέλα “Gains” και το παράθυρο που εμφανίζεται είναι διαμορφωμένο έτσι ούτως ώστε να διευκολύνεται η εισαγωγή φορτίων των ανθρώπων, των υπολογιστών και του φωτισμού. Για τους ανθρώπους δίνεται πίνακας για την εργασία που εκτελούν τα άτομα στο χώρο σύμφωνα με τις προδιαγραφές ISO 7730 ή VDI 2078. Για τους υπολογιστές καθορίζεται η ισχύς τους καθώς και το εάν έχουν έγχρωμη οθονη και, τέλος, για τον τεχνητό φωτισμό ο χρήστης επιλέγει από μια λίστα την εγκατεστημένη ισχύ σε watt / m² και το είδος του λαμπτήρα μαζί με το μέρος της ισχύος που μεταδίδεται στον αέρα μέσω συναγωγής. Το πεδίο “scale” αναφέρεται στον αριθμό ατόμων ή υπολογιστών, ενώ για τον φωτισμό μπορεί να οριστεί στρατηγική ελέγχου από το πεδίο “control strategy”. Τέλος, για τα υπόλοιπα εσωτερικά κέρδη ο χρήστης επιλέγει το εικονίδιο “Add” και συμπληρώνει την εισαγωγή ισχύος που μεταδίδεται στη ζώνη μέσω συναγωγής, ακτινοβολίας και της απόλυτης υγρασίας που παράγεται.

Gains [AirNode: ISOΓΕΙΟ_ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΟ]

Persons

☐ off
 ☒ ISO 7730 Table
 ☐ on
 ☐ VDI 2078 Table

Seated, light work, typing

 degree of activity

scale:

 geo position:

Computer

☐ off
 ☒ on

230 W PC with colour mon

 computer type

scale:

 geo position:

Artificial Lighting

☐ off
 ☒ on

related floor area: m²

 total heat gain

55 W/m² halogen lamp

 control strategy

convective part

 scale

40 % fluorescent tube

 scale

geo position:

Other Gains

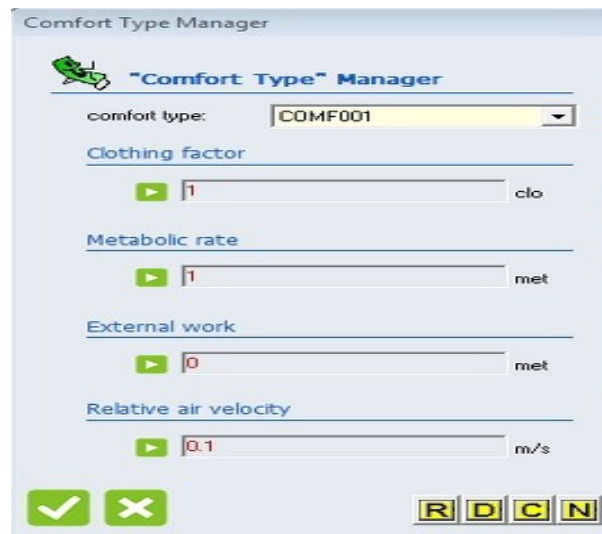
Type	Scale	Geo Position

☒
☐

Εικόνα 2.16 : Παράθυρο καθορισμού εσωτερικών φορτίων της ζώνης

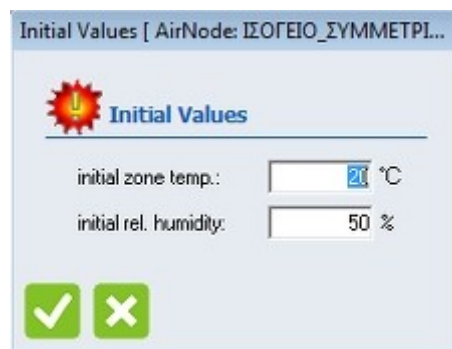
- Θερμική άνεση της ζώνης. Η θερμική άνεση αναφέρεται στην εισαγωγή του συντελεστή ένδυσης ανάλογα με την ένδυση των ατόμων στο χώρο, στο μεταβολικό ρυθμό ανάλογα με την δραστηριότητα των ατόμων στο χώρο, στο εξωτερικό έργο και στη σχετική ταχύτητα του αέρα με τα άτομα στο χώρο.

Η συγκεκριμένη επιλογή είναι προαιρετική, βασίζεται στις προδιαγραφές ISO 7730 και ορίζεται στην καρτέλα “Comfort” που εντοπίζεται στο άνω μέρος του παραθύρου.



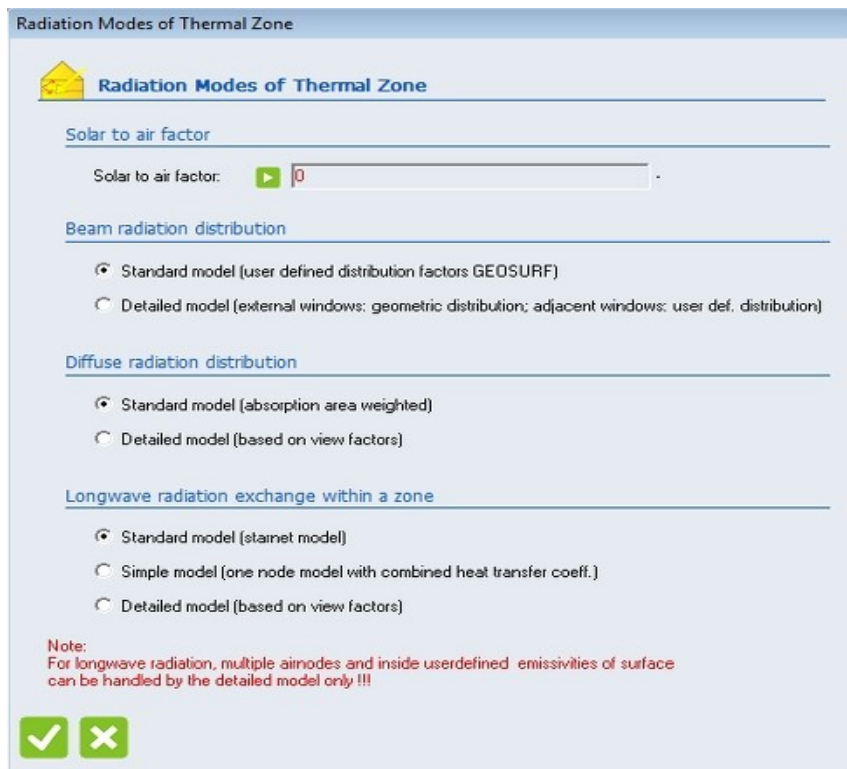
Εικόνα 2.17 : Παράθυρο καθορισμού θερμικής άνεσης της ζώνης

- Αρχικές τιμές. Η συγκεκριμένη καρτέλα αναφέρεται στην αρχική τιμή θερμοκρασίας της ζώνης καθώς και στο αρχικό ποσοστό σχετικής υγρασίας και ορίζεται στην καρτέλα “Initial Values” στο άνω μέρος του παραθύρου.



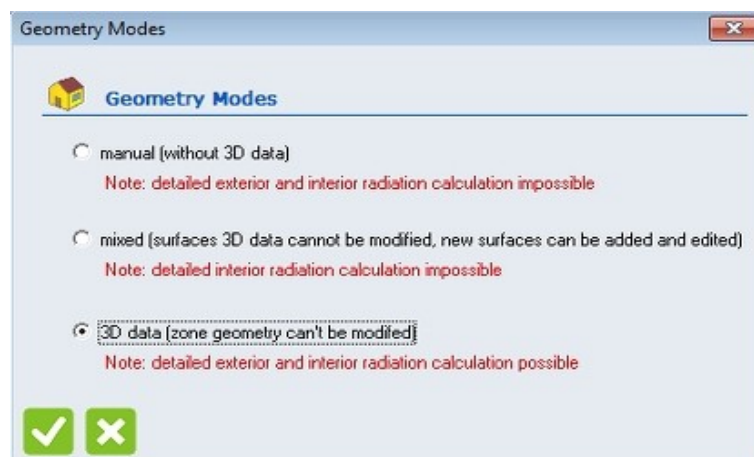
Εικόνα 2.18 : Παράθυρο καθορισμού αρχικών τιμών της ζώνης

- Λειτουργία ακτινοβολίας (“Radiation Modes”). Σε αυτήν την καρτέλα ο χρήστης ορίζει τον παράγοντα ηλιακής ακτινοβολίας προς τον αέρα, ο οποίος είναι το ποσοστό της ηλιακής θερμότητας που εισέρχεται διαμέσου των παραθύρων και η οποία μεταφέρεται αμέσως ως κέρδος συναγωγής στον εσωτερικό αέρα. Επίσης, καθορίζονται τα μοντέλα των κατανομών διάχυτης ακτινοβολίας και ακτινοβολίας δεσμών, καθώς και οι εναλλαγές της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος μέσα στη ζώνη.



Εικόνα 2.19 : Παράθυρο καθορισμού λειτουργίας ακτινοβολίας της ζώνης

- Λειτουργία γεωμετρίας (“Geometry Modes”). Σε αυτήν την καρτέλα περιγράφεται ο τρόπος κατασκευής των επιφανειών των τοίχων και των παραθύρων, ούτως ώστε να καθίσταται δυνατός ο υπολογισμός των εξωτερικών και των εσωτερικών ακτινοβολιών, ή όχι. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, εισήχθει το μοντέλο του κτηρίου μέσω του Tnsys3d, επομένως οι γεωμετρικές πληροφορίες των επιφανειών δεν μπορούν να τροποποιηθούν αλλά και δεν επιτρέπεται και η εκ νέου εισαγωγή επιφανειών.



Εικόνα 2.20 : Παράθυρο καθορισμού λειτουργίας γεωμετρίας της ζώνης

Όσον αφορά τις παραπάνω μεθόδους, υπάρχει η δυνατότητα καθορισμού μιας μεταβλητής σύμφωνα με χρονοδιαγράμματα, όπου η μεταβλητή λαμβάνει τιμές για διάφορες χρονικές περιόδους. Έτσι, η τιμή καθορίζεται με τη μορφή $x = a * \text{schedule} + b$, όπου x η τιμή της μεταβλητής, όπου schedule το χρονοδιάγραμμα που χρησιμοποιείται και a, b είναι οι συντελεστές που ορίζονται από τον χρήστη. Τα χρονοδιαγράμματα μπορεί να είναι εβδομαδιαία ή και μηνιαία και αναλύονται παρακάτω.

2.3.3 Κεντρικό παράθυρο του TRNBuild

Αφού εξετάσαμε τις καρτέλες του TRNBuild Navigator, ας δούμε εκτενώς και τις λειτουργίες του κεντρικού παραθύρου του προγράμματος TRNBuild. Στο άνω μέρος του, λοιπόν, συναντούμε τους κεντρικούς διαχειριστές διαφόρων τύπων, οι οποίοι απαριθμούνται με την σειρά που συναντώνται :

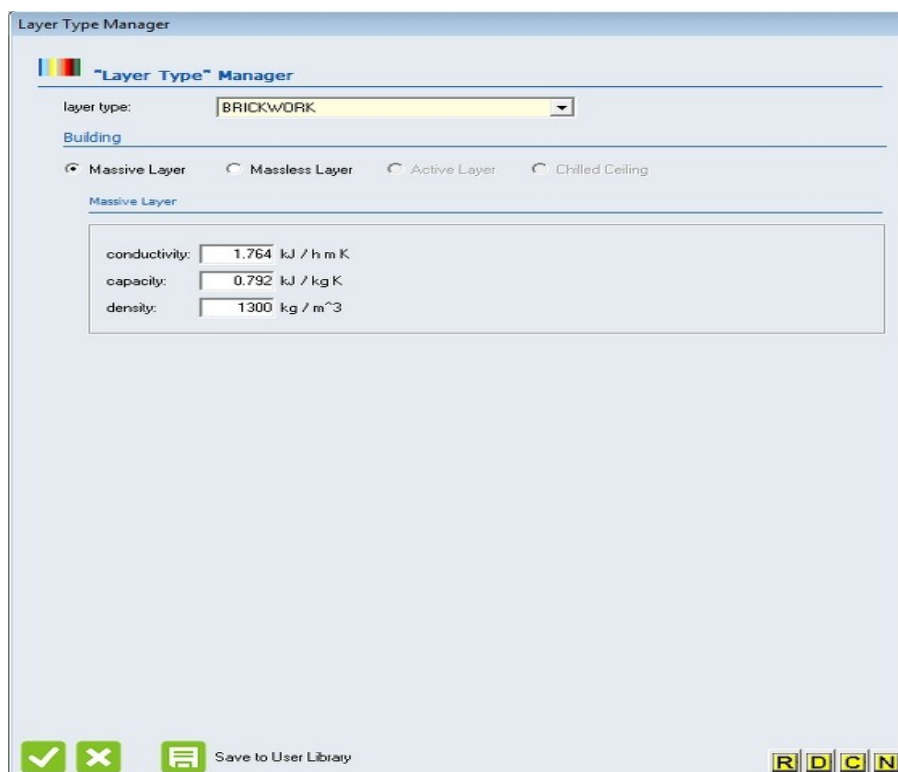


Εικόνα 2.21 : Λειτουργίες κεντρικού παραθύρου TRNBuild

- Διαχειριστής στρώσεων υλικών των τοίχων
- Διαχειριστής τοίχων
- Διαχειριστής παραθύρων
- Διαχειριστής διείσδυσης αέρα
- Διαχειριστής αερισμού
- Διαχειριστής θέρμανσης
- Διαχειριστής ψύξης
- Διαχειριστής εσωτερικών φορτίων
- Διαχειριστής θερμικής άνεσης
- Διαχειριστής χρονοδιαγραμμάτων

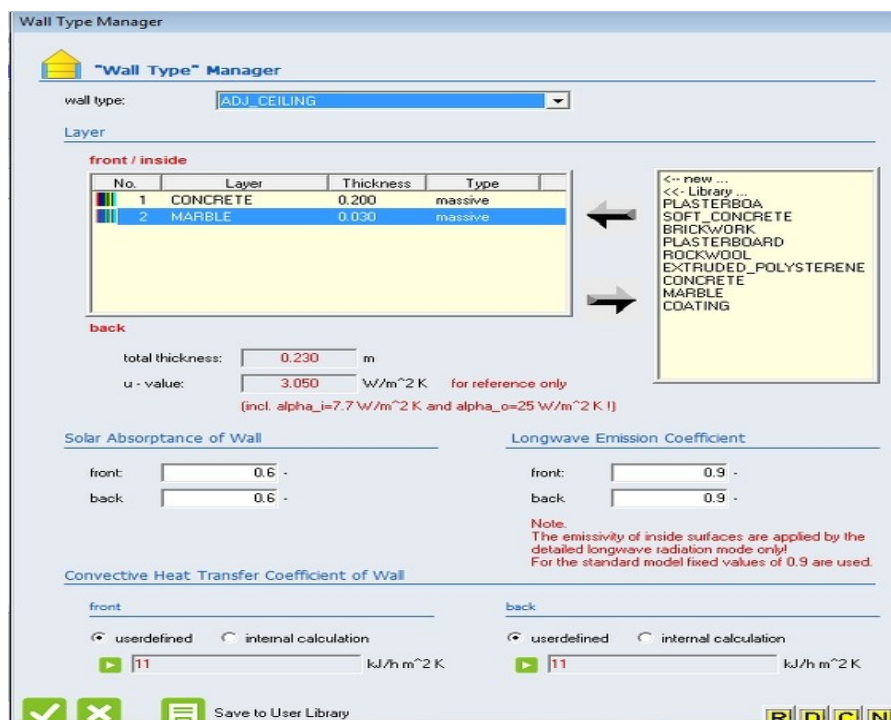
Οι πρώτοι τρεις διαχειριστές που αναφέρθηκαν αφορούν τις επιφάνειες των τοίχων και αναλύονται παρακάτω. Αναλυτικά θα δούμε και τον διαχειριστή χρονοδιαγραμμάτων, ενώ οι υπόλοιποι χρησιμοποιούνται στη διαχείριση και στην επεξεργασία των μεθόδων των αντίστοιχων διεργασιών που εισήχθησαν σε κάθε ζώνη. Οι επιλογές λοιπόν που προκύπτουν είναι οι εξής :

- Διαχειριστής στρώσεων υλικών των τοίχων. Επιλέγοντας την συγκεκριμένη καρτέλα ("Layer Type Manager") ο χρήστης επιλέγει ένα υλικό και καθορίζει την αγωγιμότητά του ($\text{kJ/h} \cdot \text{m} \cdot \text{K}$), την θερμοχωρητικότητά του ($\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$) και την πυκνότητά του (kg/m^3). Στο κάτω μέρος του διαχειριστή υπάρχουν τα εικονίδια R, D, C, N τα οποία αντιστοιχούν στην μετονομασία, διαγραφή, αντιγραφή και τη δημιουργία νέας στρώσης υλικού.



Εικόνα 2.22 : Παράθυρο διαχειριστή στρώσεων υλικών των τοίχων

- Διαχειριστής τοίχων. Επιλέγοντας την συγκεκριμένη καρτέλα (“Wall Type Manager”) ο χρήστης επιλέγει έναν τοίχο τον οποίο μπορεί να επεξεργαστεί ή να δημιουργήσει έναν νέο. Αυτό γίνεται επιλέγοντας τις στρώσεις των υλικών που αποτελούν τον τοίχο, ορίζοντας το πάχος κάθε στρώσης καθώς και τους συντελεστές απορρόφησης ηλιακής ακτινοβολίας για τις 2 επιφάνειες του τοίχου. Τέλος, εφόσον επιθυμεί μπορεί και να ορίσει τον συντελεστή μεταφοράς θερμότητας για τις δύο επιφάνειες. Οι στρώσεις των υλικών εισάγονται από την βιβλιοθήκη ή καθορίζονται νέες από τον χρήστη. Στο κάτω μέρος του διαχειριστή υπάρχουν τα εικονίδια R,D,C,N τα οποία αντιστοιχούν στην μετονομασία, διαγραφή, αντιγραφή και τη δημιουργία νέου τοίχου.



Εικόνα 2.23 : Παράθυρο διαχειριστή των τοίχων

- Διαχειριστής παραθύρων. Επιλέγοντας την συγκεκριμένη καρτέλα (“Window Type Manager”) ο χρήστης επιλέγει το συνδυασμό ήδη υπάρχοντων υαλοπινάκων με ήδη υπάρχοντα πλαίσια και ορίζει την επιπλέον θερμική αντίσταση από εσωτερικά ή εξωτερικά σκίαστρα. Οι υαλοπίνακες ορίζονται με την αρίθμηση που έχουν λάβει από την βιβλιοθήκη, επομένως το ID number του υαλοπίνακα που θέλουμε να εισάγουμε πρέπει να υπάρχει στην βιβλιοθήκη. Επίσης, ο χρήστης ορίζει τον συντελεστή θερμότητας δια συναγωγής και για τις δύο επιφάνειες του υαλοπίνακα ενώ οι τιμές των u και g διαβάζονται από την βιβλιοθήκη. Ακόμη, το παράθυρο ορίζει και το πλαίσιο του υαλοπίνακα καθώς και το ποσοστό επιφάνειας του παραθύρου που καταλαμβάνει, τον συντελεστή ανάκλασης και τον ολικό συντελεστή θερμοπερατότητας c . Στο κάτω μέρος του διαχειριστή υπάρχουν τα εικονίδια R,D,C,N τα οποία αντιστοιχούν στην μετονομασία, διαγραφή, αντιγραφή και τη δημιουργία νέας καρτέλας υαλοπινάκων.

Window Type Manager

Window type: **ADJ_WINDOW**

Glazing

ID number: **6001** WinID: **Pool** **Lib**

slope of window: **90** degree

For 1 glazing module width: **0** m height: **0** m

u - value: **2.89** W/m² K

g - value: **0.789** %/100 values acc. to glazing library (for reference only)

ID spacer: **0** Data from w4-lib.dat

Frame

area frame/window: **0.3** % / 100

solar absorptance: **0.6**

c - value (1/R): **10.9091** kJ/h m² K (without conv. + rad. heat transfer coefficients)

emissivity: **0.9**

Optional Properties of Shading Devices

Additional Thermal Resistance

internal device: **0** h m² K/kJ

external device: **0** h m² K/kJ

Reflection Coefficient of Internal Device

towards window: **0.5** % / 100

towards zone: **0.5** % / 100

Radiation depending shading control (internal model)

Close if total radiation on window > **548** kJ/h m²

Open if total radiation on window < **576** kJ/h m²

Emissivity of Internal Device towards zone

0.9

Fraction of abs. Solar Radiation to Zone Air Node (CCISHADE)

0.5 % / 100

Convective Heat Transfer Coefficient of Window (glazing + frame)

Front (inside)

☒ userdefined ☐ internal calculation

11 kJ/h m² K

Back (outside)

☒ userdefined ☐ internal calculation

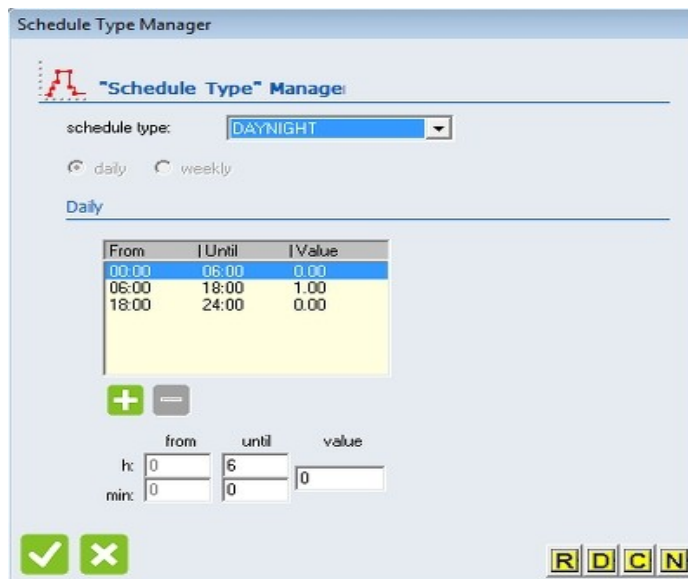
64 kJ/h m² K

Save to User Library

R D C N

Εικόνα 2.24 : Παράθυρο διαχειριστή παραθύρων

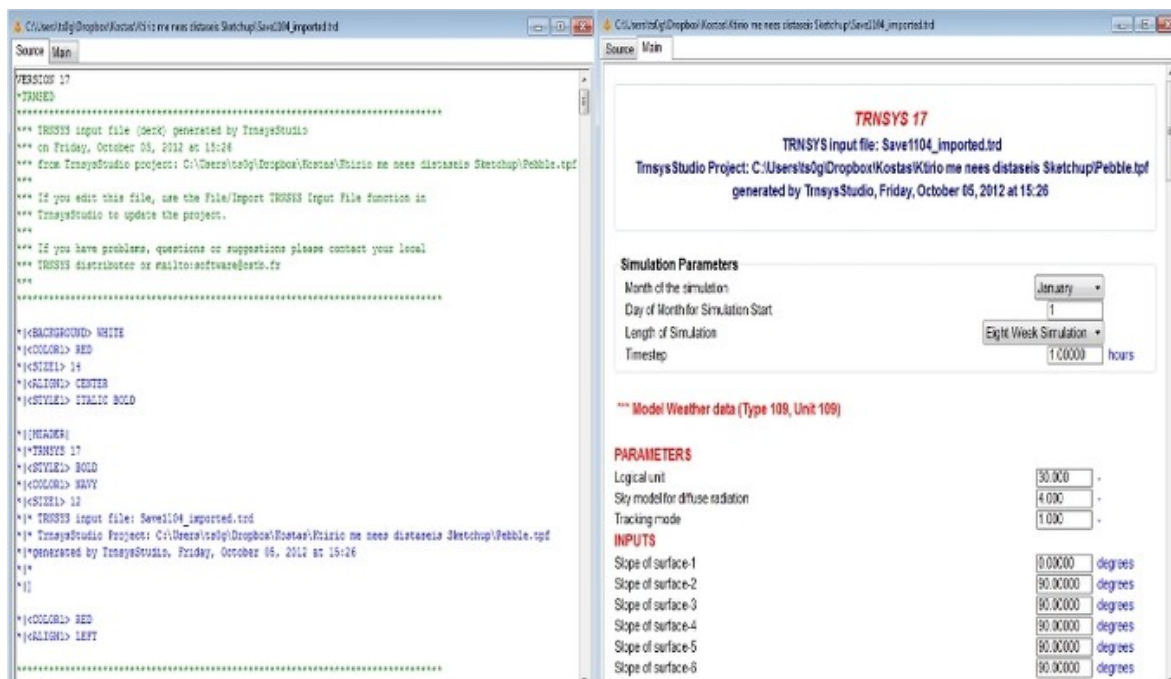
- Διαχειριστής χρονοδιαγραμμάτων. Επιλέγοντας την συγκεκριμένη καρτέλα ("Schedule Type Manager") ο χρήστης ρυθμίζει τα χρονοδιαγράμματα λειτουργίας των συσκευών θέρμανσης και ψύξης καθώς και τα χρονοδιαγράμματα έναρξης και λήξης της ισχύος των διαφόρων φορτίων. Ο συγκεκριμένος διαχειριστής δίνει τη δυνατότητα ορισμού ημερησίων και εβδομαδιαίων προγραμμάτων. Στα ημερήσια προγράμματα επιλέγονται τα χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της ημέρας όπου λαμβάνεται η τιμή 1 (σε λειτουργία) ή η τιμή 0 (εκτός λειτουργίας), ενώ στα εβδομαδιαία επιλέγονται τα ημερήσια προγράμματα που χρησιμοποιούνται κάθε μέρα στην περίοδο μιας εβδομάδας. Στο κάτω μέρος του διαχειριστή υπάρχουν τα εικονίδια R,D,C,N τα οποία αντιστοιχούν στην μετονομασία, διαγραφή, αντιγραφή και τη δημιουργία νέου χρονοδιαγράμματος.



Εικόνα 2.25 : Παράθυρο διαχειριστή των χρονοδιαγραμμάτων

2.4 Επεξεργασία του πολυζωνικού κτηρίου με το πρόγραμμα TRNEdit

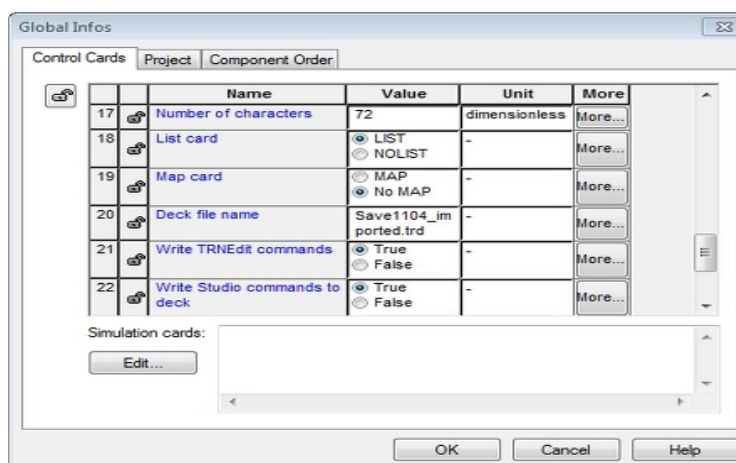
Το πρόγραμμα TRNEdit είναι ένας επεξεργαστής (editor) που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία αυτόνομων εφαρμογών (TRNSYS εφαρμογές) αλλά και για την τροποποίηση των αρχείων εισόδου του TRNSYS. Το TRNEdit παρέχεται με ένα γραφικό περιβάλλον στο οποίο ο χρήστης τροποποιεί τα αρχεία εισόδου (decks) εισάγοντας ειδικές εντολές ώστε να προστεθούν στοιχεία στο πρόγραμμα που κατασκευάζεται, π.χ. πολλαπλά παράθυρα και ενεργές εικόνες. Στο περιβάλλον αυτό ο χρήστης αντικρίζει δύο καρτέλες, όπου φαίνονται ο κώδικας του αρχείου εισαγωγής και το γραφικό αποτέλεσμα του κώδικα που είναι στην ουσία η TRNSYS εφαρμογή.



Εικόνα 2.26 : Καρτέλα κώδικα TRNEdit και η Trnsed εφαρμογή

Για τη δημιουργία μιας TRNSED εφαρμογής αρκεί ο χρήστης να αλλάξει την επέκταση του αρχείου εισόδου του TRNSYS από *.dck σε *.trd και θέτοντας την τιμή “True” στην επιλογή “Write TRNedit commands” στην καρτέλα ελέγχου του στούντιο προσομοίωσης. Στα μοντέλα της προσομοίωσης κάνουμε διπλό κλικ και επιλέγουμε “lock” τις μεταβλητές που δεν επιθυμούμε να είναι παράμετροι της TRNSED εφαρμογής. Όλες οι υπόλοιποι είσοδοι και παράμετροι της προσομοίωσης θα μπορούν έπειτα να επεξεργαστούν μέσω του TRNEdit. Έπειτα, ο χρήστης επιλέγει το αρχείο εισόδου που προκύπτει και το επεξεργάζεται όπως επιθυμεί. Ορισμένες από τις δυνατότητες που έχει είναι οι εξής :

- Ορισμός μεταβλητών του προγράμματος ως σταθερές και αντίστροφα
- Αλλαγή των τιμών στις σταθερές, μεταβλητές και παραμέτρους
- Ορισμός εξωτερικών αρχείων που χρησιμοποιούνται από τα μοντέλα προσομοίωσης
- Ρύθμιση TRNSED εφαρμογών ώστε να επιλέγονται οι τιμές είτε άμεσα είτε από καθορισμένο αρχείο
- Ρύθμιση γραφικών παραμέτρων (πολλαπλά παράθυρα, εισαγωγή εικόνων)
- Παραμετρικές εκτελέσεις της προσομοίωσης



Εικόνα 2.27 : Κεντρική καρτέλα ελέγχου του στούντιο προσομοίωσης

Κεφάλαιο 3 – Περιγραφή μοντέλων προσομοίωσης TRNSYS Simulation Studio

3.1 Γενικά

Η βιβλιοθήκη του στούντιο προσομοίωσης TRNSYS έχει περίπου εκατό μοντέλα και εννέα από αυτά χρησιμοποιούνται στην προσομοίωση του κτηρίου PEBBLE. Μαζί με την περιγραφή των μοντέλων θα δίνονται και οι μαθηματικές αναφορές τους, οι μαθηματικοί αλγόριθμοι και συναρτήσεις δηλαδή που αυτοματοποιούν τη λειτουργία του μοντέλου. Οι πληροφορίες και οι μεταβλητές των μοντέλων αυτών μπορούν να προβληθούν επιλέγοντας το μοντέλο μέσα από την λίστα του στούντιο προσομοίωσης και, κάνοντας δεξί κλικ, ο χρήστης διαλέγει την επιλογή “Proforma”. Οι επιλογές των μοντέλων γίνονται μέσω του σταθερού παραθύρου στο δεξί μέρος του στούντιο, τα οποία είναι καταναμεμένα σε δομή δέντρου.

3.2 Μοντέλο ψυχομετρικού διαγράμματος (Type 33)

Το συγκεκριμένο μοντέλο καλείται στο TRNSYS μέσω της υπορουτίνας “Psychometrics” από την καρτέλα των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων, που εντοπίζεται στον φάκελο φυσικών φαινομένων (Physical Phenomena\Thermodynamic Properties\ Psychometrics\ Dry Bulb and Relative Humidity Known). Έχει ως εισόδους την θερμοκρασία ξηρού βολβού, το ποσοστό σχετικής υγρασίας του υγρού αέρα και την ατμοσφαιρική πίεση των συνθηκών περιβάλλοντος. Οι εξοδοί του μοντέλου είναι ο λόγος υγρασίας ($\text{kg H}_2\text{O} / \text{kg of dry air}$), η θερμοκρασία υγρού βολβού, η ενθαλπία του υγρού αέρα, η πυκνότητα του μείγματος αέρα-νερού, η πυκνότητα ξηρού αέρα, το ποσοστό σχετικής υγρασίας, η θερμοκρασία ξηρού βολβού και η θερμοκρασία του σημείου δρόσου.

Όσον αφορά τις παραμέτρους του μοντέλου, η πρώτη παράμετρος καθορίζει ποιο ζευγάρι ιδιοτήτων θα αποτελέσουν είσοδο στο μοντέλο. Η δεύτερη παράμετρος καθορίζει το αν θα πρέπει να υπολογιστεί η θερμοκρασία υγρού βολβού, καθότι ο υπολογισμός της απαιτεί επαναληπτική διαδικασία η οποία μπορεί να αποβεί χρονοβόρα, ή όχι, οπότε η δεύτερη παράμετρος παραμένει 0. Η τρίτη παράμετρος είναι η λειτουργία σφάλματος, την οποία εφόσον ο χρήστης την θέσει ίση με 1 τότε αναφέρεται μια ειδοποίηση ανά σφάλμα, ενώ σε περίπτωση που τεθεί ίση με 2 τότε εκτυπώνεται ειδοποίηση σε κάθε χρονικό βήμα που εμφανίζεται σφάλμα.

3.3 Μοντέλο αντιπροσωπευτικής θερμοκρασίας ουρανού (Type 69b)

Το μοντέλο αυτό καλείται στο TRNSYS μέσω της υπορουτίνας “Sky Temperature” από την καρτέλα της θερμοκρασίας ουρανού, που εντοπίζεται στον φάκελο φυσικών φαινομένων (Physical Phenomena\ Sky Temperature\ Calculate Cloudiness Factor). Υπολογίζει μια αντιπροσωπευτική θερμοκρασία για τον ουρανό και, με βάση αυτήν, υπολογίζεται η συναλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους των εξωτερικών επιφανειών του κτηρίου με το περιβάλλον. Έχει ως εισόδους την θερμοκρασία περιβάλλοντος, την θερμοκρασία σημείου δρόσου σε συνθήκες περιβάλλοντος, την άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου και την διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου. Οι εξοδοί του είναι η πλασματική θερμοκρασία ουρανού και ο βαθμός συννεφιάς του ουρανού.

Η ονοματολογία των μεταβλητών του μαθηματικού μοντέλου έχει ως εξής :

- C_{cover} : Βαθμός συννεφιάς ουρανού
- E_{dif} : Διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
- E_{dir} : Άμεση ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
- $E_{glob,h}$: Ολική ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου
- g : Επιτάχυνση της βαρύτητας
- h : Υψόμετρο πάνω από το επίπεδο της θάλασσας
- p_{atm} : Ατμοσφαιρική πίεση
- p_0 : Ατμοσφαιρική πίεση στο ύψος h_0
- ρ_0 : Πυκνότητα αέρα
- ε_0 : Εκπομπή καθαρού ουρανού
- T_{amb} : Θερμοκρασία περιβάλλοντος
- T_{sat} : Θερμοκρασία σημείου δρόσου σε συνθήκες περιβάλλοντος
- T_{sky} : Θερμοκρασία ουρανού

Για τον υπολογισμό της συναλλασσόμενης ακτινοβολίας μεγάλου μήκους από τις εξωτερικές επιφάνειες κτηρίου με το περιβάλλον, ο ουρανός θεωρείται σαν μια ιδανική μαύρη επιφάνεια. Ο χρήστης οφείλει να γνωρίζει την πραγματική εκπομπή του καθαρού και του συννεφιασμένου ουρανού, επομένως η αντιπροσωπευτική θερμοκρασία ουρανού είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της υγρασίας του αέρα, του βαθμού συννεφιάς του ουρανού και της τοπικής ατμοσφαιρικής πίεσης. Εφόσον τα δεδομένα καιρού του χρήστη δεν περιέχουν το βαθμό συννεφιάς του ουρανού, αυτός υπολογίζεται από τη σχέση :

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

Σε περίπτωση εισαγωγής βαθμού συννεφιάς, κατά την περίοδο της νύχτας χρησιμοποιείται ένας μέσος όρος με βάση τις τιμές από τις απογευματινές ώρες. Όσον αφορά την ατμοσφαιρική πίεση, καθορίζεται με βάση το βαρομετρικό υψόμετρο της τοποθεσίας :

$$p_{atm} = p_0 e^{\frac{g \rho_0 h}{p_0}}$$

Η εκπομπή καθαρού ουρανού υπολογίζεται με τη βοήθεια της T_{sat} , με την μεταβλητή time να αναφέρεται στην ώρα της ημέρας :

$$\varepsilon_0 = 0.711 + 0.005 T_{sat} + 7.3 \times 10^{-5} T_{sat}^2 + 0.013 \cos \left[2\pi \frac{time}{24} \right] + 12 \times 10^{-5} (p_{atm} - p_0)$$

Έτσι, η αντιπροσωπευτική θερμοκρασία ουρανού υπολογίζεται ως εξής :

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

3.4 Μοντέλο ανάγνωσης γενικών δεδομένων (Type 9e)

Το μοντέλο αυτό καλείται στο TRNSYS από την καρτέλα χρησιμότητας (Utility\Data Readers\ Generic Data Files\ Expert Mode\ Free Format). Εξυπηρετεί το σκοπό της ανάγνωσης δεδομένων ανά τακτά χρονικά διαστήματα από μια λογική μονάδα του προγράμματος, μετατρέποντάς τα στο επιθυμητό σύστημα μονάδων, κάνοντάς τα αξιοποιήσιμα από άλλες μονάδες του TRNSYS. Το συγκεκριμένο μοντέλο χρησιμοποιείται στη λειτουργία ελεύθερης

μορφοποίησης αρχείων, όπου οι γραμμές των δεδομένων δεν απαιτείται να έχουν την ίδια ακριβώς μορφοποίηση, αλλά παρόλα αυτά κάθε τιμή διαχωρίζεται από την προηγούμενη με κενό.

Η εκκίνηση της προσομοίωσης είναι η χρονική στιγμή όπου αρχίζει το πρώτο χρονικό βήμα, ενώ όλα τα υπόλοιπα χρονικά βήματα διακρίνονται από τη στιγμή που τελειώνουν, π.χ. μια προσομοίωση διάρκειας ενός έτους εκκινεί τη χρονική στιγμή 0 και τελειώνει τη χρονική στιγμή 8760. Η πρώτη γραμμή αναφέρεται στο πρώτο χρονικό βήμα της προσομοίωσης και όχι στη χρονική στιγμή εκκίνησης της προσομοίωσης, ενώ οι αρχικές συνθήκες δεν παρέχονται από το αρχείο.

Η ονοματολογία των μεταβλητών του μαθηματικού μοντέλου έχει ως εξής :

- $V_i(n)$: i-οστή τιμή από την γραμμή n
- $m_i(n)$: πολλαπλασιαστικός συντελεστής της i-οστής τιμής
- $a_i(n)$: προσθετικός συντελεστής της i-οστής τιμής
- $V_i'(n)$: i-οστή τιμή από την γραμμή n με ά την εφαρμογή των συντελεστών
- t_{d1} : χρόνος που αντιστοιχεί στα δεδομένα της προηγούμενης γραμμής
- t_{d2} : χρόνος που αντιστοιχεί στην επόμενη γραμμή

Κάθε μεταβλητή σχετίζεται με τέσσερις παραμέτρους του μοντέλου και μπορεί να είναι στιγμιαία τιμή ή τιμή για την περίοδο του χρονικού βήματος. Οι παράμετροι καθορίζουν το εάν θα πραγματοποιηθεί παρεμβολή στις τιμές της, εάν η ζητούμενη στήλη αναφέρεται σε στιγμιαίες τιμές ή σε τιμές που προέκυψαν από παρεμβολή. Το μοντέλο είναι προκαθορισμένο να λαμβάνει μέσες τιμές και γι' αυτό το λόγο οι στιγμιαίες τιμές είναι εκείνες που μετατρέπονται. Μετά την παρεμβολή και την μετατροπή σε μέση τιμή, οι μονάδες μιας μεταβλητής μπορούν να μετατραπούν σε άλλο σύστημα με την γραμμική σχέση (οι συντελεστές m και a παρέχονται ως παράμετροι στο μοντέλο):

$$V_i'(n) = m_i V_i(n) + a_i$$

Στο μοντέλο 9 μπορούν να διαβαστούν έως και 98 τιμές από κάθε γραμμή, ενώ τα δεδομένα μιας γραμμής οφείλουν να απέχουν ίσα χρονικά διαστήματα από τα δεδομένα της επόμενης. Οι μεταβλητές εξάγονται με την ίδια σειρά που είναι γραμμένα στο αρχείο, ενώ οι έξοδοι 99 και 100 είναι οι χρονικές στιγμές στην αρχή (t_{d1}) και στο τέλος (t_{d2}) του συγκεκριμένου χρονικού βήματος. Το μοντέλο δίνει άλλες 100 εξόδους όπου η έξοδος 100 + i παριστάνει την τιμή της εξόδου i το επόμενο χρονικό βήμα, εάν οι τιμές έχουν υποστεί παρεμβολή. Τέλος, θέτοντας αρνητική τιμή (-1) στην πρώτη παράμετρο, οι πρώτες γραμμές του αρχείου αγνοούνται, πράγμα που χρησιμεύει όταν ο χρήστης επιθυμεί να αρχίζει η προσομοίωση σε κάποια χρονική στιγμή διαφορετική από την πρώτη ώρα.

3.5 Μοντέλο επεξεργαστή δεδομένων καιρού (Type 15-2)

Το μοντέλο αυτό καλείται στο TRNSYS μέσω της υπορουτίνας “Weather Data” από την καρτέλα ανάγνωσης και επεξεργασίας δεδομένων καιρού (Weather Data Reading and Processing\ Standard Format\ TMY2). Εξυπηρετεί το σκοπό της ανάγνωσης και της ερμηνείας αρχείων δεδομένων καιρού τα οποία είναι διαθέσιμα σε μια σειρά από τυποποιημένες μορφές. Το συγκεκριμένο αρχείο δεδομένων που εφαρμόζεται είναι το Τυπικό Μετεωρολογικό Έτος έκδοση 2 και, εκτός από την ανάγνωση δεδομένων, το μοντέλο αυτό υπολογίζει την ολική ακτινοβολία, την άμεση ακτινοβολία, την διάχυτη ακτινοβολία ουρανού, την ανακλώμενη στο έδαφος ηλιακή ακτινοβολία, την γωνία πρόσπτωσης της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας, την κλίση και το αζιμούθιο όσων επιφανειών ο χρήστης επιθυμεί να ορίσει. Ακόμη, το μοντέλο

αυτό περιλαμβάνει περαιτέρω υπολογισμούς για το δίκτυο θερμοκρασίας του νερού καθώς και την θερμοκρασία ουρανού για τους υπολογισμούς ακτινοβολίας. Εξάγει, επίσης, μια σειρά από δείκτες όπως τις περιόδους θέρμανσης και ψύξης, καθώς και τις μηνιαίες και ετήσιες μέγιστες θερμοκρασίες, μέσες θερμοκρασίες και ελάχιστες θερμοκρασίες.

Η ονοματολογία των μεταβλητών του μαθηματικού μοντέλου έχει ως εξής :

- $E_{o,sky}$: Εκπομπή καθαρού ουρανού
- T_{dewpt} : Θερμοκρασία σημείου δρόσου
- $time$: Ο συγκεκριμένος χρόνος προσομοίωσης
- $pressure$: Ατμοσφαιρική πίεση
- E_{sky} : Εκπομπή ουρανού με την παρουσία συννέφων
- f_{cloud} : Ποσοστό ουρανού που καλύπτεται από αδιαφανή σύννεφα
- ε_{cloud} : Εκπομπή συννέφων
- T_{amb} : Θερμοκρασία περιβάλλοντος
- $T_{amb,max}$: Μέγιστη διαφορά μεταξύ μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών περιβάλλοντος
- day : Ημέρα του χρόνου

3.5.1 Υπολογισμός θερμοκρασίας ουρανού

Ο υπολογισμός της θερμοκρασίας ουρανού ξεκινάει με τον υπολογισμό της εκπομπής καθαρού ουρανού, η οποία βασίζεται στη θερμοκρασία σημείου δρόσου. Η συσχέτιση του σημείου δρόσου με την εκπομπή καθαρού ουρανού είναι :

$$E_{o,sky} = 0.711 + 0.56 * \left(\frac{T_{dewpt}}{100} \right) + 0.73 * \left(\frac{T_{dewpt}}{100} \right)^2$$

Η εκπομπή καθαρού ουρανού στη συνέχεια διορθώνεται για το χρόνο της ημέρας, προκειμένου να λογαριαστούν οι διαφορές μεταφοράς ακτινοβολίας μεταξύ του νυχτερινού μαύρου ουρανού και του γαλάζιου ημερησίου ουρανού. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της παρακάτω εξίσωσης, στην οποία ο χρόνος είναι οι ώρες του χρόνου :

$$E_{o,sky} = E_{o,sky} + 0.013 * \cos \left(2\pi * \frac{MOD(time,24)}{24} \right)$$

Έπειτα, η εκπομπή καθαρού ουρανού διορθώνεται για την ατμοσφαιρική πίεση, όπου το μοντέλο κάνει μια εσωτερική μετατροπή σε millibars, την μονάδα μέτρησης της πίεσης :

$$E_{o,sky} = E_{o,sky} + 0.00012 * (pressure - 1000)$$

Η εκπομπή του ουρανού με την παρουσία συννέφων υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την εκπομπή καθαρού ουρανού με το ποσοστό του ουρανού που καλύπτεται από σύννεφα και με την εκπομπή των ίδιων των συννέφων, όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση :

$$E_{sky} = E_{o,sky} + (1.0 - E_{o,sky}) * f_{cloud} * \varepsilon_{cloud}$$

Τέλος, η θερμοκρασία ουρανού υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την συσχέτιση :

$$T_{sky} = E_{sky}^{1/4} (T_{amb} + 273.13) - 273.13$$

3.5.2 Υπολογισμός ανακλαστικότητας εδάφους

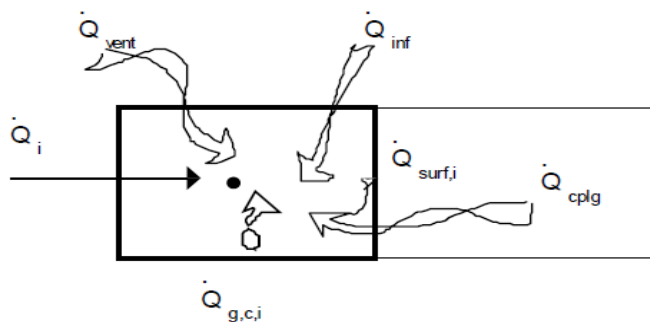
Στη συνέχεια, ο χρήστης καλείται να παράσχει τις τιμές ανακλαστικότητας του εδάφους για έδαφος που καλύπτεται από χιόνι και μή, μεταξύ των υπόλοιπων αναθέσεων μεταβλητών του μοντέλου. Επειδή όλες οι συνήθεις μορφές αρχείων δεδομένων περιλαμβάνουν πεδία δεδομένων για το αν το έδαφος καλύπτεται από χιόνι ή όχι, είναι σχετικά εύκολο για το μοντέλο αυτό να αλλάζει και να υπολογίζει την ανακλαστικότητα του εδάφους, καθότι αυτή εξαρτάται μονάχα από την τιμή της καλυπτόμενης από χιόνι περιοχής. Η ανακλαστικότητα του εδάφους ορίζεται ως έξοδος και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ποσότητας της ανακλώμενης στο έδαφος ηλιακής ακτινοβολίας η οποία πέφτει σε κάθε επιφάνεια που ορίζεται στο μοντέλο 15.

3.6 Μοντέλο πολυζωνικού κτηρίου (Type 56)

Το μοντέλο πολυζωνικού κτηρίου καλείται στο TRNSYS μέσω της υπορουτίνας “Building” από την καρτέλα φορτία και δομές (Loads and Structures\ Multi-Zone Building). Το μοντέλο αυτό διαβάζει την περιγραφή του κτηρίου από μια σειρά αρχείων με επεκτάσεις .bld, .trn και .bui, τα οποία παράγονται με βάση τις πληροφορίες που εισάγει ο χρήστης μέσω του TRNBuild. Προσομοιώνει τη θερμική συμπεριφορά ενός κτηρίου το οποίο μπορεί να έχει έως και 25 θερμικές ζώνες, λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση των ζωνών μεταξύ τους. Η αλληλεπίδραση αυτή υπολογίζεται επιλύοντας τις διαφορικές εξισώσεις χρησιμοποιώντας τεχνικές αντιστροφής πινάκων. Οι οροφές, οι τοίχοι και τα δάπεδα προσομοιώνονται με βάση τη συνάρτηση μεταφοράς ASHRAE, ενώ η επίδραση των ακτινοβολιών μικρού και μεγάλου μήκους υπολογίζονται για κάθε επιφάνεια ανάλογα με το εμβαδόν της.

3.6.1 Μοντέλο για τη μεταφορά θερμότητας

Κάθε ζώνη περιγράφεται από τη θερμοχωρητικότητα της, την θερμοχωρητικότητα των στοιχείων που βρίσκονται σε αυτήν και από τον όγκο αέρα που περικλείει. Κάθε ζώνη αποτελεί έναν ξεχωριστό υπολογιστικό κόμβο (air node) στον οποίο η θερμοχωρητικότητα και ο όγκος της ζώνης αποτελούν ξεχωριστές εισόδους.



Εικόνα 3.1 : Θερμική ισορροπία κόμβου

3.6.2 Ροή θερμότητας δια συναγωγής στον κόμβο

Το συνολικό φορτίο δια συναγωγής στον κόμβο συμβολίζεται ως Q_i και υπολογίζεται :

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_{surf,i} + \dot{Q}_{inf,i} + \dot{Q}_{vent} + \dot{Q}_{g,c,i} + \dot{Q}_{cplg,i}$$

όπου :

- $Q_{surf,i}$: Θερμικό φορτίο δια συναγωγής από τις επιφάνειες
- $Q_{inf,i}$: Θερμικό κέρδος από τη διείσδυση αέρα (ροή αέρα μονάχα από το εξωτερικού του κτηρίου). Δίνεται από την εξίσωση :

$$\dot{Q}_{inf,i} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{outside} - T_{air})$$

- $Q_{vent,i}$: Φορτίο αερισμού (ροή αέρα από δεδομένη πηγή, π.χ. κλιματιστικό). Δίνεται από την εξίσωση :

$$\dot{Q}_{vent,i} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{ventilation,i} - T_{air})$$

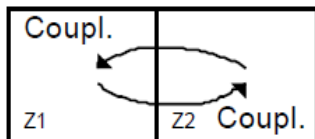
- $Q_{g,c,i}$: Θερμικό κέρδος δια συναγωγής από εσωτερικές πηγές (φορτία ανθρώπων, συσκευών κτλ.)
- $Q_{cplg,i}$: Θερμικό φορτίο δια συναγωγής λόγω ροής αέρα από γειτονικές ζώνες.

Δίνεται από την εξίσωση :

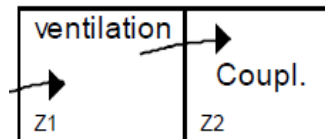
$$\dot{Q}_{cplg,i} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{zone,i} - T_{air})$$

3.6.3 Μεταφορά αέρα σε γειτονικές ζώνες

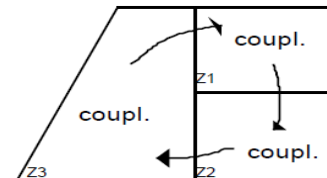
Η μεταφορά μάζας αέρα που δέχεται μια ζώνη από μια γειτονική ζώνη προσομοιώνεται ως μεταφορά θερμότητας από ή προς τον κόμβο του αέρα της ζώνης. Αντίθετα, η μεταφορά αέρα με αντίθετη κατεύθυνση δεν υπολογίζεται, όπως θα γινόταν φυσιολογικά σε μια συνδιαλλαγή αέρα μεταξύ ζωνών. Ο λόγος για τον οποίο υπάρχει αυτή η σύμβαση είναι για να διευκολύνει τον χρήστη να προσομοιώνει κυκλικό αερισμό σε 3 ή περισσότερες ζώνες, έτσι οποιαδήποτε ισόποση επιστροφή αέρα πρέπει να εισαχθεί από τον ίδιο.



Εικόνα 3.2 : Συνδιαλλαγή αέρα γειτονικών ζωνών



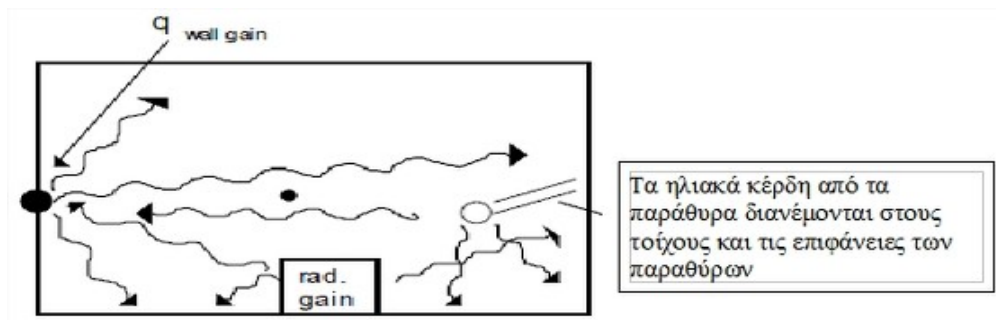
Εικόνα 3.3 : Διαμπερής αερισμός



Εικόνα 3.4 : Κυκλικός αερισμός

3.6.4 Ροή θερμότητας από ακτινοβολία στους τοίχους και τα παράθυρα

Το σύνολο της θερμότητας δια ακτινοβολίας ανά ζώνη είναι η ακτινοβολία που διέρχεται από τα παράθυρα και προσπίπτει στους τοίχους. Επομένως, η θερμότητα λόγω ακτινοβολίας υπολογίζεται ως εξής :



Εικόνα 3.5 : Η ροή ενέργειας δια ακτινοβολίας θεωρώντας έναν τοίχο με την θερμοκρασία επιφάνειας του κόμβου

$$\dot{Q}_{r, w_i} = \dot{Q}_{g, r, w_i} + \dot{Q}_{sol, w_i} + \dot{Q}_{long, w_i} + \dot{Q}_{wall-gain}$$

όπου :

- \dot{Q}_{r, w_i} : Φορτία ακτινοβολίας στην επιφάνεια του τοίχου
- \dot{Q}_{g, r, w_i} : Εσωτερικά φορτία ακτινοβολίας της ζώνης που λαμβάνει ο τοίχος
- \dot{Q}_{sol, w_i} : Ηλιακά κέρδη που λαμβάνει ο τοίχος από την ακτινοβολία που διέρχεται από τα παράθυρα
- \dot{Q}_{long, w_i} : Συναλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους μεταξύ ενός τοίχου με τα παράθυρα και τους υπόλοιπους τοίχους
- $\dot{Q}_{wall-gain}$: Κέρδη στην επιφάνεια τοίχων και παραθύρων που έχουν οριστεί από τον χρήστη

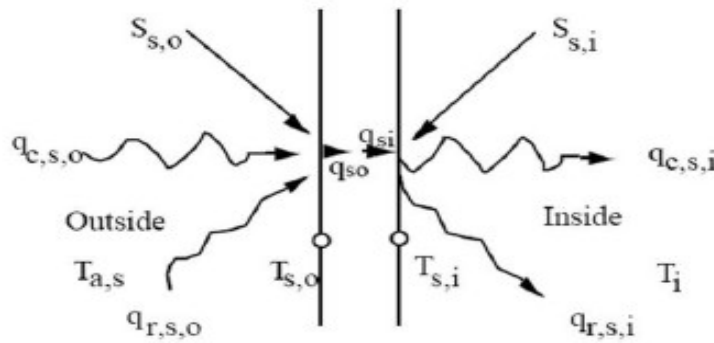
Όλες οι προαναφερθείσες ποσότητες δίδονται σε kJ / h .

3.6.5 Ροή ενέργειας σε τοίχους και παράθυρα

Η εικόνα 3.6 απεικονίζει τις ροές θερμότητας και θερμοκρασίας οι οποίες χαρακτηρίζουν τη θερμική συμπεριφορά ενός τοίχου ή ενός παραθύρου. Η ονοματολογία των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται στην συγκεκριμένη εικόνα έχει ως εξής :

- $S_{s, i}$: Θερμότητα δια ακτινοβολίας απορροφημένη από την εσωτερική πλευρά
- $S_{s, 0}$: Θερμότητα δια ακτινοβολίας απορροφημένη από την εξωτερική πλευρά (ηλιακά κέρδη)
- $q_{E, s, i}$: Καθαρή μεταφορά θερμότητας δια ακτινοβολίας με όλες τις άλλες επιφάνειες της ζώνης
- $q_{E, s, 0}$: Καθαρή μεταφορά θερμότητας δια ακτινοβολίας με όλες τις ορατές επιφάνειες από την εξωτερική πλευρά
- $q_{w, g, i}$: Ροή θερμότητας στον τοίχο ή στο παράθυρο, καθορισμένη από τον χρήστη
- $q_{s, i}$: Μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής στην εσωτερική επιφάνεια του τοίχου
- $q_{s, 0}$: Μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής στην εξωτερική επιφάνεια του τοίχου
- $q_{c, s, i}$: Μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής από την εσωτερική επιφάνεια του τοίχου στον αέρα της ζώνης
- $q_{c, s, 0}$: Μεταφορά θερμότητας δια συναγωγής στην εξωτερική επιφάνεια από τον αέρα του περιβάλλοντος
- $T_{s, i}$: Θερμοκρασία εσωτερικής επιφάνειας

- $T_{s,0}$: Θερμοκρασία εσωτερικής επιφάνειας



Εικόνα 3.6 : Ροή θερμότητας και θερμοκρασία επιφανειών

Οι τοίχοι προσομοιώνονται σύμφωνα με τις συναρτήσεις μεταφοράς των Mitalas και Arseneault, καθορισμένες από επιφάνεια σε επιφάνεια. Για κάθε τοίχο, η θερμότητα δια συναγωγής προκύπτει ως εξής :

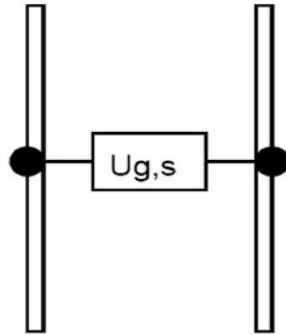
$$\dot{q}_{s,i} = \sum_{k=0}^{n_{b_s}} b_s^k T_{s,o}^k - \sum_{k=0}^{n_{c_s}} c_s^k T_{s,i}^k - \sum_{k=1}^{n_{d_s}} d_s^k \dot{q}_{s,i}^k$$

$$\dot{q}_{s,0} = \sum_{k=0}^{n_{a_s}} a_s^k T_{s,o}^k - \sum_{k=0}^{n_{b_s}} b_s^k T_{s,i}^k - \sum_{k=1}^{n_{d_s}} d_s^k \dot{q}_{s,0}^k$$

Με αυτές τις χρονικά εξαρτώμενες εξισώσεις υπολογίζονται οι τιμές των ζητούμενων ροών θερμότητας και θερμοκρασίας για καθορισμένες χρονικές στιγμές. Ο όρος k αναφέρεται στους υπολογισμούς των χρονικών διαστημάτων, καθώς οι υπολογισμοί χωρίζονται σε k-1 διαστήματα και γίνονται σε k χρονικές στιγμές ώστε για k=0 να αναφερόμαστε στο παρόν, με k=-1 να αναφερόμαστε στην προηγούμενη χρονική στιγμή, με k=1 στην επόμενη κτλ. Το χρονικό διάστημα το οποίο βρίσκεται υπό μελέτη καθορίζεται από τον χρήστη μέσω του TRNBuild, όπως και οι συντελεστές a,b,c και d.

Τα παράθυρα θεωρούνται ως εξωτερικοί τοίχοι χωρίς θερμική μάζα, μερικώς διαπερατά στην ηλιακή ακτινοβολία αλλά αδιαφανή στα εσωτερικά κέρδη λόγω ακτινοβολίας μεγάλου μήκους. Η απορρόφηση λοιπόν της ακτινοβολίας μεγάλου μήκους γίνεται μονάχα από τις επιφάνειες. Στον υπολογισμό του θερμικού ισολογισμού από το μοντέλο 56, τα παράθυρα περιγράφονται από ένα μοντέλο με 2 κόμβους υπολογιστών, έναν στην εξωτερική επιφάνεια και έναν στην εσωτερική (Εικόνα 3.7). Οι άνω εξισώσεις ισχύουν και για τα παράθυρα, θεωρώντας:

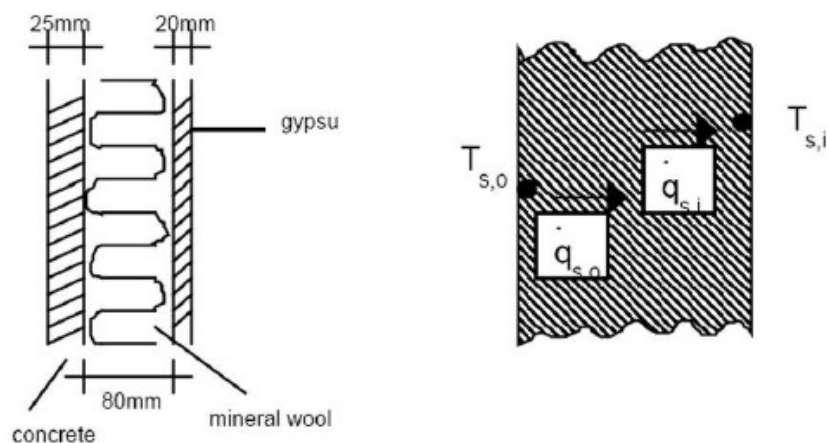
- $a_s^0 = b_s^0 = c_s^0 = U_{g,s}$, όπου $U_{g,s}$ ο συνολικός συντελεστής απωλειών του παραθύρου από την εσωτερική επιφάνεια στην εξωτερική επιφάνεια
- $a_s^k = b_s^k = c_s^k = d_s^k = 0$, για $k > 0$



Εικόνα 3.7 : Μοντέλο παραθύρου δύο κόμβων που χρησιμοποιείται για τον ισολογισμό ενέργειας του μοντέλου 56

3.6.6 Μέθοδος υπολογισμού συνάρτησης μεταφοράς του Mitalas

Η μέθοδος συνάρτησης μεταφοράς ή των συντελεστών απόκρισης είναι η μέθοδος η οποία περιγράφει τη « θερμική ιστορία » των τοίχων. Ο τοίχος θεωρείται ως ένα μαύρο κουτί. Ο αριθμός των χρονικών βημάτων (k) που σχετίζονται με το χρονικό διάστημα που μελετάται δείχνει εάν πρόκειται για ένα βαρύ τοίχο ή για τοίχο με μεγάλη θερμική μάζα ($k \leq 20$), ή αν πρέπει να ληφθούν υπόψη μόνο μερικά βήματα για τον υπολογισμό της θερμικής συμπεριφοράς του τοίχου. Αν το χρονικό διάστημα για τον υπολογισμό του τοίχου είναι μεγαλύτερο από την σταθερά του χρόνου, ο υπολογισμός του πίνακα συντελεστών των συναρτήσεων μεταφοράς σταματάει. Έτσι, ένας «λεπτός» τοίχος μπορεί να αντικατασταθεί από μια αντίσταση αγνοώντας την θερμική του μάζα. Ως παράδειγμα, η παρακάτω εικόνα δείχνει έναν τοίχο ο οποίος αποτελείται από τρεις στρώσεις υλικών : τσιμέντο, ορυκτοβάμβακα και γύψο.



Εικόνα 3.8 : Πραγματικός τοίχος και μοντέλο μαύρου κουτιού αντίστοιχα

Δεδομένα Υλικού	Πάχος [m]	Συντελεστής συναγωγής [kJ/h·m·K]	Θερμοχωρητικότητα [kJ/h·m·K]	Πυκνότητα [kg/m ³]
Τσιμέντο	0,025	7,56	1,0	2400
Μόνωση	0,08	0,144	1,0	40
Γύψος	0,02	2,52	1,0	1400

Εικόνα 3.9 : Παράδειγμα δεδομένων που αφορούν τα υλικά του άνω τοίχου

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο συνάρτησης μεταφοράς, το TRNBUILD υπολογίζει τους συντελεστές της συνάρτησης μεταφοράς. Για το παράδειγμα του τοίχου είναι οι εξής:

----- WALL TYPE EXAMPLE -----

THERMAL CONDUCTANCE, U= 1.76429 kJ/h m²K; U-value= 0.45239 W/m²K

TRANSFERFUNCTION COEFFICIENTS

K	A	B	C	D
0	3.0402072E+01	8.6597596E-01	6.2473097E+01	1.0000000E+00
1	-2.8791436E+01	8.7958309E-01	-6.1044043E+01	-5.5725114E-03
2	1.4382785E-01	8.9032318E-03	3.2541274E-01	1.0083948E-07
3	-1.0589132E-06	4.0042651E-07	-4.7183532E-06	
SUM	1.7544627E+00	1.7544627E+00	1.7544627E+00	9.9442759E-01

Εικόνα 3.10 : Σύστημα εξισώσεων συνάρτησης μεταφοράς (Mitalas)

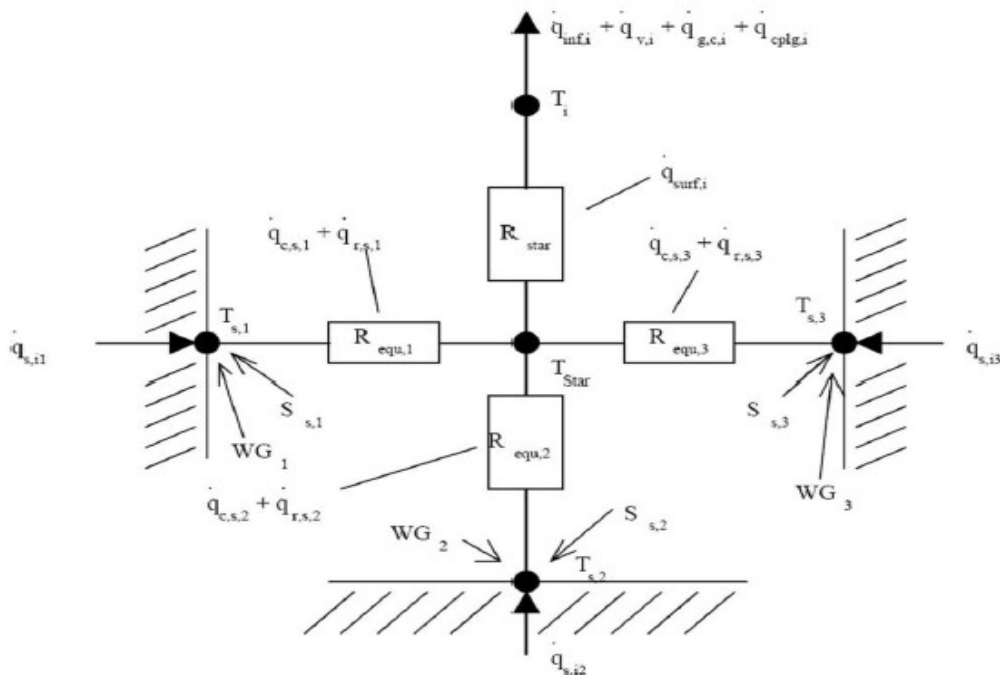
Για το παράδειγμα του τοίχου, ο πίνακας συντελεστών της συνάρτησης είναι όπως ο παραπάνω. Επιπλέον περιλαμβάνεται ο υπολογισμός του συντελεστή αγωγιμότητας U του τοίχου και του ολικού συντελεστή θερμοπερατότητας k θεωρώντας μια ισοδύναμη σταθερή ροή θερμότητας (δια συναγωγής και δια ακτινοβολίας) με συντελεστές α_i, α_o για την εσωτερική και την εξωτερική επιφάνεια αντίστοιχα.

Μια δυναμική προσομοίωση η οποία λαμβάνει υπόψη της την θερμική μάζα των στοιχείων του τοίχου δεν χρησιμοποιεί ρητά αυτές τις τιμές, αλλά περιγράφει έμμεσα την θερμική αντίσταση σε ροές θερμότητας από και προς τις επιφάνειες του τοίχου. Η επικύρωση για την μέθοδο συνάρτησης μεταφοράς και ολόκληρου του μοντέλου πολυζωνικού κτηρίου (μοντέλο 56) έγινε από τον Peter Voit, χρησιμοποιώντας λεπτομερείς μετρήσεις από το CEC ερευνητικό πρόγραμμα PASSYS.

3.6.7 Ακτινοβολία μεγάλου μήκους

Η συναλλαγή μεγάλου μήκους ακτινοβολίας μεταξύ των επιφανειών μιας ζώνης και της ροής θερμότητας δια συναγωγής από την εσωτερικές επιφάνειες στον αέρα της ζώνης προσεγγίζονται χρησιμοποιώντας το αστεροειδές δίκτυο, εισηγμένο από τον Seem, το οποίο παρουσιάζεται στην εικόνα 3.11. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί ένα τεχνητό κόμβο με θερμοκρασία T_{star} για να συνυπολογίσει την παράλληλη ροή θερμότητας από την επιφάνεια ενός τοίχου δια συναγωγής στον κόμβο του αέρα, και δια ακτινοβολίας στην επιφάνεια ενός άλλου τοίχου ή παραθύρου. Συγκρίσεις στο λεπτομερές μοντέλο κτηρίου JOULOTTA του πανεπιστημίου Lund της Σουηδίας, το οποίο δημιουργήθηκε από τον S. Holst, δείχνουν πολύ καλή προσέγγιση για τις θερμοκρασίες των επιφανειών. Ένα μοντέλο με μόνο ένα κόμβο, χρησιμοποιώντας ένα συνδυαστικό συντελεστή για συναγωγή και ακτινοβολία, δείχνει πολύ μεγαλύτερες διαφορές.

$$R_{STAR,i} = f(\alpha_i, A_{surf,i}) = \frac{1}{Q_{surf,i}} (T_{Star} - T_i)$$



Εικόνα 3.11 : Αστεροειδές δίκτυο για ζώνη με τρεις επιφάνειες

Οι αναλογίες των επιφανειών χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς για να βρεθούν οι παράγοντες απορρόφησης από όλες τις επιφάνειες. Η θερμοκρασία T_{star} χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της καθαρής ροής θερμότητας δια ακτινοβολίας και συναγωγής από την εσωτερική επιφάνεια των τοίχων :

$$\dot{q}_{comb,s,i} = \dot{q}_{c,s,i} + \dot{q}_{r,s,i}$$

$$\dot{q}_{comb,s,i} = \frac{1}{R_{equiv,i} A_{s,i}} (T_{s,i} - T_{star})$$

Οπου :

- $q_{comb,s,i}$: Συνολική ροή θερμότητας δια ακτινοβολίας και συναγωγής
- $A_{s,i}$: Εμβαδόν εσωτερικής επιφάνειας

Για τους εξωτερικούς τοίχους η συναλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος στην εξωτερική επιφάνεια υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μια θερμοκρασία ουρανού T_{sky} , η οποία αποτελεί είσοδο για το μοντέλο 56, έναν παράγοντα θέασης στον ουρανό f_{sky} , μια πλασματική θερμοκρασία εδάφους T_{sgrd} και έναν παράγοντα $(1 - f_{s,sky})$ για κάθε εξωτερική επιφάνεια. Η συνολική θερμότητα $q_{comb,s,o}$ είναι το άθροισμα των θερμοτήτων δια συναγωγής και ακτινοβολίας, όπως φαίνεται παρακάτω :

$$\dot{q}_{c,s,o} = h_{conv,s,o} (T_{a,s} - T_{s,o})$$

$$\dot{q}_{r,s,o} = \sigma \varepsilon_{s,o} (T_{s,o}^4 - T_{fsky}^4)$$

$$T_{fsky} = (1 - f_{s,sky}) \cdot T_{sgrd} - f_{s,sky} \cdot T_{sky}$$

Έτσι,

$$\dot{q}_{comb,s,o} = \dot{q}_{c,s,o} - \dot{q}_{r,s,o}$$

όπου :

- $q_{comb,s,o}$: Συνδιασμένη ροή θερμότητας ακτινοβολίας και δια συναγωγής προς την επιφάνεια
- $q_{c,s,o}$: Ροή θερμότητας δια συναγωγής στην επιφάνεια
- $q_{r,s,o}$: Ροή θερμότητας δια ακτινοβολίας στην επιφάνεια
- $h_{conv,s,o}$: Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής στην εξωτερική επιφάνεια
- f_{sky} : Κλάσμα του ουράνιου θόλου που είναι ορατό από την εξωτερική επιφάνεια
- T_{sky} : Πλασματική θερμοκρασία ουρανού που χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους
- T_{sgrd} : Πλασματική θερμοκρασία εδάφους που χρησιμοποιείται για την ανταλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους
- $\varepsilon_{s,o}$: Εκπομπή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους της εξωτερικής επιφάνειας

- σ : Σταθερά Stephan-Boltzmann

Ο ισολογισμός ενέργειας στην επιφάνεια δίνει :

$$\dot{q}_{s,i} = \dot{q}_{comb,s,i} + S_{s,i} + Wallgain$$

$$\dot{q}_{s,o} = \dot{q}_{comb,s,o} + S_{s,o}$$

Για εσωτερικές επιφάνειες η $S_{s,i}$ μπορεί να περιλαμβάνει και την ηλιακή ακτινοβολία και την ακτινοβολία μεγάλου μήκους που εκπέμπεται από αντικείμενα, ανθρώπους και επίπλωση του εσωτερικού χώρου. Η παράμετρος «Wallgain» χρησιμοποιείται για να εισάγει ο χρήστης κάποια επιπρόσθετη ροή θερμότητας στις εσωτερικές επιφάνειες τοίχων ή παραθύρων. Αυτή μπορεί να περιγράφει ηλιακά κέρδη μεταβαλλόμενα κατά τη διάρκεια της ημέρας, ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μια απλή προσομοίωση ενδοδαπέδιας θέρμανσης ή για σύστημα ψύξης οροφής. Για τις εξωτερικές επιφάνειες, η $S_{s,o}$ αναφέρεται μόνο στην ηλιακή ακτινοβολία.

3.6.8 Εξωτερικοί τοίχοι

Η ροή θερμότητας μιας εσωτερικής επιφάνειας για έναν εξωτερικό τοίχο εκφράζεται ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του αέρα στα όρια του συστήματος ως εξής :

$$\dot{q}_{s,i} = B_s T_{a,s} - C_s T_{a,s} + D_s$$

όπου :

$$B_s = \frac{e_s h_{s,o}}{(1 - f_s)}$$

$$C_s = \frac{f_s \left(\frac{1}{R_{equiv,i} A_{s,i}} \right)}{(f_s - 1)}$$

$$D_s = \frac{f_s S_{s,i} + e_s (S_{s,o} - k_{s,o}) + K_{s,i}}{(1 - f_s)}$$

$$e_s = \frac{b_s^o}{a_s^o + h_{s,o}}$$

$$f_s = (b_s^o e_s - c_s^o) R_{equiv,i} A_{s,i}$$

Οι τιμές των $K_{s,i}$, $K_{s,o}$ υπολογίζονται από τις εξισώσεις της συνάρτησης μεταφοράς:

$$K_{s,i} = \sum_{k=0}^{n_{b_s}} b_s^k T_{s,o}^k - \sum_{k=0}^{n_{c_s}} c_s^k T_{s,i}^k - \sum_{k=1}^{n_{d_s}} d_s^k \dot{q}_{s,i}^k$$

$$K_{s,o} = \sum_{k=0}^{n_{a_s}} a_s^k T_{s,o}^k - \sum_{k=0}^{n_{b_s}} b_s^k T_{s,i}^k - \sum_{k=1}^{n_{d_s}} d_s^k \dot{q}_{s,o}^k$$

3.6.9 Τοίχοι παρακείμενοι σε γειτονικές ζώνες, εσωτερικοί τοίχοι και τοίχοι με όμοιες οριακές συνθήκες

Για τους παρακείμενους τοίχους σε γειτονικές ζώνες, τους εσωτερικούς τοίχους και τους τοίχους οι οποίοι είναι παρακείμενοι σε ζώνες με ίδιες οριακές συνθήκες, η ροή θερμότητας υπολογίζεται και πάλι με την εξίσωση των εξωτερικών τοίχων, αλλά με τις εξής διαφορές :

- Για παρακείμενους τοίχους : $T_{a,s}=T_{star,j}$
- Για εσωτερικούς τοίχους : $T_{a,s}=T_{star,i}$
- Για παρακείμενους με ίδιες οριακές συνθήκες : $T_{a,s}=T_{star,i}$

Ακόμη :

$$B_s = \frac{e_s}{(1-f_s)} \left(\frac{1}{R_{equiv,j} A_{s,j}} \right)$$

$$e_s = \frac{b_s^o}{a_s^o + \frac{1}{R_{equiv,j} A_{s,j}}}$$

Στους εσωτερικούς τοίχους πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι δύο πλευρές του τοίχου για τον καθορισμό της επιφάνειας A_s . Επίσης είναι δυνατό να καθοριστεί μια οριακή συνθήκη για την θερμοκρασία της εξωτερικής επιφάνειας αντί της θερμοκρασίας του αέρα θέτοντας την παράμετρο $HBACK \leq 0.001$. Σε αυτήν την περίπτωση ισχύει ότι:

$$T_{a,s} = T_{s,o} = T_{b,s}$$

$$B_s = \frac{b_s^o}{1 + c_s^o R_{equiv,i} A_{s,i}}$$

$$C_s = \frac{c_s^o}{1 + c_s^o R_{equiv,i} A_{s,i}}$$

$$D_s = \frac{K_{s,i} - c_s^o R_{equiv,i} A_{s,i} S_{s,i}}{1 + c_s^o R_{equiv,i} A_{s,i}}$$

3.6.10 Συνολικά κέρδη μιας ζώνης από τις επιφάνειες

Το συνολικό κέρδος της ζώνης i από όλες τις επιφάνειες υπολογίζεται ως το άθροισμα των ισοδύναμων ροών θερμότητας :

$$\dot{Q}_{surf,i} = \sum A_s \dot{q}_{comb,i} = \sum_{j=1}^{Adj.Zones} \sum_{i=1}^{surfacesto j} A_s B_s T_{star,j} + \sum_{ext.surfaces} A_s B_s T_a + \sum_{int.walls} A_s B_s T_{star} + \sum_{knownbound} A_s B_s T_{b,s} - \sum_{surface\ in\ zone\ i} A_s (C_s T_{star,i} - D_s - S_{s,i})$$

Στην εξίσωση η A_s είναι η εσωτερική επιφάνεια του τοίχου s . Και οι δύο επιφάνειες ενός εσωτερικού τοίχου είναι εσωτερικές επιφάνειες, επομένως εισάγονται εις διπλούν στην παραπάνω εξίσωση. Ο ισολογισμός ενέργειας στον κόμβο του αστεροειδούς δικτύου της ζώνης μας δείχνει ότι :

$$\dot{Q}_{surf,i} = \frac{1}{R_{star,i}} (T_{star,i} - T_i)$$

3.6.11 Διείσδυση αέρα, αερισμός και μεταφορά μάζας μεταξύ γειτονικών ζωνών

Οι ρυθμοί διείσδυσης αέρα και αερισμού μιας ζώνης δίνονται σε όρους εναλλαγής αέρα την ώρα. Ο ρυθμός της μεταφερόμενης μάζας αέρα καθορίζεται από τον όγκο της ζώνης, την πυκνότητα του αέρα και τις εναλλαγές αέρα. Η διείσδυση του αέρα είναι αναπόφευκτη και ο αέρας εισάγεται με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, ενώ η θερμοκρασία του αέρα μέσω του αερισμού είναι καθορισμένη. Στις δύο αυτές περιπτώσεις θεωρείται ότι ίσα ποσά αέρα εισέρχονται και εξέρχονται από τη ζώνη έχοντας θερμοκρασία ίδια με τη θερμοκρασία της ζώνης. Τα θερμικά κέρδη μίας ζώνης i εξαιτίας του αερισμού και της διείσδυσης αέρα είναι:

$$\dot{Q}_{inf,i} = \dot{m}_{inf,i} C_p (T_a - T_i)$$

$$\dot{Q}_{v,i} = \sum_k^{nvent} \dot{m}_{v,k,i} C_p (T_{v,k} - T_i)$$

Όπου :

- $\dot{m}_{inf,i}$: ρυθμός εισερχόμενης μάζας αέρα από διείσδυση
- $\dot{m}_{v,k,i}$: ρυθμός εισερχόμενης μάζας αέρα από αερισμό τύπου k
- c_p : ειδική θερμότητα του αέρα
- $T_{v,k}$: θερμοκρασία του εισερχόμενου αέρα από αερισμό τύπου k
- T_a : θερμοκρασία περιβάλλοντος

Για κάθε τοίχο ή παράθυρο που διαχωρίζει τις ζώνες με διαφορετική μεταβαλλόμενη θερμοκρασία καθώς και για κάθε τοίχο με γνωστές οριακές συνθήκες, είναι δυνατόν να καθοριστεί μεταφορά μάζας αέρα στη ζώνη από γειτονική της ζώνη. Μια ίση ποσότητα αέρα θεωρείται ότι εξέρχεται από τη ζώνη έχοντας τη θερμοκρασία της ζώνης. Το θερμικό κέρδος το οποίο οφείλεται στην μεταφορά μάζας είναι το άθροισμα όλων των ροών θερμότητας που οφείλονται στη μεταφορά μάζας από τους τοίχους και τα παράθυρα της ζώνης. Έτσι, προκύπτει ότι :

$$\dot{Q}_{cplg,i} = \sum_{adj.zones} \sum_{surfaces\ to\ j} \dot{m}_{cplg,s} C_p (T_j - T_i) + \dots + \sum_{knownbound} \dot{m}_{cplg,s} C_p (T_{b,s} - T_i)$$

όπου το $\dot{m}_{cplg,s}$ είναι ο ρυθμός εισροής μάζας αέρα στη ζώνη i μέσω των τοίχων και των

παραθύρων.

3.6.12 Μεταβαλλόμενη θερμοκρασία ζώνης (Χωρίς θέρμανση ή ψύξη)

Ο ρυθμός μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας μιας ζώνης στην οποία η θερμοκρασία μεταβάλλεται ελεύθερα είναι ίση με το καθαρό θερμικό κέρδος. Έτσι, προκύπτει ότι :

$$C_i \frac{d}{dt} T_i = \dot{Q}_i$$

όπου το C_i είναι η θερμοχωρητικότητα της ζώνης i .

Το καθαρό θερμικό κέρδος της ζώνης Q_i είναι συνάρτηση της T_i και όλων των θερμοκρασιών των παρακείμενων ζωνών στη ζώνη i . Έτσι, προκύπτει :

$$T_{i,\tau} = T_{i,\tau-\Delta t} + \frac{\overline{\dot{Q}_{i\Delta t}}}{C_i}$$

όπου

- Δt : Το χρονικό βήμα της προσομοίωσης
- $T_{i,\tau-\Delta t}$: Η θερμοκρασία της ζώνης στην αρχή του χρονικού βήματος

Η μεταβολή της θερμοκρασίας είναι γραμμική και ο μέσος όρος προκύπτει :

$$T_i = \frac{T_{i,\tau} + T_{i,\tau-\Delta t}}{2}$$

Επιλύοντας την εξίσωση ως προς $T_{i,\tau}$ και βάζοντας το αποτέλεσμα στην παραπάνω εξίσωση μαζί με τις ανεξάρτητες εκφράσεις του καθαρού θερμικού κέρδους παίρνουμε την παρακάτω εξίσωση :

$$\begin{aligned} \frac{2 \cdot C_i \cdot (\bar{T}_i - T_{i,\tau-\Delta t})}{\Delta t} &= \sum_{j=1}^{adjac. surfaces} \sum_{zones i to j} \dot{m}_{cplg,s} \cdot C_p \cdot \bar{T}_j + \dot{m}_{inf,i} \cdot C_p \cdot T_a + \sum_{known boundaries} \dot{m}_{cplg,i} \cdot C_p \cdot T_{b,s} \\ &- \left(\frac{1}{R_{star,i}} + \left(\sum_{known boundaries} \dot{m}_{cplg,i} + \sum_{j=1}^{adjac. surfaces} \sum_{zones i to j} \dot{m}_{cplg,s} + \dot{m}_{inf,i} + \sum_k^{nvent} \dot{m}_{v,k,i} \right) C_p \right) \bar{T}_i \\ &+ \left(\frac{1}{R_{star,i}} \cdot \bar{T}_{star,i} + \sum_k^{nvent} \dot{m}_{v,k,i} \cdot C_p \cdot T_{v,k} + Q_{g,c,i} \right) \end{aligned}$$

Έτσι, τα συνολικά κέρδη μιας ζώνης από το σύνολο των επιφανειών γράφονται ως εξής :

$$\begin{aligned} & \left(\frac{1}{R_{star,i}} - \sum_{int.walls} A_s B_s + \sum_{surf.ini} A_s C_c \right) \bar{T}_{star,i} - \left(\sum_{adj.zone walls to j} \sum A_s B_s \right) \bar{T}_{star,j} - \frac{1}{R_{star,i}} \bar{T}_i \\ & = \left(\sum_{exterior surfaces} A_s B_s \right) T_a + \sum_{known boundaries} A_s B_s T_{b,s} + \sum_{surface in zone i} A_s (D_s + S_{s,i}) \end{aligned}$$

Το σύνολο των ενεργειακών ισολογισμών που δίνουν οι δύο τελευταίες εξισώσεις για όλες τις ζώνες καταλήγουν σε ένα γραμμικό σύστημα εξισώσεων με τις μέσες θερμοκρασίες των ζωνών και τις μέσες θερμοκρασίες των αστεροειδών δικτύων κάθε ζώνης. Έτσι, σε μορφή πινάκων παίρνουμε :

$$[X][\bar{T}] = [Z]$$

Οι πίνακες είναι της μορφής :

$$[X] = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} \\ X_{21} & X_{22} \end{bmatrix}$$

$$[T] = \begin{bmatrix} \bar{T}_1 \\ \bar{T}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{T} \\ \bar{T}_{star} \end{bmatrix}$$

$$[Z] = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \end{bmatrix}$$

$$X_{11,ii} = \left(\sum_{surfaces i to j} \dot{m}_{cplg,s} + \dot{m}_{inf,i} + \sum_k^{nvent} \dot{m}_{v,k,i} \right) \cdot C_p + \frac{2C_i}{\Delta t} + \frac{1}{R_{star,i}} + \sum_{known boundaries} \dot{m}_{cplg,i} \cdot C_p$$

$$X_{11,jj} = - \sum_{j=1}^{adjac. surfaces zones i to j} \dot{m}_{cplg,s} \cdot C_p \quad \text{for} \quad i \neq j$$

$$X_{12,ii} = \frac{-1}{R_{star,i}}$$

$$X_{12,jj} = 0 \quad \text{for} \quad i \neq j$$

$$X_{21,ii} = -\frac{1}{R_{star,i}}$$

$$X_{21,ij} = 0$$

$$X_{22,ii} = -\sum_{\text{int.walls}} A_S \cdot B_S + \sum_{\text{surf in zone } i} A_S \cdot C_S + \frac{1}{R_{star,i}}$$

$$X_{22,ij} = -\sum_{\text{adj. walls zone } i \text{ to } j} A_s B_s$$

$$Z_{1,i} = \dot{m}_{\text{inf},i} \cdot C_p \cdot T_a + \sum_{\text{known boundaries}} \dot{m}_{\text{cplg},s} \cdot C_p \cdot T_{b,s} + \sum_k^{n\text{vent}} \dot{m}_{v,k,i} \cdot C_p \cdot T_{v,k} + \frac{2C_i \cdot T_{i,\tau-\Delta t}}{\Delta t} + Q_{g,c,i}$$

όπου

$$Z_{2,i} = \left(\sum_{\text{ext.surf.}} A_s B_s \right) T_a + \sum_{\text{known boundaries}} A_s B_s T_{b,s} + \sum_{\text{surf. in zone } i} A_s (D_s + S_{s,i})$$

Σε περίπτωση που η θερμοκρασία μεταβάλλεται σε όλες τις ζώνες , παίρνουμε :

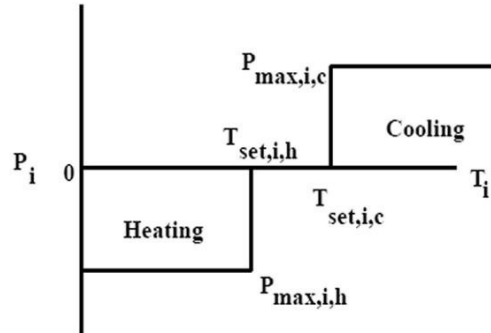
$$[\bar{T}] = [X]^{-1} [Z]$$

Η τελική θερμοκρασία κάθε ζώνης είναι :

$$T_{i,\tau} = 2\bar{T}_i - T_{i,\tau-\Delta t}$$

3.6.13 Απλοποιημένο μοντέλο θέρμανσης και ψύξης

Είναι δυνατόν να υπολογιστούν οι ενεργειακές απαιτήσεις μίας ζώνης σε μια ιδεατή περίπτωση. Για το λόγο αυτό, η απαιτούμενη ενέργεια για ψύξη και θέρμανση είναι απευθείας συνδεδεμένες στον κόμβο του αέρα. Η έξοδος του εξοπλισμού θέρμανσης ή ψύξης αποτελεί συνάρτηση της θερμοκρασίας της ζώνης όπως φαίνεται στην εικόνα παρακάτω :



Εικόνα 3.12 : Ισχύς - Θερμοκρασία

Όπου :

- P_i : εξερχόμενη ισχύς στη ζώνη i (αρνητική για θέρμανση, θετική για ψύξη)
- $P_{\max, i}$: απόλυτη τιμή της μέγιστης τιμής για τη ζώνη i
- $T_{\text{set}, i}$: επιθυμητή θερμοκρασία για θέρμανση και ψύξη στη ζώνη i .

Για την προσομοίωση θερμικών συσκευών που παράγουν μερικώς θερμικό κέρδος δια ακτινοβολίας στη ζώνη, καθορίζεται το κλάσμα της παρεχόμενης ενέργειας με ακτινοβολία. Το κλάσμα αυτό εισάγεται ως εσωτερικό κέρδος δια ακτινοβολίας της ζώνης και διανέμεται στους τοίχους και τα παράθυρα της ζώνης. Καθότι η καθορισμένη θερμοκρασία του εξοπλισμού σχετίζεται με την θερμοκρασία της ζώνης, το κλάσμα της εξερχόμενης ενέργειας με ακτινοβολία δεν μπορεί να ξεπερνάει την τιμή 0,99 έτσι ώστε να υπάρχει πάντα ένα μέρος που αποδίδεται με συναγωγή ώστε να εξασφαλίζεται ο έλεγχος του εξοπλισμού.

Η μεταβολή της θερμοκρασίας όταν παρέχεται ενέργεια στη ζώνη θεωρείται γραμμική. Αν η απαιτούμενη ενέργεια μπορεί να καλυφθεί από τον εξοπλισμό ώστε η θερμοκρασία του χώρου να διατηρηθεί στην καθορισμένη τιμή $T_{\text{set}, i}$ κατά τη διάρκεια ενός χρονικού βήματος, τότε η τελική και η μέση θερμοκρασία της ζώνης είναι γνωστές:

$$T_t = T_{\text{set}, i}$$

$$T_{\text{reg}, i} = \frac{T_{t-\Delta t} + T_{\text{set}, i}}{2}$$

όπου $T_{\text{reg}, i}$ είναι η μέση θερμοκρασία ζώνης κατά τη διάρκεια ενός χρονικού βήματος σε περίπτωση που απαιτείται λιγότερη ενέργεια από τη μέγιστη της συσκευής.

Είναι απαραίτητο να εξετάσουμε τη γενική περίπτωση ζωνών που βρίσκονται σε διαφορετικές περιοχές ελέγχου. Με την ενσωμάτωση των κανόνων ελέγχου, οι εξισώσεις παραμένουν γραμμικές. Για τις ζώνες στις οποίες η θερμοκρασία μεταβάλλεται ελεύθερα, η λύση των μέσων τιμών της θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας αστεροειδούς δικτύου είναι της μορφής :

$$[\bar{T}] = [X']^{-1} [Z']$$

Οι συντελεστές του πίνακα $[X]$ και του διανύσματος $[Z]$ εξαρτώνται από την περιοχή ελέγχου. Στην περιοχή της θερμικής άνεσης, όπου δεν απαιτείται ενέργεια ισχύει:

$$\begin{aligned} X'_{ij} &= X_{ij}, \text{ για όλα τα } i \text{ και } j \\ Z'_i &= Z_i \end{aligned}$$

Για τις ζώνες στις οποίες η θερμοκρασία πέφτει κάτω από το όριο μέγιστης θέρμανσης ή ξεπερνάει το όριο μέγιστης ψύξης ισχύει:

$$\begin{aligned} X'_{ij} &= X_{ij}, \text{ για όλα τα } i \text{ και } j \\ Z'_i &= Z_i + P_{\max,i,h} \quad \text{ή} \quad Z'_i = Z_i - P_{\max,i,c} \end{aligned}$$

Για τις ζώνες των οποίων οι ενεργειακές απαιτήσεις μπορούν να καλυφθούν η τελική θερμοκρασία θεωρείται ότι είναι ίση με την επιθυμητή θερμοκρασία της ζώνης και η μέση θερμοκρασία του χώρου είναι τότε $T_{\text{req},i}$. Για τον υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας της ζώνης μπορούμε να συμπεριλάβουμε τις ενεργειακές απαιτήσεις της ζώνης και έχουμε ότι:

$$C_i \frac{d}{dt} T_i = \dot{Q}_i - P_i$$

Οι P_i και Q_i θεωρούνται σταθερές κατά τη διάρκεια του χρονικού βήματος και η Q_i εκτιμάται ως η μέση θερμοκρασία της ζώνης. Αντικαθιστώντας στην παραπάνω εξίσωση παίρνουμε:

$$\begin{aligned} \bar{P}_i - \frac{1}{R_{\text{star},i}} \cdot T_{\text{star},i} - \sum_{j=1}^{\text{adjac. surfaces}} \sum_{\text{zones } i \text{ to } j} m_{\text{cplg}} \cdot C_p \cdot \bar{T}_j = \\ - \left[\frac{1}{R_{\text{star},i}} + \left(\dot{m}_{\text{inf},i} + \sum_k^{\text{nvent}} \dot{m}_{v,k,i} + \sum_{j=1}^{\text{adjac. surfaces}} \sum_{\text{zones } i \text{ to } j} m_{\text{cplg}} + \sum_{\text{known boundaries}} \dot{m}_{\text{cplg}} \right) C_p \right] \bar{T}_{\text{req},i} \\ - \frac{C_i}{\Delta t} (T_{\text{set},i} - T_{t-\Delta t}) + \dot{m}_{\text{inf},i} \cdot C_p \cdot T_a + \sum_k^{\text{nvent}} \dot{m}_{v,k,i} \cdot C_p \cdot T_{v,k} + Q_{g,c,i} + \sum_{\text{known boundaries}} \dot{m}_{\text{cplg},s} \cdot C_p \cdot T_{b,s} \end{aligned}$$

Η παραπάνω εξίσωση αντικαθίσταται στους ισολογισμούς ενέργειας όλων των ζωνών των οποίων οι ενεργειακές ανάγκες μπορούν να καλυφθούν από τις συσκευές. Οι λύσεις της εξίσωσης ισχύουν με τις ακόλουθες αντικαταστάσεις :

$$X'_{11,\bar{y}} = X_{11,\bar{y}}$$

$$X'_{11,\bar{u}} = 1.0$$

$$X'_{12,\bar{y}} = X_{12,\bar{y}}$$

$$X'_{22,\bar{u}} = X_{22,\bar{u}}$$

Οι λύσεις αυτές είναι αποδεκτές υπό μία ακόμα προϋπόθεση. Ο πίνακας των θερμοκρασιών, για την περίπτωση που η ενεργειακή απαίτηση της ζώνης μπορεί να καλυφθεί από τη συσκευή, περιλαμβάνει στην πραγματικότητα την απαιτούμενη ενέργεια αντί των μέσων θερμοκρασιών.

Για να υπολογιστούν τα επιτρεπτά όρια στα οποία θα κυμαίνεται η θερμοκρασία για όλες τις ζώνες, οι υπολογισμοί γίνονται πρώτα θεωρώντας ότι δεν υπάρχει θέρμανση ή ψύξη. Με τον τρόπο αυτό δίνεται μια πρώτη εκτίμηση για τα θερμοκρασιακά όρια. Στις ζώνες όπου απαιτείται θέρμανση ή ψύξη, καθορίζεται η απαιτούμενη ενέργεια για να διατηρηθεί η επιθυμητή θερμοκρασία της ζώνης. Έπειτα ελέγχεται αν η απαιτούμενη ενέργεια μπορεί να καλυφθεί από την συσκευή και καθορίζονται αναλόγως οι πίνακες X', Z' και επιλύεται το σύστημα των εξισώσεων που περιγράφηκε παραπάνω. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι η ελεγχόμενη θερμοκρασία να μην αλλάζει. Έπειτα υπολογίζονται οι ενεργειακές απαιτήσεις των ζωνών για την διατήρηση της επιθυμητής θερμοκρασίας.

3.6.14 Το χρονικό βήμα προσομοίωσης σε σχέση με το χρονικό βήμα υπολογισμού των τοίχων

Όπως είδαμε και νωρίτερα, η μεταφορά θερμότητας στην εσωτερική επιφάνεια των τοίχων με βάση την εσωτερική και την εξωτερική θερμοκρασία δίνεται από την εξίσωση :

$$\dot{q}_{z,i} = B_z T_{a,z} - C_z T_{a,s} + D_z$$

Η επίλυση αυτή είναι σωστή μόνο όταν οι θερμοκρασίες δίνονται ως μέσες τιμές για το κάθε βήμα της χρονικής ακολουθίας. Από την άλλη, η διαφορική εξίσωση που περιγράφει τον ρυθμό της μεταβολής της εσωτερικής ενέργειας της ζώνης λύνεται με βάση το χρονικό βήμα της προσομοίωσης. Το βήμα αυτό μπορεί να είναι είτε μικρότερο είτε ίσο του χρονικού βήματος για την επίλυση των τοίχων. Στην περίπτωση που το βήμα της προσομοίωσης είναι μικρότερο, τότε η μέση τιμή της μεταφερόμενης θερμότητας στην εσωτερική επιφάνεια του τοίχου κατά τη διάρκεια του βήματος είναι :

$$\bar{\dot{q}}_{z,i,\Delta t_b} = B_z \bar{T}_{i,\Delta t_b} + C_z \bar{T}_{a,s,\Delta t_b} + D_z$$

όπου Δt_b είναι το χρονικό βήμα υπολογισμών του τοίχου. Οι μέσες τιμές της θερμοκρασίας του αέρα της ζώνης είναι :

$$\bar{T}_{i,\Delta t_b} = \frac{\sum T_{i,\Delta t} \Delta t}{\Delta t_b} \quad \bar{T}_{a,s,\Delta t_b} = \frac{\sum T_{a,s,\Delta t} \Delta t}{\Delta t_b}$$

Εάν αυτό το σετ εξισώσεων αντικατασταθεί στην παραπάνω εξίσωση, τότε έχουμε :

$$\dot{q}_{z,i,\Delta t_b} = \sum \left(B_z \bar{T}_{i,\Delta t} + C_z \bar{T}_{a,s,\Delta t} + D_z \right) \frac{\Delta t}{\Delta t_b} = : \frac{\sum q_{z,i,\Delta t} \Delta t}{\Delta t_b}$$

Η μέση ροή θερμότητας για το χρονικό βήμα του τοίχου είναι ίση με τις μέσες ροές θερμότητας που υπολογίζονται με τις μέσες τιμές της θερμοκρασίας για το χρονικό βήμα της προσομοίωσης. Η ροή θερμότητας δια μέσω κάθε τοίχου για κάθε βήμα υπολογίζεται από την συγκεκριμένη εξίσωση. Ωστόσο, οι θερμοκρασίες και οι ροές θερμότητας που περιγράφουν τον

τοίχο σε προηγούμενες χρονικές στιγμές, παριστάνουν μέσους όρους των χρονικών βημάτων των υπολογισμών των τοίχων. Έτσι οδηγούμαστε στις τιμές της θερμοκρασίας για κάθε βήμα στην ζητούμενη χρονική περίοδο.

Για παχείς και βαρείς τοίχους, το βήμα μπορεί να οριστεί στις δύο ή περισσότερες ώρες. Αν υπάρχουν πολύ λεπτοί τοίχοι στο ίδιο κτήριο, το πρόγραμμα TRNBUILD σταματάει αναφέροντας σφάλμα. Αυτό οφείλεται στην χρονική σταθερά των λεπτών κατασκευών. Αν η χρονική σταθερά είναι μικρότερη του βήματος της συνάρτησης μεταφοράς, εμφανίζεται και πάλι σφάλμα, οπότε στην περίπτωση αυτή, οι λεπτοί τοίχοι πρέπει να αντικατασταθούν και να περιγραφούν χρησιμοποιώντας στρώσεις με αντιστάσεις.

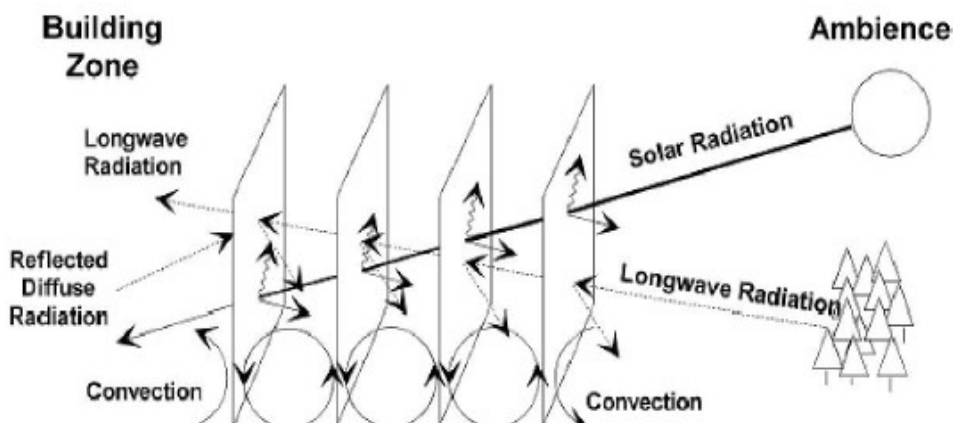
3.6.15 Οπτικές και θερμικές ιδιότητες παραθύρων

Στο μοντέλο του πολυζωνικού κτηρίου (μοντέλο 56) χρησιμοποιείται ένα λεπτομερές μοντέλο υαλοπινάκων το οποίο χρησιμοποιεί δεδομένα από το πρόγραμμα WINDOWS 4.1, το οποίο αναπτύχθηκε από το Lawrence Berkeley Laboratory, USA. Αυτό το υπολογιστικό μοντέλο υπολογίζει τη διαπερατότητα, την απορρόφηση και την αντανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας λεπτομερώς. Στο μοντέλο συνυπολογίζονται εξωτερικές και εσωτερικές σκιάσεις καθώς επίσης υπολογίζεται και μια διορθωμένη τιμή έτσι ώστε να λαμβάνονται υπόψη διαφορετικά πλαίσια υαλοπινάκων.

Τα παράθυρα μπορούν να αποτελούνται από έξι το πολύ ανεξάρτητες επιφάνειες έχοντας ανάμεσά τους έως και πέντε διαφορετικά αέρια. Κάθε επιφάνεια παραθύρου περιγράφεται από τον δικό της κόμβο ενώ η εσωτερική επιφάνεια συνδέεται μέσω του αστεροειδούς δικτύου με τον αστεροειδή κόμβο της ζώνης, όπως περιγράφηκε παραπάνω. Η εξωτερική επιφάνεια επικοινωνεί μέσω της μεταφοράς θερμότητας με την θερμοκρασία περιβάλλοντος και μέσω της ανταλλαγής ηλιακής ακτινοβολίας με την φανταστική θερμοκρασία ουρανού.

Για κάθε επιφάνεια, η θερμοκρασία υπολογίζεται με βάση

- την διαπερατότητα,
- την απορρόφηση και την αντανάκλαση της άμεσης και διάχυτης εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας,
- της διάχυτης ακτινοβολίας μικρού μήκους, ακτινοβολία η οποία αντανακλάται από τους τοίχους της ζώνης,
- της μεταφοράς θερμότητας δια μέσου αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας μεγάλου μήκους, μεταξύ των ανεξάρτητων επιφανειών του παραθύρου και του εσωτερικού χώρου και του περιβάλλοντος.



Εικόνα 3.13 : Λεπτομερές μοντέλο υαλοπίνακα

Η ηλιακή ακτινοβολία διαχωρίζεται σε δύο περιοχές: σε ορατή και μη ορατή. Το κλάσμα της ορατής ακτινοβολίας υπολογίζεται με την ακτινοβολία μέλανος σώματος σε θερμοκρασία 5800K με μήκος κύματος 380nm-780nm προς την ολική ακτινοβολία του σώματος στην ίδια θερμοκρασία. Αυτό οδηγεί στις παρακάτω εξισώσεις για την ορατή ακτινοβολία:

$$I_{dif,visual} = 0.466 I_{dif,solar}$$

$$I_{dir,visual} = 0.466 I_{dir,solar}$$

Το μη ορατό μέρος της ακτινοβολίας μπορεί έτσι να υπολογισθεί ως εξής :

$$I_{dif,non_visual} = (1 - 0.466) I_{dif,solar}$$

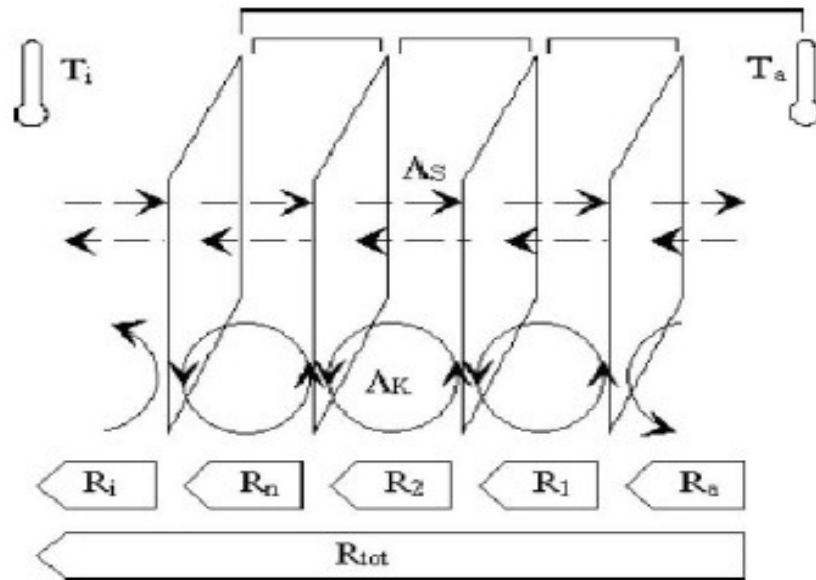
$$I_{dir,non_visual} = (1 - 0.466) I_{dir,solar}$$

Το μοντέλο διαβάζει την εκπομπή και την αντανάκλαση για την εμπρός και για την οπίσθια πλευρά του παραθύρου από την βιβλιοθήκη των παραθύρων W4-Library. Σχετικές τιμές της απορρόφησης για όλο το φάσμα της ακτινοβολίας θα ληφθούν από την κατανομή της αφομοιωμένης ενέργειας της ορατής και της μη ορατής ακτινοβολίας σε κάθε ενδιάμεση επιφάνεια του παραθύρου, καθότι δεν υπάρχουν τα δεδομένα αυτά στην βιβλιοθήκη W4-Library. Έπειτα το μοντέλο υπολογίζει ξεχωριστά για το ορατό και το μη ορατό μέρος της ακτινοβολίας την αντανάκλαση και την απορρόφηση σε κάθε ενδιάμεση επιφάνεια του παραθύρου. Επίσης, υπολογίζει και την κατανομή της ακτινοβολίας μέσα στη ζώνη καθώς συνυπολογίζεται και η ακτινοβολία από πολλαπλή ανάκλαση στις εσωτερικές επιφάνειες της ζώνης.

Η απορροφημένη και η εκπεμπόμενη στο χώρο ακτινοβολία αθροίζονται και προκύπτει η ολική ηλιακή ακτινοβολία. Για όλους τους υπόλοιπους υπολογισμούς χρησιμοποιείται μόνο η ολική ηλιακή ακτινοβολία.

Κάθε υαλοπίνακας απορροφά και ανακλά ένα μέρος της εισερχόμενης ακτινοβολίας, αναλόγως με το υλικό του υαλοπίνακα και τον προσπίπτουσα γωνία. Στο πρόγραμμα WINDOW 4.1, ο λεπτομερής υπολογισμός της ανάκλασης μεταξύ των ενδιάμεσων επιφανειών του παραθύρου και της απορρόφησης / εκπομπής κάθε επιφάνειας, εκτελείται ημισφαιρικά για την διάχυτη ακτινοβολία με βήμα 10° της προσπίπτουσας γωνίας για την άμεση ακτινοβολία. Μαζί με τις θερμικές ιδιότητες των ενδιάμεσων αερίων και εκπομπής των υαλοπινάκων, γράφονται σε ένα αρχείο ASCII και τα οπτικά δεδομένα για το παράθυρο. Αυτό το αρχείο έχει μορφοποίηση κατάλληλη για εκμετάλλευση του από προγράμματα όπως το DOE 2.1 και το TRNSYS. Στο TRNSYS έχει δημιουργηθεί μια βιβλιοθήκη παραθύρων με χρήση του προγράμματος WINDOWS 4.1 έτσι ώστε να είναι διαθέσιμα στο χρήστη ορισμένοι συνηθισμένοι τύποι υαλοπινάκων. Τα δεδομένα αυτά διαβάζονται από το μοντέλο 56 και δημιουργείται μια καμπύλη με παρεμβολή.

Η ροή θερμότητας μεταξύ των ανεξάρτητων επιφανειών φαίνεται στην εικόνα 3.14. Η συναγωγή, η αγωγή και η ακτινοβολία μεγάλου μήκους υπολογίζονται ξεχωριστά.



Εικόνα 3.14 : Μοντέλο αντιστάσεων μεταξύ των επιφανειών παραθύρου

Η ροή θερμότητας από την εσωτερική επιφάνεια του παραθύρου στο περιβάλλον υπολογίζεται ως εξής:

$$\dot{Q}_{n-a} = U_{n-a} \cdot A \cdot (T_n - T_a)$$

Όπου :

$$U_{n-a} = \frac{1}{\sum_{ij} R_{ij} + R_a}$$

$$R_{ij} = \frac{1}{\Lambda_{ij}}$$

$$R_a = \frac{1}{\alpha_{c,a} + \alpha_{r,a}}$$

$$R_i = \frac{1}{\alpha_{c,i} + \alpha_{r,i}}$$

$$\Lambda_{ij} = \Lambda_{conv,ij} + \Lambda_{rad,ij} + \Lambda_{cond,ij}$$

Η σταθερά της συναλλαγής θερμότητας δια μέσω ακτινοβολίας μεταξύ υαλοπινάκων υπολογίζεται από την εξίσωση :

$$\Lambda_{rad} = \frac{4\sigma T_{mean}^3}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

Η σταθερά της συναλλαγής θερμότητας δια μέσω συναγωγής μεταξύ των ανεξάρτητων υαλοπινάκων υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την κλίση του παραθύρου :

$$\Lambda_{conv} = \frac{Nu \lambda(T)}{s}$$

$$Nu = 1 + 1.44 \left(1 - \frac{1708(\sin(1.8\beta))^{1.6}}{Ra \cos \beta} \right) \left(1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right)^+ + \left(\left(\frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right)^+$$

$$Ra = \frac{g \Delta T L^3}{T_{\mu\alpha}}$$

Η απορρόφηση της ακτινοβολίας μικρού μήκους από τους υαλοπίνακες του παραθύρου οδηγεί σε ροή θερμότητας από τον υαλοπίνακα στην ζώνη, η οποία δίνεται από την ακόλουθη σχέση

$$\dot{Q}_{abs,i} = \sum_{i \rightarrow n} \left((I_{dir} abs_{dir,i} + I_{dif} abs_{dif,i} + (I_{ref,z} + I_{ref,zh}) abs_{dif,i,b}) \frac{R_{i-l} + R_a}{R_{tot}} \right)$$

Μπορεί ναδειχθεί ότι η συνολική ροή θερμότητας από τους υαλοπίνακες μπορεί να χωρισθεί στις θερμικές απώλειες, οι οποίες εξαρτώνται μόνο από τις θερμοκρασιακές διαφορές και στην απορρόφηση θερμότητας από τους υαλοπίνακες του παραθύρου που οφείλονται μόνο στην ένταση της ακτινοβολίας μικρού μήκους.

Καθώς η ακτινοβολία που αντανακλάται από τις επιφάνειες της ζώνης μπορούν να υπολογισθούν από το μοντέλο 56 μόνο όταν είναι γνωστό το ποσό της διερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας από όλα τα εσωτερικά και εξωτερικά παράθυρα της ζώνης, εκτελείται ένας επαναληπτικός βρόχος για όλα τα παράθυρα της ζώνης μέχρι όλη η άμεση και διάχυτη ακτινοβολία που εισέρχεται στη ζώνη να απορροφηθεί είτε από κάποιο τοίχο, είτε από κάποιο πλαίσιο παραθύρου, είτε από κάποιον υαλοπίνακα ενός εσωτερικού ή εξωτερικού παραθύρου, είτε να εξέλθει ξανά στο περιβάλλον δια μέσω κάποιου παραθύρου. Αφού κατανεμηθεί όλο το ποσό της ακτινοβολία που εισήλθε στο χώρο καθώς και η ακτινοβολία που προέρχεται από επαναλαμβανόμενες αντανακλάσεις για όλες τις ζώνες του κτηρίου, εκτελούνται οι υπολογισμοί για την εύρεση της θερμοκρασίας κάθε επιφάνειας και της θερμοκρασίας των υαλοπινάκων.

Η απορρόφηση της ακτινοβολίας μικρού μήκους οδηγεί στην αύξηση της θερμοκρασίας κάθε ανεξάρτητου υαλοπίνακα. Έτσι, εμφανίζεται ροή θερμότητας ανάμεσα στους υαλοπίνακες του παραθύρου καθώς και του παραθύρου με την ζώνη και το περιβάλλον και συνεπώς στην διαμόρφωση νέων θερμοκρασιών. Η επαναληπτική διαδικασία για τον καθορισμό της θερμοκρασίας σταματά όταν η μεταβολή της θερμοκρασίας γίνει μικρότερη από ένα δοσμένο όριο.

Έχοντας υπολογίσει τις θερμοκρασίες κάθε ενδιάμεσης ανεξάρτητης επιφάνειας του παραθύρου και όλες τις ροές θερμότητας δια μέσω των υαλοπινάκων, η απορροφημένη ακτινοβολία μικρού μήκους αθροίζεται και κατανέμεται στον εσωτερικό και στον εξωτερικό κόμβο του παραθύρου. Βασιζόμενοι στις θερμοκρασίες των κόμβων του παραθύρου, η απορροφημένη ακτινοβολία μικρού μήκους για κάθε κόμβο υπολογίζεται ως εξής:

$$\dot{Q}_{abs,i} = 0.5(\dot{Q}_{abs} + h_i(T_i - T_{zone}) - h_{c,o}(T_0 - T_{amb}) - \dot{Q}_{sky})$$

$$\dot{Q}_{abs,a} = \dot{Q}_{abs} - \dot{Q}_{abs,i}$$

Οι ροές θερμότητας που προκύπτουν από το μοντέλο δύο κόμβων των παραθύρων χρησιμοποιούνται από το μοντέλο 56 του προγράμματος στον αλγόριθμο του ισολογισμού ενέργειας για να καθορισθεί η δυναμική συμπεριφορά του πολυζωνικού κτηρίου.

Οι παραπάνω υπολογισμοί για την θερμοκρασία των υαλοπινάκων εκτελούνται για το κέντρο των υαλοπινάκων αγνοώντας την επίδραση των ακρών του. Για να ληφθεί υπόψη το φαινόμενο “cold bridge” του πλαισίου στις άκρες του συνόλου των υαλοπινάκων, υπολογίζονται διορθωτικοί συντελεστές από το πρόγραμμα WINDOWS 4.1 για πέντε διαφορετικά υλικά πλαισίου. Ως άκρη του υαλοπίνακα θεωρείται η επιφάνεια πάχους 2,5in (63,5mm) κατά μήκος της περιφέρειας του υαλοπίνακα. Οι διορθωτικοί συντελεστές αυτοί καθώς και το ύψος και το φάρδος του παραθύρου καθορίζονται από το πρόγραμμα TRNBuild και διαβάζονται από την βιβλιοθήκη παραθύρων. Η τιμή u του παραθύρου υπολογίζεται με υπέρθεση τιμής του για το κέντρο (u_{centr}) και για την άκρη του παραθύρου (u_{edge}):

$$u_{edge} = C_{edge,1} + C_{edge,2}u_{centr} + C_{edge,3}u_{centr}^2$$

Στην περιγραφή του κτηρίου καθορίζεται ο λόγος της επιφάνειας του πλαισίου του παραθύρου προς την συνολική επιφάνεια του παραθύρου. Επιπλέον, δίνεται και η τιμή του u για το πλαίσιο. Η συνολική τιμή του u του παραθύρου υπολογίζεται ως εξής:

$$u_{window} = f_{frame}u_{frame} + (1 - f_{frame})u_{glass}$$

Ο διορθωμένος συντελεστής u_{glass} χρησιμοποιείται από το μοντέλο 56 για τους θερμικούς υπολογισμούς του παραθύρου όπως καθορίζεται στην περιγραφή του κτηρίου.

Η διερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία ελαττώνεται από αυτό το κλάσμα (λόγω της μη διαπερατότητας του πλαισίου). Στον αλγόριθμο του ενεργειακού ισολογισμού του μοντέλου 56, όλες οι ροές θερμότητας και οι προκύπτουσες θερμοκρασίες σχετίζονται με την ολική επιφάνεια του παραθύρου.

3.7 Μοντέλο άμεσων διαγραμμάτων (Type 65b)

Το μοντέλο αυτό καλείται στο TRNSYS μέσω της υπορουτίνας “Online Plotter” από την καρτέλα εξόδων (Output\ Online Plotter\ User-Supplied Units). Το μοντέλο παρουσίασης άμεσων γραφικών χρησιμοποιείται για να παρουσιάσει στον χρήστη μέσω της οθόνης επιλεγμένες μεταβλητές σε καθορισμένες χρονικές στιγμές ταυτόχρονα με την εκτέλεση της προσομοίωσης. Το μοντέλο αυτό είναι πολύ χρήσιμο και χρησιμοποιείται ευρέως, καθώς επιτρέπει στον χρήστη τον άμεσο έλεγχο των υπό μελέτη μεταβλητών κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Επίσης, δίνεται η δυνατότητα προβολής διαφόρων διαγραμμάτων των μεταβλητών σε διαφορετικά παράθυρα στην οθόνη.

Ακόμη, ορίζοντας την παράμετρο 10 του μοντέλου ίση με έναν θετικό αριθμό, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει ένα αρχείο με όλες τις τιμές των μεταβλητών που τυπώνονται. Ο εκτυπωτής μπορεί να τεθεί εκτός λειτουργίας χωρίς να διαγραφεί το μοντέλο από την προσομοίωση θέτοντας την παράμετρο 9 ίση με -1. Σε περίπτωση που όλοι οι Online

plotters έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας, στην οθόνη εμφανίζεται η προκαθορισμένη μπάρα προόδου της προσομοίωσης αντί των διαγραμμάτων, αλλά παρόλα αυτά το αρχείο εξόδου θα δημιουργηθεί εφόσον ο χρήστης το έχει επιλέξει.

Σε μια προσομοίωση μπορούν να υπάρχουν έως πέντε Online Plotters και κάθε εκτυπωτής μπορεί να έχει από 1 έως 20 εισόδους. Στην καρτέλα των εισόδων πρέπει να οριστούν οι ονομασίες των μεταβλητών και πρέπει να έχουν έως 25 το πολύ χαρακτήρες. Προκειμένου να οριστούν οι μονάδες των μεταβλητών και οι επικεφαλίδες των διαγραμμάτων απαιτούνται τρεις κάρτες ταμπελών, μία για τον τίτλο του αριστερού άξονα Y, μία για τον τίτλο του άξονα X και μία για τον τίτλο του διαγράμματος. Τέλος, από τις παραμέτρους μπορούμε να καθορίσουμε τον αριθμό των εισόδων, καθώς ο αριθμός αυτός είναι ίσος με το άθροισμα των δύο πρώτων παραμέτρων.

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να σταματήσει και να επανεκινήσει την προσομοίωση καθώς βρίσκεται σε εξέλιξη κάνοντας δεξί κλικ οπουδήποτε μέσα στο διάγραμμα, ή επιλέγοντας την παύση και την εκκίνηση με τα κουμπιά F7 και F8 αντίστοιχα. Επίσης, έχει τη δυνατότητα να επιλέξει την εντολή "Pause at", προκειμένου να σταματήσει σε ένα συγκεκριμένο σημείο της προσομοίωσης και να ελέγξει τυχόν λάθη που επιθυμεί, ενώ πατώντας το πλήκτρο "Shift" και κουνώντας το ποντίκι πάνω από το διάγραμμα εμφανίζονται οι τιμές της μεταβλητής στην χρονική στιγμή που ο χρήστης θέλει. Όταν σταματήσει η προσομοίωση, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το χρώμα του φόντου και το πάχος της γραμμής, ενώ οποτεδήποτε θελήσει μπορεί να κρύψει ή να εμφανίσει μια μεταβλητή στο διάγραμμα κάνοντας κλικ στο όνομά της στο πεδίο της λεζάντας. Τέλος, ο χρήστης δύναται να κάνει και μεγέθυνση σε οποιοδήποτε κομμάτι του διαγράμματος επιθυμεί, σχηματίζοντας ένα παράθυρο στην περιοχή που θέλει και, αυτόματα, εμφανίζεται ένα καινούριο παράθυρο στο οποίο μπορεί να επεξεργαστεί τους άξονες εκ νέου.

Στο TRNSYS 17 δίνεται η δυνατότητα ταυτόχρονης προβολής δύο "online plotters" στο ίδιο παράθυρο και ο χρήστης μπορεί να εναλλάσσει τα διαγράμματα επιλέγοντας την επιθυμητή καρτέλα. Για τη διαγραφή του διπλού "online plotter" ο χρήστης αρκεί να επιλέξει "delete double online" από τις επιλογές του διαγράμματος.

3.8 Μοντέλο Εκτυπωτή (Type 46)

Το μοντέλο αυτό καλείται στο TRNSYS μέσω της υπορουτίνας "Printegrator" από την καρτέλα εξόδων (Output\ Printegrator\ Unformatted\ User-Defined Period). Συνδιάζει τα στοιχεία του μοντέλου ενσωμάτωσης 24 και του μοντέλου εκτυπωτή 25 και χρησιμοποιείται για την εκτύπωση των ολοκληρωμένων τιμών των συνδεδεμένων εισόδων σε ένα αρχείο δεδομένων που έχει καθοριστεί από τον χρήστη. Το αρχείο είναι γραμμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να εισαχθεί εύκολα στο πρόγραμμα Microsoft Excel. Ο μέγιστος αριθμός μεταβλητών είναι 500 και δεν υπάρχει όριο στον αριθμό των μοντέλων αυτών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Η ονοματολογία των μεταβλητών του μαθηματικού μοντέλου έχει ως εξής :

- X_i : i-ποσότητα ή i-ποσοστό που πρέπει να ενσωματωθούν και να εκτυπωθούν
- Y_i : το ολοκλήρωμα χρόνου του X_i
- LU_{user} : ο αριθμός λογικής μονάδας στον οποίο η έξοδος του εκτυπωτή είναι να γραφτεί(αναφερόμενο σε περίοδο ορισμένη από τον χρήστη)
- LU_{auto} :ο αριθμός λογικής μονάδας στον οποίο η έξοδος του εκτυπωτή είναι να γραφτεί(αναφερόμενο σε μηνιαία αυτόματη περίοδο)
- Δt :το χρονικό βήμα προσομοίωσης του TRNSYS
- Δt_p :το χρονικό διάστημα στο οποίο οι εισοδοί στον εκτυπωτή πρέπει να εκτυπωθούν
- t_{on} :ο χρόνος στην προσομοίωση στον οποίο ο εκτυπωτής ξεκινάει την εκτύπωση

- t_{off} :ο χρόνος στην προσομοίωση στον οποίο ο εκτυπωτής σταματάει την εκτύπωση
- TIME :η τρέχουσα τιμή του χρόνου στην προσομοίωση

Η μαθηματική εξίσωση με την οποία λειτουργεί το μοντέλο του τύπου 46 είναι :

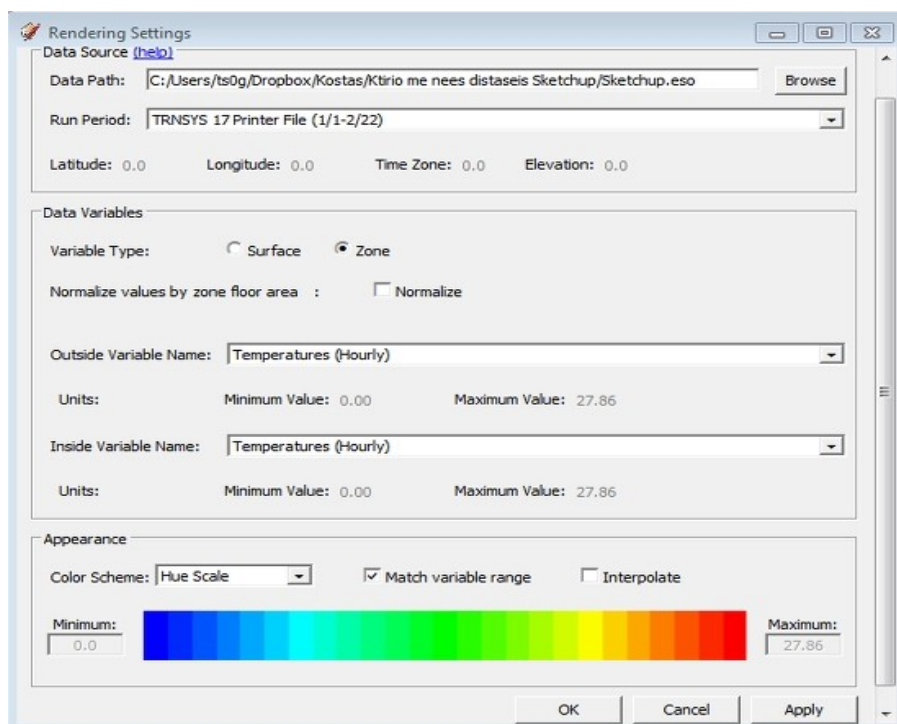
$$Y_i = \int_{time} X_i dt$$

Ακολουθούν ορισμένοι κανόνες και παρατηρήσεις που διαμορφώνουν τη συμπεριφορά του εκτυπωτή:

- Εάν $\Delta t_p = 0$ ή δεν έχει οριστεί, η εκτύπωση πραγματοποιείται μονάχα στο τέλος της προσομοίωσης
- Εάν $0 < \Delta t_p \leq \Delta t$, πραγματοποιείται εκτύπωση σε κάθε πολλαπλάσιο του Δt
- Εάν $\Delta t_p \geq \Delta t$, η εκτύπωση πραγματοποιείται ανά N χρονικά διαστήματα, όπου N θετικός ακέραιος και $N = \Delta t_p / \Delta t$
- Εάν $t_{on} \leq 0$, η εκτύπωση ξεκινάει στην αρχή της προσομοίωσης. Διαφορετικά, η εκτύπωση ξεκινάει όταν $TIME \geq t_{on}$
- Οι στιγμιαίες και ολοκληρωμένες μέγιστες και ελάχιστες τιμές (και οι χρόνοι στους οποίους αυτές συμβούν) καταγράφονται και αναφέρονται στο τέλος του αρχείου εξόδου (ων).
- Το άθροισμα της κάθε εισόδου (αθροίζονται για ολόκληρη την περίοδο προσομοίωσης) αναφέρεται στο τέλος του αρχείου εξόδου (ων).
-

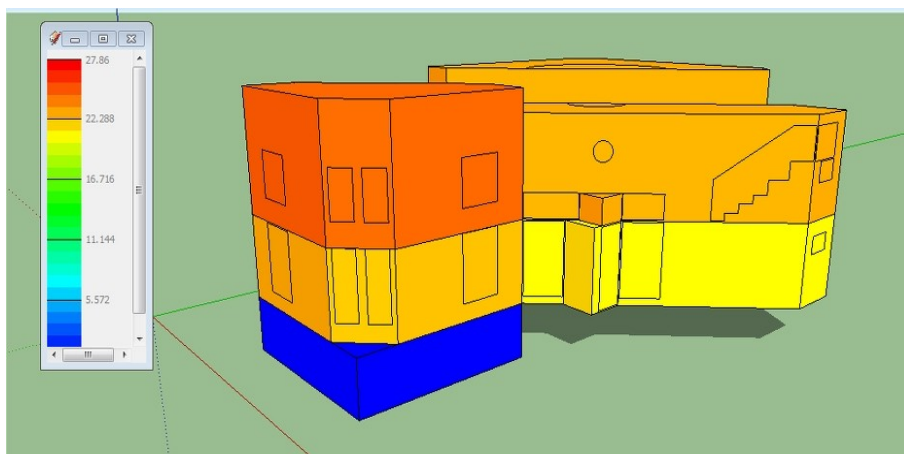
3.9 Μοντέλο απεικόνισης αποτελεσμάτων Trnsys3d για Sketchup (Type 125)

Το μοντέλο αυτό καλείται στο TRNSYS μέσω της υπορουτίνας “TRNSYS Plugin for Sketchup Printer” από την καρτέλα εξόδων (Output\ TRNSYS Plugin for Sketchup Printer). Αποτελεί μία έκδοση εκτυπωτή η οποία είναι απαραίτητη προκειμένου να απεικονιστούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μέσω του προγράμματος Google Sketchup. Ο Trnsys3d εκτυπωτής παράγει ένα .eso αρχείο, το οποίο διαβάζεται από το Trnsys3d Plugin του Google Sketchup, και συνδέεται απευθείας στο μοντέλο του κτηρίου στο στούντιο προσομοίωσης. Από εκεί, οι πληροφορίες για τις ζώνες και τις επιφάνειες συνδέονται στο Type 125 και το μοντέλο ξαναφορτώνεται στο Google Sketchup, έχοντας πλέον τα δεδομένα για όλες τις τιμές που επεξεργάστηκαν μέσω του TRNBuild. Επιστρέφοντας λοιπόν στο πρόγραμμα Google Sketchup, ο χρήστης πηγαίνει στο κύριο μενού και επιλέγει Plugins -> Trnsys3d -> Renderings -> By Data Value , προκειμένου τα στοιχεία να καταστούν σύμφωνα με τα δεδομένα και όχι με τις κατηγορίες επιφανειών. Φορτώνοντας το αρχείο .eso αντιστοιχίζεται επίσης αυτόματα η χρονική περίοδος κατά την οποία γίνεται η προσομοίωση στο Simulation Studio και το βήμα της προσομοίωσης στο Sketchup επιλέγεται να είναι ωριαίο.

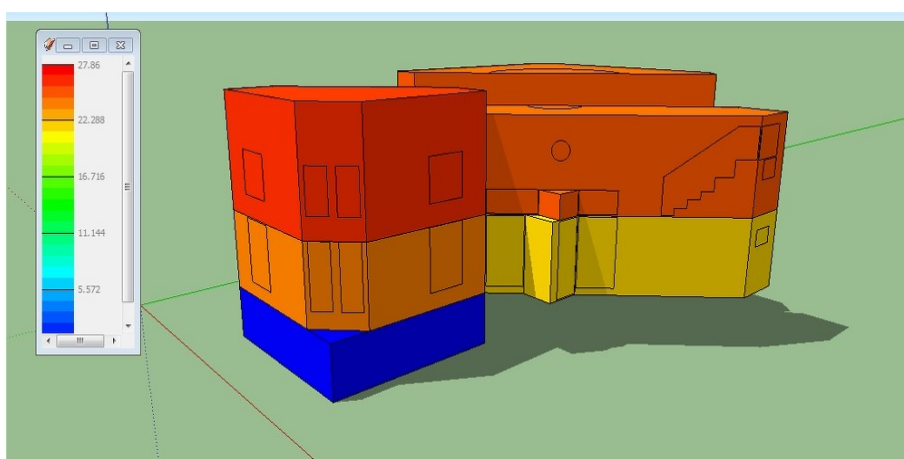


Εικόνα 3. : Καρτέλα ρυθμίσεων εισαγωγής αρχείου .eso στο Sketchup

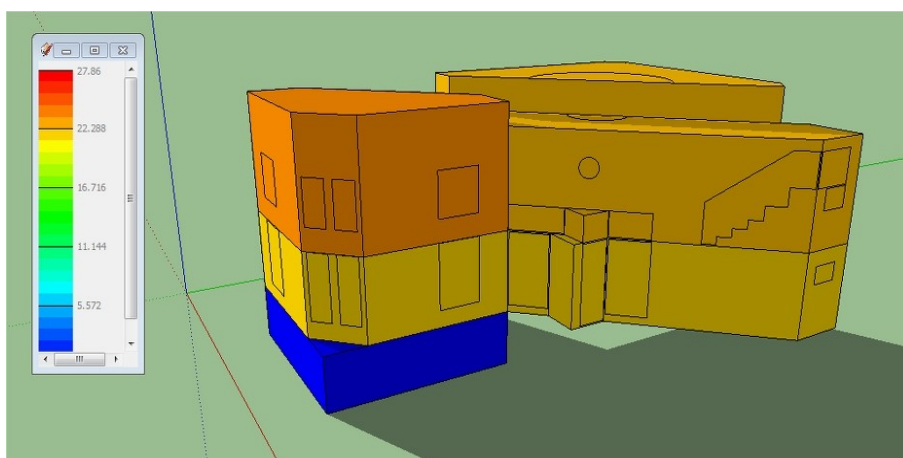
Σε περίπτωση που κάποιο τμήμα του κτηρίου εμφανίζεται άσπρο, ο χρήστης καταλαβαίνει ότι δεν υπάρχουν αποτελέσματα από το Simulation Studio για την επιλεγμένη ημερομηνία στην συγκεκριμένη ζώνη. Το μοντέλο θα πρέπει να είναι χρωματισμένο βασισμένο στην θερμοκρασία αέρα κάθε ζώνης και αυτό επιτυγχάνεται με την αντιστοιχία της περιόδου προσομοίωσης στο Simulation Studio με το Trnsys3d, ρυθμίζοντας την ως πρώτη εβδομάδα του Ιανουαρίου. Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα επιλογής εμφάνισης της σκιάς του κτηρίου και προκειμένου να εμφανιστούν τα αποτελέσματα, επιλέγει από το κύριο μενού Plugins -> Trnsys3d -> Animation -> Play . Ακόμη, με την επιλογή Plugins -> Trnsys3d -> Renderings -> Color Scale ο χρήστης μπορεί να βλέπει την κλίμακα θερμοκρασίας καθώς η προσομοίωση τρέχει. Ακολουθούν οι σχηματικές αναπαραστάσεις για μια από τις ημέρες προσομοίωσης ανά χρονικά διαστήματα :



Εικόνα 3. : Προσομοίωση 03/12 - Ώρα 09:00 π.μ.



Εικόνα 3. : Προσομοίωση 03/12 - Ώρα 13:00 μ.μ.



Εικόνα 3. : Προσομοίωση 03/12 - Ώρα 17:00 μ.μ.

3.10 Μοντέλο σύνδεσης με MATLAB (Type 155)

Το μοντέλο αυτό καλείται στο TRNSYS μέσω της υπορουτίνας “Matlab” από την καρτέλα χρησιμότητας (Utility\ Calling External Programs\ Matlab). Υλοποιεί μια σύνδεση με το Matlab και η σύνδεση αυτή χρησιμοποιεί την μηχανή του Matlab ως μια ξεχωριστή λειτουργία. Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το συγκεκριμένο μοντέλο, ο χρήστης οφείλει να έχει εγκαταστήσει μια 32-bit έκδοση της Matlab στον υπολογιστή και ο φάκελός της "bin\win32" πρέπει να έχει οριστεί στην διαδρομή αναζήτησης των Windows. Δεν υπάρχει κάποιο όριο για τον αριθμό των εισόδων και των εξόδων ή και των μοντέλων 155 στην προσομοίωση.

Όσον αφορά τις παραμέτρους του μοντέλου, οι πρώτες δύο καθορίζουν τον αριθμό των εισόδων και των εξόδων του, ενώ η επόμενη καθορίζει την επαναληπτική συμπεριφορά του. Σε περίπτωση που ο χρήστης την ορίσει ως 0, ενεργοποιεί την βασική επαναληπτική συνιστώσα, όπου καλείται σε κάθε κάλεσμα από οποιοδήποτε χρονικό βήμα. Σε περίπτωση που ο χρήστης την ορίσει ως 10, καλείται στο τέλος κάθε χρονικού βήματος μετά από τους εκτυπωτές και είναι κατάλληλο για έναν ελεγκτή που υπολογίζει τις εξόδους του για ένα χρονικό βήμα με βάση τις συγκλίνουσες τιμές του προηγούμενου χρονικού βήματος.

Αξίζει να προσέξουμε ότι η MATLAB δεν παίρνει μόνο εισόδους από το στούντιο αλλά ορίζονται και στο αρχείο της ορισμένες πληροφορίες, όπως :

- trnInfo :αντίγραφο του πίνακα INFO
- trnTime : χρόνος προσομοίωσης
- TrnStartTime : χρόνος έναρξης προσομοίωσης
- TrnStopTime : χρόνος λήξης προσομοίωσης
- trnTimeStep : χρονικό βήμα προσομοίωσης
- mFileErrorCode : Αναφέρεται στο μηχανισμό που αποτρέπει το TRNSYS από το να συνεχίζει την προσομοίωση σε περίπτωση που το αρχείο Matlab δεν είναι σωστό. Πριν ξεκινήσει να τρέχει το αρχείο Matlab, το TRNSYS δημιουργεί τη μεταβλητή αυτή και την αρχικοποιεί στην τιμή 1. Εάν η τιμή που επιστρέφεται στο τέλος δεν είναι μηδενική, η προσομοίωση σταματάει και προβάλλεται ένα μήνυμα λάθους με την τιμή που έχει λάβει η μεταβλητή mFileErrorCode. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί από .m αρχείο ώστε να δώσει μια ιδέα για το τί συνέβη σε περίπτωση που η τιμή της μεταβλητής αυτής αυξάνεται σε διαφορετικά μέρη του κώδικα του αρχείου.

Κεφάλαιο 4 – Εκτέλεση προσομοίωσης και σύγκριση θερμικών αποτελεσμάτων με το πρόγραμμα MATLAB

4.1 Γενικά

Στην παρούσα εργασία μελετάται η ενεργειακή συμπεριφορά του κτηρίου PEBBLE το οποίο χρησιμοποιείται από την Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών στο Πολυτεχνείο Χανίων. Συγκεκριμένα, γίνεται σύγκριση των θερμοκρασιών αέρα από τις εξόδους των θερμικών ζωνών του κτηρίου στο στούντιο προσομοίωσης TRNSYS με τις μετρήσεις θερμοκρασίας που λάβαμε για συγκεκριμένες αίθουσες του κτηρίου την περίοδο 16/12/2010 έως 11/01/2011. Έτσι, καταλήγουμε σε ένα μοντέλο που ανταποκρίνεται όσο το δυνατόν περισσότερο στην πραγματικότητα με τη βοήθεια του προγράμματος MATLAB και του εργαλείου Curve Fitting Tool. Με το συγκεκριμένο εργαλείο καμπύλης παρέχεται μια ευέλικτη γραφική διεπαφή για τον χρήστη, όπου μπορεί να εισάγει δεδομένα και να τα συγκρίνει χρησιμοποιώντας μαθηματικά μοντέλα. Αφότου καταλήξουμε σε μια τελική μορφή του μοντέλου, καταγράφουμε τις τιμές των επιμέρους τιμών και του αθροίσματος του απαιτούμενου φορτίου θέρμανσης Q_{heat} των θερμικών ζωνών υπό μελέτη. Μέσα από το στούντιο TRNSYS προβάλλονται τα αποτελέσματα των φορτίων με τη βοήθεια του μοντέλου παρουσίασης άμεσων γραφικών και του μοντέλου που καλεί την MATLAB.

4.2 Περιγραφή των υπό μελέτη θερμικών ζωνών

4.2.1 Διαχωρισμός θερμικών ζωνών

Το πολυζωνικό κτήριο PEBBLE χωρίστηκε σε πέντε θερμικές ζώνες ανάλογα με τη μορφολογία του. Η ονοματολογία των ζωνών αυτών είναι η εξής :

- Υπόγειο (Εμβαδόν 73,4 m² - Κανένα γραφείο)
- Ισόγειο Συμμετρικό (Εμβαδόν 71,76 m² - Τρία γραφεία)
- Ισόγειο Μη Συμμετρικό (Εμβαδόν 121,1 m² - Δύο γραφεία)
- 1^{ος} Συμμετρικό (Εμβαδόν 71,76 m² - Τρία γραφεία)
- 1^{ος} Μη Συμμετρικό (Εμβαδόν 120,5 m² - Δύο γραφεία)

Για τον λόγο του ότι ο χώρος του υπογείου χρησιμεύει για αποθηκευτικούς λόγους, η θερμική ζώνη ΥΠΟΓΕΙΟ δεν λαμβάνεται υπόψη κατά την προσομοίωση του μοντέλου, ούτως ώστε να μην συνεισφέρει στον υπολογισμό των συνολικών απαιτούμενων φορτίων θέρμανσης του κτηρίου.

Τα γραφεία τα οποία βρίσκονται υπό μελέτη αναφέρονται στα εξής φυσικά πρόσωπα :

- Γραφείο κυρίας Δασκαλάκη - θερμική ζώνη 1^{ος} Συμμετρικό
- Γραφείο κυρίου Καπετανάκη - θερμική ζώνη 1^{ος} Μη Συμμετρικό
- Γραφείο κυρίου Κοκοτσάκη - θερμική ζώνη Ισόγειο Συμμετρικό
- Γραφείο κυρίου Πατεράκη - θερμική ζώνη Ισόγειο Συμμετρικό

4.2.2 Παράμετροι προσομοίωσης

Στο πρόγραμμα TRNuid επεξεργαστήκαμε τα δεδομένα του κτηρίου και τα εφαρμόσαμε στις ανάλογες καρτέλες. Έτσι, ακολουθούν αναλυτικά οι παράμετροι που περιγράφουν τις θερμικές ζώνες :

- Με τη βοήθεια του διαχειριστή στρώσεων υλικών των τοίχων ορίσαμε τα υλικά που περιγράφουν τους τοίχους :

ΥΛΙΚΟ	ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ ($\text{kJ/h}\cdot\text{m}\cdot\text{K}$)	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (kg/m^3)	ΘΕΡΜΟΧΩΡΗΤΙΚΟΤ ΗΤΑ($\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$)
Μαλακό Σκυρόδεμα	1,512	1200	1,008
Πλινθοδομή	1,764	1300	0,792
Γυψοσανίδα	0,576	950	1,008
Πετροβάμβακας	0,144	25	1,224
Εξηλασμένη Πολυστερίνη	0,122	25	1,224
Σκυρόδεμα	5,04	2100	0,828
Μάρμαρο	7,2	2500	0,792
Επένδυση	3,06	1900	1,085

- Στη συνέχεια, στον διαχειριστή τοίχων ορίσαμε τις εξής επιφάνειες :

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΟΙΧΟΥ	ΥΛΙΚΑ	U - VALUE ($\text{W} / \text{m}^2\cdot\text{K}$)
Παρακείμενο Ταβάνι - Εξωτερικό Δάπεδο - Δάπεδο Ισογείου	0.2 m Σκυρόδεμα, 0,03 m Μάρμαρο	3,05
Παρακείμενος Τοίχος	0,02 m Επένδυση, 0.2 m Σκυρόδεμα, 0,02 m Επένδυση	2,778
Εξωτερική Οροφή	0,05 m Μαλακό Σκυρόδεμα, 0,05 m Εξηλασμένη Πολυστερίνη, 0,35 m Σκυρόδεμα	0,496
Εξωτερικός Τοίχος	0.2 m Σκυρόδεμα, 0,05 m Εξηλασμένη Πολυστερίνη, 0,05 m Πλινθοδομή, 0,02 m Επένδυση	0,523
Παράθυρα	0,003 m διαφανές γυαλί, 0,013 m κενό αέρος, 0,003 m διαφανές γυαλί	2,89



Εικόνα 4.1 : Σύστημα φωτισμού

- Με τον διαχειριστή χρονοδιαγράμματος ορίσαμε τον συνολικό χρόνο προσομοίωσης να είναι Δευτέρα έως Παρασκευή (παράμετρος WORKDAYS) εκτός τα Σαββατοκύριακα (παράμετρος WEEKENDS). Κατά τη διάρκεια των εργάσιμων ημερών (WORKDAYS) οι εργαζόμενοι δουλεύουν από τις 08:00 έως τις 14:00 και για την ίδια χρονική περίοδο λειτουργούν και οι προσωπικοί τους υπολογιστές. Το παραπάνω χρονοδιάγραμμα ορίστηκε ως μεταβλητή USE. Θεωρείται ότι για τις υπόλοιπες ώρες οι υπολογιστές είναι κλειστοί και οι εργαζόμενοι δεν είναι στα γραφεία τους. Όλα τα γραφεία έχουν έναν εργαζόμενο να εργάζεται ελαφρά χρησιμοποιώντας ένα προσωπικό υπολογιστή. Η κανονική κατανάλωση ισχύος των προσωπικών υπολογιστών με ένα PC-Monitor εκτιμήθηκε στα 230 W, ενώ κάθε πρόσωπο που εργάζεται σε ένα γραφείο καθισμένος δακτυλογραφώντας παράγει 150 W θερμότητας, σύμφωνα με τον πίνακα ISO 7730. Εκτός από τον προσωπικό υπολογιστή, ορίζονται ορισμένα τεχνητά φώτα που βρίσκονται σε κάθε γραφείο. Για τη λειτουργία φωτισμού χρησιμοποιούνται λαμπτήρες φθορισμού. Κάθε γραφείο έχει είτε 4 είτε 8 λαμπτήρες με φωτισμό ισχύος 36 Watt ανά λαμπτήρα, επομένως η συνολική απαίτηση ενέργειας για το φωτισμό κάθε γραφείου κυμαίνεται από 144 έως και 288 Watt. Καθότι όμως σε κάθε θερμική ζώνη βρίσκονται και άλλοι χώροι πέραν των γραφείων οι οποίοι φωτίζονται και με άλλους τρόπους, όπως μικρότεροι σωλήνες φθορισμού, γίνεται η παραδοχή ότι σε όλους τους χώρους υπάρχει φωτισμός ισχύος $19 \text{ Watt} / \text{m}^2$ εκ των οποίων το 40% μεταδίδεται στο χώρο μέσω των σωλήνων φθορισμού. Το σύστημα φωτισμού ελέγχεται σύμφωνα με τη φωτεινότητα της ημέρας για το επίπεδο εργασίας και σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα εργασίας.
- Το κτήριο αναμένεται να έχει κάποιες ρωγμές που θα επιτρέπουν μέρος του αέρα να εισέλθουν στο κτήριο. Η διείσδυση του αέρα λοιπόν εκτιμάται σε $0,5 \text{ l/h}$ για το συγκεκριμένο κτήριο. Εκτός από αυτό, ο καθαρός αέρας είναι αναγκαίος για τα άτομα που εργάζονται μέσα στα γραφεία και, για το λόγο αυτό, ένας ρυθμός εξαερισμού 8 l/h τίθεται στις παραμέτρους σχεδιασμού.



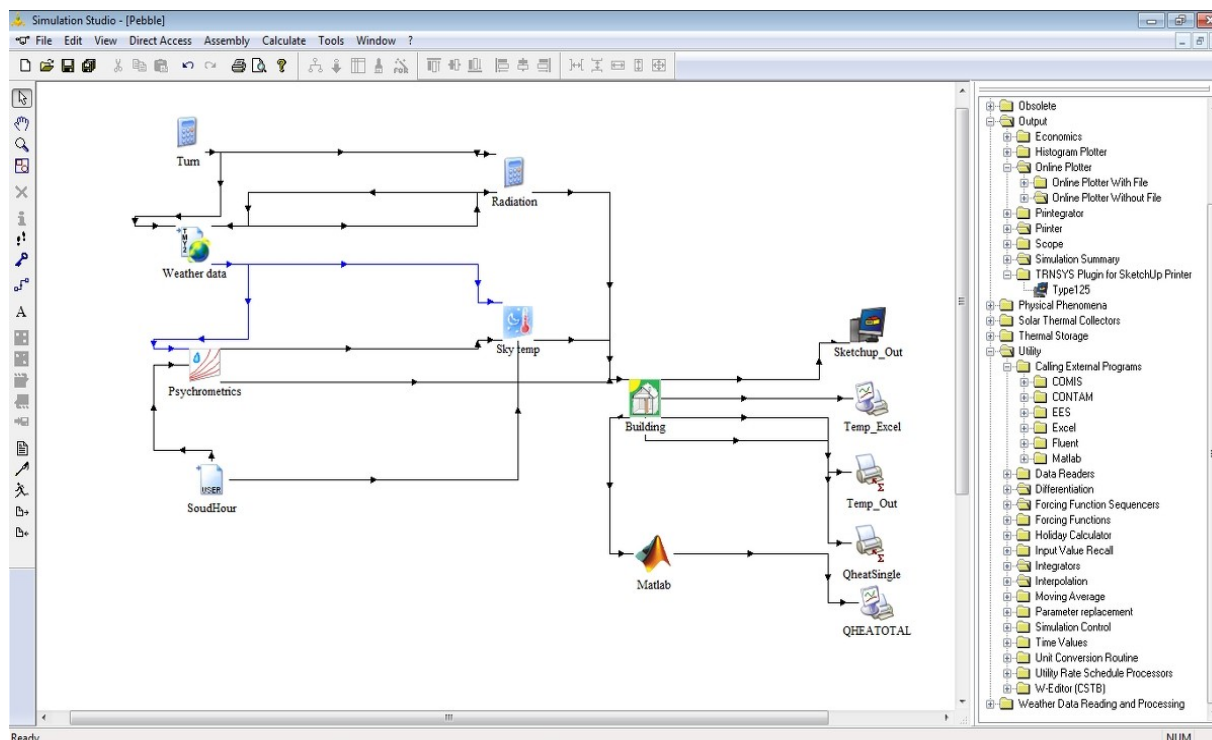
Εικόνα 4.2 : Σύστημα θέρμανσης

- Όσον αφορά το σύστημα θέρμανσης του κτηρίου, χρησιμοποιούνται λέβητες πετρελαίου οι οποίοι ενεργοποιούνται όταν η θερμοκρασία της ζώνης είναι κάτω των 22°C κατά τις ώρες λειτουργίας του γραφείου ($S = 22 * USE^{\circ}\text{C}$). Η μεταβλητή USE αναφέρεται στον ορισμό χρονοδιαγράμματος κατά το οποίο τα γραφεία λειτουργούν τις εργάσιμες ημέρες και τις ώρες 08:00π.μ. έως 14:00μ.μ. Η αποτελεσματικότητα του λέβητα εκτιμάται σε 0.8 και η λειτουργία του συστήματος είναι παρόμοια για όλες τις ζώνες. Η αποδοδόμενη ισχύς ορίστηκε ως άπειρη προκειμένου να καλύπτονται συνεχώς οι απαιτήσεις της κάθε ζώνης.

Κατά τις προσομοιώσεις έγινε η παραδοχή ότι δεν υπάρχει συναλλαγή αέρα μεταξύ των θερμικών ζωνών, ο ανελκυστήρας του κτηρίου αγνοήθηκε και οι διάδρομοι θεωρήθηκαν ως ενιαία ζώνη με τα υπόλοιπα γραφεία, με εξωτερικούς και εσωτερικούς τοίχους. Ακόμη, κατά την περίοδο των Χριστουγέννων και συγκεκριμένα στις ημερομηνίες από 25/12 έως 27/12, τα οφέλη των θερμικών ζωνών από την φυσική παρουσία των ατόμων και τη λειτουργία των προσωπικών τους υπολογιστών προσμετρήθηκαν κανονικά, ενώ φυσιολογικά τα άτομα απουσίαζαν λόγω διακοπών. Η παραδοχή αυτή διευκολύνει την προσομοίωση ως γενόμενη σε ενιαία χρονική περίοδο και βοηθάει την βέλτιστη οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων της.

4.3 Περιγραφή υπολογισμών προσομοίωσης και εκτέλεση

Το πρόγραμμα προσομοίωσης όπως παρουσιάζεται στο TRNSYS Simulation Studio έχει την εξής μορφή :



Εικόνα 4.3 : Κύριο πρόγραμμα προσομοίωσης στο Simulation Studio

Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα εισάγονται τα μετεωρολογικά δεδομένα για την περιοχή της Σούδας Χανίων μέσω του αρχείου soudhour.dat και διαβάζονται από το μοντέλο 9 (ονομασία SoudHour στο σχήμα). Το αρχείο τροποποιήθηκε κατάλληλα ούτως ώστε να περιέχει δεδομένα για τους μήνες Δεκεμβρίου και Ιανουαρίου ανά ωριαίο βήμα, καθώς η περίοδος μελέτης αντιστοιχεί στις ημερομηνίες από 16/12/2010 έως 11/01/2011 (τα δεδομένα του αρχείου δίδονται στο CD της εργασίας όπως χρησιμοποιήθηκαν και ανακτήθηκαν από το Meteoporm V.6). Από εκεί, λαμβάνονται οι τιμές της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας οριζοντίου επιπέδου για την συγκεκριμένη χρονική περίοδο στην περιοχή της Σούδας στα Χανιά. Οι τιμές της θερμοκρασίας και της υγρασίας εισάγονται στο μοντέλο 33, "Psychrometrics", ενώ η άμεση και η διάχυτη ακτινοβολία οριζοντίου επιπέδου δίνονται ως είσοδοι στο μοντέλο 69, "Sky Temp". Από το μοντέλο 33 υπολογίζονται η θερμοκρασία ξηρού βολβού και η θερμοκρασία σημείου δρόσου, οι οποίες τιμές εισάγονται έπειτα στο μοντέλο "Sky Temp" προκειμένου να υπολογιστεί η αντιπροσωπευτική θερμοκρασία ουρανού. Επίσης, από το μοντέλο επεξεργαστή δεδομένων καιρού, μοντέλο 12, εισάγονται η άμεση ακτινοβολία στο κάθετο επίπεδο και η γωνία πρόσπτωσης για κάθε προσανατολισμό, η ανακλαστικότητα του εδάφους καθώς και οι γωνίες ζενίθ και αζιμούθιου ηλίου στην εξίσωση "Radiation", και από εκεί εισάγονται ως είσοδοι στο πολυζωνικό κτήριο.

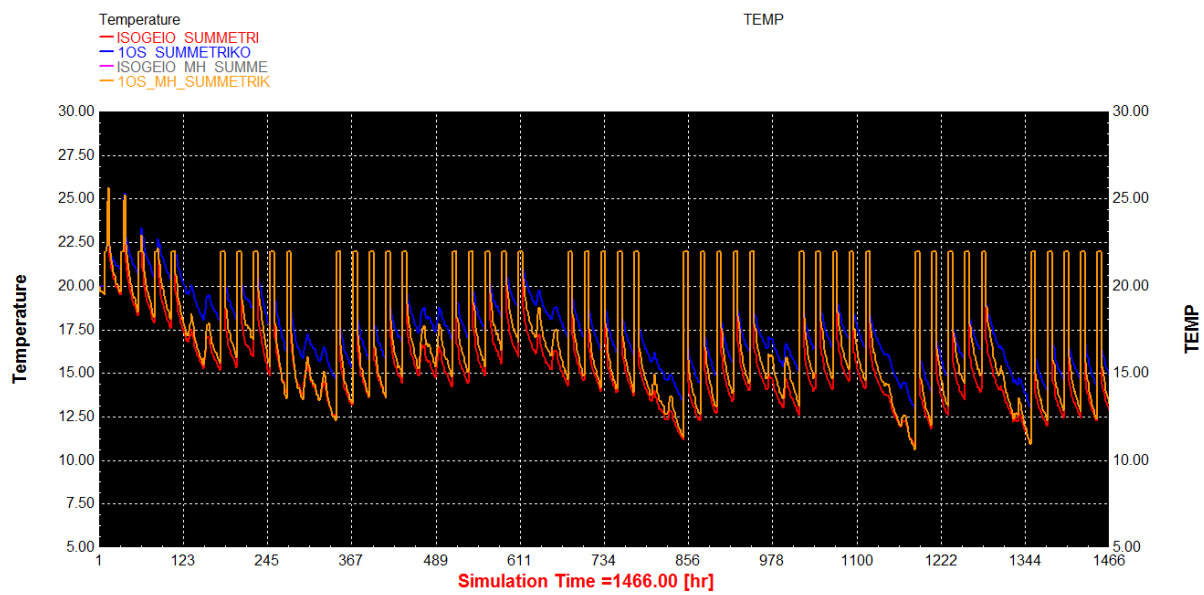
Οι γωνίες αζιμουθίου των εξωτερικών τοίχων του κτηρίου, στους οποίους επιθυμούμε να υπολογιστεί η ακτινοβολία, λογαριάζονται στην εξίσωση "Turn" και αναπαρίστανται με τις μεταβλητές AA_N, AA_S, AA_E, AA_W για τον βόρειο, νότιο, ανατολικό και δυτικό τοίχο αντίστοιχα. Αντίστοιχα, ανάλογα με τον προσανατολισμό του τοίχου, ορίστηκαν οι μεταβλητές AA_W_90_90, AA_N_135_90, AA_N_180_90, AA_E_225_90, AA_E_270_90 και AA_S_315_90. Η μεταβλητή TURN παριστάνει τη γωνία κατά την οποία μπορεί να στραφεί το κτήριο και παραμένει 0 κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης.

Από το μοντέλο του κτηρίου εξάγονται τελικά :

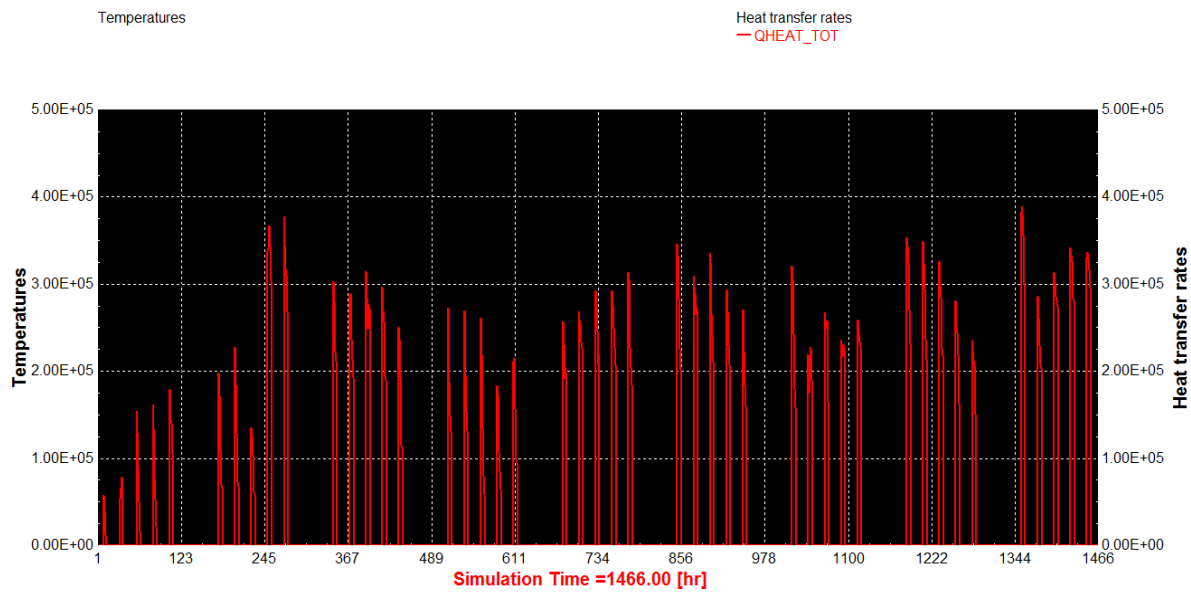
- Οι θερμοκρασίες αέρα για κάθε ζώνη ξεχωριστά σε αρχείο προέκτασης .out, από το οποίο ο χρήστης μπορεί να δει τις ελάχιστες και μέγιστες στιγμιαίες και ολοκληρωμένες τιμές (Temperatures.out)
- Οι θερμοκρασίες αέρα για κάθε ζώνη ξεχωριστά σε αρχείο προέκτασης .xls, ανοίγοντας αυτόματα την εφαρμογή Microsoft Excel για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων (Building.xls)
- Τα απαιτούμενα φορτία θέρμανσης για κάθε ζώνη ξεχωριστά σε αρχείο προέκτασης .out, από το οποίο ο χρήστης μπορεί να δει τις ελάχιστες και μέγιστες στιγμιαίες και ολοκληρωμένες τιμές καθώς και το άθροισμα των φορτίων για κάθε ζώνη ξεχωριστά (QHeatSingle.out)
- Τα συνολικά απαιτούμενα φορτία θέρμανσης των θερμικών ζωνών σε αρχείο προέκτασης .xls, ανοίγοντας αυτόματα την εφαρμογή Microsoft Excel για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων (SUM.xls)
- Το αρχείο .eso το οποίο χρησιμοποιείται από το πρόγραμμα Sketchup για την οπτικοποίηση των θερμικών αποτελεσμάτων (Sketchup.eso)

Στο μοντέλο προστίθενται δύο μοντέλα 65 (online-plotters) τα οποία δημιουργούν διαγράμματα των εξαγόμενων μεταβλητών από τις ωριαίες τιμές τους. Ο online-plotter με την ονομασία Temp_Excel απεικονίζει στον αριστερό άξονα τις θερμοκρασίες της κάθε ζώνης υπό μελέτη ("Ισόγειο Συμμετρικό", "Ισόγειο Μη Συμμετρικό", "1ος Συμμετρικό"). Η ζώνη "1ος Μη Συμμετρικό" έχει μαρκαριστεί ως γκρι από το πάνω αριστερά μέρος του παραθύρου γραφικών αποτελεσμάτων, προκειμένου να μην εμφανίζονται τα θερμικά της αποτελέσματα καθώς δεν αντιστοιχεί κανένα από τα γραφεία υπό μελέτη στη συγκεκριμένη ζώνη. Στη συνέχεια, ο online-plotter με την ονομασία QHeatTotal απεικονίζει στον αριστερό άξονα το συνολικό απαιτούμενο φορτίο θέρμανσης για όλες τις ζώνες. Ο συνολικός χρόνος προσομοίωσης ορίζεται στις 1466 ώρες, οι οποίες αντιστοιχούν στις συνολικές ώρες των μηνών Δεκεμβρίου και Ιανουαρίου (το σύνολο των ωρών είναι κανονικά 1488 όμως το αρχείο soudhour.dat παρείχε τιμές από το μεσημέρι της 1ης μέρας του Δεκεμβρίου έως το πρωί της 31ης του Ιανουαρίου).

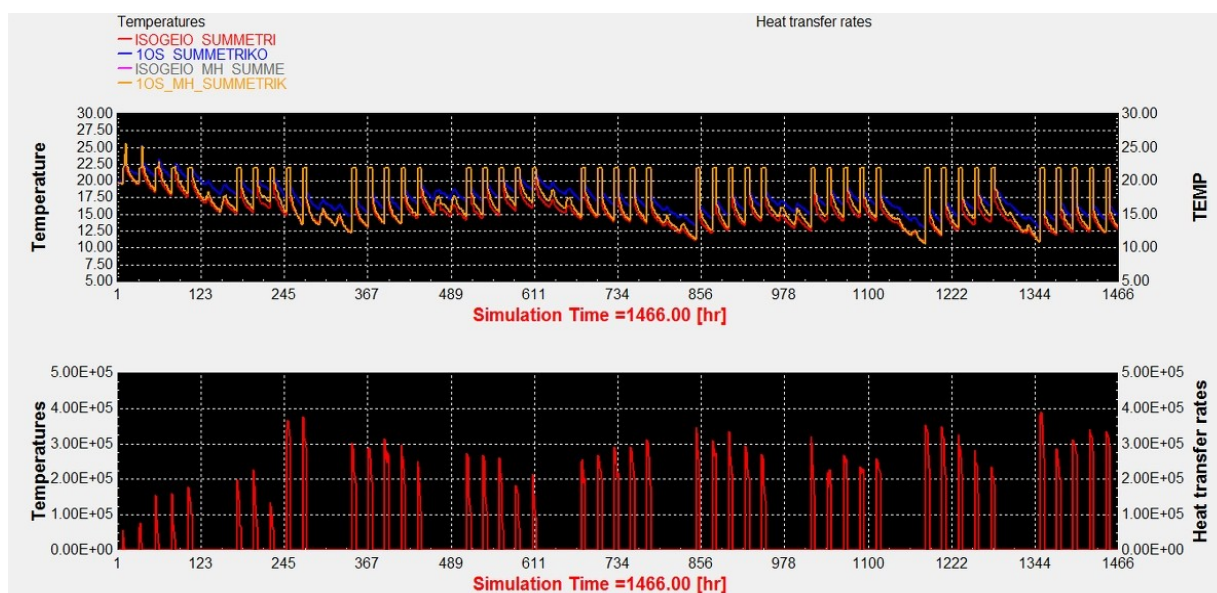
Στο πρόγραμμα προσομοίωσης ορίστηκε επίσης μια παράμετρος κατά την οποία ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να παρακολουθεί ταυτόχρονα και τα δύο online plots. Έτσι, στο πάνω μέρος εμφανίζεται το διάγραμμα των θερμοκρασιών αέρα κάθε ζώνης T_{air} και στο κάτω μέρος εμφανίζεται το διάγραμμα του συνολικού απαιτούμενου φορτίου θέρμανσης Q_{heat} (double online plot). Και οι δύο γραφικές παραστάσεις είναι συναρτήσεις των μηνών Δεκεμβρίου και Ιανουαρίου, με συνολικό χρόνο προσομοίωσης 1466 ώρες.



Εικόνα 4.4 : Γραφική απεικόνιση θερμοκρασίας αέρα T_{air} των θερμικών ζωνών



Εικόνα 4.5 : Γραφική απεικόνιση απαιτούμενων φορτίων θέρμανσης αέρα Q_{heat} των θερμικών ζωνών



Εικόνα 4.6 : Double online plotter

4.4 Σύγκριση θερμικών αποτελεσμάτων με το πρόγραμμα MATLAB

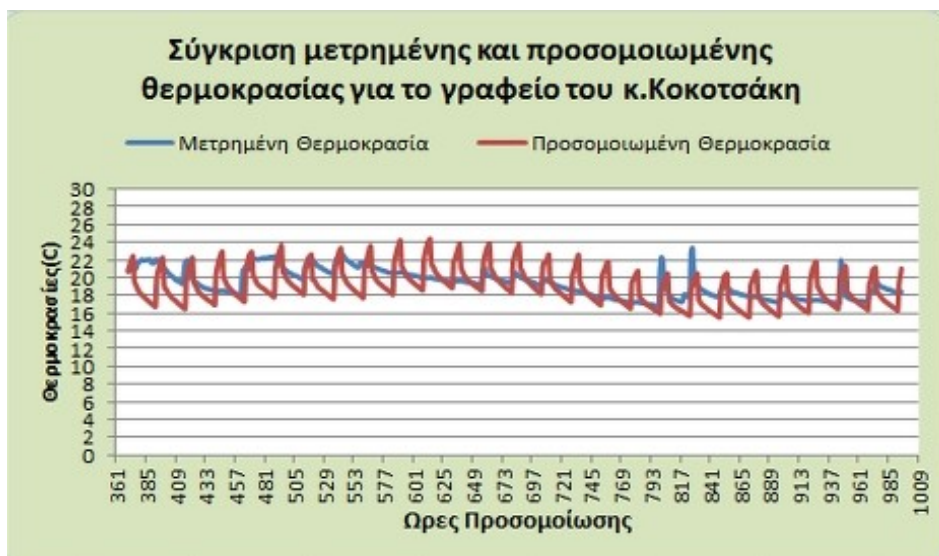
4.4.1 Σύγκριση επιλεγμένου θεωρητικού μοντέλου με το πραγματικό

Προκειμένου να εξεταστεί η αξιοπιστία του μοντέλου του κτηρίου θεωρήθηκε φρόνιμο να παρθούν μετρήσεις θερμοκρασιών αέρα ορισμένων αιθουσών του κτηρίου PEBBLE σε πραγματικό χρόνο και να γίνουν συγκρίσεις με τις τιμές οι οποίες προέκυψαν μετά την προσομοίωση στο Simulation Studio. Όμως, παρόλο που η εξεταζόμενη περίοδος είναι η ίδια, οι τιμές παρουσιάζουν ελαφρές διαφορές κατά τη διάρκεια των ημερών, για το λόγο ότι δεν εφαρμόζονταν το ίδιο χρονοδιάγραμμα λειτουργίας των γραφείων στην πραγματικότητα. Έτσι, προκειμένου να επιτευχθεί η σύγκριση θεωρήσαμε πως το χρονοδιάγραμμα θέρμανσης για το κτήριο ισχύει επί καθημερινής βάσεως με κατώφλι θέρμανσης την τιμή των 15 °C, ούτως ώστε να αποφευχθούν οι αιχμές που παρουσιάζονται κατά την εμφάνιση των θερμικών αποτελεσμάτων. Για να αντισταθμιστεί αυτή η λειτουργία, θεωρήθηκε πως τα συνολικά εσωτερικά οφέλη θερμότητας ανέρχονται σε ποσοστό 55 W/m². Διατηρώντας τις υπόλοιπες παραμέτρους σταθερές προκύπτουν τα παρακάτω γραφήματα για την περίοδο 16 Δεκεμβρίου έως 11 Ιανουαρίου :

- Για την ζώνη "Ισόγειο Συμμετρικό" συναντούμε δύο γραφεία προς μελέτη :
 - Το γραφείο του κ.Πατεράκη για το οποίο παίρνουμε τα εξής αποτελέσματα:



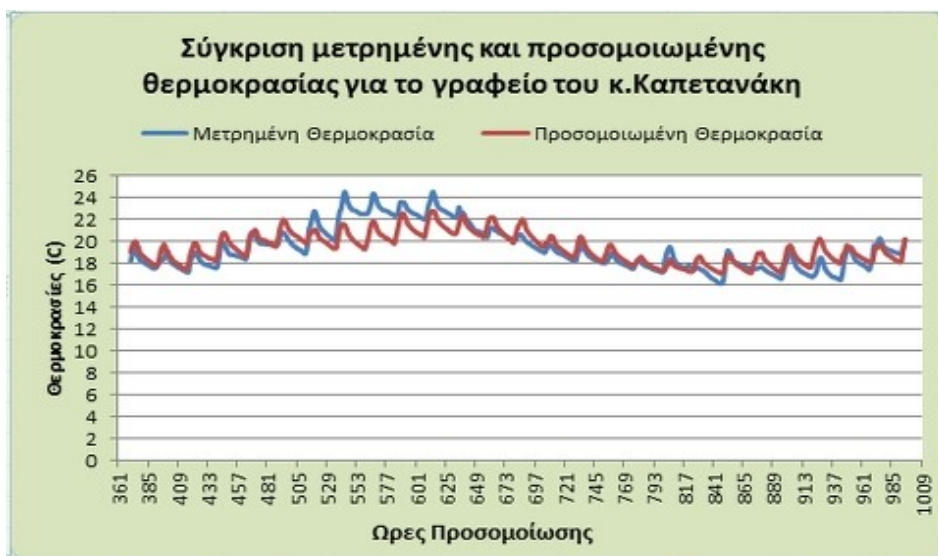
- Το γραφείο του κ.Κοκοτσάκη για το οποίο παίρνουμε τα εξής αποτελέσματα:



- Για την ζώνη "1ος Συμμετρικό" συναντούμε ένα γραφείο προς μελέτη, της κυρίας Δασκαλάκη, για το οποίο παίρνουμε τα αποτελέσματα :



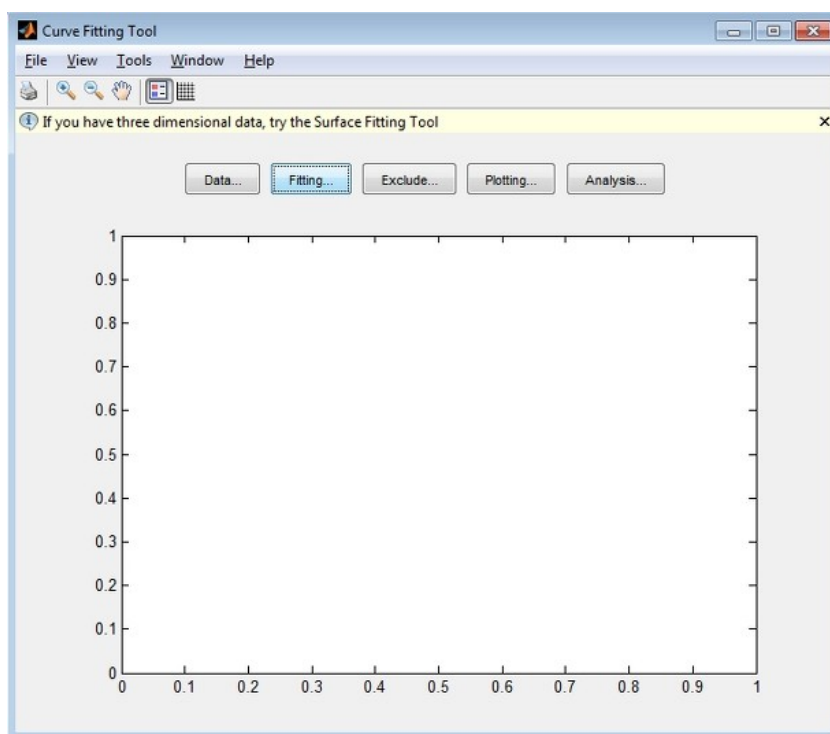
- Για την ζώνη "1ος Μη Συμμετρικό" συναντούμε ένα γραφείο προς μελέτη, του κυρίου Καπετανάκη, για το οποίο παίρνουμε τα αποτελέσματα :



Σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα, παρατηρείται αρκετά μεγάλη σύγκλιση θερμοκρασιών αέρα, εκτός από ελάχιστα χρονικά διαστήματα κατά τα οποία οι θερμοκρασίες διαφέρουν αλλά ακολουθείται πανομοιότυπη κατανομή τιμών. Κατά την καταγραφή των θερμοκρασιών μέσω αισθητήρων είναι αναμενόμενες οι απότομες αλλαγές στη θερμοκρασία λόγω θέρμανσης του χώρου, όπως παρατηρείται λόγω χάρη στο γραφείο της κ.Δασκαλάκη κατά την ώρα 801. Γι'αυτό τον λόγο, επιλέχτηκε μια ενδεικτική περίοδος διάρκειας μιας εβδομάδας προκειμένου να εξεταστεί η σύγκλιση του μοντέλου με την πραγματικότητα με το εργαλείο Fitting Tool της MATLAB. Η περίοδος αυτή αναφέρεται στις ημερομηνίες 25 Δεκεμβρίου έως 02 Ιανουαρίου η οποία αφορά τις ώρες 601 - 792 και σύμφωνα με αυτήν θα εκτιμηθεί η αξιοπιστία του μοντέλου.

4.4.2 Εργαλείο MATLAB Curve fitting tool

Η προσαρμογή καμπύλης είναι η διαδικασία οικοδόμησης μιας μαθηματικής συνάρτησης ή καμπύλης η οποία ταιριάζει κατάλληλα σε μια σειρά δεδομένων. Με άλλα λόγια, πρόκειται για την προσαρμογή μιας ομάδας σημείων ενός διαγράμματος σε μια καμπύλη και την εύρεση της αντίστοιχης εξίσωσης. Η διαδικασία αυτή ενδέχεται να αφορά είτε παρεμβολή, όπου απαιτείται ακριβής προσαρμογή στα δεδομένα είτε εξομάλυνση, όπου κατασκευάζεται μια "ομαλή" συνάρτηση ώστε να ταιριάζει στα δεδομένα. Στο εργαλείο αυτό εισήχθησαν οι τιμές της θερμοκρασίας αέρα που μετρήθηκαν για την περίοδο 25 Δεκεμβρίου έως 02 Ιανουαρίου, καθώς και οι τιμές οι οποίες προέκυψαν από την προσομοίωση με τις παραδοχές για το μοντέλο του κτηρίου.



Εικόνα 4.7 : Εργαλείο Curve Fitting Tool

Κατά την εισαγωγή των δεδομένων, δημιουργήθηκαν τέσσερα ζευγάρια εισόδων στον χώρο εργασίας της MATLAB, καθένα από τα οποία αντιπροσώπευε τις τιμές για κάθε αίθουσα προς μελέτη. Επιλέγοντας την καρτέλα fitting, ο χρήστης επιλέγει το ζεύγος δεδομένων που επιθυμεί να εξετάσει και τον τύπο προσαρμογής. Η παρούσα μέθοδος προσαρμογής ονομάζεται Smoothing Spline με προκαθορισμένη παράμετρο $p = 0,99$. Κατά την εφαρμογή της προσαρμογής, ο χρήστης ανακτά δεδομένα για την ρίζα του μέσου τετραγωνικού σφάλματος (Root Mean Square Root - RMSE), για το R-square και το Προσαρμοσμένο R-square (R^2).

Ο όρος RMSE αναφέρεται σε ένα συχνά χρησιμοποιούμενο μέτρο μεταξύ των διαφορών των τιμών που προβλέπονται από ένα μοντέλο και τις αξίες που πράγματι παρατηρούνται. Σε ορισμένους κλάδους, ο RMSE χρησιμοποιείται για να συγκρίνει διαφορές μεταξύ δύο συνόλων που μπορεί να διαφέρουν, κανένα από τα οποία όμως να μην είναι αποδεκτό ως "πρότυπο". Ο RMSE είναι η τετραγωνική ρίζα της διακύμανσης και είναι γνωστό ως το τυπικό σφάλμα προσαρμογής ή το τυπικό σφάλμα της παλινδρόμησης. Είναι μια εκτίμηση της τυπικής απόκλισης του τυχαίου συστατικού στα δεδομένα, και ορίζεται ως $RMSE = (MSE)^{1/2}$, όπου

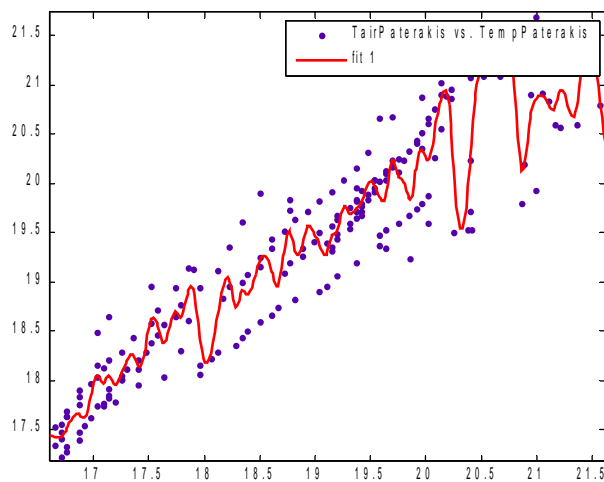
MSE είναι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα. Δεν υπάρχει απόλυτο κριτήριο για μια "καλή" τιμή του RMSE. Εξαρτάται μόνον από τις μονάδες στις οποίες η μεταβλητή μετριέται και για το βαθμό της ακρίβειας πρόβλεψης, όπως μετράται στις εν λόγω μονάδες, που επιδιώκεται σε μία συγκεκριμένη εφαρμογή. Επομένως, ένα μοντέλο με μια ρίζα μέσου τετραγωνικού σφάλματος της τάξης του 3,25 δεν είναι πραγματικά πολύ καλύτερο από ένα μοντέλο με RMSE της τάξης του 3,32, όμως είναι χρήσιμη η ποσοστιαία σύγκριση τους, δηλαδή εάν ένα μοντέλο έχει 30 % χαμηλότερο RMSE από το άλλο τότε αυτή είναι μια σημαντική παρατήρηση.

Ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 χρησιμοποιείται στο πλαίσιο των στατιστικών μοντέλων των οποίων ο κύριος σκοπός είναι η πρόβλεψη των μελλοντικών αποτελεσμάτων με βάση άλλες σχετικές πληροφορίες. Είναι στην ουσία η αναλογία της μεταβλητότητας σε ένα σύνολο δεδομένων, που εξηγείται από το στατιστικό μοντέλο και παρέχει ένα μέτρο του πόσο καλά μελλοντικά αποτελέσματα είναι πιθανόν να προβλεφθούν από το μοντέλο. Μία κατηγορία ορισμού του όρου αυτού περιλαμβάνει την γραμμική παλινδρόμηση. Σε αυτή την περίπτωση, εάν περιλαμβάνεται ένα τουλάχιστον σημείο τομής, τότε το R^2 είναι απλά το τετράγωνο του συντελεστή συσχέτισης του δείγματος μεταξύ των αποτελεσμάτων και της προβλεπόμενης τιμής τους. Έτσι, το R^2 μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή μεταξύ 0 και 1, με μία τιμή πιο κοντά στο 1 να υποδεικνύει ότι ένα μεγαλύτερο ποσοστό της διακύμανσης εξηγείται από το μοντέλο. Για παράδειγμα, ένα R^2 με τιμή 0.8234 σημαίνει ότι η προσαρμογή εξηγεί 82.34% της συνολικής διακύμανσης των δεδομένων σχετικά με το μέσο όρο.

Ο όρος προσαρμοσμένο R^2 (Adjusted R-square) σχετίζεται με τον αριθμό των μεταβλητών και των παρατηρήσεων. Σε περίπτωση προσθήκης μεταβλητών στο μοντέλο R^2 , ο όρος αυτός θα βελτιώνεται συνεχώς, ενώ λοιπόν ο Adjusted R-square προσπαθεί να το διορθώσει λαμβάνοντας υπόψη τη σχέση $(N-1)/(N-k-1)$, όπου N = αριθμός των παρατηρήσεων και k = αριθμός των μεταβλητών.

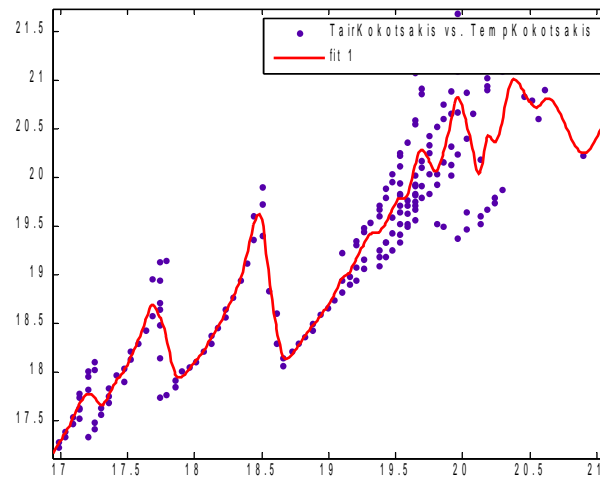
Εισάγοντας λοιπόν τα δεδομένα για κάθε ζεύγος δεδομένων προκύπτουν τα εξής :

➤ Γραφείο κ.Πατεράκη :



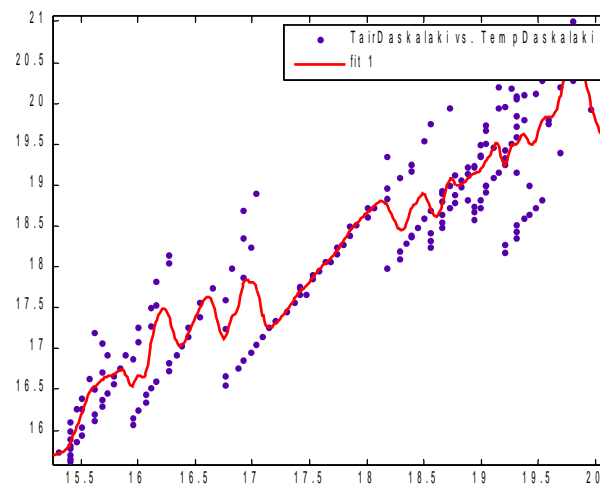
RMSE	0,435
R-SQUARE	0,951
ADJUSTED R-SQUARE	0,897

➤ Γραφείο κ.Κοκοτσάκη:



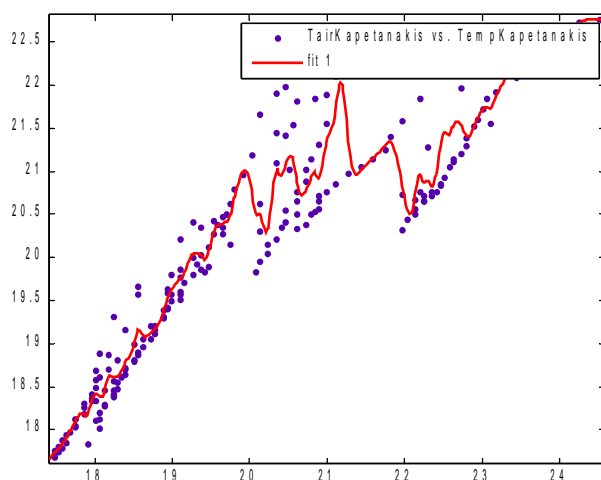
RMSE	0,417
R-SQUARE	0,932
ADJUSTED R-SQUARE	0,856

➤ Γραφείο κ.Δασκαλάκη :



RMSE	0,506
R-SQUARE	0,947
ADJUSTED R-SQUARE	0,877

➤ Γραφείο κ.Καπετανάκη:



RMSE	0,619
R-SQUARE	0,945
ADJUSTED R-SQUARE	0,884

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που αφορούν την κάθε αίθουσα ξεχωριστά, ο όρος RMSE κυμαίνεται σε χαμηλά ποσοστά τα οποία είναι παρόμοια σε όλες τις εφαρμογές και κυμαίνεται από 0,417°C για το γραφείο του κ.Κοκοτσάκη έως 0,619°C για το γραφείο του κ.Καπετανάκη. Αυτό είναι ένα καλό δείγμα τιμών το οποίο δείχνει την επικύρωση των αποτελεσμάτων για την περίοδο αυτή και πως η μέση διαφορά των μετρημένων από των προσομοιωμένων θερμοκρασιών κυμαίνεται περίπου σε 0,5°C.

Όσον αφορά τους όρους R-square, παρατηρείται μεγάλη σύγκλιση τιμών προς την μονάδα, γεγονός που υποδεικνύει την πολύ καλή περιγραφή της διακύμανσης από το μοντέλο. Οι τιμές κυμαίνονται από 0,932 για το γραφείο του κ.Κοκοτσάκη έως και 0,951 για το γραφείο του κ. Πατεράκη, δηλαδή η προσαρμογή εξηγεί ένα ποσοστό τουλάχιστον 93.2% έως και 95,1% των συνολικών διακυμάνσεων των δεδομένων για κάθε γραφείο. Αναφορικά με τους όρους Adjusted R-Square και σε σύγκριση με τους όρους R-Square παρατηρείται μια ποσοστιαία πτώση της τάξης του 0,65% κατά μέσο όρο, μια παρατήρηση αναμενόμενη καθώς ο όρος Adjusted R^2 είναι πάντοτε χαμηλότερος του απλού όρου R^2 . Αυτό συμβαίνει καθώς ο όρος αυτός ποινικοποιεί τις παραπάνω μεταβλητές που εισάγονται στην προσαρμογή και που παρουσιάζουν κάποιας κλίμακας απόκλιση.

Σε γενικές γραμμές το μοντέλο του κτηρίου παρουσιάζει μια αρκετά μεγάλη σύγκλιση με τις τιμές θερμοκρασίας που μετρήθηκαν για την συγκεκριμένη περίοδο. Έτσι, μπορούν να εξαχθούν με ασφάλεια τα αποτελέσματα τα οποία αφορούν όχι μόνο τις θερμοκρασίες αέρα για κάθε θερμική ζώνη αλλά και τα απαιτούμενα φορτία θέρμανσης της κάθε ζώνης που εξετάζονται στη συνέχεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - Αποτελέσματα με το πρόγραμμα MATLAB και συμπεράσματα

5.1 Γενικά

Έπειτα από τη διαδικασία κατά την οποία επαληθεύτηκε η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του μοντέλου του κτηρίου PEBBLE μέσα από το fitting tool της MATLAB, σε αυτό το κεφάλαιο εξάγονται με ασφάλεια τα δεδομένα τα οποία αφορούν τα απαιτούμενα φορτία θέρμανσης για κάθε ζώνη. Η περίοδος σύγκρισης που αναφέρθηκε στο μέρος 4.4 αφορούσε μονάχα τη δοκιμαστική περίοδο κατά την οποία εξετάστηκε το μοντέλο συγκριτικά με τις εξόδους θερμοκρασιών αέρα και, σε αυτό το κεφάλαιο, συνεχίζεται και ολοκληρώνεται η μελέτη για την περίοδο 16 Δεκεμβρίου έως 12 Ιανουαρίου. Ακολουθούν αναλυτικά τα φορτία θέρμανσης που αφορούν την κάθε μια θερμική ζώνη και εξάγονται συμπεράσματα πάνω στα αποτελέσματα της προσομοίωσης.

5.2 Γραφική απεικόνιση με το πρόγραμμα MATLAB

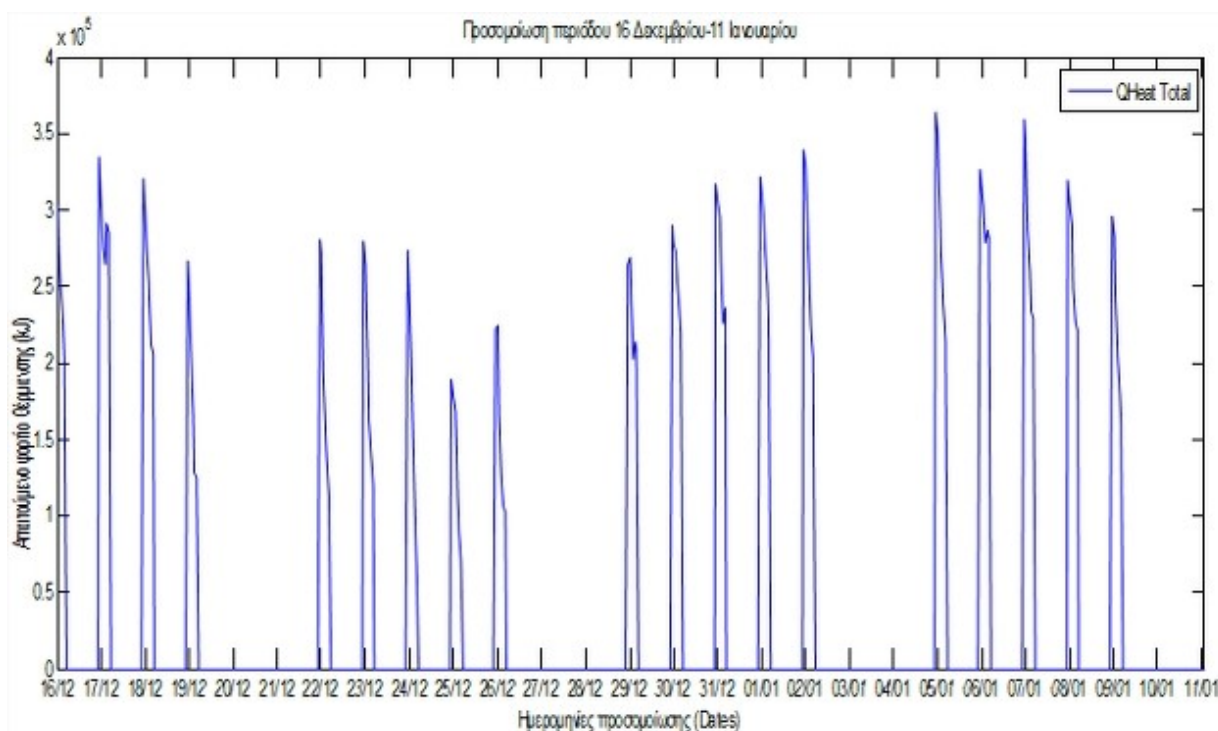
Στο πρόγραμμα του Simulation Studio, ο online plotter με την ονομασία QHeatTotal λαμβάνει το συνολικό απαιτούμενο φορτίο θέρμανσης ως είσοδο από το μοντέλο 155 με την ονομασία MATLAB, συγκριτικά με τα υπόλοιπα μοντέλα καταγραφής και απεικόνισης αποτελεσμάτων τα οποία λαμβάνουν ως εισόδους τους τις εξόδους από το μοντέλο του κτηρίου απευθείας. Σκοπός αυτής της διασύνδεσης είναι η παρουσίαση της επικοινωνίας των προγραμμάτων TRNSYS και MATLAB καθώς και η απεικόνιση των θερμικών αποτελεσμάτων μέσω του δεύτερου. Την στιγμή που ο χρήστης επιλέξει να τρέξει το πρόγραμμα προσομοίωσης, εμφανίζεται ένα αναδυόμενο παράθυρο του MATLAB Command Window, το οποίο δέχεται εντολές από το χρήστη που αφορούν το πρόγραμμα της MATLAB.

Κατά την έξοδο του χρήστη από τον διπλό Online plotter, εμφανίζονται αυτόματα οι γραφικές αναπαραστάσεις του απαιτούμενου φορτίου θέρμανσης σε συνάρτηση με τον χρόνο ως εξής :

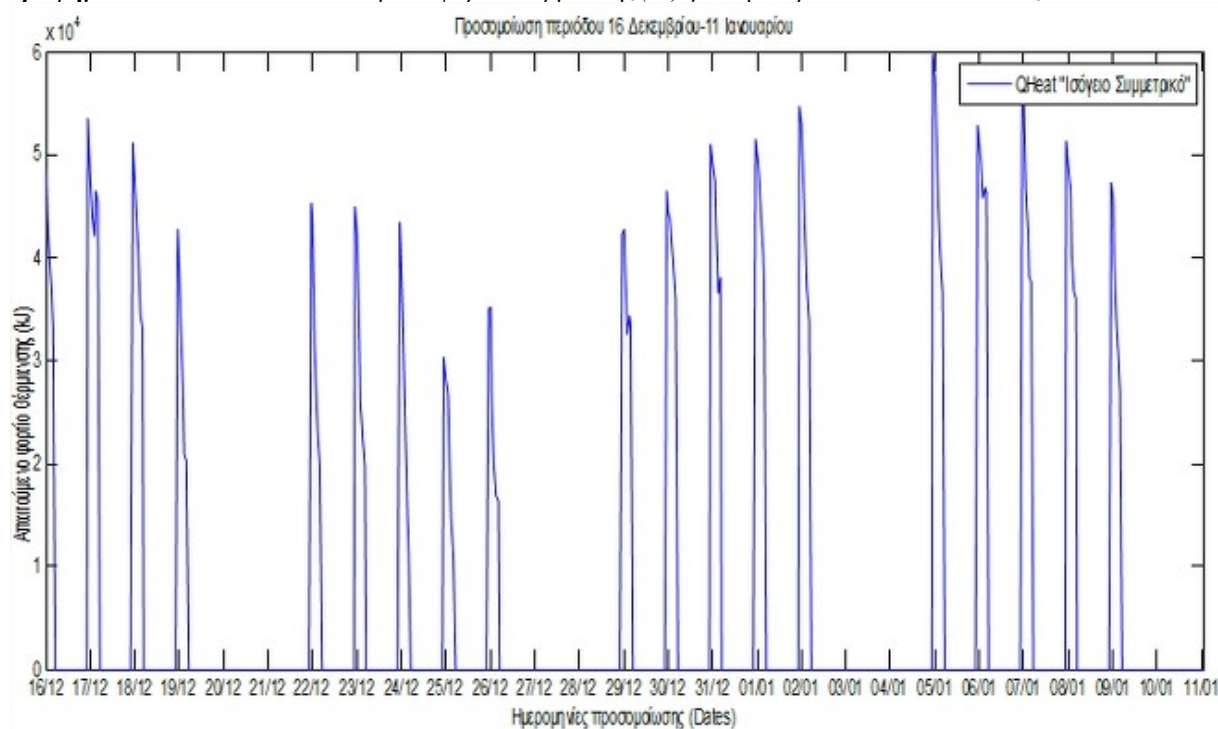
- Σχήμα 1 : Συνολικό απαιτούμενο φορτίο θέρμανσης των ζωνών για την περίοδο μελέτης 16/12/2010 έως 11/01/2011.
- Σχήματα 2 έως 5 : Απαιτούμενο φορτίο θέρμανσης για κάθε θερμική ζώνη ξεχωριστά για την περίοδο μελέτης 16/12/2010 έως 11/01/2011.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να αναφερθεί πως ο πηγαίος κώδικας του αρχείου της MATLAB (building.m) εμπεριέχει κομμάτι κώδικα σε σχόλια το οποίο προβάλλει το συνολικό απαιτούμενο φορτίο θέρμανσης των ζωνών για όλο το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης, δηλαδή για τους μήνες Δεκεμβρίου και Ιανουαρίου (01/12-31/01). Αυτό το κομμάτι κρίνεται χρήσιμο για μελλοντική αναφορά στον συγκεκριμένο κώδικα, σε περίπτωση που ο χρήστης επιθυμεί να προσομοιώσει μεγαλύτερες ενιαίες χρονικές περιόδους ανακτώντας αντίστοιχα αποτελέσματα, π.χ. για συνεχόμενους μήνες ή προσομοίωση για ένα έτος. Επίσης, περιέχει κομμάτι κώδικα σε σχόλια το οποίο αφορά τα φορτία του δείγματος χρονικής περιόδου στην οποία συγκρίναμε τα αποτελέσματα θερμοκρασίας αέρα του μοντέλου προσομοίωσης με τις μετρημένες για τις ζώνες θερμοκρασίες στο εργαλείο Curve Fitting Tool της MATLAB. Ο κώδικας που πληροί τις παραπάνω περιγραφές βρίσκεται στο CD της εργασίας.

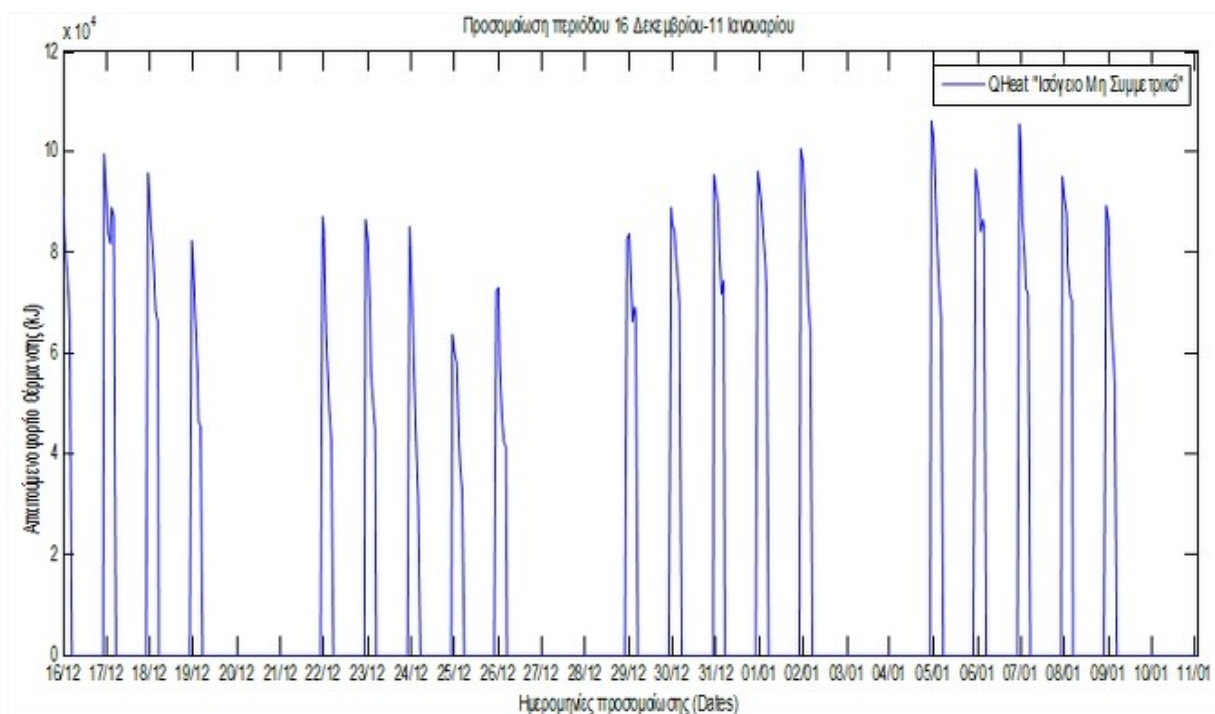
Ακολουθούν τα γραφήματα τα οποία απεικονίζουν το απαιτούμενο φορτίο θέρμανσης για κάθε ζώνη ξεχωριστά σχετικά με την περίοδο 16/12/2010 - 11/01/2011. Οι απεικονίσεις ξεκινούν την ώρα 371, η οποία αντιστοιχεί στις 10:00π.μ. της ημερομηνίας 16/12 και τελειώνουν την ώρα 996, η οποία αντιστοιχεί στις 12:00μ.μ της ημερομηνίας 11/01, προκειμένου να υπάρχει πλήρης ταύτιση με τα μετρημένα δεδομένα των θερμικών ζωνών.



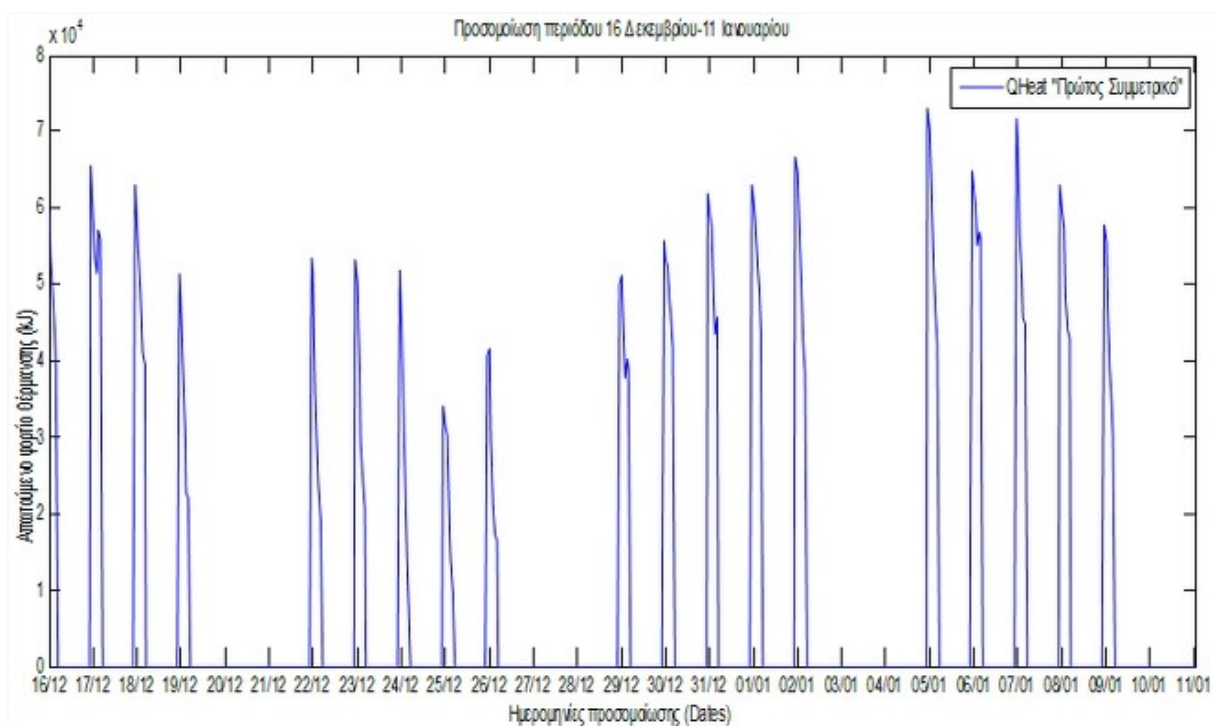
Γράφημα 5.1 : Συνολικό απαιτούμενο φορτίο θέρμανσης(kJ) για την περίοδο 16/12/2010 έως 11/01/2011



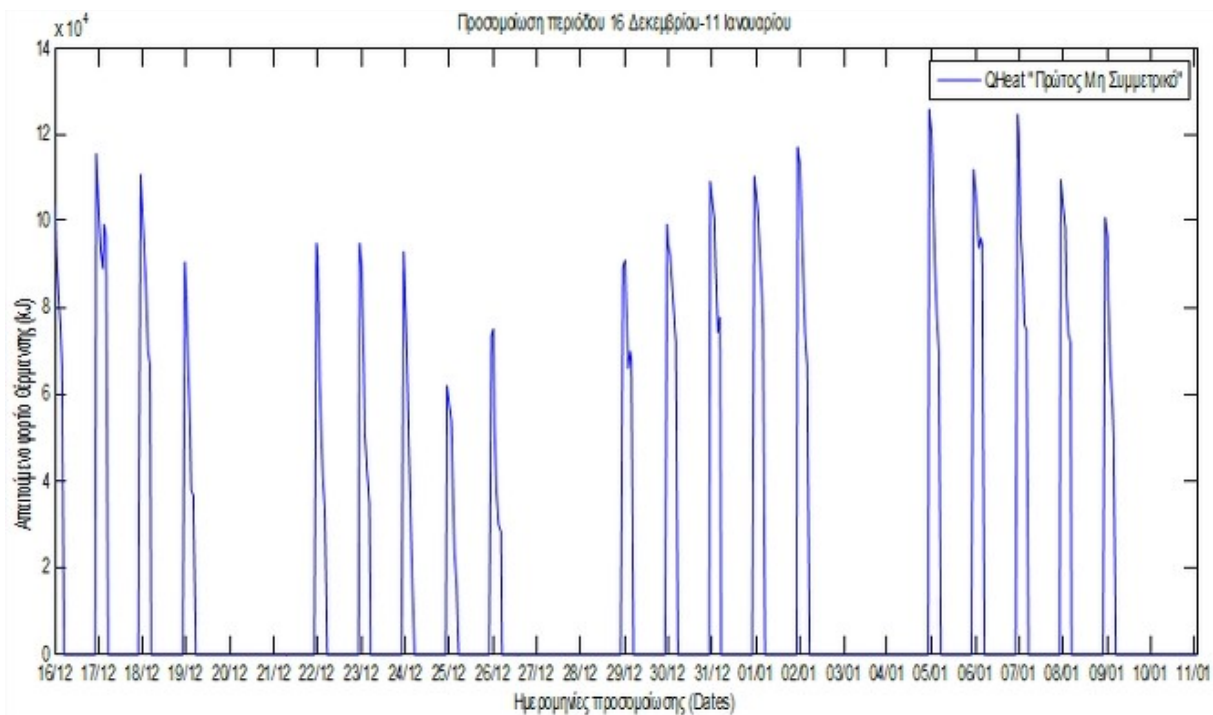
Γράφημα 5.2 : Απαιτούμενο φορτίο θέρμανσης (kJ) ζώνης "Ισόγειο Συμμετρικό" για την περίοδο 16/12/2010 έως 11/01/2011



Γράφημα 5.3 : Απαιτούμενο φορτίο θέρμανσης ζώνης (kJ) "Ισόγειο Μη Συμμετρικό" για την περίοδο 16/12/2010 έως 11/01/2011



Γράφημα 5.4 : Απαιτούμενο φορτίο θέρμανσης ζώνης (kJ) "Πρώτος Συμμετρικό" για την περίοδο 16/12/2010 έως 11/01/2011



Γράφημα 5.5 : Απαιτούμενο φορτίο θέρμανσης ζώνης (kJ) "Πρώτος Μη Συμμετρικό" για την περίοδο 16/12/2010 έως 11/01/2011

Τα αποτελέσματα των φορτίων θέρμανσης αφορούν την κάθε ζώνη του κτηρίου και υπολογίζονται με χρονικό βήμα 1 ώρα. Από αυτά τα αποτελέσματα υπολογίζονται οι ημερήσιες τιμές της απαιτούμενης θέρμανσης, οι οποίες αναφέρονται στις ώρες λειτουργίας των γραφείων. Ακολουθεί ο συγκεντρωτικός πίνακας παρουσίασης των απαιτούμενων φορτίων, στον οποίο έχει υπολογιστεί και το συνολικό απαιτούμενο φορτίο για κάθε ζώνη, καθώς και το συνολικό απαιτούμενο φορτίο για τη θέρμανση ολόκληρου του κτηρίου.

ΦΟΡΤΙΑ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ					
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ				
	ΙΣΟΓΕΙΟ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΟ (MJ)	1 ^{ΟΣ} ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΟ (MJ)	ΙΣΟΓΕΙΟ ΜΗ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΟ (MJ)	1 ^{ΟΣ} ΜΗ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΟ (MJ)	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ (MJ)
16/12	153,217	184,525	298,318	316,715	952,77
17/12	279,764	342,724	533,151	597,924	1753,56
18/12	250,454	303,572	482,098	527,306	1563,43
19/12	184,425	214,852	376,500	371,560	1147,33
20/12	0	0	0	0	0
21/12	0	0	0	0	0
22/12	189,413	210,933	381,496	372,202	1154,04
23/12	188,283	216,199	387,410	378,977	1170,87
24/12	161,819	181,534	345,269	320,045	1008,66
25/12	128,419	138,394	295,481	245,215	807,51
26/12	149,650	166,948	334,323	297,563	948,48
27/12	0	0	0	0	0
28/12	0	0	0	0	0
29/12	223,980	264,233	447,092	464,939	1400,24
30/12	250,638	297,390	483,553	523,953	1555,53
31/12	265,209	319,770	505,978	555,744	1646,70
01/01	271,322	327,747	511,765	568,443	1679,27
02/01	266,248	316,172	496,930	551,782	1631,13
03/01	0	0	0	0	0
04/01	0	0	0	0	0
05/01	291,914	354,538	535,858	606,549	1788,86
06/01	278,714	339,051	518,663	579,255	1715,68
07/01	288,347	346,126	521,777	587,858	1744,10
08/01	259,380	316,004	494,047	540,956	1610,38
09/01	223,358	263,021	428,784	452,101	1367,26
10/01	0	0	0	0	0
11/01	0	0	0	0	0
ΣΥΝΟΛΙΚΑ (GJ) :	4,304	5,103	8,378	8,859	26,64

5.3 Αποτελέσματα υπολογισμών και συμπεράσματα

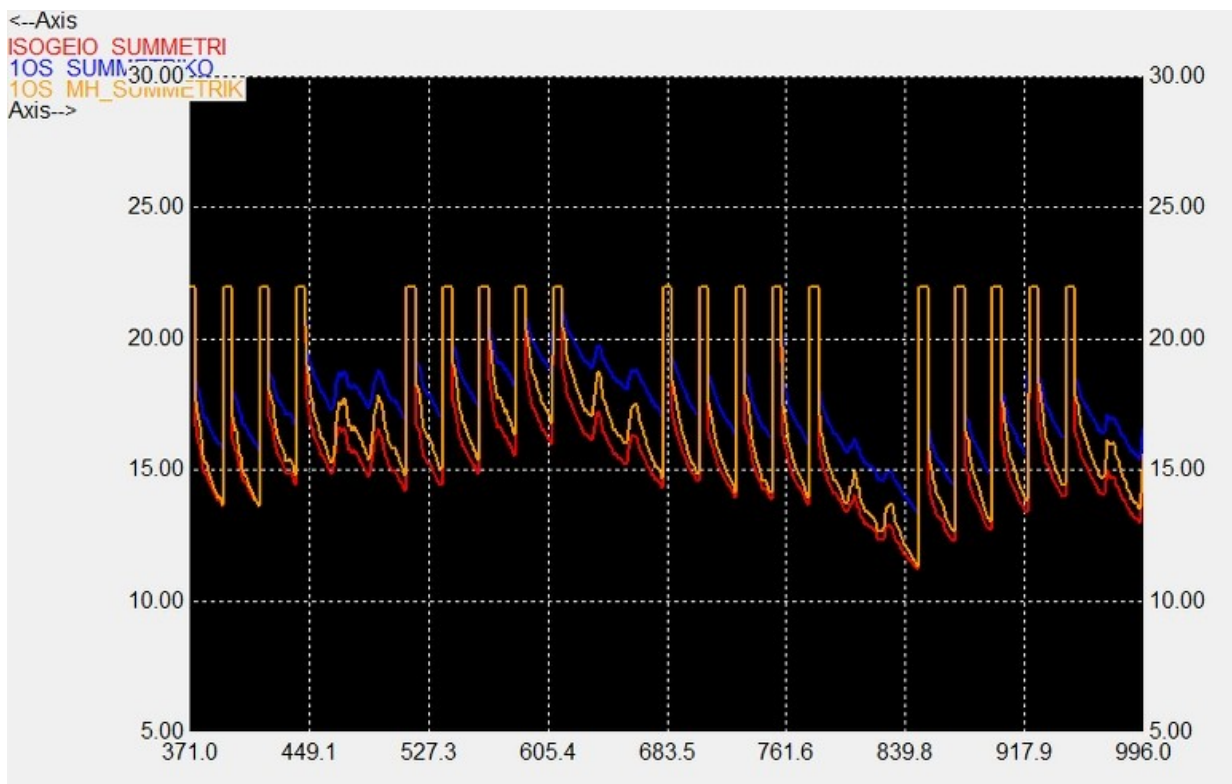
Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, ο οποίος απεικονίζει τα φορτία θέρμανσης των ζωνών, οι απαιτήσεις του κτηρίου για θέρμανση ανέρχονται στα 26,64 GJ (7400kWh) για την περίοδο 16/12- 11/01. Ο πίνακας αναφέρεται στις ημερήσιες απαιτήσεις καθότι ο όγκος των δεδομένων των ωριαίων τιμών είναι σαφώς μεγαλύτερος και έτσι οι τιμές αυτές δίνονται αναλυτικά στο Παράρτημα. Οι ζώνες με την μεγαλύτερη απαίτηση είναι οι ζώνες "Ισόγειο Μη Συμμετρικό" και "1ος Μη Συμμετρικό" με απαιτήσεις 8,37GJ (2325kWh) και 8,85GJ (2458,3kWh) αντίστοιχα. Αναλόγως, οι ζώνες με την μικρότερη απαίτηση είναι οι ζώνες "Ισόγειο Συμμετρικό" και "1ος Συμμετρικό" με απαιτήσεις 4,3GJ (1194,4kWh) και 5,1GJ (1416,6kWh) αντίστοιχα. Όπως ήταν αναμενόμενο, οι διαστάσεις των θερμικών ζωνών συμβάλλουν σημαντικά στη διαμόρφωση των τιμών αυτών. Σε περίπτωση αναγωγής των ενεργειακών απαιτήσεων ανά μονάδα επιφάνειας δαπέδου των ζωνών, θα πάρουμε :

- | | | | |
|---------------------------------|----------------------------------|---|---------------------------|
| • Ισόγειο Συμμετρικό | (Εμβαδόν 71,76 m ²) | : | 16,64 kWh/ m ² |
| • Ισόγειο Μη Συμμετρικό | (Εμβαδόν 121,1 m ²) | : | 19,19 kWh/ m ² |
| • 1 ^{ος} Συμμετρικό | (Εμβαδόν 71,76 m ²) | : | 19,74 kWh/ m ² |
| • 1 ^{ος} Μη Συμμετρικό | (Εμβαδόν 120,5 m ²) | : | 20,4 kWh/ m ² |

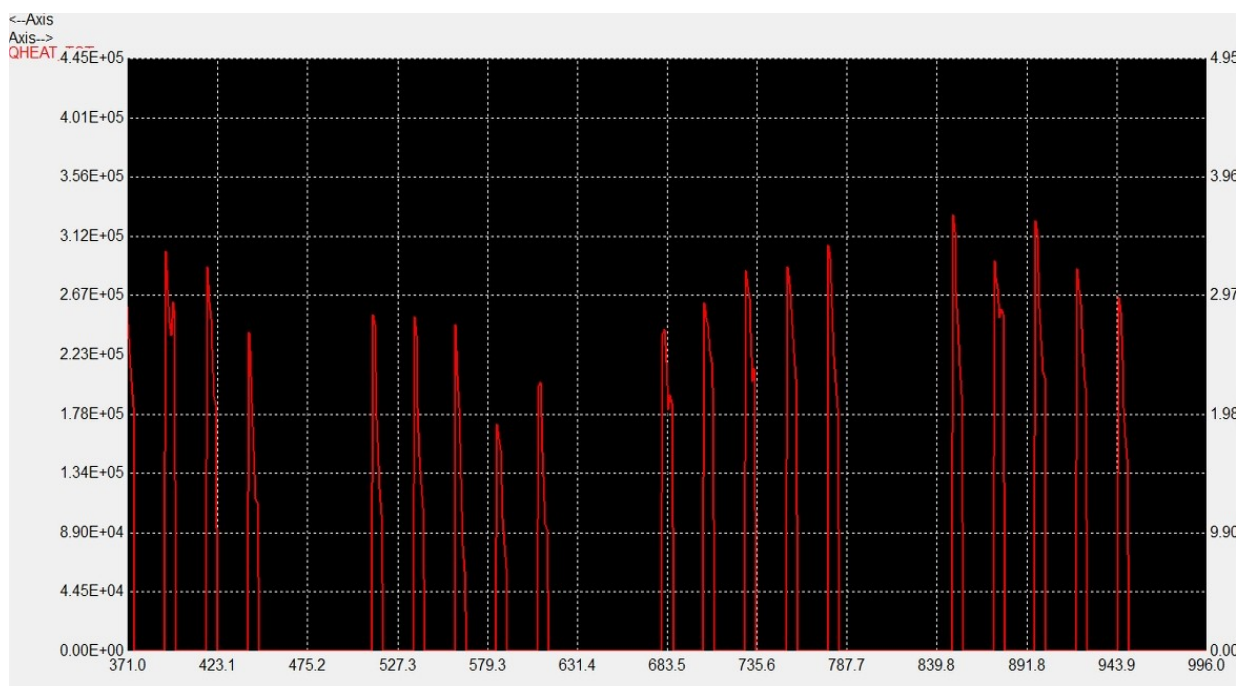
Η μέγιστη απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση των ζωνών έχει ως εξής :

- Για την "Ισόγειο Συμμετρικό", η μέγιστη ημερήσια απαιτούμενη ενέργεια είναι στις 05 Ιανουαρίου ίση με 291914 kJ (81.087kWh), ενώ η μέγιστη ωριαία απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση είναι ίση με 59664,6 kJ/h (16,57kWh) την ώρα 849 (05 Ιανουαρίου, 09:00 π.μ.).
- Για την "Ισόγειο Μη Συμμετρικό", η μέγιστη ημερήσια απαιτούμενη ενέργεια είναι στις 05 Ιανουαρίου ίση με 535858 kJ (148.84kWh), ενώ η μέγιστη ωριαία απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση είναι ίση με 106382,8 kJ/h (29,55kWh) την ώρα 849 (05 Ιανουαρίου, 09:00 π.μ.).
- Για την "1^{ος} Συμμετρικό", η μέγιστη ημερήσια απαιτούμενη ενέργεια είναι στις 05 Ιανουαρίου ίση με 354538 kJ (98.48kWh), ενώ η μέγιστη ωριαία απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση είναι ίση με 73013,4 kJ/h (20,28kWh) την ώρα 849 (05 Ιανουαρίου, 09:00 π.μ.).
- Για την "1^{ος} Μη Συμμετρικό", η μέγιστη ημερήσια απαιτούμενη ενέργεια είναι στις 05 Ιανουαρίου ίση με 606549 kJ (168.48kWh), ενώ η μέγιστη ωριαία απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση είναι ίση με 125733 kJ/h (34.92kWh) την ώρα 849 (05 Ιανουαρίου, 09:00 π.μ.).

Σύμφωνα με τα παραπάνω δεδομένα, την ημερομηνία 05/01 σημειώνεται η μέγιστη ωριαία και ημερήσια απαιτούμενη ενέργεια. Η συγκεκριμένη ημέρα είναι Δευτέρα επομένως οι συσκευές θέρμανσης καλούνται να καλύψουν την αυξημένη πλέον θερμοκρασιακή διαφορά που έχει δημιουργηθεί μετά το Σαββατοκύριακο. Στην εικόνα 5.1 εμφανίζονται οι θερμοκρασίες των ζωνών που αφορούν την περίοδο μελέτης και φαίνεται καθαρά πως, τις ώρες πριν σημειωθεί η μέγιστη ωριαία απαιτούμενη ενέργεια θέρμανσης καταγράφονταν οι χαμηλότερες θερμοκρασίας αέρα Ta_{air}, επομένως η μεγαλύτερη απαίτηση φορτίου είναι αναμενόμενη.



Εικόνα 5.1 : Απεικόνιση θερμοκρασιών αέρα ζωνών υπό μελέτη για την περίοδο 16/12 - 11/01 (371-996h)



Εικόνα 5.2 : Απαιτούμενη ενέργεια για θέρμανση (kJ) της περιόδου 16/12 - 11/01 (371-996h)

Από την εικόνα 5.1 μπορούμε να διακρίνουμε πως παρουσιάζονται αιχμές στη γραφική παράσταση της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το χρόνο και αυτό οφείλεται στην λειτουργία των σωμάτων θέρμανσης κατά την διάρκεια των εργάσιμων ημερών. Η διάρκεια της κάθε αιχμής είναι 6 ώρες, καθώς το πρόγραμμα λειτουργίας θέρμανσης έχει οριστεί από 08:00 π.μ. έως τις 14:00μ.μ. και, προφανώς, τα διαστήματα κατά τα οποία δεν εμφανίζονται αφορούν τις ημέρες του Σαββάτου και της Κυριακής.

Αντίστοιχα, στην εικόνα 5.2 παρατηρούνται αιχμές στη γραφική παράσταση των απαιτούμενων φορτίων θέρμανσης μονάχα κατά την λειτουργία των γραφείων, τις ώρες κατά τις οποίες είναι απαραίτητη η λειτουργία των σωμάτων.

5.4 Παρατηρήσεις και γενικά συμπεράσματα

Με τη χρήση του TRNSYS Simulation Studio η μοντελοποίηση ενός πολυζωνικού κτηρίου μπορεί να είναι ταυτόχρονα αποτελεσματική και γρήγορη. Η διαδικασία εισαγωγής ενός 3D-κτηρίου με θερμικές ζώνες στο στούντιο προσομοίωσης δεν αφήνει περιθώρια λάθους υπολογισμού σε περίπτωση σωστού και εξακριβωμένου σχεδιασμού. Με τη δυνατότητα αυτή, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα εισαγωγής οποιασδήποτε μορφής κτηρίου, να μελετήσει την ενεργειακή του συμπεριφορά και να υπολογίσει τις μοναδικές του απαιτήσεις. Επίσης, έχει τη δυνατότητα να προβλέψει με ακρίβεια τα φορτία του συστήματος και μπορεί να το διαχειριστεί ανάλογα με τις ανάγκες του.

Πριν την εισαγωγή του κτηρίου ως μοντέλο στο Simulation Studio, ο χρήστης οφείλει να έχει κατανοήσει το μέγεθος και τις διαστάσεις του κτηρίου ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη αναπαράσταση, αλλά και για να διευκολυνθεί μετέπειτα με τις μετατροπές των παραμέτρων που επιθυμεί. Η προσομοίωση ενός μοντέλου κτηρίου κατά τη διάρκεια μεγάλων χρονικών περιόδων μπορεί να αποβεί χρονοβόρα διαδικασία και η αποσφαλμάτωσή του θα γίνεται όλο και πιο δύσκολη σε περίπτωση που τα μαθηματικά μοντέλα που το περιγράφουν δεν έχουν κατανοηθεί πλήρως.

Η δυνατότητα περιγραφής πολλών λεπτομερειών που αφορούν το κτήριο καθιστά το πρόγραμμα TRNSYS έγκυρο και αξιόπιστο και συμβάλλει στη ρεαλιστική προσέγγιση των ενεργειακών απαιτήσεων του. Η εξακρίβωση των αποτελεσμάτων θερμοκρασίας με το εργαλείο προσαρμογής της MATLAB απέδειξε πως τα μοντέλα που προκύπτουν από το συγκεκριμένο υπολογιστικό πακέτο μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για έρευνα εις βάθος, απαιτώντας λεπτομερείς αποσαφηνίσεις των δεδομένων για όσο το δυνατόν εγκυρότερα αποτελέσματα.

Το περιβάλλον προσομοίωσης Simulation Studio είναι ένα πολύ ευαίσθητο υπολογιστικό πρόγραμμα το οποίο απαιτεί ακριβείς ορισμούς δεδομένων. Στο πρόγραμμα που μελετήθηκε, τα φορτία θέρμανσης μεταβάλλονται ακόμα και με την παρεμβολή στα εσωτερικά φορτία του κτηρίου, θέτοντας λόγω χάρη τον φωτισμός ισχύος 13 Watt / m² αντί 19 Watt / m² που καθορίστηκε σύμφωνα με τις προδιαγραφές λειτουργίας του. Έτσι, συμπεραίνουμε πως το μοντέλο τροποποιείται σύμφωνα με τις επιθυμίες του χρήστη ανά πάσα στιγμή και πως τα αποτελέσματα των εξόδων του διαφέρουν από προσομοίωση σε προσομοίωση.

Επομένως, καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως τα θερμικά φορτία που προκύπτουν από τη συγκεκριμένη εργασία είναι ενδεικτικά για το κτήριο PEBBLE και μπορεί να αποκλίνουν σημαντικά σε ανάλογες εφαρμογές με άλλα κτήρια, καθώς η επίδρασή τους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, παράγοντες οι οποίοι έχουν ληφθεί υπόψη και έχουν εφαρμοστεί στο κτήριο αυτό ξεχωριστά.

5.5 Προτάσεις για μελλοντική μελέτη

Το μοντέλο του πολυζωνικού κτηρίου PEBBLE αναπτύχθηκε με βάση συγκεκριμένες προδιαγραφές και σχεδιάστηκε προκειμένου να εξεταστεί η αξιοπιστία του κατά την εισαγωγή του στο υπολογιστικό πακέτο TRNSYS από το σχεδιαστικό πρόγραμμα Sketchup. Έτσι, υπάγεται στη διακριτική ευχέρεια του κάθε χρήστη να ορίσει το διαχωρισμό των θερμικών ζωνών του κτηρίου αναλόγως με το αντικείμενο που επιθυμεί να μελετήσει και να βγάλει τα αντίστοιχα αποτελέσματα και συμπεράσματα, καθώς ο παρών σχεδιασμός έγινε με βάση τη μελέτη συγκεκριμένων αιθουσών του κτηρίου.

Στη συνέχεια, ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία όπως περιγράφηκε στην παρούσα διατριβή, το συγκεκριμένο μοντέλο θα μπορούσε να προσομοιωθεί στο Simulation Studio για διάστημα μεγαλύτερο του παρόντος, λόγω χάρη για έναν χρόνο. Ενεργοποιώντας λοιπόν και τα συστήματα ψύξης για το καλοκαίρι, ο χρήστης θα μπορεί να υπολογίσει τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις του μοντέλου PEBBLE και να εξάγει συμπεράσματα ευρύτερου φάσματος. Επίσης, μέσα από αυτήν την εργασία προβλήθηκε η επιτυχής διασύνδεση των προγραμμάτων TRNSYS με MATLAB, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε έναν εναλλακτικό τρόπο εισαγωγής δεδομένων στα μοντέλα της προσομοίωσης αλλά και σε διαφοροποίηση στον τρόπο προβολής των εξόδων.

Τέλος, όσον αφορά το κομμάτι του προγράμματος MATLAB, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να εξάγει το μοντέλο της προσομοίωσης στο περιβάλλον Simulink. Το Simulink είναι ένα περιβάλλον σχηματικών διαγραμμάτων που βοηθά στην προσομοίωση πολλών σχεδίων βασισμένων σε μοντελοποιήσεις. Μάλιστα, υποστηρίζει το σχεδιασμό σε επίπεδο συστήματος, προσομοίωσης, αυτόματης παραγωγής κώδικα, καθώς και τη συνεχή δοκιμή και τον έλεγχο των ενσωματωμένων συστημάτων. Έτσι, παρέχεται η δυνατότητα ενσωμάτωσης MATLAB αλγορίθμων σε μοντέλα και από εκεί να εξαχθούν τα αποτελέσματα της προσομοίωσης για περαιτέρω ανάλυση.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. **D.Kolokotsa, S.Papantoniou, N.Exizidou, G.Yiannakis, D.Rovas** (2010). *Positive-Energy Building thru Better Control Decisions, Chania*
2. **Jan F.Kreider, Peter S. Curtiss, Ari Rabl** (2002). *"Heating and Cooling of Buildings: Desing for Efficiency", Second Edition, Chpt. 2,5,7,8,9.*
3. **Kontoleon Nikolaos** (2006). *Modelling heat transfer by employing a thermal-network model in order to analyse the thermal inertia and behaviour of wall configurations and building zones, AUTH*
4. **Parthena Exizidou** (2012). *Simulation-based energy auditing, Chania*
5. **ASHRAE** (2001). *Handbook Of Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.*
6. **TRNSYS 17 Documentation**. *Using The Simulation Studio, Standard Component Library Overview, Component Mathematical Reference, Multizone Building, 3-D Building Tutorial [pdf]*
7. **Στεργίου Χρήστος** (2007). *Προσομοίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς κτηρίου γραφείων στην Αθήνα με χρήση του υπολογιστικού προγράμματος TRNSYS, ΕΜΠ*
8. **Crawely D.B., Hand J.W., Kummert M. and Griffith, B.T.,** (2008). *Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. Building and Environment, pp. 661-673.*
9. **Finlayson N., Murray M., Maciver D., Morrison J., Morrison M., MacDonald D.I., Macaskill D., Macritchie D. and Rizo I.,** (2008). *Demeter - A Green Building Plugin For SketchUp. SIMBuild 2008 - Third National Conference of IBPSA-USA.*
10. **Curve Fitting Tollbox for use with Matlab,**
http://www.ctr.unican.es/asignaturas/instrumentacion_5_IT/curvefit.pdf
[Ηλεκτρονικό]
11. **Goodness of fit Statistics,**
<http://web.maths.unsw.edu.au/~adelle/Garvan/Assays/GoodnessOfFit.html>
[Ηλεκτρονικό]
12. **Positive Energy Buildings through Better control dEcisions,**
<http://www.pebble-fp7.eu/default.asp?node=page&id=1&lng=1> [Ηλεκτρονικό]
13. **MATLAB for Technical Computing,** <http://www.mathworks.com> [Ηλεκτρονικό]
14. **Anon, TRNSYS - TESS : thermal energy system specialists.**
<http://www.tess-inc.com/trnsys> [Ηλεκτρονικό]

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1. Απαιτούμενο φορτίο θέρμανσης για κάθε ζώνη με ωριαίο βήμα για την περίοδο 16/12 έως 11/01 (KJ/h)

Period (hours)	QHEAT_ΙΣΟΓΕΙΟ_ΣΥΜΜΕΤ	QHEAT_ΙΟΣ_ΣΥΜΜΕΤ ΡΙΚΟ	QHEAT_ΙΣΟΓΕΙΟ_ΜΗ_Σ ΥΜ	QHEAT_ΙΟΣ_ΜΗ_ΣΥΜΜΕΤΡ
371.00	43930.06	53612.52	83724.44	93030.60
372.00	39908.93	48355.65	77243.44	83065.35
373.00	36350.74	43551.02	71513.49	74307.80
374.00	33027.36	39006.38	65837.59	66311.45
375.00	0.00	0.00	0.00	0.00
376.00	0.00	0.00	0.00	0.00
377.00	0.00	0.00	0.00	0.00
378.00	0.00	0.00	0.00	0.00
379.00	0.00	0.00	0.00	0.00
380.00	0.00	0.00	0.00	0.00
381.00	0.00	0.00	0.00	0.00
382.00	0.00	0.00	0.00	0.00
383.00	0.00	0.00	0.00	0.00
384.00	0.00	0.00	0.00	0.00
385.00	0.00	0.00	0.00	0.00
386.00	0.00	0.00	0.00	0.00
387.00	0.00	0.00	0.00	0.00
388.00	0.00	0.00	0.00	0.00
389.00	0.00	0.00	0.00	0.00
390.00	0.00	0.00	0.00	0.00
391.00	0.00	0.00	0.00	0.00
392.00	0.00	0.00	0.00	0.00
393.00	53457.63	65557.21	99746.72	115667.62
394.00	48188.17	59014.05	91217.09	103851.23
395.00	44005.18	53514.62	84022.02	93324.14
396.00	42164.73	51456.40	81717.75	89163.40
397.00	46429.79	57177.89	89099.46	99192.84
398.00	45518.80	56004.10	87348.68	96724.98
399.00	0.00	0.00	0.00	0.00
400.00	0.00	0.00	0.00	0.00
401.00	0.00	0.00	0.00	0.00
402.00	0.00	0.00	0.00	0.00
403.00	0.00	0.00	0.00	0.00
404.00	0.00	0.00	0.00	0.00
405.00	0.00	0.00	0.00	0.00
406.00	0.00	0.00	0.00	0.00
407.00	0.00	0.00	0.00	0.00
408.00	0.00	0.00	0.00	0.00
409.00	0.00	0.00	0.00	0.00
410.00	0.00	0.00	0.00	0.00
411.00	0.00	0.00	0.00	0.00
412.00	0.00	0.00	0.00	0.00

413.00	0.00	0.00	0.00	0.00
414.00	0.00	0.00	0.00	0.00
415.00	0.00	0.00	0.00	0.00
416.00	0.00	0.00	0.00	0.00
417.00	51233.49	62919.28	96053.46	110893.29
418.00	46844.52	57004.83	88286.23	99956.69
419.00	44417.28	54326.42	84897.80	94723.89
420.00	40402.76	49057.62	78413.85	84835.74
421.00	34365.21	40831.54	68193.89	69929.51
422.00	33191.69	39433.18	66253.73	66967.13
423.00	0.00	0.00	0.00	0.00
424.00	0.00	0.00	0.00	0.00
425.00	0.00	0.00	0.00	0.00
426.00	0.00	0.00	0.00	0.00
427.00	0.00	0.00	0.00	0.00
428.00	0.00	0.00	0.00	0.00
429.00	0.00	0.00	0.00	0.00
430.00	0.00	0.00	0.00	0.00
431.00	0.00	0.00	0.00	0.00
432.00	0.00	0.00	0.00	0.00
433.00	0.00	0.00	0.00	0.00
434.00	0.00	0.00	0.00	0.00
435.00	0.00	0.00	0.00	0.00
436.00	0.00	0.00	0.00	0.00
437.00	0.00	0.00	0.00	0.00
438.00	0.00	0.00	0.00	0.00
439.00	0.00	0.00	0.00	0.00
440.00	0.00	0.00	0.00	0.00
441.00	42809.84	51324.64	82346.20	90525.52
442.00	40230.74	48473.28	78396.20	85062.11
443.00	33271.80	39420.30	67033.29	68433.73
444.00	26949.31	30964.68	56704.84	53021.67
445.00	20844.63	22758.83	46479.75	37867.93
446.00	20319.54	21910.72	45540.07	36649.09
447.00	0.00	0.00	0.00	0.00
448.00	0.00	0.00	0.00	0.00
449.00	0.00	0.00	0.00	0.00
450.00	0.00	0.00	0.00	0.00
451.00	0.00	0.00	0.00	0.00
452.00	0.00	0.00	0.00	0.00
453.00	0.00	0.00	0.00	0.00
454.00	0.00	0.00	0.00	0.00
455.00	0.00	0.00	0.00	0.00
456.00	0.00	0.00	0.00	0.00
457.00	0.00	0.00	0.00	0.00
458.00	0.00	0.00	0.00	0.00

459.00	0.00	0.00	0.00	0.00
460.00	0.00	0.00	0.00	0.00
461.00	0.00	0.00	0.00	0.00
462.00	0.00	0.00	0.00	0.00
463.00	0.00	0.00	0.00	0.00
464.00	0.00	0.00	0.00	0.00
465.00	0.00	0.00	0.00	0.00
466.00	0.00	0.00	0.00	0.00
467.00	0.00	0.00	0.00	0.00
468.00	0.00	0.00	0.00	0.00
469.00	0.00	0.00	0.00	0.00
470.00	0.00	0.00	0.00	0.00
471.00	0.00	0.00	0.00	0.00
472.00	0.00	0.00	0.00	0.00
473.00	0.00	0.00	0.00	0.00
474.00	0.00	0.00	0.00	0.00
475.00	0.00	0.00	0.00	0.00
476.00	0.00	0.00	0.00	0.00
477.00	0.00	0.00	0.00	0.00
478.00	0.00	0.00	0.00	0.00
479.00	0.00	0.00	0.00	0.00
480.00	0.00	0.00	0.00	0.00
481.00	0.00	0.00	0.00	0.00
482.00	0.00	0.00	0.00	0.00
483.00	0.00	0.00	0.00	0.00
484.00	0.00	0.00	0.00	0.00
485.00	0.00	0.00	0.00	0.00
486.00	0.00	0.00	0.00	0.00
487.00	0.00	0.00	0.00	0.00
488.00	0.00	0.00	0.00	0.00
489.00	0.00	0.00	0.00	0.00
490.00	0.00	0.00	0.00	0.00
491.00	0.00	0.00	0.00	0.00
492.00	0.00	0.00	0.00	0.00
493.00	0.00	0.00	0.00	0.00
494.00	0.00	0.00	0.00	0.00
495.00	0.00	0.00	0.00	0.00
496.00	0.00	0.00	0.00	0.00
497.00	0.00	0.00	0.00	0.00
498.00	0.00	0.00	0.00	0.00
499.00	0.00	0.00	0.00	0.00
500.00	0.00	0.00	0.00	0.00
501.00	0.00	0.00	0.00	0.00
502.00	0.00	0.00	0.00	0.00
503.00	0.00	0.00	0.00	0.00
504.00	0.00	0.00	0.00	0.00

505.00	0.00	0.00	0.00	0.00
506.00	0.00	0.00	0.00	0.00
507.00	0.00	0.00	0.00	0.00
508.00	0.00	0.00	0.00	0.00
509.00	0.00	0.00	0.00	0.00
510.00	0.00	0.00	0.00	0.00
511.00	0.00	0.00	0.00	0.00
512.00	0.00	0.00	0.00	0.00
513.00	45240.47	53373.57	87264.47	95073.12
514.00	44030.26	51697.10	84947.85	92324.45
515.00	31733.28	35650.72	64076.00	62713.26
516.00	25715.74	27528.26	53820.73	48100.07
517.00	22951.45	23493.92	48608.77	41017.17
518.00	19742.71	19190.16	42778.52	32974.10
519.00	0.00	0.00	0.00	0.00
520.00	0.00	0.00	0.00	0.00
521.00	0.00	0.00	0.00	0.00
522.00	0.00	0.00	0.00	0.00
523.00	0.00	0.00	0.00	0.00
524.00	0.00	0.00	0.00	0.00
525.00	0.00	0.00	0.00	0.00
526.00	0.00	0.00	0.00	0.00
527.00	0.00	0.00	0.00	0.00
528.00	0.00	0.00	0.00	0.00
529.00	0.00	0.00	0.00	0.00
530.00	0.00	0.00	0.00	0.00
531.00	0.00	0.00	0.00	0.00
532.00	0.00	0.00	0.00	0.00
533.00	0.00	0.00	0.00	0.00
534.00	0.00	0.00	0.00	0.00
535.00	0.00	0.00	0.00	0.00
536.00	0.00	0.00	0.00	0.00
537.00	44955.91	53272.94	86722.68	94998.88
538.00	42190.33	50364.50	82502.54	89439.67
539.00	32660.54	37909.84	66653.39	66611.84
540.00	26126.88	29360.35	56131.83	50883.27
541.00	22644.08	24725.30	50448.76	42228.85
542.00	19706.12	20566.99	44951.06	34814.97
543.00	0.00	0.00	0.00	0.00
544.00	0.00	0.00	0.00	0.00
545.00	0.00	0.00	0.00	0.00
546.00	0.00	0.00	0.00	0.00
547.00	0.00	0.00	0.00	0.00
548.00	0.00	0.00	0.00	0.00
549.00	0.00	0.00	0.00	0.00
550.00	0.00	0.00	0.00	0.00

551.00	0.00	0.00	0.00	0.00
552.00	0.00	0.00	0.00	0.00
553.00	0.00	0.00	0.00	0.00
554.00	0.00	0.00	0.00	0.00
555.00	0.00	0.00	0.00	0.00
556.00	0.00	0.00	0.00	0.00
557.00	0.00	0.00	0.00	0.00
558.00	0.00	0.00	0.00	0.00
559.00	0.00	0.00	0.00	0.00
560.00	0.00	0.00	0.00	0.00
561.00	43376.16	51816.33	85182.65	93076.95
562.00	36805.59	43024.30	73610.97	76903.34
563.00	32480.50	37620.03	66607.30	66751.94
564.00	23302.06	25579.28	51454.87	44572.92
565.00	14569.54	13945.14	37018.82	23359.31
566.00	11285.33	9549.19	31394.41	15381.23
567.00	0.00	0.00	0.00	0.00
568.00	0.00	0.00	0.00	0.00
569.00	0.00	0.00	0.00	0.00
570.00	0.00	0.00	0.00	0.00
571.00	0.00	0.00	0.00	0.00
572.00	0.00	0.00	0.00	0.00
573.00	0.00	0.00	0.00	0.00
574.00	0.00	0.00	0.00	0.00
575.00	0.00	0.00	0.00	0.00
576.00	0.00	0.00	0.00	0.00
577.00	0.00	0.00	0.00	0.00
578.00	0.00	0.00	0.00	0.00
579.00	0.00	0.00	0.00	0.00
580.00	0.00	0.00	0.00	0.00
581.00	0.00	0.00	0.00	0.00
582.00	0.00	0.00	0.00	0.00
583.00	0.00	0.00	0.00	0.00
584.00	0.00	0.00	0.00	0.00
585.00	30255.15	34091.99	63659.58	62013.33
586.00	28123.33	31846.50	60328.27	57519.66
587.00	26601.23	30180.71	58059.09	53858.48
588.00	17797.90	18491.62	43267.39	32187.56
589.00	14385.55	14003.83	37771.73	23641.31
590.00	11255.91	9780.20	32395.68	15994.67
591.00	0.00	0.00	0.00	0.00
592.00	0.00	0.00	0.00	0.00
593.00	0.00	0.00	0.00	0.00
594.00	0.00	0.00	0.00	0.00
595.00	0.00	0.00	0.00	0.00
596.00	0.00	0.00	0.00	0.00

597.00	0.00	0.00	0.00	0.00
598.00	0.00	0.00	0.00	0.00
599.00	0.00	0.00	0.00	0.00
600.00	0.00	0.00	0.00	0.00
601.00	0.00	0.00	0.00	0.00
602.00	0.00	0.00	0.00	0.00
603.00	0.00	0.00	0.00	0.00
604.00	0.00	0.00	0.00	0.00
605.00	0.00	0.00	0.00	0.00
606.00	0.00	0.00	0.00	0.00
607.00	0.00	0.00	0.00	0.00
608.00	0.00	0.00	0.00	0.00
609.00	35031.64	40584.49	72417.98	73723.57
610.00	35180.87	41571.86	73140.52	75019.95
611.00	26179.83	29641.17	57845.79	52963.35
612.00	19898.35	21383.38	47494.11	37551.16
613.00	16931.21	17230.93	42216.40	29829.76
614.00	16428.30	16536.89	41208.71	28475.97
615.00	0.00	0.00	0.00	0.00
616.00	0.00	0.00	0.00	0.00
617.00	0.00	0.00	0.00	0.00
618.00	0.00	0.00	0.00	0.00
619.00	0.00	0.00	0.00	0.00
620.00	0.00	0.00	0.00	0.00
621.00	0.00	0.00	0.00	0.00
622.00	0.00	0.00	0.00	0.00
623.00	0.00	0.00	0.00	0.00
624.00	0.00	0.00	0.00	0.00
625.00	0.00	0.00	0.00	0.00
626.00	0.00	0.00	0.00	0.00
627.00	0.00	0.00	0.00	0.00
628.00	0.00	0.00	0.00	0.00
629.00	0.00	0.00	0.00	0.00
630.00	0.00	0.00	0.00	0.00
631.00	0.00	0.00	0.00	0.00
632.00	0.00	0.00	0.00	0.00
633.00	0.00	0.00	0.00	0.00
634.00	0.00	0.00	0.00	0.00
635.00	0.00	0.00	0.00	0.00
636.00	0.00	0.00	0.00	0.00
637.00	0.00	0.00	0.00	0.00
638.00	0.00	0.00	0.00	0.00
639.00	0.00	0.00	0.00	0.00
640.00	0.00	0.00	0.00	0.00
641.00	0.00	0.00	0.00	0.00
642.00	0.00	0.00	0.00	0.00

643.00	0.00	0.00	0.00	0.00
644.00	0.00	0.00	0.00	0.00
645.00	0.00	0.00	0.00	0.00
646.00	0.00	0.00	0.00	0.00
647.00	0.00	0.00	0.00	0.00
648.00	0.00	0.00	0.00	0.00
649.00	0.00	0.00	0.00	0.00
650.00	0.00	0.00	0.00	0.00
651.00	0.00	0.00	0.00	0.00
652.00	0.00	0.00	0.00	0.00
653.00	0.00	0.00	0.00	0.00
654.00	0.00	0.00	0.00	0.00
655.00	0.00	0.00	0.00	0.00
656.00	0.00	0.00	0.00	0.00
657.00	0.00	0.00	0.00	0.00
658.00	0.00	0.00	0.00	0.00
659.00	0.00	0.00	0.00	0.00
660.00	0.00	0.00	0.00	0.00
661.00	0.00	0.00	0.00	0.00
662.00	0.00	0.00	0.00	0.00
663.00	0.00	0.00	0.00	0.00
664.00	0.00	0.00	0.00	0.00
665.00	0.00	0.00	0.00	0.00
666.00	0.00	0.00	0.00	0.00
667.00	0.00	0.00	0.00	0.00
668.00	0.00	0.00	0.00	0.00
669.00	0.00	0.00	0.00	0.00
670.00	0.00	0.00	0.00	0.00
671.00	0.00	0.00	0.00	0.00
672.00	0.00	0.00	0.00	0.00
673.00	0.00	0.00	0.00	0.00
674.00	0.00	0.00	0.00	0.00
675.00	0.00	0.00	0.00	0.00
676.00	0.00	0.00	0.00	0.00
677.00	0.00	0.00	0.00	0.00
678.00	0.00	0.00	0.00	0.00
679.00	0.00	0.00	0.00	0.00
680.00	0.00	0.00	0.00	0.00
681.00	42231.99	50122.74	82741.67	89527.46
682.00	42812.82	51266.77	83770.39	91166.13
683.00	38575.48	45874.75	76797.05	80934.61
684.00	32560.06	37719.43	66385.27	65840.88
685.00	34440.01	40221.73	69419.09	69952.04
686.00	33360.30	39028.08	67978.63	67518.76
687.00	0.00	0.00	0.00	0.00
688.00	0.00	0.00	0.00	0.00

689.00	0.00	0.00	0.00	0.00
690.00	0.00	0.00	0.00	0.00
691.00	0.00	0.00	0.00	0.00
692.00	0.00	0.00	0.00	0.00
693.00	0.00	0.00	0.00	0.00
694.00	0.00	0.00	0.00	0.00
695.00	0.00	0.00	0.00	0.00
696.00	0.00	0.00	0.00	0.00
697.00	0.00	0.00	0.00	0.00
698.00	0.00	0.00	0.00	0.00
699.00	0.00	0.00	0.00	0.00
700.00	0.00	0.00	0.00	0.00
701.00	0.00	0.00	0.00	0.00
702.00	0.00	0.00	0.00	0.00
703.00	0.00	0.00	0.00	0.00
704.00	0.00	0.00	0.00	0.00
705.00	46460.18	55837.29	89195.11	99214.32
706.00	44554.38	53484.54	85798.19	94723.39
707.00	43816.40	52243.46	84079.53	92349.19
708.00	40566.40	47710.33	78284.00	84255.49
709.00	39295.10	46286.89	76029.44	80833.89
710.00	35946.00	41827.94	70166.79	72576.75
711.00	0.00	0.00	0.00	0.00
712.00	0.00	0.00	0.00	0.00
713.00	0.00	0.00	0.00	0.00
714.00	0.00	0.00	0.00	0.00
715.00	0.00	0.00	0.00	0.00
716.00	0.00	0.00	0.00	0.00
717.00	0.00	0.00	0.00	0.00
718.00	0.00	0.00	0.00	0.00
719.00	0.00	0.00	0.00	0.00
720.00	0.00	0.00	0.00	0.00
721.00	0.00	0.00	0.00	0.00
722.00	0.00	0.00	0.00	0.00
723.00	0.00	0.00	0.00	0.00
724.00	0.00	0.00	0.00	0.00
725.00	0.00	0.00	0.00	0.00
726.00	0.00	0.00	0.00	0.00
727.00	0.00	0.00	0.00	0.00
728.00	0.00	0.00	0.00	0.00
729.00	51054.50	61959.04	95669.68	109194.17
730.00	49009.06	59403.73	92044.81	104325.01
731.00	47542.42	57518.87	89424.08	100501.24
732.00	42931.63	51850.21	82247.92	89610.39
733.00	36543.73	43398.19	71906.45	74166.28
734.00	38127.90	45640.46	74685.22	77947.82

735.00	0.00	0.00	0.00	0.00
736.00	0.00	0.00	0.00	0.00
737.00	0.00	0.00	0.00	0.00
738.00	0.00	0.00	0.00	0.00
739.00	0.00	0.00	0.00	0.00
740.00	0.00	0.00	0.00	0.00
741.00	0.00	0.00	0.00	0.00
742.00	0.00	0.00	0.00	0.00
743.00	0.00	0.00	0.00	0.00
744.00	0.00	0.00	0.00	0.00
745.00	0.00	0.00	0.00	0.00
746.00	0.00	0.00	0.00	0.00
747.00	0.00	0.00	0.00	0.00
748.00	0.00	0.00	0.00	0.00
749.00	0.00	0.00	0.00	0.00
750.00	0.00	0.00	0.00	0.00
751.00	0.00	0.00	0.00	0.00
752.00	0.00	0.00	0.00	0.00
753.00	51580.92	63025.03	96365.47	110634.78
754.00	49426.40	60319.47	92621.72	105479.19
755.00	48128.79	58512.71	90263.20	102002.71
756.00	44121.13	53269.97	83477.68	91983.38
757.00	40577.44	48486.18	77386.35	83079.53
758.00	37487.97	44134.23	71651.20	75263.85
759.00	0.00	0.00	0.00	0.00
760.00	0.00	0.00	0.00	0.00
761.00	0.00	0.00	0.00	0.00
762.00	0.00	0.00	0.00	0.00
763.00	0.00	0.00	0.00	0.00
764.00	0.00	0.00	0.00	0.00
765.00	0.00	0.00	0.00	0.00
766.00	0.00	0.00	0.00	0.00
767.00	0.00	0.00	0.00	0.00
768.00	0.00	0.00	0.00	0.00
769.00	0.00	0.00	0.00	0.00
770.00	0.00	0.00	0.00	0.00
771.00	0.00	0.00	0.00	0.00
772.00	0.00	0.00	0.00	0.00
773.00	0.00	0.00	0.00	0.00
774.00	0.00	0.00	0.00	0.00
775.00	0.00	0.00	0.00	0.00
776.00	0.00	0.00	0.00	0.00
777.00	54639.55	66731.42	100964.18	117228.12
778.00	53061.87	64512.56	97970.44	113326.37
779.00	46771.38	55911.63	86931.37	97850.41
780.00	40594.08	47552.36	76163.32	82537.61

781.00	37239.33	42966.31	70339.25	74368.02
782.00	33941.86	38498.59	64561.78	66471.73
783.00	0.00	0.00	0.00	0.00
784.00	0.00	0.00	0.00	0.00
785.00	0.00	0.00	0.00	0.00
786.00	0.00	0.00	0.00	0.00
787.00	0.00	0.00	0.00	0.00
788.00	0.00	0.00	0.00	0.00
789.00	0.00	0.00	0.00	0.00
790.00	0.00	0.00	0.00	0.00
791.00	0.00	0.00	0.00	0.00
792.00	0.00	0.00	0.00	0.00
793.00	0.00	0.00	0.00	0.00
794.00	0.00	0.00	0.00	0.00
795.00	0.00	0.00	0.00	0.00
796.00	0.00	0.00	0.00	0.00
797.00	0.00	0.00	0.00	0.00
798.00	0.00	0.00	0.00	0.00
799.00	0.00	0.00	0.00	0.00
800.00	0.00	0.00	0.00	0.00
801.00	0.00	0.00	0.00	0.00
802.00	0.00	0.00	0.00	0.00
803.00	0.00	0.00	0.00	0.00
804.00	0.00	0.00	0.00	0.00
805.00	0.00	0.00	0.00	0.00
806.00	0.00	0.00	0.00	0.00
807.00	0.00	0.00	0.00	0.00
808.00	0.00	0.00	0.00	0.00
809.00	0.00	0.00	0.00	0.00
810.00	0.00	0.00	0.00	0.00
811.00	0.00	0.00	0.00	0.00
812.00	0.00	0.00	0.00	0.00
813.00	0.00	0.00	0.00	0.00
814.00	0.00	0.00	0.00	0.00
815.00	0.00	0.00	0.00	0.00
816.00	0.00	0.00	0.00	0.00
817.00	0.00	0.00	0.00	0.00
818.00	0.00	0.00	0.00	0.00
819.00	0.00	0.00	0.00	0.00
820.00	0.00	0.00	0.00	0.00
821.00	0.00	0.00	0.00	0.00
822.00	0.00	0.00	0.00	0.00
823.00	0.00	0.00	0.00	0.00
824.00	0.00	0.00	0.00	0.00
825.00	0.00	0.00	0.00	0.00
826.00	0.00	0.00	0.00	0.00

827.00	0.00	0.00	0.00	0.00
828.00	0.00	0.00	0.00	0.00
829.00	0.00	0.00	0.00	0.00
830.00	0.00	0.00	0.00	0.00
831.00	0.00	0.00	0.00	0.00
832.00	0.00	0.00	0.00	0.00
833.00	0.00	0.00	0.00	0.00
834.00	0.00	0.00	0.00	0.00
835.00	0.00	0.00	0.00	0.00
836.00	0.00	0.00	0.00	0.00
837.00	0.00	0.00	0.00	0.00
838.00	0.00	0.00	0.00	0.00
839.00	0.00	0.00	0.00	0.00
840.00	0.00	0.00	0.00	0.00
841.00	0.00	0.00	0.00	0.00
842.00	0.00	0.00	0.00	0.00
843.00	0.00	0.00	0.00	0.00
844.00	0.00	0.00	0.00	0.00
845.00	0.00	0.00	0.00	0.00
846.00	0.00	0.00	0.00	0.00
847.00	0.00	0.00	0.00	0.00
848.00	0.00	0.00	0.00	0.00
849.00	59664.65	73013.45	106382.82	125733.02
850.00	57384.48	70029.70	102606.78	120565.09
851.00	49290.32	59836.92	89523.42	101508.30
852.00	45321.67	54466.65	82858.11	91589.45
853.00	40182.80	46837.06	73375.27	78719.05
854.00	36503.62	41942.41	67030.92	69743.54
855.00	0.00	0.00	0.00	0.00
856.00	0.00	0.00	0.00	0.00
857.00	0.00	0.00	0.00	0.00
858.00	0.00	0.00	0.00	0.00
859.00	0.00	0.00	0.00	0.00
860.00	0.00	0.00	0.00	0.00
861.00	0.00	0.00	0.00	0.00
862.00	0.00	0.00	0.00	0.00
863.00	0.00	0.00	0.00	0.00
864.00	0.00	0.00	0.00	0.00
865.00	0.00	0.00	0.00	0.00
866.00	0.00	0.00	0.00	0.00
867.00	0.00	0.00	0.00	0.00
868.00	0.00	0.00	0.00	0.00
869.00	0.00	0.00	0.00	0.00
870.00	0.00	0.00	0.00	0.00
871.00	0.00	0.00	0.00	0.00
872.00	0.00	0.00	0.00	0.00

873.00	52891.72	64735.68	96542.03	111975.23
874.00	50681.04	61922.71	92803.01	106587.68
875.00	49529.12	60173.00	90624.94	103227.58
876.00	45729.24	55050.09	84150.32	93700.06
877.00	46835.47	56812.25	86512.37	96317.77
878.00	46247.53	55844.87	85226.29	94741.06
879.00	0.00	0.00	0.00	0.00
880.00	0.00	0.00	0.00	0.00
881.00	0.00	0.00	0.00	0.00
882.00	0.00	0.00	0.00	0.00
883.00	0.00	0.00	0.00	0.00
884.00	0.00	0.00	0.00	0.00
885.00	0.00	0.00	0.00	0.00
886.00	0.00	0.00	0.00	0.00
887.00	0.00	0.00	0.00	0.00
888.00	0.00	0.00	0.00	0.00
889.00	0.00	0.00	0.00	0.00
890.00	0.00	0.00	0.00	0.00
891.00	0.00	0.00	0.00	0.00
892.00	0.00	0.00	0.00	0.00
893.00	0.00	0.00	0.00	0.00
894.00	0.00	0.00	0.00	0.00
895.00	0.00	0.00	0.00	0.00
896.00	0.00	0.00	0.00	0.00
897.00	57756.10	71675.50	105603.42	124641.18
898.00	55935.05	69109.07	102276.14	119821.28
899.00	46674.60	56596.36	86399.44	97011.84
900.00	42454.96	51124.97	79517.51	86629.72
901.00	38254.31	45783.57	73165.57	76454.64
902.00	37639.74	44761.78	71701.62	74696.76
903.00	0.00	0.00	0.00	0.00
904.00	0.00	0.00	0.00	0.00
905.00	0.00	0.00	0.00	0.00
906.00	0.00	0.00	0.00	0.00
907.00	0.00	0.00	0.00	0.00
908.00	0.00	0.00	0.00	0.00
909.00	0.00	0.00	0.00	0.00
910.00	0.00	0.00	0.00	0.00
911.00	0.00	0.00	0.00	0.00
912.00	0.00	0.00	0.00	0.00
913.00	0.00	0.00	0.00	0.00
914.00	0.00	0.00	0.00	0.00
915.00	0.00	0.00	0.00	0.00
916.00	0.00	0.00	0.00	0.00
917.00	0.00	0.00	0.00	0.00
918.00	0.00	0.00	0.00	0.00

919.00	0.00	0.00	0.00	0.00
920.00	0.00	0.00	0.00	0.00
921.00	51366.88	63062.27	95323.50	109702.50
922.00	48491.79	59756.29	91066.94	103588.93
923.00	46458.12	57323.68	88088.96	98574.19
924.00	40311.92	48876.26	77586.31	83053.66
925.00	36737.01	44028.40	71708.58	73994.22
926.00	36014.62	42957.90	70273.23	72042.60
927.00	0.00	0.00	0.00	0.00
928.00	0.00	0.00	0.00	0.00
929.00	0.00	0.00	0.00	0.00
930.00	0.00	0.00	0.00	0.00
931.00	0.00	0.00	0.00	0.00
932.00	0.00	0.00	0.00	0.00
933.00	0.00	0.00	0.00	0.00
934.00	0.00	0.00	0.00	0.00
935.00	0.00	0.00	0.00	0.00
936.00	0.00	0.00	0.00	0.00
937.00	0.00	0.00	0.00	0.00
938.00	0.00	0.00	0.00	0.00
939.00	0.00	0.00	0.00	0.00
940.00	0.00	0.00	0.00	0.00
941.00	0.00	0.00	0.00	0.00
942.00	0.00	0.00	0.00	0.00
943.00	0.00	0.00	0.00	0.00
944.00	0.00	0.00	0.00	0.00
945.00	47394.39	57812.86	89454.78	101005.01
946.00	45610.77	55436.86	86268.05	96488.17
947.00	39699.43	47121.26	75692.45	81387.59
948.00	33624.76	38830.00	64953.78	66101.15
949.00	29860.52	33917.16	58729.02	56858.51
950.00	27168.55	29902.86	53686.27	50261.04
951.00	0.00	0.00	0.00	0.00
952.00	0.00	0.00	0.00	0.00
953.00	0.00	0.00	0.00	0.00
954.00	0.00	0.00	0.00	0.00
955.00	0.00	0.00	0.00	0.00
956.00	0.00	0.00	0.00	0.00
957.00	0.00	0.00	0.00	0.00
958.00	0.00	0.00	0.00	0.00
959.00	0.00	0.00	0.00	0.00
960.00	0.00	0.00	0.00	0.00
961.00	0.00	0.00	0.00	0.00
962.00	0.00	0.00	0.00	0.00
963.00	0.00	0.00	0.00	0.00
964.00	0.00	0.00	0.00	0.00

965.00	0.00	0.00	0.00	0.00
966.00	0.00	0.00	0.00	0.00
967.00	0.00	0.00	0.00	0.00
968.00	0.00	0.00	0.00	0.00
969.00	0.00	0.00	0.00	0.00
970.00	0.00	0.00	0.00	0.00
971.00	0.00	0.00	0.00	0.00
972.00	0.00	0.00	0.00	0.00
973.00	0.00	0.00	0.00	0.00
974.00	0.00	0.00	0.00	0.00
975.00	0.00	0.00	0.00	0.00
976.00	0.00	0.00	0.00	0.00
977.00	0.00	0.00	0.00	0.00
978.00	0.00	0.00	0.00	0.00
979.00	0.00	0.00	0.00	0.00
980.00	0.00	0.00	0.00	0.00
981.00	0.00	0.00	0.00	0.00
982.00	0.00	0.00	0.00	0.00
983.00	0.00	0.00	0.00	0.00
984.00	0.00	0.00	0.00	0.00
985.00	0.00	0.00	0.00	0.00
986.00	0.00	0.00	0.00	0.00
987.00	0.00	0.00	0.00	0.00
988.00	0.00	0.00	0.00	0.00
989.00	0.00	0.00	0.00	0.00
990.00	0.00	0.00	0.00	0.00
991.00	0.00	0.00	0.00	0.00
992.00	0.00	0.00	0.00	0.00
993.00	0.00	0.00	0.00	0.00
994.00	0.00	0.00	0.00	0.00
995.00	0.00	0.00	0.00	0.00
996.00	0.00	0.00	0.00	0.00